RECHERCHES

SUR LES

RIVIÈRES A MARÉE

RECHERCHES

SUR LES

RIVIÈRES A MARÉE

PAR

H.-L. PARTIOT

Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Officier de la Légion d'honneur.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE & INDUSTRIELLE DES ARTS ET MANUFACTURES

E. BERNARD & Cie

29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 29

1901

CHAPITRE PREMIER

FORMULES NÉCESSAIRES A L'ÉTUDE DES RIVIÈRES A MARÉES

Nous avons exposé dans une étude sur les rivières à marée publiée en 1892 (1) les moyens d'évaluer les quantités d'eau qui passent en un point de ces rivières entre deux instants donnés. Nous rappellerons, en le complétant, ce que nous avons dit à ce sujet.

La partie maritime d'un fleuve reçoit, par ses deux extrémités, les eaux qui la remplissent. Celles qui proviennent de l'ensemble du bassin géologique qui lui donne naissance pénètrent dans la zone maritime par l'amont, tandis que celles qui viennent de l'aval sont apportées par l'onde marée remontant le lit du cours d'eau.

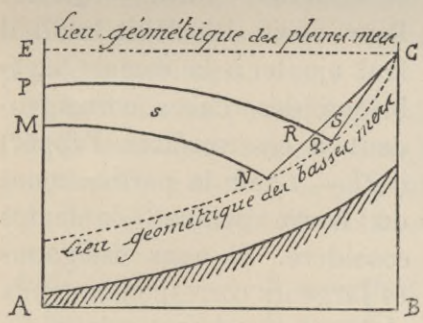


Fig. 1.

Si l'on considère (fig. 1), la partie du fleuve qui est entre un profil en travers AE et le point extrême C auquel la marée se fait sentir, et si pour deux moments t et t' d'une même marée montante on trace les profils en long momentanés MNC et PQC pour chacun d'eux, on voit aisément que l'accroissement de volume entre ces deux instants est représenté par l'augmentation qui correspond à la surface MPRN, diminuée de la réduction relative à la surface CQR. Le volume total de l'augmentation est égal à la somme des volumes introduits par la marée par l'aval, et par le débit du fleuve en amont.

(1) « Etude sur les rivières à marée et sur les estuaires » (Paris, 1892, page 1 et suivantes; voir aussi l' « Etude sur les mouvements des marées dans la partie maritime des fleuves » (Paris, 1861, p. 13 et suiv.)

Si donc on désigne par V_i le volume introduit par la marée, par q le débit par seconde du fleuve au profil amont BC, et si l'on appelle s la surface en augmentation MPRN et l la largeur correspondante de la rivière, enfin S la surface en diminution CQR, et L la largeur moyenne du fleuve relative à cette dernière surface, on a pour le volume introduit l'expression :

$$V_i = sl - SL - q\,(t'-t) \qquad (1)$$

Si l'on veut avoir les quantités sl et SL plus exactement, on n'a qu'à diviser l'espace AB en sections par des plans verticaux, de telle sorte que l'on ait

$$sl = s_1 l_1 + s_2 l_2 + \ldots\ldots \qquad (2)$$
$$SL = S_1 L_1 + S_2 L_2 + \ldots$$

et l'on aura le volume V_i aussi exactement qu'on le voudra.

On pourrait aussi partager le temps $(t'-t)$ en un certain nombre de périodes, prendre le profil en long momentané au bout de chacune d'elles, et compter la quantité d'eau introduite pendant chaque période ; le total donnerait également le volume V_i.

S'il s'agit de la marée descendante au même point A, la surface que la section mouillée aura perdue dans le temps $t'-t$ sera OPRL + CNU — QRMU. Pour avoir le débit total, il faut ajouter à la somme algébrique des cubes correspondant à ces surfaces l'apport $q\,(t''-t')$ de la partie amont du fleuve pendant le temps considéré. Si nous désignons par S, S′ et L, L′ les surfaces et les largeurs correspondant aux parties en diminution et par s et l celles qui sont relatives à l'augmentation QRMN, le volume d'eau V_s, sorti en AE sera :

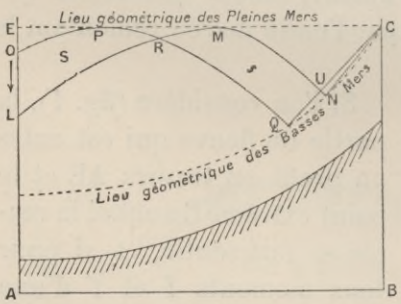


Fig. 2.

$$V_s = S_1 L_1 + S'_1 L'_1 - s_1 l_1 + q\,(t''-t') \qquad (3)$$

On pourrait de même, si on voulait plus d'exactitude, partager les parties OR, RU et UC en sections par des plans verticaux, ou diviser le temps $(t'-t)$ en périodes distinctes et prendre la somme des volumes sortis par l'ensemble des sections partielles durant toutes ces périodes de temps successives.

Ce que nous avons dit du point A se dirait de tout autre

point pris sur la partie maritime du fleuve. Les formules (1) et (3) s'appliquent donc en un point et à un profil quelconques de la partie maritime du cours d'eau.

On remarquera que cette méthode donne les quantités d'eau contenues dans le fleuve entre deux instants compris l'un et l'autre dans une même période de flot ou de jusant. Mais s'il y avait entre les heures t et t' un instant où le courant se renversât au profil en travers AE, il faudrait prendre le profil en long correspondant à l'heure de cet étale, et faire ensuite séparément, en tenant compte du nouveau profil en long, le calcul du volume d'eau introduit, puis celui du cube d'eau écoulé, ou inversement, entre les deux instants correspondant aux premiers profils donnés OPQC et LMNC.

Ce mode de calcul n'exige ni la connaissance des profondeurs du lit du fleuve en contre-bas des basses mers, ni celle de la vitesse d'écoulement de l'eau dans le profil considéré. Il ne demande que celle du débit des eaux du fleuve en amont de sa partie maritime, débit que l'on peut connaître d'avance par les moyens ordinaires.

Le calcul qui indique la quantité d'eau qui passe en AE entre les deux heures correspondant aux profils instantanés MNC et PQC (fig. 1) permet d'en déduire la vitesse moyenne pendant le même temps, dès qu'on connaît la section du cours d'eau. On obtient ainsi cette vitesse moyenne plus sûrement que par les procédés habituels.

Quand on ne possède pas en amont d'un point du fleuve A (fig. 3) les éléments nécessaires à l'application du mode de jeaugeage indiqué ci-dessus, on peut se servir de la méthode qui a été employée sur la 4e section de la Seine et que nous allons décrire sommairement.

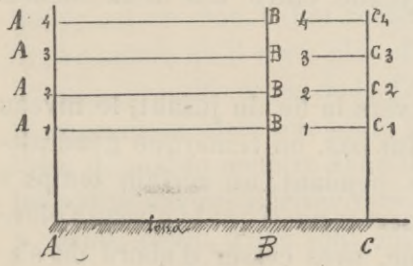


fig 3

Pour appliquer ce mode de calcul, on choisit deux ou plusieurs stations auprès du point A, telles que B. et C. et on lève un profil en travers de la rivière en face de chacune d'elles. On prend simultanément, à des heures fixées d'avance, les hauteurs d'eau à l'échelle hydrométrique de chaque station, et l'on a ainsi les éléments nécessaires pour permettre de calculer à chaque heure d'obser-

vation le profil en long instantané dans l'étendue du fleuve soumise à l'expérience. En reportant les hauteurs observées, avec leurs cotes, sur les profils en travers levés en face des stations, on peut avoir les augmentations ou les diminutions de volume de l'eau, pendant le temps correspondant, aux tranches $A_1A_2B_2B_1$, etc., et par suite le cube d'eau à un intervalle donné entre deux stations et pendant un temps fixé.

D'un autre côté, l'augmentation de volume constatée de A en C, ajoutée au cube d'eau écoulé à l'aval en A, est équivalent à celui qui s'est introduit dans la section C, d'amont. On obtient celui-ci par des jeaugeages faits par les moyens ordinaires aux mêmes instants que les observations entre A et C, ou dans des conditions toutes pareilles. L'on a ainsi, par une simple addition le volume d'eau écoulé par l'aval.

La division du volume trouvé en A, B ou C par le temps donne le débit correspondant par seconde, et la division de ce débit par la section mouillée du profil en travers fournit la vitesse moyenne qui correspond aux mêmes points.

Les profils en travers préparés d'avance facilitent ces opérations en les réduisant, pour chaque fois, à une observation à l'échelle d'amont, et à une mesure de la vitesse moyenne par les moyens ordinaires. Mais les vitesses, dans le même profil en travers d'une rivière maritime, variant à chaque instant de la marée, et, pour chaque instant, en chaque point du profil en travers, cette méthode est moins sûre que celle que nous avons d'abord décrite. Cela rend très utile d'avoir des observations faites sur toute la longueur de la partie maritime du cours d'eau.

Connaissant pour chaque point $A_1B_1C_1$, par l'une ou l'autre méthode, le volume d'eau écoulé entre deux instants donnés, on peut en conclure la vitesse moyenne entre ces deux mêmes instants.

Etales de jusant. — Lorsque, vers la fin du jusant, le niveau du fleuve atteint son niveau le plus bas, on remarque généralement que le courant continue pendant un certain temps à s'écouler vers la mer. On peut observer aussi que le niveau s'élève et que la pente des eaux diminue, sans cesser d'abord de s'abaisser vers l'aval. La pente devient ensuite nulle, puis s'incline en sens contraire vers l'amont. Les courants changent alors bientôt de sens et se renversent ; le flot succède ainsi au jusant.

L'étude de la propagation des ondes élémentaires de la marée

fait comprendre aisément ces phénomènes. Les ondes élémentaires les plus basses étant parties les premières de l'embouchure, arrivent aussi les premières au point considéré, s'il n'est pas trop éloigné de la mer, et y relèvent le niveau de l'eau. Il arrive un moment ou le courant de flot s'établit sur les bords de la rivière, tandis que le jusant s'observe encore au milieu. L'arrivée de nouvelles ondes élémentaires continue à faire monter l'eau, et renverse bientôt la pente vers l'amont. Le courant de flot s'établit alors sur toute la largeur du fleuve, dont l'eau remonte vers l'amont.

Mais pendant que ces faits se produisent, il est un moment où le débit vers l'amont est le même que celui vers l'aval. Ce moment, qui sépare la période du flot de celle du jusant, est celui de l'étale de jusant. C'est celui dont il s'agit de connaître l'heure, celui pour lequel il faut calculer le niveau du fleuve.

On conçoit aisément que le débit du fleuve et l'amplitude de l'onde marée aient une action considérable sur ces phémonènes. En temps d'étiage, la marée pénétrera d'autant plus loin dans le fleuve qu'elle aura un plus grand coefficient, et le retard de l'étale de jusant sur la basse mer sera plus court en vive eau qu'en morte eau. Le flot arrivant avec une plus grande vitesse en vive eau pourra supprimer ce retard, et l'eau qu'il apporte pourra même faire remonter une partie du flot sur la pente du fleuve inclinée vers l'aval. Un fait analogue se produit en mer, et spécialement dans la Manche, lorsque l'étale de jusant et le renversement du courant ont lieu à mi-marée sous l'impulsion due à la gravitation du soleil et de la lune. Le niveau de l'eau de la basse mer s'élève de $6^{m}09$ entre les méridiens de Brest et de Saint-Malo, sur environ 270 kilomètres, en remontant une pente de $0^{m}023$ par kilomètre. Lorsque la marée est faible et que le fleuve est en crue, le flot remonte moins loin dans la rivière, et il arrive même qu'il n'y a plus d'étale. C'est ce qui s'observe dans les plus grandes crues de la Loire, en face de Saint-Nazaire, où le courant persiste sur toute la surface de la rivière, tandis que l'eau de marée pénètre dans le fleuve par le fond. On voit alors les petits navires dériver vers la mer, tandis que les bâtiments à grand tirant d'eau sont entraînés vers l'amont.

Etales de flot. — De même que l'étale de jusant n'a généralement lieu qu'après la basse mer, l'étale de flot suit ordinairement la pleine mer. Quand l'eau commence à baisser, le courant

de flot persiste jusqu'au moment où la pente du fleuve s'est renversée et inclinée vers la mer. Cette règle n'est toutefois pas absolue, et dépend de la pente du fleuve dans lequel la marée se propage. Le 15 mars 1860, en morte eau (fig. 4 et 4 *bis*), l'étale de flot a précédé la pleine mer à Quillebœuf comme l'indique la figure 4, tandis que le 23 août 1856, également en morte eau,

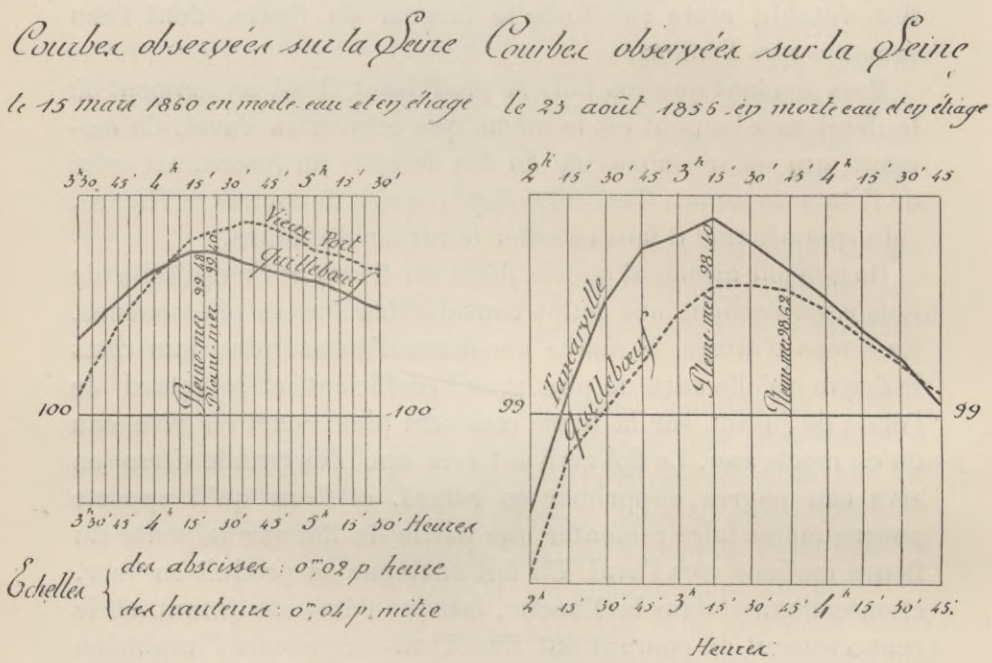


Fig. 4. Fig. 4 *bis*.

l'étale de flot à Quillebœuf a suivi l'heure du plein. La différence nous paraît tenir à la pente du fleuve : elle descendait assez rapidement vers l'aval le 15 mars 1860 du Vieux port à Quillebœuf comme l'indique le niveau des pleines mers, tandis qu'à Quillebœuf, le 26 août 1856, la marée était retenue par un rétrécissement de la Seine en aval, dû à la construction de la digue gauche du fleuve, et que la pente de Tancarville à Quillebœuf était nettement inclinée vers l'amont.

M. l'Ingénieur en chef Belleville a fait très justement observer que le moment des étales où les quantités d'eau s'écoulant les unes vers l'aval et les autres vers l'amont étaient égales, la vitesse moyenne du courant, au point pris pour faire les obser-

vations était nulle. On peut donc considérer l'instant où cette circonstance se produit comme étant l'heure même de l'étale.

D'un autre côté nous avons vu que l'on pouvait connaître la quantité d'eau écoulée au même point entre deux instants donnés, et en déduire la vitesse moyenne de cette quantité. Enfin si l'on veut avoir les différentes vitesses moyennes au même endroit pendant un certain temps, on peut les calculer, et en prenant pour abscisses les heures, et, pour ordonnées, les vitesses au milieu des intervalles de temps pour lesquels les vitesses ont été calculées, tracer la courbe des vitesses, en prenant les ordonnées positives pour le flot et les négatives pour le jusant. Les points où la courbe coupera la ligne des abscisses seront ceux où la vitesse sera nulle, et feront connaître l'heure des étales de flot et de jusant.

M. Belleville, en 1889, pour la Seine entre Rouen et la Risle, fit des recherches sur les étales de jusant. Il a trouvé [1] qu'en vive eau les étales coïncideraient avec les basses mers, de telle sorte que « les moments de l'arrivée du flot et du renversement de « la vitesse moyenne », ou de l'étale de jusant, « et de « la basse mer coïncident en chaque point ». En morte eau, la mer monte assez longtemps avant que le courant ne s'établisse vers l'amont. Pour la marée de morte eau pour laquelle les calculs ont été faits, le retard du renversement du courant sur la basse mer a été, en moyenne, d'une heure et quart. « L'écart va en augmentant de l'amont vers l'aval » et « la vitesse de propa- « gation du renversement du courant est à peu près la même « en vive eau » et en morte eau. M. Belleville a « appliqué à la « propagation du flot la formule $V = \sqrt{g\,(H + h)} - U$ et vérifié « la concordance du calcul et de l'observation pour la vive eau ». « Si, pour la morte eau on prend la vitesse de propagation de « l'étale de courant comme représentant la vitesse de l'onde, on « trouve que la formule s'applique encore ».

L'amplitude de l'onde marée, les changements qu'elle éprouve en remontant le fleuve et la profondeur du cours d'eau influent notablement sur les étales.

Evaluation des volumes d'eau introduits par la marée, ou débités par le jusant. — Les heures des étales limitant la durée du courant de flot et de celui du jusant sur un point donné, il

[1] Monographie du régime hydraulique de la Seine maritime, par M. Belleville, ingénieur des ponts et chaussées, Paris, 1889, p. 30 et 17.

sera facile d'évaluer les débits totaux de ces courants sur le même point au moyen des formules (1) et (3) en prenant les profils en long momentanés aux heures des étales au lieu des profils en long indiqués par les deux premières figures.

Quand on aura la série des observations ou des calculs qui permettent de tracer les courbes locales de la marée dans le fleuve à améliorer, il conviendra de chercher les heures des étales de flot et de jusant aux points convenables. Cette recherche exige que l'on calcule les vitesses, de quart d'heure en quart d'heure par exemple, aux abords du point où l'on présumera qu'elle sera nulle. Les feuilles de hauteur d'eau feront connaître la hauteur de la marée aux heures des étales et ces premières données permettront d'établir les tableaux de cubage dont il sera question plus loin.

On peut appliquer les formules (1) et (3) à l'évaluation de la quantité d'eau introduite par la marée dans un fleuve et de celle qu'il débite pendant le jusant qui suit. Pour la première évaluation, l'on devra prendre le profil en long momentané correspondant à l'heure de l'étale de jusant qui se produit au commencement du flot, et le profil de l'étale de flot qui répondra au moment où le courant de flot finit et où le second jusant commence. Pour évaluer le débit du fleuve pendant ce jusant, on prendra le profil de l'étale qui a lieu à l'heure où finit le courant de flot et celui de l'étale à l'instant où cesse le courant de jusant. En appliquant à ces profils les formules (1) et (3) et en prenant la différence des deux volumes sorti et entré l'on trouve :

$$V_s - V_i = [(S_1L_1 + S'_1L'_1 - s_1l_1) - (sl - SL)] + q\,(t'' - t) \quad (4)$$

Cette formule donne le moyen de vérifier les calculs faits avec des tableaux de cubage. Elle démontre, en effet, que l'excédent du volume V_s du jusant sur celui V_i du flot, diffère du débit du fleuve $q\,(t'' - t)$ pendant toute la marée, d'une quantité égale à la différence des volumes $(S_1L_1 + S'_1L'_1 - s_1l_1)$ et $(sl - SL)$.

Il arrive parfois que les profils instantanés correspondant aux deux étales de jusant sont identiques, et sont représentés l'un et l'autre (par exemple dans la figure 1), par une même ligne MNRC. Les volumes s et S qui indiquent des augmentations et des diminutions de cube pendant le flot, restent au jusant les mêmes, mais en indiquant s des diminutions et S des augmentations. La différence des quantités d'eau introduites et sorties est, dans ce cas, exactement égale au débit total du fleuve pendant la marée entière.

L'équation (4) devient alors :

$$V_s - V_i = qT \qquad (5)$$

en désignant par T la durée totale en secondes de la marée entre les heures des deux étales de jusant qui la comprennent.

Ce résultat est peu modifié quand les profils en long momentanés aux heures des deux étales de jusant ne diffèrent que de deux à trois centimètres.

La quantité d'eau V_i entrée depuis l'instant t jusqu'à l'instant t', par le profil en travers AE dont nous donnons ci-joint un croquis (fig. 5) a aussi pour expression :

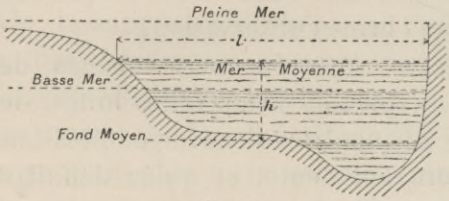


Fig. 5.

$$V_i = HLU\,(t' - t) \qquad (6)$$

H étant la profondeur moyenne entre les points M et P (fig. 1) et le fond, L la largeur moyenne du fleuve au même profil, U la vitesse moyenne du courant pendant le temps $(t' - t)$, et $(t' - t)$ la différence entre les heures t et t' où la marée se trouvera en M et en P (fig. 1). Si l'on désigne par y la différence de hauteur des deux mêmes points, et par p la profondeur du fleuve au-dessous du point M, on aura :

$$H = p + \frac{y}{2} \qquad (7)$$

Le volume d'eau V_i étant le même que celui dont la formule (1) donne une autre expression. L'on peut poser, en remplaçant dans l'équation (1) sl et SL par leur valeur :

$$(s_1l_1+s_2l_2+\ldots)-(S_1L_1+S_2L_2+\ldots)-q(t'-t)=\left(p+\frac{y}{2}\right)LU(t'-t). \qquad (8)$$

Si les données de la question permettent de calculer le premier membre de cette équation, elle donnera l'une des quantités p, L et U si les deux autres sont connues.

Remplissage et dégagement du lit d'un fleuve pendant les marées. — De la formule (4) on peut déduire, en thèse générale, que la différence entre les quantités d'eau que la marée fait entrer dans une rivière et celles qui en sortent gravite autour d'une moyenne qui se réalise parfois complètement et qui est égale au volume des eaux d'amont dues à la rivière elle-même.

La marée est un phénomène pour ainsi dire passager, qui laisse l'apport définitif du fleuve à la mer égal au cube d'eau produit par le bassin géologique qui lui donne naissance.

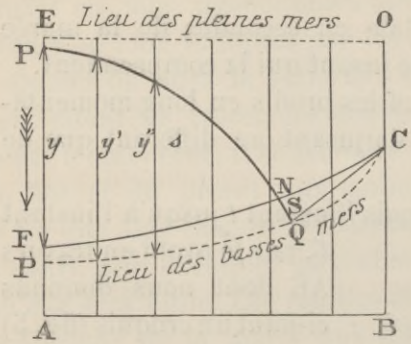


Fig. 6.

Pendant les vives eaux, la partie maritime de la rivière se remplit lorsqu'elle offre une section d'écoulement insuffisante, et elle se vide durant les mortes eaux. C'est ce que confirme l'observation.

Aux époques voisines des pleines et nouvelles lunes, les quantités d'eau introduites dans la partie maritime de la rivière augmente, et qu'en définitive cette partie du cours d'eau se remplit. L'inverse a lieu dans les marées voisines des quadratures.

Courbes locales et profils en long momentanés. — Les observations de hauteur d'eau faites aux diverses échelles hydrométriques établies le long d'une rivière se reportent habituellement sur des dessins graphiques où les abscisses indiquent les heures et les ordonnées, les hauteurs d'eau au-dessus d'un même plan de comparaison donné. L'on obtient ainsi, pour chaque échelle d'observations, une courbe locale particulière.

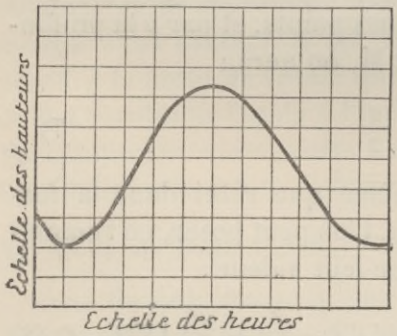


Fig. 7. — Courbe locale.

En prenant, pour toutes les échelles, les ordonnées de ces courbes pour une même heure et les reportant sur un profil en long du cours d'eau, l'on obtient le profil en long momentané de la rivière à l'heure que l'on a choisie.

L'étude de l'amélioration des rivières à marée par des digues longitudinales exige que l'on calcule les largeurs à adopter, les profondeurs et les vitesses que l'on doit avoir par les travaux projetés.

Ces quantités dépendent des débits totaux du flot ou du jusant aux divers points que l'on considère. Le flot dure, en un point

donné, depuis l'étale de jusant, qui se produit après la basse mer, jusqu'à l'étale de flot qui suit ordinairement la pleine mer ; le jusant s'établit à partir de l'étale de flot, et dure jusqu'à l'étale de la basse mer suivante. Nous avons indiqué (pages 4 et 5) [1] un moyen de déterminer, au moins approximativement, les heures d'étale, quand on a les courbes locales sur un cours d'eau.

Nous avons donné ci-dessus, par les formules (1), (3), (6) et (7), les moyens de calculer les débits entre deux moments donnés. Ces formules permettent de calculer les largeurs successives à adopter pour la partie maritime d'une rivière.

On la supposera divisée, de l'amont à l'aval en parties de largeurs croissantes comme l'indique la figure ci-dessous. On calculera ensuite les débits pour la période de flot parce qu'elle dure moins que le jusant et qu'elle donne en général des débits par seconde plus forts que ceux du jusant. En égalant le débit ainsi obtenu pour chaque profil à celui que donne la formule (3), on pourra calculer de proche en proche, en partant de l'amont, les largeurs cherchées.

Soient en effet (fig. 8). $l_1 l'_1 l''_1$..... les largeurs moyennes cherchées par les diverses sections.

$S_1''' S_1''$....., $S_2'' S_2'$.... $S_3 S_3$, S_4 les surfaces pour les abaissements indiqués par le profil en long.

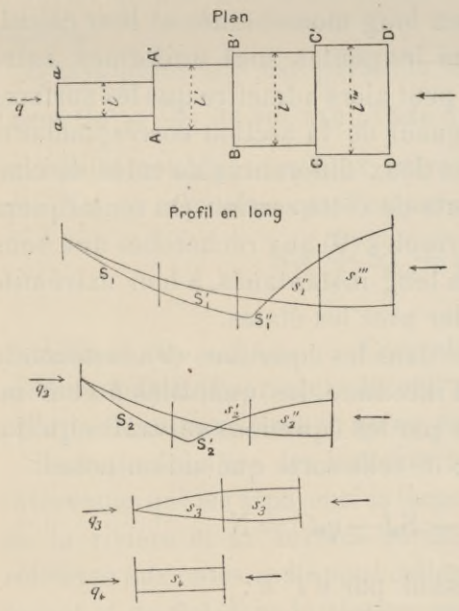


Fig. 8.

$s_1'' s'_1\ s_1 \ldots s'_2\ s_2$ les surfaces en exhaussements indiqués par les mêmes profils.

t, t', t'' les temps écoulés à l'origine aval de chaque section entre les étales de jusant et de flot.

q_1, q_2, q_3, les débits par seconde de la partie amont du fleuve durant l'intervalle des mêmes étales.

v_1, v_2, v_3, les vitesses moyennes dans les profils en travers.

h', h'', h''', les profondeurs moyennes dans les mêmes profils.

[1] Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

On aura pour les profils en long successifs :

$$\left.\begin{aligned} s_1'''l''' + s_1''l'' - S_1''l'' - S'_1l' - S_1l - q_1t''' &= h'''l'''v'''t''' \\ s_2''l'' + s'_2l' - S'_2l' - S_2l - q_2t'' &= h''l''v''t'' \\ s_3'l' + s_3l - q_3t' &= h'l'v't' \\ s_4l - q_4t &= hlvt \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

si l'on connaît les quantités t, v, h et q_4, s_4 on pourra calculer la largeur l par la dernière équation, puis l' par l'avant-dernière, et ainsi de suite jusqu'à l'''. On n'aura que des équations du premier degré, à une seule inconnue. On aurait, de la même façon, les profondeurs successives, ou les vitesses moyennes pour chaque section.

Il est à remarquer que si les quantités en h,v et t,S et s sont connues, si l'on se donne l'une des largeurs l, les autres s'en déduisent, et qu'il en est de même pour h, v et t. Il existe ainsi une certaine solidarité entre les diverses valeurs des formules. Prendre une première largeur, c'est se les donner jusqu'à la dernière, à moins que les autres quantités ne viennent à varier.

Il est évident que si les largeurs étaient données sur une certaine longueur par les conditions de la question, on en tiendrait compte dans les calculs ; les profondeurs ou les vitesses varieraient en conséquence.

Dans le dessin des profils en long momentanés et leur calcul, on suppose généralement que les pentes sont uniformes entre deux stations successives. On peut alors admettre que les surfaces $s_4s'_3s_2''s_1'''$ sont égales à la longueur de la section correspondante multipliée par la moyenne des deux différences de cotes de chaque profil prises aux deux bouts de cette section. On remarquera que pour l'application des formules (9) aux recherches que nous avons indiquées, les profils en long instantanés, à leur extrémité aval, doivent toujours coïncider avec les étales.

Il faut remarquer aussi que dans les équations (9), la seconde par exemple, si h'' où l'' est l'inconnue, les quantités h et h' ou l et l' ont dû être déterminées par les équations suivantes qu'il a fallu résoudre les premières ; de telle sorte que si l'on pose

$$s'_2l' - S'_2l' - S_2l - q_2t'' = N$$

l'équation se réduit en la divisant par $v''t''$ à :

$$\frac{s''_2}{v''t''}\, l'' + \frac{N}{v''t''} = h''l'' \qquad (10)$$

Cette équation est celle d'une hyperbole équilatère (fig. 8), dans laquelle les abscisses l'' seraient les largeurs et les ordon-

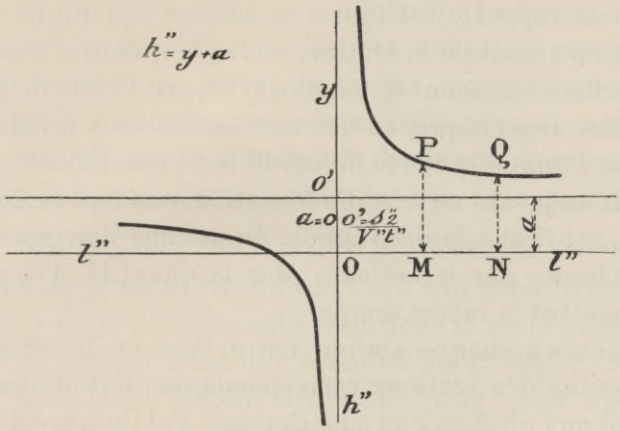


Fig. 9.

nées h'' les profondeurs. Elle fait voir que pour de petites largeurs OM comptées à partir de l'origine, une faible diminution de l'abcisse peut avoir sur la profondeur h'' un effet très notable, tandis qu'une variation semblablé pour les grandes largeurs ON n'aurait qu'une très faible action sur les profondeurs correspondantes.

L'asymptote O'B est parallèle à l'axe des l'' et à une distance $Oo' = \frac{s_2''}{V''t''}$ de cet axe ; l'axe des h'' est l'autre asymptote et la courbe sera dans les deux autres angles des asymptotes lorsque N sera négatif ou que l'on aura :

$$S'_2l' + S_2l + q_2t'' > s'_2l'$$

Tableaux de cubage. — Ces tableaux sont tous conçus sur le même modèle. Pour plus de clarté, nous citerons ceux dressés pour la Seine maritime et qu'on trouvera à la fin de ce volume.

Ils font connaître les largeurs à chacune des stations et les intervalles qui les séparent, la largeur moyenne de chaque section de la rivière et sa surface horizontale moyenne. Les colonnes relatives aux cotes indiquent celles prises aux heures d'étale de jusant et de flot dans la station considérée, et leurs différences. Les moyennes de ces différences figurent à la colonne suivante et indiquent la hauteur moyenne de l'eau dans chaque section.

Cette hauteur, multipliée par la surface horizontale de la section, fait connaître le volume d'eau qu'elle contient.

Le cube introduit par le flot en amont de la station à laquelle le tableau se rapporte est égal à la somme algébrique des volumes d'eau en amont de la station, moins la quantité d'eau déversée par le fleuve pendant le temps qui sépare l'étale de jusant de celui de flot. Des croquis et des métrés spéciaux accompagnent ces tableaux quand la clarté du calcul le demande.

Le débit du jusant en face d'une station, pendant la marée descendante, est égal à la diminution du volume correspondant en amont, indiquée par le tableau, plus la quantité d'eau fluviale écoulée pendant le même temps.

Les largeurs à chaque station entre Pose et Rouen et la largeur moyenne des sections correspondantes ont été fixées conformément aux chiffres que nous devons à l'obligeance de MM. les ingénieurs du service spécial de la navigation de la 3e section de la Seine. Nous ferons remarquer qu'ici les largeurs moyennes des sections indiquées sur le tableau de cubage n'ont pas été prises égales aux moyennes de leurs largeurs aux deux extrémités.

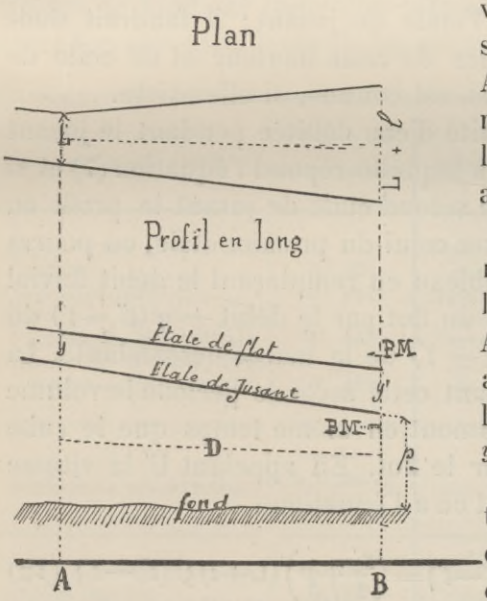
Au-dessous de Rouen, les largeurs du fleuve ont été calculées, pour chaque section, d'après les largeurs prises à chaque kilomètre, jusqu'à La Mailleraye, sur le plan au dix millième dressé par MM. les Ingénieurs de la 4e section de la Seine et publié par la Chambre de commerce de Rouen. Parfois les largeurs ont été calculées de manière à avoir une profondeur ou une vitesse moyenne voulues. Ces calculs seront expliqués dans chaque cas.

Si l'on jette les yeux sur les profils instantanés de la Seine dont les croquis sont joints à certains de ces tableaux, sur celui d'Oissel (1), par exemple. On voit que le mascaret se produit parfois à l'heure correspondant à l'étale de jusant du point considéré. Les profils instantanés aux deux heures d'étale de jusant et de flot peuvent se croiser quelquefois, et les petits calculs qu'exige l'évaluation du volume d'eau cherché peuvent s'insérer très aisément dans les tableaux de cubage.

Recherche des profondeurs. — Les volumes d'eau introduits par la marée une fois connus, on peut évaluer les largeurs ou les profondeurs à adopter pour la rivière, si l'on se donne d'avance sa vitesse moyenne, ou les vitesses moyennes qui résulteraient d'une largeur et d'une profondeur voulues. Quand la lar-

geur en est fixée par des considérations spéciales sur une certaine longueur, un tableau de cubage comme celui que nous venons d'examiner permet d'évaluer la quantité d'eau introduite dans cette partie du cours d'eau et en amont. Le premier membre de l'équation (8) ne renferme que des quantités connues. Dans le second membre on trouve la vitesse moyenne que l'on peut prendre égale à l'unité, par assimilation avec ce qui se passe dans la Gironde, et la profondeur moyenne h est égale à la somme de la demi-différence des cotes des deux profils momentanés en AE, soit à $\frac{5.10}{2}$ ou 2 m. 55, et de la profondeur du fond au-dessous de la cote (103.10) de l'eau qui correspond à l'étale de jusant [1]. Cette dernière cote reste donc la seule inconnue qu'il est facile de dégager dans une équation du 1er degré.

Si l'on cherche la largeur nécessaire pour avoir une profondeur voulue, au point B par exemple, on établira le même tableau en faisant abstraction de la largeur au même point et des surfaces et cubes qui leur correspondent ; on fera la somme algébrique des volumes, tant en exhaussement qu'en abaissement, provenant de toutes les sections situées au-dessus du point A. Soit V cette somme. Il restera à y ajouter le volume de la section du point A au point B.



Ce volume est égal à la moyenne de la largeur L de la station d'amont, au point A et, de la largeur $L + l$ au point B, multipliée par le produit de la moyenne $\frac{y+y'}{2}$ des différences des cotes des deux profils en A et en B, et par la distance D de ces deux points. En déduisant de ce volume total le débit du fleuve $q(t'-t)$ pendant le temps qui sépare les deux étales, on aura une première expression du volume d'eau introduit pendant le même temps dans la rivière en face du point B.

Si l'on remarque que la profondeur moyenne sur ce dernier

[1] Voir le tableau de cubage n° 3 de Rouen (amont) à (3 m. 20).

point est égale à la somme de la moitié de la différence y' des cotes en B et de la profondeur cherchée p, et si l'on désigne la vitesse moyenne par U, par $q(t'-t)$, la quantité d'eau introduite par le fleuve pendant le temps $(t'-t)$, on peut établir l'expression suivante, semblable à l'équation (8) :

$$V+\left(L+\frac{l}{2}\right)\left(\frac{y+y'}{2}\right)D-q(t'-t)=\left(\frac{y'}{2}+p\right)(L+l)\,U(t'-t) \quad (11)$$

toutes les quantités qu'elle renferme excepté l'accroissement l de largeur du point A au point B sont données par le tableau et l'on peut facilement déduire l de l'équation (11).

$$\frac{l}{2}=\frac{L\left(\frac{p+y'}{2}\right)U\,(t'-t)-V-DL\left(\frac{y+y'}{2}\right)+q\,(t'-t)}{D\left(\frac{y+y'}{2}\right)-(y'+2\,p)\,U\,(t'-t)} \quad (12)$$

Si l'on voulait avoir une profondeur donnée au-dessous de la basse mer, il faudrait bien remarquer que dans les équations précédentes la quantité p représente la profondeur au-dessous de l'origine M du profil en long, c'est-à-dire, dans le cas qui nous occupe, du niveau de l'étale de jusant; il faudrait donc tenir compte de la différence de cette hauteur et de celle de la basse mer qui, dans ce cas, est connue, si elle existe.

Si l'on cherchait la quantité d'eau débitée pendant le jusant qui suit la marée montante à laquelle répond l'équation (7) et si l'on suppose qu'à l'heure du second étale de jusant le profil en long momentané coïncide avec celui du premier étale, on pourra déduire ce cube du même tableau en remplaçant le débit fluvial $-q\,(t'-t)$ pendant la durée du flot par le débit $+\,q\,(t''-t')$ du fleuve pendant la durée $(t''-t')$ de la marée descendante. La rivière écoule en effet pendant cette seconde période le volume correspondant des eaux d'amont en même temps que le cube d'eau de marée apportée par le flot. En appelant U' la vitesse moyenne des eaux du jusant on a l'équation :

$$V+\left(L+\frac{l}{2}\right)\left(\frac{y+y'}{2}\right)D+q(t''-t')=\left(\frac{y'}{2}+p\right)(L+l)\,U'(t''-t') \quad (12)$$

En soustrayant l'équation (7) de l'équation (8), on aura la différence du volume d'eau qui s'écoule pendant le jusant et du cube d'eau introduit par le flot. On trouve :

$$q\,(t''-t)=\left(\frac{y'}{2}+p\right)(L+l)\left[U'(t''-t')-U(t'-t)\right] \quad (13)$$

Cette différence est donc égale à la totalité du débit des eaux fluviales pendant la durée de deux phases de la marée.

Cette quantité étant connue, on pourra déterminer U en fonction de U', ou réciproquement lorsque l'on aura calculé y' ou :

$$\left(\frac{y'}{2}+p\right)(L+l)$$

Détermination des vitesses moyennes. — La détermination des vitesses moyennes qui entrent dans les formules précédentes peut être faite de différentes façons. Elles doivent satisfaire, dans tous les cas, à la condition d'être telles que les matières mobiles qui passent dans le lit du fleuve soient mises en mouvement par les courants, et définitivement entraînées vers la mer.

L'action des courants pour entraîner les matériaux qui composent le fond des cours d'eau a été l'objet de nombreuses recherches.

Nous citerons d'abord le tableau suivant qui indique, d'après les expériences faites par Dubuat à la fin du XVIIIe siècle, les vitesses de fond par lesquelles commencent à être entraînés les divers terrains dans lesquels les canaux sont établis [1].

DÉSIGNATION DES MATIÈRES	Vitesses par seconde au fond	DÉSIGNATION DES MATIÈRES	Vitesses par seconde au fond
Argile brune propre à la poterie	0m,081	Gravier de la Seine, gros comme une fève de marais	0m,325
Gros sable jaune	0 217	Galets de mer arrondis de 0.027 de diamètre	0 650
Gravier de la Seine, gros comme un grain d'anis	0 108	Pierres à fusil anguleuses, de la grosseur d'un œuf de poule	0 975
Gravier de la Seine, gros comme un pois, au plus	0 189		

DÉSIGNATION DES MATIÈRES	Limites de la vitesse de stabilité.	DÉSIGNATION DES MATIÈRES	Limites de la vitesse de stabilité.
Terres détrempées brunes	0.076	Pierres cassées, silex	1.22
Argiles tendres	0.152	Cailloux agglomérés, schistes tendres	1.52
Sables	0.305	Rochers en couches	1.83
Graviers	0.609	Roches dures	3.05
Cailloux	0.614		

[1] *Recueil de tables à l'usage des Ingénieurs* par R. Genieys, Ingénieur en chef au Corps Royal des Ponts et Chaussées, Paris, 1835, p. 179.

Les études faites sur la Loire par M. Sainjon l'ont amené à évaluer de la manière suivante la grosseur des graviers entraînés par les vitesses de fond.

Vitesses de fond.....	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00
Grosseur des graviers.	0.0025	0.01	0.04	0.10	0.17	0.38	0.67

M. Sainjon a aussi remarqué que les sables de la Loire, du côté d'Orléans, commencent à être emportés dans la masse des eaux quand la vitesse de fond atteint 0,55 par seconde. Ils avancent alors à la fois par un roulement sur le lit et par leur mise en suspension dans l'eau. Cette vitesse de fond de 0,55 paraissait être une limite à leur mise en suspension dans l'eau.

Le meilleur moyen de trouver le chiffre à adopter est de choisir une rivière maritime bien étudiée et dans laquelle les pentes et les matériaux transportés vers la mer soient aussi semblables que possible à ceux du cours d'eau qu'on veut améliorer.

La Gironde. — La Garonne, la Dordogne et la Gironde peu-

Fig. 11.

vent être classées parmi les meilleurs types des grands cours d'eau qu'alimentent des terrains de nature moyennement perméables. Les matières que charrient la Garonne et la Dordogne

arrivent à l'état de sable fin dans la Gironde qui renferme en outre beaucoup de vase. L'amplitude des marées à l'embouchure de la Gironde est d'environ 5 m. 50 en vive eau et de 3 m. 90 en morte eau. La pente du lieu géométrique des basses mers, sur 97 kilomètres du pont de Bordeaux à la pointe de Grave est d'environ 0 m.70 ou de 0 m. 007 par kilomètre, en étiage ; celle du lieu des pleines mers est presque nulle dans les mêmes conditions.

Les vitesses moyennes des courants ont été calculées sur la Gironde pendant la marée de vive eau du 19 septembre 1876. Il résulte des calculs auxquels cette marée a donné lieu et que nous avons cités ailleurs [1] que les vitesses moyennes ont été celles qui sont inscrites au tableau suivant. Les profondeurs qui y figurent sont prises en contre-bas du niveau moyen de la marée.

DÉSIGNATION des STATIONS	DISTANCES ENTRE LES STATIONS	PROFONDEUR A MI-MARÉE		VITESSES MOYENNES	
		de flot	de jusant	de flot	de jusant
Pointe de Grave	.....	18.92	18.93	0.984	1.009
	22.950				
2 kil. en amont de Richard	.....	6.30	6.04	0.991	0.770
	7.400				
By	.....	6.41	6.29	0.982	0.889
	9.650				
La Maréchale	.....	7.04	6.89	1.082	0.783
	2.850				
Mapon	.....	7.59	7.47	1.062	0.767
	10.150				
Pauillac	.....	5.82	5.68	0.935	0.673
Totaux	53.000	52.08	51.30	6.036	4.891
Moyennes	.....	8.68	8.55	1.006	0.8151

Cet exemple fait voir que, pendant le flot, la vitesse moyenne ne varie guère dans le vaste estuaire de la Gironde et que la profondeur de 18,92 ne change pas beaucoup cette quantité auprès de la pointe de Grave pendant le flot. Il y a là une différence notable avec le jusant.

Le chiffre de 1,006 correspond à une vitesse de 1 m. 26 à la surface et de 0,82 au fond pour une profondeur de 8 m. 55. Cette vitesse de fond et la vitesse moyenne du jusant qui répond à

[1] *Etude sur les rivières à marée et sur les estuaires*, Paris, 1892, page 38.

une vitesse de fond de 0,67 assurent l'entraînement des sables par les courants.

La Loire. — Le bassin de la Loire [1], très différent de celui de la Gironde, est en grande partie composé de terrains primitifs ou imperméables. Le régime de cette rivière est torrentiel. Elle charrie de grandes quantités de sable. La pente moyenne totale du lieu géométrique des basses mers de Saint-Nazaire à Nantes sur 51.500 m. en vive eau, a été, le 8 février 1860, d'environ 6 m. 37 ou de 0,1236 par kilomètre. Les bancs de vase commencent à paraître au-dessous de Nantes. La marée monte à Saint-Nazaire de 5 m. 50 en vive eau et de 3 m. 90 en morte eau.

Formules de l'hydraulique fluviale. — On peut aussi calculer les vitesses moyennes à adopter, par les formules de l'hydraulique fluviale.

Ce sont, pour la plupart, des formules empiriques, par lesquelles on a tâché de représenter les résultats obtenus par de longues et nombreuses expériences. Ces formules méritent confiance, parce qu'elles peuvent se justifier par l'observation, et, le plus souvent, aussi par l'analyse mathématique. Il faut remarquer aussi que celles qui sont dues à l'analyse seule ne sauraient être vraies si elles étaient en désaccord avec les faits observés. Les formules de l'hydraulique fluviale que nous citerons sont extraites des « Recherches hydrauliques » [2] faites par MM. Darcy et Bazin et d'autres savants.

Ces formules sont les suivantes.

La première est :

$$\frac{HI}{U^2} = 0.00028 + \frac{0,00035}{H} \qquad (14)$$

qui peut s'écrire, en posant

$$0,00028 = \alpha, \quad \text{et} \quad 0,00035 = \beta,$$

$$\frac{HI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{H},$$

ou

$$U = H\sqrt{\frac{I}{\alpha H + \beta}} \qquad (15)$$

[1] Atlas : Extrait de la carte de France.

[2] *Recherches hydrauliques*, par MM. Darcy et Bazin, Paris, 1865, première partie, p. 142.

Elle donne une relation entre la profondeur H, la pente I et la vitesse moyenne U [1].

Nouvelle formule de M. Bazin. — Les hydrauliciens qui se sont occupés de recherches sur l'écoulement des eaux dans les canaux découverts, et, par assimilation, dans les cours d'eau, se sont généralement servis d'observations faites dans des canaux de petites dimensions. Les expériences qui ont servi de base à la formule (15) que nous venons de citer ont été faites surtout dans une rigole de 2 m. 00 de large et de 0 m. 95 de profondeur, dérivé du canal de Bourgogne.

M. Bazin a poursuivi ses études en se fondant sur des observations faites sur des rivières, aussi bien que sur des canaux. De très nombreuses expériences ont été entreprises sur le Weser, le Rhin, la Seine, le Missouri, le canal du Gange et sur d'autres canaux et rivières, et M. Bazin en a conclu à l'adoption de la formule suivante :

$$U = \frac{87\sqrt{RI}}{\left(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}\right)} \qquad (16)$$

U étant la vitesse moyenne en un point du canal, I sa pente par mètre courant, R le rayon moyen de la rivière ou sa section divisée par le périmètre mouillé, et γ un coefficient qui dépend de la nature des parois.

On peut attribuer à ce coefficient les valeurs ci-après, suivant la catégorie des parois :

Cat. 1. Parois très unies (ciment, bois raboté, etc.). $\gamma = 0{,}06$

Cat. 2. Parois unies (planches, briques, pierres de taille). . . . . $\gamma = 0{,}16$

Cat. 3. Parois en maçonneries de moellons . . . $\gamma = 0{,}46$

---

[1] La supériorité de cette équation sur d'autres applicables aux rivières est aujourd'hui reconnue, comme le démontre notamment un renseignement emprunté à l'un des ouvrages de M. l'ingénieur Fournié.

« Nous pouvons citer, dit-il, comme vérification intéressante, le fait suivant : le « service de la navigation de la Meuse améliore cette rivière en aval de Verdun « au moyen de lits d'étiage, établissant des chenaux navigables que la rivière « creuse elle-même jusqu'à ce qu'il se forme un état nouveau de régime. Il est de « la plus haute importance d'être en état de prévoir avec exactitude pour un écarte- « ment donné de digues, l'approfondissement du chenal et le nouveau profil en long « de la rivière en eaux ordinaires. Or, l'expérience avait conduit les Ingénieurs de « ce service à frapper d'un coefficient égal à 0,72 le résultat de la formule de « Prony. L'application de la formule de Bazin a donné un résultat identique à celui « de l'expérience. » (Extrait du rapport de M. Lechalas du 25 juillet 1869 sur la transformation de la Basse-Loire, publié par la Chambre de commerce de Nantes).

Cat. 3*bis*. Catégorie intermédiaire, comprenant les parois de nature mixte, sections de terre très régulières ou revêtues de pierres, etc. $\gamma = 0,85$

Cat. 4. Canaux en terre dans des conditions ordinaires $\gamma = 1,30$

Cat. 5. Canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle . . . . . $\gamma = 1,75$

Des tables spéciales, jointes au mémoire de M. Bazin, donnent pour chaque catégorie le résultat des expériences qui ont servi de base au calcul de ces coefficients.

Cette formule peut s'écrire sous la forme suivante :

$$U = \frac{87R\sqrt{I}}{\gamma + \sqrt{R}} \qquad (17)$$

qui nous paraît plus facile à calculer.

L'équation suivante :

$$D = LHU \qquad (18)$$

permet de calculer le débit D, en fonction de la largeur L, de la profondeur H et de la vitesse moyenne U.

M. Bazin ayant donné la vitesse v en un point quelconque d'une verticale en fonction de la vitesse maxima V :

$$v = V - 24\sqrt{HI}\left(\frac{h}{H}\right)^2 \qquad (19)$$

h étant la profondeur, au-dessous de la surface, de la molécule animée de la vitesse v, on en tire pour la vitesse W au fond, où $h = H$:

$$W = V - 24\sqrt{HI} \qquad (20)$$

M. Bazin a également indiqué les relations suivantes entre la vitesse maxima V et la vitesse moyenne U, et entre cette dernière vitesse et la vitesse au fond [1] :

$$V - U = 14\sqrt{HI} \qquad (21)$$

et :

$$W = U - 10\sqrt{HI} \qquad (22)$$

En éliminant I et U entre ces formules, l'on arrive à l'équation :

$$L^2W^2H^3 - 2DLWH^2 + D^2(1 - 100\alpha)H - 100D^2\beta = 0 \qquad (23)$$

[1] *Recherches hydrauliques*, etc., p. 157 etc.

Elle peut servir à déterminer l'une des quantités L, H, W et D, si les autres sont connues, et à calculer ensuite la pente I, et la vitesse moyenne U.

Les formules (15), (21) et (22) permettent d'exprimer chacune des trois valeurs, V, U et W en fonction des deux autres.

Si l'on élimine HI entre les équations (15) et (22), on trouve :

$$U^2 \left[1 - 100\left(\alpha + \frac{\beta}{H}\right)\right] - 2UW + W^2 = 0 \qquad (24)$$

En posant pour simplifier :

$$1 - 100\left(\alpha + \frac{\beta}{H}\right) = m,$$

elle devient :

$$W^2 - 2UW + m\,U^2 = 0 \qquad (25)$$

en la résolvant par rapport à W et en remarquant que la vitesse de fond est nécessairement plus petite que la vitesse moyenne en raison des frottements, on trouve :

$$W = U\left(1 - \sqrt{1 - m}\right) \qquad (26)$$

On a de même :

$$U = W\left(\frac{1 + \sqrt{1 - m}}{m}\right) \qquad (27)$$

Des deux équations (21) et (22) on déduit aisément, en éliminant $\sqrt{HI}$, l'expression très simple qui suit entre les trois vitesses:

$$5\,V + 7\,W = 12\,U \qquad (28)$$

En y remplaçant W par sa valeur en U, l'on a :

$$V = U\left(1 + \frac{7}{5}\sqrt{1 - m}\right) \qquad (29)$$

En substituant au contraire à U, dans la même équation (26), sa valeur tirée de l'équation (25) en W, l'on trouve :

$$V = W\left[\frac{12}{5m}\left(1 + \sqrt{1 - m}\right) - \frac{7}{5}\right] \qquad (30)$$

En nommant A B et C les coefficients de W et V, l'on a :

$$\left.\begin{array}{lll} W = AU & \text{et} & U = \frac{1}{A}W \\ V = BU & \text{et} & U = \frac{1}{B}V \\ V = CW & \text{et} & W = \frac{1}{C}V \end{array}\right\} \qquad (31)$$

Les coefficients :

$$A = 1 - \sqrt{1 - m}$$

$$B = 1 + \frac{7}{5}\sqrt{1 - m} \text{ et } c = \frac{12}{5m}\left(1 + \sqrt{1 - m}\right) - \frac{7}{5}$$

donnent lieu à cette remarque que :

$$A = 1 - 10\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{H}}$$

$$B = \frac{12 - 7A}{5} \text{ et } C = \frac{V}{W} = \frac{B}{A} \qquad (32)$$

Tableau des valeurs relatives des vitesses au fond, à la surface, et moyennes. — Ces coefficients variant avec la profondeur H, nous en donnons, dans un tableau spécial (tableau ci-contre) la valeur pour des profondeurs de 0 m. 10 à 20 mètres.

Ce tableau fournit immédiatement les deux vitesses correspondantes à la troisième quand celle-ci est égale à l'unité ; ainsi pour une profondeur de 6 m., la vitesse moyenne U de 1 m. répond à une vitesse de 0 m. 8161 au fond et de 1 m. 2575 à la surface, une vitesse au fond W de 1 m. correspond à une vitesse moyenne de 1,2254 et une vitesse de 1 m. 5409 à la surface. Si l'on veut connaître les vitesses moyenne et de surface répondant à une vitesse de fond de 0 m. 60 avec la même profondeur de 6 m. on n'a qu'à multiplier ces deux derniers chiffres par 0,60 et l'on a U = 0,73 et V = 0,92.

Ceci nous donne un nouveau moyen d'évaluer la vitesse à adopter dans le calcul de la formule (6). Il consiste à faire, en raison de la résistance à l'entraînement des matériaux composant le lit du fleuve, l'estimation de la vitesse de fond W à la profondeur que l'on suppose devoir être atteinte. Cette quantité multipliée par les coefficients $\frac{1}{A}$ et C donnera les valeurs des vitesses moyennes U et de surface V, quand la profondeur sera connue ou pourra être appréciée approximativement d'avance.

Supposons que la hauteur moyenne à prévoir soit de 15 m. à La Mailleraye et que le sable du fond ne soit entraîné que par une vitesse de fond de 0 m. 55, on trouvera que la vitesse moyenne serait de 0,666 et la vitesse à la surface de 0,828.

Si l'on a choisi la vitesse moyenne sur des exemples pris sur des rivières à marée comparables, ce qui serait peut-être mieux, on pourra vérifier si cette vitesse assurera le mouvement des

Tableau des valeurs relatives de la vitesse moyenne (U) et des vitesses à la surface (V) et au fond (W) pour des profondeurs (H) de dix cent. à 20 m.

Vitesse au fond $W = AU$, ou $W = \frac{1}{C}V$ avec $A = 1 - 10\sqrt{\alpha + \frac{B}{H}}$

Vitesse moyenne $U = \frac{1}{A}W$. ou $U = \frac{1}{B}V$ avec $B = \frac{12 - 7A}{5}$

Vitesse à la surface $V = BU$, ou $V = CW$ avec $C = \frac{B}{A}$

H	A	B	C	$\frac{1}{A}$	$\frac{1}{B}$	$\frac{1}{C}$
0 m 10	0.3851	1.8607	4.8331	2.5976	0 5373	0.2069
0 , 20	0.5495	1.6308	2.9680	1.8200	0.6132	0.3369
0 , 30	0.6196	1.5325	2.4730	1.6139	0.6525	0.4044
0 , 40	0.6601	1.4758	2.2358	1.5149	0.6776	0.4473
0 , 50	0.6869	1.4383	2.0939	1.4558	0.6953	0.4776
0 , 60	0.7067	1.4106	1.9960	1.4150	0.7089	0.5010
0 , 70	0.7207	1.3910	1.9301	1.3875	0.7189	0.5181
0 , 80	0.7322	1.3749	1.8777	1.3657	0.7273	0.5325
0 , 90	0.7418	1.3615	1.8354	1.3481	0.7245	0.5449
1 m.	0.7490	1.3514	1.8043	1.3351	0.7400	0.5543
2 m.	0.7867	1.2986	1.6507	1.2702	0.7701	0.6058
3 m.	0.8008	1.2790	1.5971	1.2488	0.7819	0.6261
4 m.	0.8083	1.2684	1.5692	1.2372	0.7884	0.6373
5 m.	0.8129	1.2619	1 5523	1.2301	0.7925	0.6442
6 m.	0.8161	1.2575	1.5409	1.2254	0.7952	0.6490
7 m.	0.8183	1.2543	1.5327	1.2220	0.7973	0.6524
8 m.	0.8201	1.2519	1.5266	1.2194	0.7988	0.6551
9 m.	0.8214	1.2500	1.5218	1.2174	0.8000	0.6571
10 m.	0.8225	1.2485	1 5180	1.2159	0.8010	0.6588
11 m.	0 8234	1.2472	1.5147	1.2144	0.8018	0 6602
12 m.	0.8241	1.2462	1.5121	1.2134	0 8024	0.6613
13 m.	0.8248	1 2453	1.5098	1.2124	0.8030	0.6624
14 m.	0.8254	1.2445	1.5078	1.2116	0.8035	0.6631
15 m.	0.8259	1.2438	1.5061	1.2109	0.8040	0.6640
16 m.	0.8263	1.2432	1.5046	1.2103	0.8044	0 6647
17 m.	0.8267	1.2427	1.5033	1.2097	0.8047	0.6652
18 m.	0.8271	1.2421	1.5007	1.2090	0 8051	0.6659
19 m.	0.8273	1.2419	1.5012	1.2088	0.8052	0.6661
20 m.	0.8275	1.2415	1.4969	1.2057	0.8055	0.6665

sables et leur entraînement vers la mer. C'est ainsi qu'une vitesse moyenne de 1 m., comme celle que nous avons été conduits, par l'exemple de la Gironde, à adopter pour les courants de flot à prévoir sur la Seine transformée, avec une profondeur moyenne de 15 m. à mi-marée, donnerait une vitesse de fond de 0 m. 8259. Comme elle dépasse la vitesse moyenne nécessaire pour entraîner en suspension dans la masse d'eau du fleuve un sable analogue à celui de la Loire à Orléans, l'erreur que l'on pourrait commettre en prenant une vitesse moyenne U de 1 m., ne pourrait qu'amener une érosion du lit, c'est-à-dire une profondeur moyenne de plus de 15 m. à mi-marée, et une situation meilleure.

Avec les formules qui précèdent on pourra connaître le débit de la partie maritime d'une rivière en un point quelconque de son cours entre deux instants donnés, et cela pourra suffire pour projeter les travaux qui n'auront pas d'action sensible sur le régime des marées de ce cours d'eau. Mais il en sera tout autrement quand ce régime devra être modifié. Dans ce cas, il sera très essentiel d'étudier les changements que l'onde marée pourra subir quand les ouvrages à projeter auront été faits. Nous indiquerons dans le chapitre suivant la méthode qu'on peut adopter pour les connaître, au moins approximativement, et le moyen de déterminer, dans le cas le plus général, les largeurs nécessaires pour obtenir une profondeur voulue. Les distances entre les digues seront alors les inconnues de la question. Les mêmes formules donneront les profondeurs quand les largeurs du fleuve seront fixées à l'avance.

Propagation des ondes en mer. — Nous ne croyons pas devoir reproduire ici les observations sur la propagation des ondes en mer, qui ont été publiées par M. l'inspecteur général Comoy dans son intéressant ouvrage sur les marées fluviales [1], mais nous résumerons seulement deux points intéressants qui peuvent servir à étudier le régime des marées à l'embouchure des fleuves et qui ont trouvé leur application pour la Seine, comme on le verra plus loin.

M. Comoy considère d'abord le cas où le profil en long instantané de l'onde marée est une sinusoïde régulière et où cette onde

[1] *Etudes pratiques sur les marées fluviales et notamment sur le mascaret* par M. Comoy, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, commandeur de la Légion d'honneur, Paris, 1881, pages 75 à 77, 93 et de 93 à 98.

se propage en conservant la même forme (fig. 12), la ligne pleine représentant le profil de l'onde en un moment donné et la ligne pointillée, son profil après un temps assez court, *t*. L'onde est prise suivant son sommet S sur une largeur d'un mètre.

Au bout de l'intervalle de temps *t* la masse des eaux a été augmentée du côté de la marée montante, du volume ayant pour section la figure M'BL'*b*', et elle a été diminuée du côté de la marée descendante du volume dont la section est la figure MAL*a*.

L'accroissement de volume du côté du gagnant de l'onde est égal à la diminution de volume du côté du perdant. Les aires des deux figures que nous venons de définir sont par conséquent égales. Il s'opère pendant le temps *t* un échange de liquide, à volume égal entre le gagnant et le perdant de l'onde.

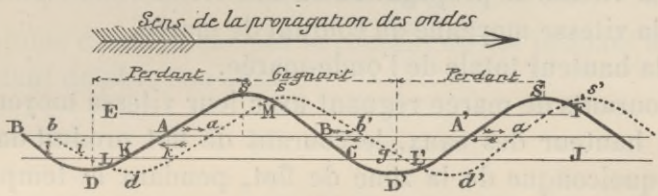


Fig. 12.

Cet échange de liquide doit se faire conformément à la loi de la moindre action, qui assurera au volume déplacé la plus petite longueur possible de transport. Cette condition ne peut être satisfaite que si l'eau expulsée du côté du perdant se partage en deux parties; l'une MA*a* dans le sens de la marche de l'onde pour participer à l'accroissement du gagnant de la même onde en MB'*b*', et l'autre A*a*L en sens contraire pour contribuer à former l'accroissement B*b*L du gagnant de l'onde suivante.

Dans l'hypothèse admise d'une onde sinusoïdale régulière, la distance de transport des volumes déplacés sera la moindre possible si la ligne qui sépare les eaux du perdant se dirigeant en sens contraire est placée au niveau moyen de la mer. C'est donc, dans l'hypothèse admise, à ce niveau que les courants de flot et de jusant doivent se renverser, c'est-à-dire à mi-marée que se placent alors les étales de flot et de jusant.

Les courants provoqués par la propagation de l'onde-marée pendant le flot et le jusant ont une vitesse beaucoup plus faible que celle de cette propagation elle-même.

Les eaux de la mer sont mises en mouvement sur toute leur

hauteur par la propagation des ondes marées. Les courants ainsi produits ont pour objet d'amener, dans la partie où la marée monte, un certain volume d'eau provenant de la partie où la marée descend ; ce volume d'eau devant remplir l'espace entre les deux courbes instantanées du gagnant de l'onde au commencement et à la fin du temps t que l'on considère.

Rappelons que le volume d'eau formant l'accroissement du gagnant provient, pour moitié, du perdant de la même onde et se trouve amené par un courant de flot ; l'autre moitié, fournie par le perdant de l'onde précédente, est amenée par un courant de jusant.

Prenons les notations dont nous nous sommes servis jusqu'ici, et appelons :

p la profondeur de la mer,
K la vitesse de propagation ou célérité de l'onde-marée,
U la vitesse moyenne du courant de marée,
y' la hauteur totale de l'onde-marée.

Les courants de marée régnant avec leur vitesse moyenne sur toute la hauteur des eaux, le courant de flot produit dans une section quelconque de la zone de flot, pendant le temps t, un débit qui, par mètre courant de l'arête de l'onde, est représenté par l'expression pUt.

Si la courbe du gagnant est passée dans ce même temps en vertu de la célérité de l'onde de la position SD′ à la position sd' (fig. 12), l'accroissement du gagnant par mètre courant de l'onde-marée sera représenté par la surface MD′L′s, et cette surface est partagée en deux parties d'aires égales par la ligne B′b' ou de mi-marée qui marque aussi la position de l'étale de flot.

Le volume correspondant à la surface MB′$b's$ étant celui auquel le courant de flot doit pourvoir pendant le temps t, un volume égal doit s'écouler pendant le même temps dans chaque section transversale du courant de flot. En égalant l'expression pUt de ce volume écoulé à celle du volume donné par la surface MB′$b's$ sur un mètre courant d'arête de l'onde-marée l'équation ainsi obtenue donnera la valeur de U.

Les formes variables et souvent compliquées des courbes instantanées de l'onde-marée, à l'origine et la fin du temps t rendent parfois l'expression de la surface MB′$b's$ très difficile à établir, mais on peut trouver cette valeur par un moyen différent.

Supposons toujours le cas d'une onde de forme sinusoïdale régulière, ne changeant pas de forme en se propageant.

L'expression qui représente alors la surface MB'*b's* est donnée par une expression simple.

Cette surface est en effet à très peu près égale à celle du quadrilatère SK*ks*, le total étant diminué du demi-segment SB'K, et du petit triangle SM*s*. Les deux demi-segments et *sb*'K étant égaux et le petit triangle SM*s* tout à fait négligeable, il reste :

$$\text{surface MB}'b's = \text{surface SK}ks.$$

Or, dans le quadrilatère SK*ks*, la base est égale à la quantité K*t* dont l'onde a marché pendant le temps *t* avec la célérité de propagation K soit à K*t*, et la hauteur est égale à la demi-hauteur de l'onde on a $\frac{y'}{2}$. Le volume de la partie de l'accroissement du gagnant pendant le temps *t* qui correspond au courant du flot est donc représenté par l'expression $Kt\,\frac{y'}{2}$

Le volume d'eau amené par le courant de flot pendant le même temps étant de *p*U*t*, l'on aura :

$$pUt = Kt\,\frac{y'}{2}$$

d'où :

$$\frac{U}{K} = \frac{y'}{2p} \qquad (33)$$

La vitesse du courant de flot et la célérité de propagation de l'onde sont donc entre elles dans le rapport de la demi-hauteur de l'onde-marée à la profondeur de la mer, ou, en d'autres termes, que la hauteur de l'onde marée au double de la profondeur de la mer.

M. Comoy ajoute que les hauteurs y' et p varient en sens contraire l'une de l'autre.

Ces résultats sont intéressants, et la formule (33) permet d'étudier la propagation des courants de marée aux abords de l'embouchure des fleuves. Nous en donnons un exemple p. 53.

CHAPITRE II

DÉTERMINATION DU RÉGIME FUTUR D'UN COURS D'EAU MARITIME

Lorsqu'on se propose d'améliorer une rivière maritime ou l'accès d'un port situé sur ses rives, on doit commencer par arrêter les conditions qu'elle devra remplir en ce qui concerne le rayon des courbes et des profondeurs de son lit. Nous admettrons que son tracé ait été fixé d'une façon telle qu'il se prête aisément à toutes les conditions voulues pour les plus grands navires qui puissent un jour y venir. Nous supposerons aussi qu'on se soit assuré par des forages que le lit rectifié reposera sur des fonds affouillables, ou qu'on ne rencontrera que des terrains faciles à draguer. Tout étant préparé de la sorte, on demande ce que sera le nouveau régime des marées dans ce cours d'eau, et quelles sont les largeurs à lui assigner pour obtenir et maintenir les profondeurs nécessaires en amont d'un point donné, que nous supposerons voisin de la mer.

Pour répondre à cette question, on prendra le profil en long du fond de la rivière tel qu'on désire l'obtenir, et l'on choisira une pleine mer de vive eau dont la courbe locale aura été observée au point donné, que l'on prendra pour origine du profil. On étudiera ensuite, d'après les circonstances locales, soit les exemples de cours d'eau connus, soit, par les formules de l'hydraulique, les lieux géométriques des pleines et des basses mers de cette marée après les améliorations projetées. Nous donnerons plus loin des exemples de ces recherches.

Supposons donc que la figure 13 représente le profil en long de la partie maritime du fleuve, et la courbe locale d'une marée de vive eau au point A, supposé près de son embouchure. Cherchons à déterminer les courbes locales aux points successifs B, C, D, E de son cours. Ces courbes donneront les profils en long momentanés à tout instant voulu.

Nous admettrons, pour cela, que lorsqu'une marée atteint, en ce profil A, une cote telle que m, elle donne naissance en ce point et à cette cote à une petite onde ou intumescence élémentaire qui se propage vers l'amont sur les ondes précédentes. Cette petite onde est positive et correspond à un exhaussement durant la marée montante comme en m, ou négative comme nn et répond alors à un abaissement pendant la marée descendante. L'ensemble de ces petites ondes produit le phénomène de la marée telle qu'on l'observe.

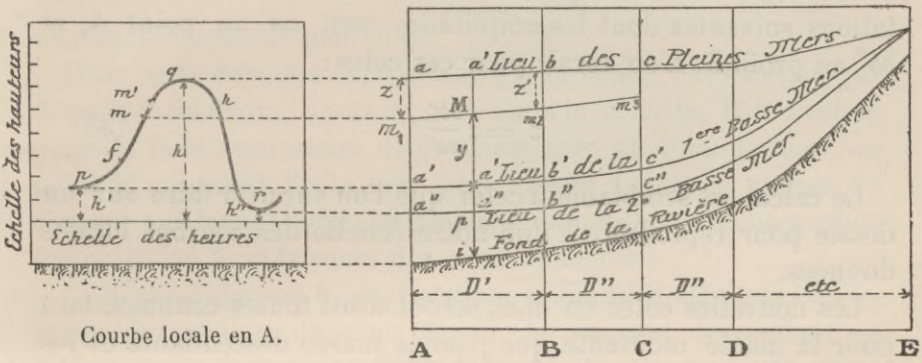


Fig. 13.

Examinons ce que deviendront les petites ondes successives quand elles seront parvenues à une autre station B située en amont de la première, et le temps qu'elles mettront à y parvenir. Ces questions une fois résolues, on aura pour cette nouvelle station B, l'heure et la hauteur de chaque cote. On pourra tracer ainsi les courbes locales de la marée pour toutes les stations, et par suite, connaître à toute heure le profil en long momentané de l'onde-marée qui pénètre dans le fleuve. On en déduira, par la méthode indiquée dans le premier chapitre, les débits, les sections et les largeurs à adopter en chaque point.

On devra étudier séparément la marée montante et la marée descendante, parce que les différences de hauteur de la pleine mer et des deux basses mers qui la précèdent et qui la suivent, c'est-à-dire leurs amplitudes, ne sont généralement pas les mêmes.

Prenons à des intervalles de temps égaux les cotes successives f et m de la courbe locale de la marée montante du profil A (fig. 13). Si la marée se propage d'une façon régulière, ce que nous supposerons, ces cotes se répartiront sur le profil B d'une façon analogue à celle où elles sont observées au point A. Mais

l'amplitude bb' n'étant pas la même en B qu'à la première station, nous admettrons que ces cotes se répartiront sur aa' et bb', proportionnellement aux deux amplitudes. Si donc z représente la différence de hauteur am_1 de la pleine mer et de la cote m, en A, nous admettrons qu'en B la même différence z' ou bm_2 soit donnée par la formule :

$$z' = z\frac{bb'}{aa'} \qquad (34)$$

Il en serait de même pour la marée descendante et les ondulations suivantes dont les amplitudes sont aa'' au point A, et bb'' au profil B. L'on aurait pour ces cotes :

$$z'' = z\frac{bb''}{aa''} \qquad (35)$$

Ce calcul est semblable à celui que l'on aurait à faire sur un dessin pour reproduire à une autre échelle des courbes locales données.

Les nouvelles cotes en m_2m_3 seront ainsi toutes connues, tant pour la marée montante que pour la marée descendante et les petites ondes élémentaires de la courbe locale pqr suivant des trajectoires telles que m_1m_2.

L'heure où l'on a relevé chaque cote au profil d'origine A étant connue, et cette heure étant celle où l'onde élémentaire correspondante commence à se propager vers l'amont, il faut calculer le moment auquel elle arrivera à chaque station de la partie supérieure du fleuve.

Cet instant s'obtient en ajoutant à l'heure où elle est partie de la station d'origine A, ou bien où elle est parvenue à une station B par exemple, déjà calculée, le temps qu'elle doit mettre à se propager jusqu'à la station suivante C. Ce temps s'obtient en divisant la distance D qui sépare les deux stations par la célérité de propagation de l'onde par seconde.

Cette célérité dépend de la profondeur moyenne du fond dans l'intervalle des deux stations. La petite onde partant du point m ou m_1 par exemple (fig. 13), devant passer en m_1 et en m_2, dont les cotes sont maintenant connues, l'on aura facilement la cote moyenne M de la hauteur de l'onde pendant son trajet entre les profils A et B. Le niveau moyen du fond étant également connu, l'on aura la profondeur moyenne au-dessous du point M, et sa hauteur, tant au-dessus du fond qu'au-dessus de la basse mer.

Plusieurs formules ont été proposées pour évaluer la célérité de propagation des ondes. Celle de Lagrange :

$$K = \sqrt{gH} \tag{36}$$

dans laquelle K désigne la célérité, g l'intensité de la pesanteur et H la profondeur totale au-dessous du point M, donne de bons résultats. Celle de M. Boussinesq :

$$\left[\omega - U_o = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{H}\right)\right] \tag{37}$$

en donne encore de meilleurs.

Dans cette dernière expression, g a la même signification que dans la formule de Lagrange, ω désigne la célérité, H la profondeur du fond au-dessous de la basse mer et h la hauteur du point M au-dessus de la mer basse. Enfin U_o est la vitesse du courant sur lequel l'onde se propage, quand la marée ne modifie pas jusqu'au fond le cours des eaux du fleuve.

Ce dernier cas est le plus ordinaire quand il s'agit de l'onde-marée qui pénètre dans un fleuve. Le courant descendant est ralenti par le frottement du lit du cours d'eau et présente moins de vitesse sur le fond et sur ses bords. C'est par là que le flot pénètre d'abord et se propage en refoulant les eaux vers l'amont. Le courant ascendant s'établit bientôt dans toute la section, et l'expérience des formules prouve alors que l'on peut ne plus tenir compte de la vitesse primitive U_o du jusant.

La formule de M. Boussinesq comprend en outre, dans la parenthèse, le terme :

$$+ \frac{H^2}{6h} \frac{d^2h}{ds^2}$$

Mais $\frac{d^2h}{ds^2}$ a pour valeur :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\rho}$$

Or le rayon de courbure ρ, ayant en général dans la propagation d'ensemble de l'onde-marée dans les fleuves une très grande dimension, il s'ensuit que le terme dont il s'agit peut être négligé. Une étude faite, avec la formule simplifiée, sur la Gironde et la Garonne, a prouvé qu'elle s'appliquait parfaitement aux courbes observées, et que la différence des temps de

propagation de la pleine mer résultant du calcul et de l'observation n'était que de 4 minutes sur 95 kilomètres, de la Pointe de Grave à Bordeaux.

Nous avons fait une étude spéciale des formules de célérité, en comparant leurs résultats à ceux qu'on a obtenus par l'observation directe des hauteurs d'eau aux marégraphes ou aux échelles hydrométriques placés sur les rives d'un fleuve. Nous avons choisi la Garonne et la Gironde, sur un parcours total de 95 kilomètres, entre l'échelle du port de Bordeaux et celle de la Pointe de Grave. Les observations de marée y sont faites depuis longtemps avec le plus grand soin, par le service maritime du département de la Gironde. Dans cet intervalle de 95 kilomètres, la propagation de la marée ne trouve d'obstacles réels qu'entre Pauillac et Bordeaux.

Pendant la durée de l'étude spéciale dont il s'agit, les courbes locales pour chaque station hydrométrique ont été tracées d'après les observations directes faites sur le fleuve, puis au moyen des résultats donnés par cinq formules différentes. Les calculs ont été exécutés en prenant pour point de départ les hauteurs d'eau constatées à la Pointe de Grave durant la marée de vive eau du 7 septembre 1892 (coefficient 104).

Les courbes locales calculées ont été rapportées, en noir, sur des dessins où l'on a fait figurer en même temps, en rouge, les courbes déduites des observations directes aux échelles hydrométriques et aux marégraphes. Les deux séries de courbes ont peu différé l'une de l'autre. Les différences pour les pleines mers ont été très faibles sur les 30 premiers kilomètres, de la Pointe de Grave à Pauillac. A Bordeaux, la différence d'heure a atteint 0 h. 38′9″ pour la formule de M. Boussinesq, ce qui suppose, dans les célérités, une erreur moyenne de 0 m. 024 par seconde. Mais l'étude de la marée observée directement a fait voir que les bancs et les îles qui existent entre Pauillac et Bordeaux, et surtout les remous qu'ils produisent, retardent actuellement l'arrivée du plein dans cette dernière ville de 0 h. 42′48″, ce qui réduit la différence d'heure ci-dessus à 0 h. 4′38″ sur 95.500 mètres.

Les résultats de cette formule ont donc été très satisfaisants. Ils démontrent à la fois qu'on peut compter sur elle, et que la méthode suivie pour obtenir les courbes locales de marées est exacte [1].

[1] Ces conclusions sont celles d'un mémoire couronné par l'Institut, le 18 décembre 1899.

Les courbes locales étant ainsi connues par ces calculs, il est facile d'obtenir autant de profils en long instantanés du fleuve qu'on le désire. On peut calculer la cote à chaque station hydrographique de la marée, à l'instant voulu, et en réunissant les points correspondants sur un dessin, l'on obtient le profil en long demandé. On peut aussi tracer toutes les courbes locales sur un même dessin graphique à grande échelle, ayant, par exemple, pour ordonnées, 0 m. 115 par mètre pour les hauteurs et 0,035 par heure pour les temps pris pour abscisses. En remarquant que les points de rencontre de l'ordonnée correspondant à l'instant voulu avec chaque courbe locale donnent pour la station correspondant à cette courbe la hauteur de l'eau à l'instant désigné [1], l'on obtient de suite la série des cotes du profil en long cherché. En prenant cette hauteur à l'échelle sur le dessin, l'on a la cote à peu près aussi exactement que si l'on prenait la hauteur d'eau sur la rivière même, avec une sonde.

Si l'on veut avoir une plus grande exactitude, on observera que le calcul a donné la cote à laquelle une onde élémentaire arrive aux deux extrémités d'une même section et le temps de son parcours dans cette section. On peut en déduire la distance à laquelle cette onde sera des extrémités de la section considérée et sa cote de hauteur à l'heure voulue, et ce pour toutes les trajectoires qui ont été indiquées. On aura ainsi, très approximativement, la forme de l'onde successivement dans chaque section à l'instant considéré. Nous en donnerons plus loin des exemples relatifs au mascaret de la Seine.

Ces éléments suffiront pour calculer les vitesses moyennes des courants, et, par suite, les heures des étales et les autres éléments du nouveau régime du fleuve.

[1] Voir l'Atlas Pl. IX.

CHAPITRE III

ÉTUDE DE L'EMBOUCHURE DES RIVIÈRES

Cordons de sable littoraux. — L'une des parties les plus difficiles à améliorer dans un fleuve est généralement son embouchure. Les eaux qui ont, en grande partie, constitué, par leurs érosions, le relief actuel du bassin géologique qui le renferme, continuent à entraîner vers la mer les parties friables des terrains qui le composent. Elles amènent ordinairement aux embouchures la formation de vastes dépôts, qui rendent le passage des navires difficile ou impossible. Cette barre est l'un des principaux obstacles que l'art de l'ingénieur ait à faire disparaître ou, tout au moins, à diminuer.

La masse des dépôts du cours d'eau se trouve le plus souvent accrue par les débris de la côte que les vents et les flots font cheminer le long du rivage. Ces débris sont même parfois à peu près la seule origine des dépôts que l'on trouve aux embouchures.

C'est en 1789 que M. de Lamblardie, ingénieur des ponts et chaussées, a expliqué la marche des galets et des sables sur le bord de la mer [1]. Il a démontré d'abord (fig. 14) qu'une série de petits corps *mm*, tels que des galets, situés sur un plan horizontal le long du rivage et sollicités par des puissances *pp* égales agissant dans des directions parallèles, comme l'action des vagues, ne peuvent être en équilibre par l'appui mutuel qu'ils se prêtent que lorsque la ligne CD de leur plan forme une chaînette, dont le dernier élément sera perpendiculaire à la direction des puissances *p*. Il a démontré aussi (fig. 15) que plusieurs petits plans inclinés *b*.... posés les uns au-dessus des autres dans une courbe verticale ne seront en équilibre avec les efforts

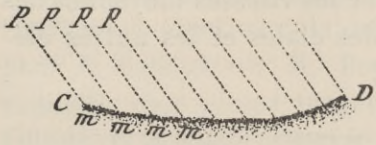


Fig. 14.

[1] *Mémoires sur les côtes de la Haute-Normandie*, etc., par M. de Lamblardie, ingénieur des ponts et chaussées au Havre, MDCCLXXIX (pages 19 et suivantes).

d'un corps qui montera et descendra le long de cette courbe que lorsqu'ils auront pris des positions respectives telles que la courbe EF soit celle de la plus vite descente.

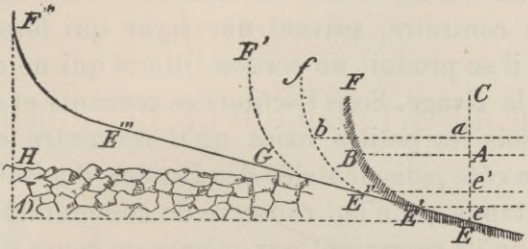


Fig. 15.

S'il n'y avait ni flux ni reflux, les vagues donneraient au talus des corps mobiles qui forment le rivage une courbure peu différente de celle que l'on vient d'indiquer, mais l'exhaussement et l'abaissement du niveau de la mer y apportent quelques changements. A chaque niveau successif la vague tend à donner au talus la forme d'une cycloïde, mais les arcs des cycloïdes ainsi formées se coupent dans le bas, et les points d'intersection donnent naissance à un plan G E''' incliné vers la mer, tandis que le haut du talus conserve une forme cycloïdale. L'expérience démontre l'exactitude de ces conclusions, et la pente du talus est très douce quand c'est du sable, plus douce encore quand c'est de la terre, mais plus rapide avec le galet. Le talus inférieur se raccorde insensiblement avec le fond de la mer, à moins qu'il ne s'appuie sur des roches ou sur des terrains durs, d'inclinaison différente.

Lorsque la vague ne frappe pas le talus perpendiculairement à la direction de la plage (fig. 16) le galet s'élève sur le talus en suivant l'impulsion de la vague, et quand celle-ci, perdant la force qui l'anime, perd aussi sa vitesse et retombe par l'effet de son poids, elle suit la pente plus inclinée de la cycloïde du talus, et le galet qu'elle entraîne retombe à la mer, à une distance du point d'où il s'est élevé qui dépend de la force de la vague et de l'angle de la direction du vent avec le rivage.

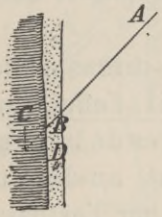


Fig. 16.

C'est grâce à ces phénomènes, si bien décrits par M. de Lamblardie, que les galets et les sables forment des cordons littoraux qui s'avancent le long de la plage sur les bords de la mer.

Le sable est parfois rejeté par la mer sur ses bords quand elle est peu profonde dans le voisinage de la côte. Si la direction des vents régnants est perpendiculaire à la rive, il s'élève sur le rivage, et parfois il s'y forme des dunes. Si les vents régnants soufflent, au contraire, suivant une ligne qui fasse un angle avec la côte, il se produit un cordon littoral qui ne s'appuie pas toujours sur le rivage. Sous l'action des courants et des vents, il traverse parfois les petites baies qu'il rencontre et forme des étangs. Sur la côte jadis dentelée des Landes, il a isolé de l'Océan une série d'étangs qui n'ont conservé de communication avec la mer que lorsqu'ils recevaient eux-mêmes un cours d'eau, comme l'étang d'Arcachon. Le sable n'a pas comblé les étangs qu'il a ainsi séparés de la mer. Celui de Cazau, fermé par une ligne de dunes, n'a pas beaucoup perdu de sa profondeur, et les bancs argileux du bassin d'Arcachon, employés pour l'ostréiculture, ne sont pas envahis par les sables.

Parfois de longs espaces sont isolés ainsi de la mer, et forment des lagunes ou des étangs comme ceux que l'on rencontre aux bords de la Méditerranée, entre les embouchures du Rhône et de l'Hérault.

Sur la côte occidentale d'Afrique, les eaux du Sénégal se frayent un passage dans un cordon littoral séparé de la côte sur de grandes longueurs. Ce cordon forme la barre de l'entrée de ce fleuve.

Les courants littoraux viennent souvent concourir avec les vents et les vagues pour accroître le volume des sables qui se déposent à l'embouchure des rivières.

Entrée de la Seine. — Un seuil a été jadis produit auprès de La Mailleraye par les eaux qui ont donné son relief actuel à la vallée de la Seine. Les points saillants de ce seuil sont le banc du Trait et le banc des Meules [1].

Nous reviendrons plus loin sur ce sujet et nous dirons seulement ici que le banc des Meules produisait, en 1841, l'effet d'un barrage. La Seine, qui n'avait qu'environ 300 mètres de large en amont, s'élargissait à 700 mètres immédiatement au-dessous de Caudebec ; l'espace occupé par le fleuve et par l'estuaire s'étendait en aval jusqu'à la mer, avec des largeurs de 1.100 m. à Villequier, de 2 800 mètres à Quillebeuf et de 6.500 mètres en face de la Risle. Tout ce vaste espace a été rempli de sable, dû principalement aux apports maritimes.

[1] Atlas : planches I, II et III.

Le calcaire crétacé, qui forme la vallée de la Seine, est à 18 m. 50 au-dessous du zéro des cartes marines sur le tracé d'un souterrain projeté pour faire passer un chemin de fer sous

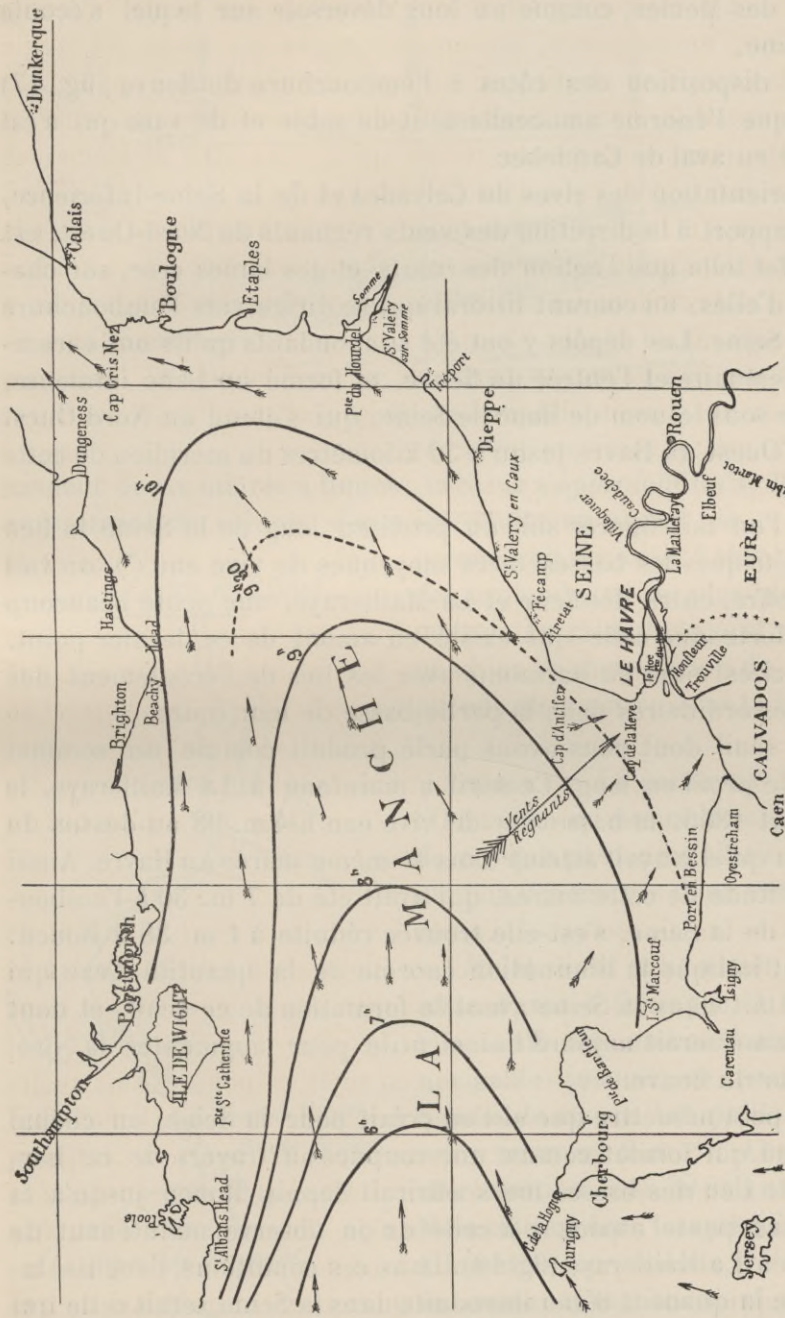


Fig. 17. — Propagation de l'onde marée dans la Manche.

la Seine entre Tancarville et les environs de Quillebeuf. Le fond dur est à 19 m. 50 au-dessous du niveau des prairies entre cette

ville et Lillebonne, et à 25 mètres, en amont, auprès d'Aizier[1]. Les sables vaseux apportés en majeure partie de la mer ont rempli tout cet espace et formé sur 52 kilomètres, de Honfleur au banc des Meules, comme un long déversoir sur lequel s'écoule la Seine.

La disposition des côtes à l'embouchure du fleuve (fig. 17) explique l'énorme amoncellement de sable et de vase qui s'est formé en aval de Caudebec.

L'orientation des rives du Calvados et de la Seine-Inférieure, par rapport à la direction des vents régnants du Nord-Ouest, est en effet telle que l'action des vents et des lames crée, sur chacune d'elles, un courant littoral qui se dirige vers l'embouchure de la Seine. Les dépôts y ont été si abondants qu'ils ont encombré l'estuaire et l'entrée du fleuve, et formé un banc immense, connu sous le nom de Banc de Seine, qui s'étend au Nord-Ouest et à l'Ouest du Havre jusqu'à 30 kilomètres du méridien de cette ville.

Si l'on fait figurer sur un profil en long de la Seine le lieu géométrique des basses mers moyennes de vive eau [2], on voit qu'il offre, entre Honfleur et La Mailleraye, une pente beaucoup plus forte que celle qui existe en amont de ce dernier point. Celle-ci est plus en harmonie avec les lois de l'écoulement des rivières ordinaires dans la partie basse de leur cours.

Le seuil dont nous avons parlé produit comme un sommet dans le profil en long. Ce seuil a maintenu à La Mailleraye, le 18 août 1856, la basse mer de vive eau à 4 m. 98 au-dessus du niveau qu'elle avait atteint dans la même marée au Havre. Aussi l'amplitude de cette marée, qui avait été de 7 m. 30 à l'embouchure de la Seine, s'est-elle trouvée réduite à 1 m. 38 à Rouen. Ce fait indique la diminution énorme de la quantité d'eau qui remontait dans la Seine avant la formation de ce seuil, et dont le volume serait aujourd'hui si utile pour augmenter la profondeur du fleuve.

On peut admettre que si l'on créait pour la Seine un chenal profond qui formât comme une coupure au travers de ce barrage, le lieu des basses mers offrirait depuis Rouen jusqu'à la mer une pente analogue à celle qu'on observe maintenant de Rouen à La Mailleraye (fig 18). Dans ces conditions, l'augmentation de la quantité d'eau introduite dans la Seine serait celle qui

(1) Atlas Planche VII.
(2) *Id.*, Planche II.

correspondrait à l'intervalle compris entre l'ancien et le nouveau lieu géométrique des basses mers. Les marées de vive eau mon-

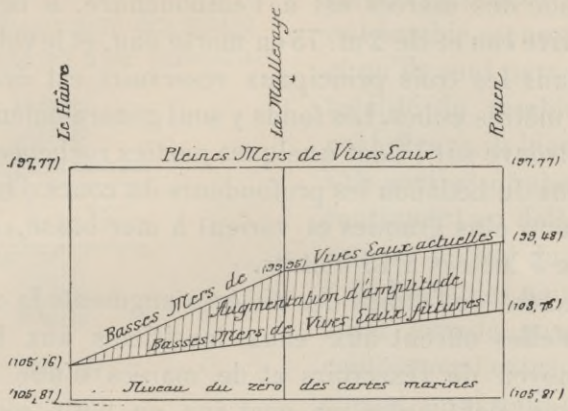


Fig. 18.

teraient de six mètres à Rouen ; la Seine s'approfondirait, et l'accroissement du volume d'eau introduite en amont de ce port permettrait d'y avoir, à mer basse, des profondeurs de plus de dix mètres. Le croquis ci-joint explique bien l'augmentation de l'amplitude de la marée dans la Seine.

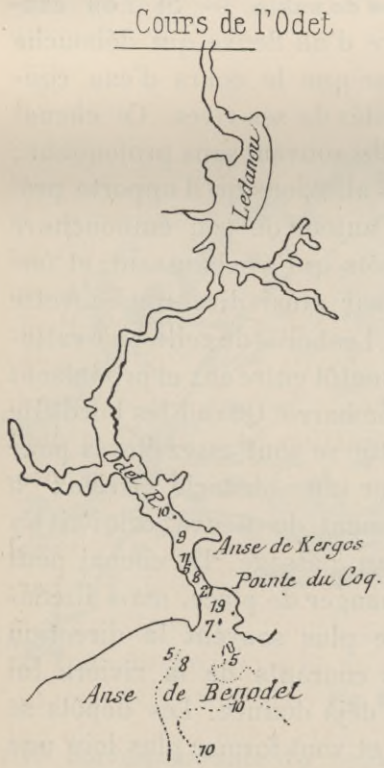


Fig. 19. — L'Odet.

L'Odet. — La petite rivière de l'Odet offre un exemple saisissant de ce que peut produire l'introduction des marées dans un cours d'eau.

L'Odet, dont le lit à mer basse reste à sec à Quimper, à 17 kilomèt. de son embouchure, est navigable jusqu'à ce port aux heures de marée. Les petits navires y trouvent 2 m. 10 d'eau en morte eau et 3 m. 30 en vive eau. Mais cette rivière traverse, à trois kilomètres en aval de Quimper, un vaste épanouissement appelé le Lédanou, et trouve en aval plusieurs anses latérales qui consti-

tuent aussi de véritables réservoirs. De petits ruisseaux en assurent la conservation.

L'amplitude des marées est à l'embouchure, à Benodet, de 4 m. 50 en vive eau et de 2 m. 75 en morte eau, et le volume d'eau introduit dans les trois principaux réservoirs est évalué à 14 millions de mètres cubes. Les fonds y sont généralement mobiles, bien qu'on trouve sur l'Odet quelques parties rocheuses.

Au-dessous du Lédanou les profondeurs du cours d'eau deviennent beaucoup plus grandes et varient à mer basse, auprès de Benodet, de 5 mètres à 15 mètres.

L'abaissement de l'étiage des rivières augmente la capacité de l'espace qu'elles offrent aux eaux maritimes aux heures du flot. Au moyen de réservoirs et de marées d'une amplitude suffisante, on peut créer un port sur un petit cours d'eau, ou bien améliorer grandement la navigation des ports intérieurs situés sur des fleuves. Nous en donnerons plus loin des exemples en parlant de la Seine et de la Loire.

Régime d'une embouchure en plage de sable. — Si l'on examine ce qui se passe à l'embouchure d'un fleuve qui débouche sur une plage de sable, on remarque que le cours d'eau conserve un chenal au delà des extrémités de ses rives. Ce chenal est le plus souvent sans profondeur ; mais les alluvions qu'il apporte produisent autour de son embouchure des dépôts qui s'exhaussent, et forment pour ainsi dire une cuvette (fig. 20). Les bords de celle-ci se rattachent bientôt entre eux et produisent ainsi une barre. Quand les bords de la cuvette se sont assez élevés pour présenter un obstacle sérieux à l'écoulement du fleuve, celui-ci s'y ouvre un passage. Le chenal peut alors changer de place, mais il conserve le plus souvent la direction que les courants de la rivière lui avaient déjà donnée. Les dépôts se portent au delà de l'ancienne barre et vont former plus loin une barre nouvelle ; les dépôts latéraux prolongent, sous l'eau, les rives du fleuve.

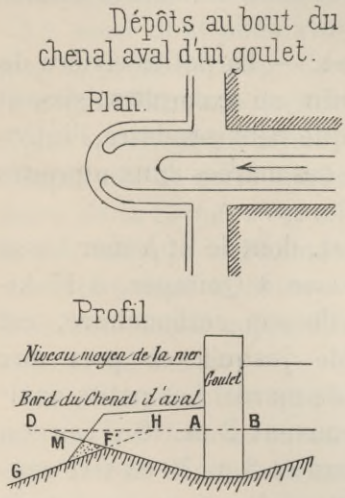


Fig. 20.

Les sables de rivage viennent s'accumuler dans l'angle formé par la côte et le prolongement de la rive sous-marine du fleuve qu'ils rencontrent. Lorsqu'ils ont comblé cet angle (fig. 21) et qu'ils sont parvenus à l'extrémité du remblai produit par le fleuve, ils le contournent s'ils sont assez abondants, et continuent au delà leur mouvement le long du rivage

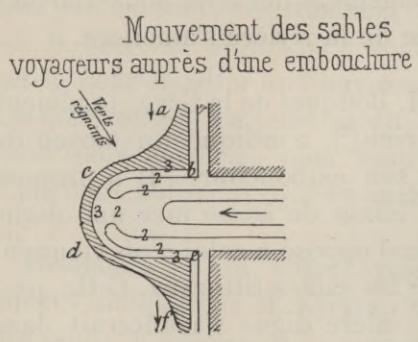


Fig. 21.

Si les sables ne sont pas en assez grande quantité pour contourner l'extrémité *cd* du chenal, ou si celui-ci est assez prolongé pour qu'ils y soient emportés par les courants, ils forment en *abc* un banc triangulaire qui s'étend en prolongeant la

Fig. 22. — La Foyle.

rive correspondante du fleuve. Ce banc triangulaire est celui d'Alpeidao à l'embouchure du Tage ou celui des Tuns à l'entrée de la Foyle (fig. 22) ; on peut dire que la loi est générale.

Si le chenal se porte assez au large pour qu'à son extrémité le courant littoral en acquière plus de vitesse et entraîne le sable au loin du rivage, le prolongement des rives sous-marines du cours d'eau s'arrête et l'entrée de la rivière s'améliore.

Tracé d'une embouchure. — M. Bouquet de la Grye, ingénieur hydrographe en chef de la Marine [1], a indiqué un moyen de dégager l'entrée d'une rivière à son embouchure. Il a proposé (fig. 23) d'établir auprès de la laisse de basse mer une digue courbe placée sur le côté du chenal opposé à celui d'où viennent les sables littoraux. Cette première digue s'avancerait dans le lit du fleuve de manière à recevoir, à marée descendante et sur sa face concave, l'action du jusant provenant du cours d'eau. En face, un passage serait laissé au sable qui chemine le long du rivage. Ce sable viendrait appuyer le jusant contre la digue et formerait sur le bord opposé du fleuve la rive convexe. La première digue dirigerait le courant contre la partie concave d'une seconde digue courbe, qui conduirait au large les sables voyageant le long du rivage en même temps que ceux apportés par le cours d'eau.

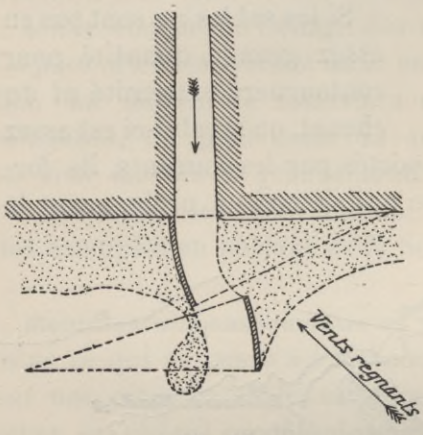


Fig. 23.

Le tracé des ouvrages serait disposé de telle sorte (fig. 24) que le courant produit par la première digue vînt battre sur le côté concave de la seconde, de manière à reporter sur celle-ci toute la puissance des eaux pour entraîner le sable à la mer. La dernière partie convexe de la rive droite formerait l'origine de la portion du courant de sable littoral qui aurait franchi l'entrée de la rivière, et qui s'en éloigne par l'effet des vents et du courant des eaux d'amont. L'extrémité

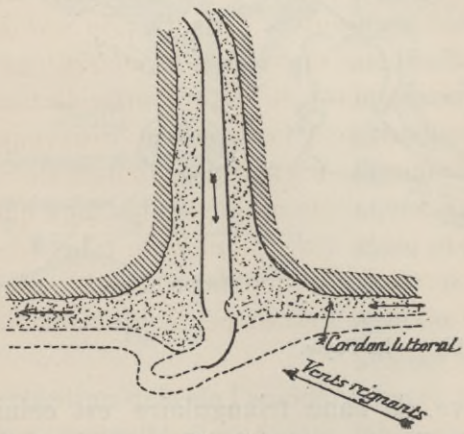


Fig. 24.

[1] *Revue maritime et coloniale*, juin 1886, p. 543.

de la concavité de la rive gauche serait portée assez au large pour que les sables qui arriveraient sur ce point fussent emportés au loin par les courants littoraux, ou que ces courants maintinssent sur la barre la profondeur voulue. La direction la plus avantageuse pour faciliter aux navires l'entrée du fleuve devrait être aussi consultée. La jetée serait, en général, en vertu même des conditions énoncées plus haut, disposée de manière à servir d'abri aux bâtiments qui en auraient doublé le museoir.

Dragages. — Un autre système d'amélioration des embouchures indiqué par M. Eyriaud des Vergnes, inspecteur général des ponts et chaussées [1], consiste à arrêter par des dragages les sables qui viennent obstruer l'entrée des ports ou des rivières, et, s'ils arrivent en suivant la côte, de créer au besoin, du côté d'où ils proviennent, une fosse de garde suffisante pour parer aux intermittences des dragues. Ce moyen est rendu facile par le bas prix des dragages.

L'emploi de dragues aspiratrices a ainsi permis, à l'entrée de l'Adour, d'abaisser à $4^{m}90$ sous basse mer les points les plus élevés de la barre de ce cours d'eau.

Formation de dunes. — Les sables qui cheminent le long de la côte étant l'une des principales causes de la difficulté que présente l'amélioration de l'embouchure des fleuves, nous avons proposé un moyen de s'en débarrasser, et même d'en tirer parti [2]. Ce moyen consiste à arrêter les sables le long du rivage, d'y donner naissance à des terrains et à les planter.

Si l'on établit en effet une digue *cd* perpendiculaire au cordon littoral *a'ac* (fig. 25), le sable s'accumulera dans l'angle *acd* de cette digue et la limite du sable à mer basse formera une courbe telle que *ad*. En un certain point de cette courbe la tangente sera à peu près perpendiculaire à la direction des vents régnants, et le sable ne pourra continuer à marcher au delà de ce point que par des vents faisant avec la côte un angle plus aigu que les premiers. Il s'élèvera sur la plage *acd*, franchira le talus très doux produit par la digue et formera des dépôts en *acd*. Le sable prolongera ainsi la plage en *a'*, et il finirait par contourner la

(1) *Annales des ponts et chaussées* 1886, 1er sem., p. 398.

(2) *Etude sur les rivières à marée et les estuaires* (complément), Paris, 1894, p. 35.

digue en d si l'on ne faisait pas une petite digue en retour dd', pour l'en empêcher.

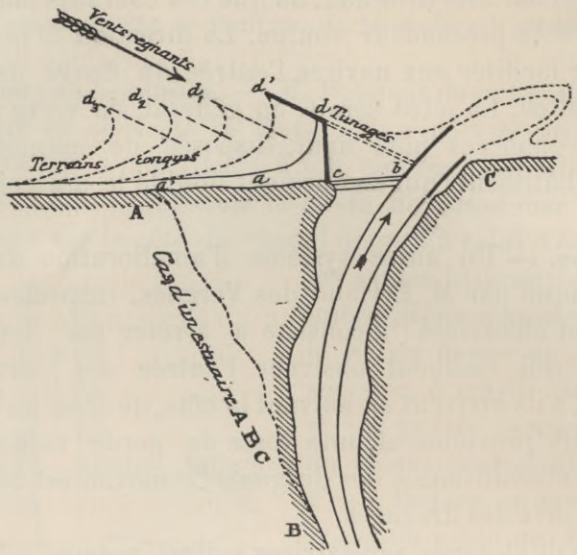


Fig. 25.

On construira peu à peu des digues semblables $d_1 d_2 d_3$ en les racinant sur le terrain conquis, et le nouveau sol se prolongera ainsi le long de la côte. Les dunes qui s'y formeraient seraient arrêtées par des plantations suivant le moyen trouvé par M. Brémontier pour fixer celles du golfe de Gascogne. On obtiendrait ainsi des terrains boisés le long de la côte.

Prolongement du chenal vers le large. — L'une des conditions qu'il est le plus utile de remplir quand c'est possible, c'est de faire arriver le chenal du fleuve jusqu'en un point où le courant littoral soit assez intense pour emporter les sables entraînés par les cours d'eau et les déposer en un point de la mer tel qu'ils ne puissent devenir un danger pour les navires. Nous citerons à ce sujet un exemple des plus intéressants : c'est celui de la Foyle.

La Foyle. — Cette rivière se jette dans une grande baie située au Nord-Est de l'Irlande, entre les caps d'Inishowen et du Port Stewart (voir la fig. 22). La Foyle, pressée par la pointe sableuse de Macgilligan contre la côte de Warren, en longe les bords avec de grandes profondeurs. Elle arrive bientôt à l'ouvert de la côte qui s'étend au Nord-Ouest vers le cap Malin. Là, elle rencontre

le courant de flot de l'Océan qui suit cette côte et qui emporte, sans laisser de barre, tout ce qui pourrait constituer le lit de la rivière. On ne trouve pas moins de 12 à 16 mètres de basse mer entre la pointe de Macgilligan et la mer profonde.

Le courant de flot, qui dans l'Atlantique vient du Sud, contourne les îles Britanniques. L'onde secondaire qui longe la côte d'Irlande et se détache à l'Est pour pénétrer par le Nord dans la mer d'Irlande, produit un remous qui pénètre dans la baie de la Foyle, et en suit les bords de l'Est à l'Ouest. Les vents du Nord-Est favorisent son action sur les rivages de la baie, et y transportent les sables vers l'Ouest. Ils ont ainsi dévié de ce côté le cours de la petite rivière la Bann, et créé un cordon de sable littoral, qui passe au pied d'une colline à Downhill Strand, et qui pénétrerait plus avant dans la baie s'il n'était retenu par une autre cause.

La baie de la Foyle se trouve, en effet, entourée de montagnes au Sud-Est et au Nord-Ouest. Ces dernières s'abaissent à l'extrémité amont de la baie, près de Londonderry, et donnent un libre passage aux vents du Sud-Ouest. Ceux-ci ont repoussé vers la mer les sables apportés de Port-Stewart et de la Bann par les vents du Nord-Est. Ces sables se sont alors dirigés vers l'Ouest, en formant une saillie dans la baie. Les vents du Sud-Ouest ont augmenté cette saillie en poussant vers la mer les sables provenant de la Foyle et des petites rivières, la Faughan et la Roë. Ainsi s'est formée la vaste pointe triangulaire de Macgilligan qui barre presque entièrement la baie. Elle a repoussé le cours de la Foyle au pied des montagnes du Donegal et de la côte de Warren, en y réduisant le plus possible la largeur de ce cours d'eau. La profondeur est de 20 mètres à la basse mer dans le goulet ainsi formé.

Au delà, les sables ont amené un prolongement sous-marin vers l'aval de la rive droite de la Foyle, et la formation du banc triangulaire des Tuns. Tous deux se terminent à l'ouverture de la côte d'Inhisowen, où ils rencontrent le courant de flot qui en rejette les débris à l'Est sans produire de barre.

On remarque aussi qu'un petit abaissement s'est formé entre le prolongement de la rive Nord de la pointe de Macgilligan et la base du banc triangulaire des Tuns. Un abaissement de ce genre se remarque presque toujours à la base des bancs triangulaires; il paraît être la conséquence de la déviation brusque par la banc du courant littoral qui suivait la côte depuis la Bann. L'ac-

tion des vagues contre le prolongement sous-marin de la rive droite de la Foyle à son origine, paraît aussi contribuer à sa formation.

En amont et dans l'estuaire, la largeur du goulet qui est d'environ 1.000 mètres se conserve avec des profondeurs décroissantes, qui sont encore de 10 mètres à 6.800 mètres de la pointe de Macgilligan. Au-dessus, dans l'estuaire, on trouve deux chenaux dont l'un se perd dans la baie et l'autre se raccorde avec celui de la rivière de Foyle, en ayant encore 10 mètres de profondeur à plus de 10 kilomètres du goulet. Cet ensemble constitue pour les navires une fort belle rade.

Complétons ces renseignements en disant que le débit de la Foyle en étiage est peu considérable et qu'à l'embouchure les marées ne s'élèvent à Warren que de 2 mètres (2 m.) en vive eau.

On peut se demander si le grand chenal qui se trouve dans la baie, immédiatement en amont de la pointe de Macgilligan est produit par le goulet, ou, comme le pensait M. Ed. Hamilton, ingénieur en chef du port de Londonderry et du Lough Foyle, s'il provient de ce que de larges conquêtes de terrains, faites dans le Sud-Ouest de la baie, ont repoussé au Nord le chenal qui reçoit les eaux de la rivière et de l'estuaire.

Ces conquêtes de terrains ont réduit la quantité d'eau qui entrait et qui sortait de la baie aux heures de marée et diminué l'action des courants pour maintenir les profondeurs qui existaient dans la partie voisine de l'estuaire. Il s'y est produit des envasements regrettables du côté de l'embouchure de la Faughan.

Pour être mieux fixé sur ce sujet, il y a lieu d'examiner, autant que possible dans leur ensemble, les estuaires terminés par un goulet et les lois qui les régissent.

Estuaires à goulet. — Nous avons dit plus haut que les galets et les sables forment souvent un cordon littoral qui borde le rivage. Ce cordon s'avance le long de la côte, et peut isoler certains espaces de la mer et fermer les baies qu'il rencontre. Dans ce dernier cas, il donne naissance à des étangs ou à des marais. L'examen de ceux qui sont sur la côte de Gascogne fait voir que les étangs restent en communication avec l'océan dès qu'ils reçoivent de l'intérieur le plus petit cours d'eau.

On conçoit, en effet, qu'avant la fermeture complète de la baie, le goulet débite à la fois, pendant le jusant, la quantité d'eau de

marée introduite durant le flot qui précède, et le volume d'eau douce formant le débit particulier de la rivière pendant toute la durée du flot et du jusant, c'est-à-dire pendant toute la durée de la marée. C'est ce que montrent plus exactement les formules de (1) à (4).

Il faut observer aussi que les eaux d'amont, qui s'emmagasinent pendant le flot, cessent, durant le même temps, de passer à l'embouchure. Le débit des eaux douces, qui n'y passeront que durant le jusant, y sera donc plus grand, par seconde, que ce qu'il aurait été sans l'action de la marée, dans le cas où la même quantité d'eau s'écoulerait pendant la marée entière. C'est pour ce motif que c'est à l'embouchure qu'une rivière à marée a le plus de puissance pour maintenir son chenal dégagé des sables. L'exemple de la côte des Landes fait voir que le débit du cours d'eau qui conserve ouverte la communication de l'étang avec la mer peut être très faible.

Mais examinons de plus près ce qui se passe en amont et en aval d'un goulet, si les sables sont facilement entraînés par les courants.

Lorsqu'on observe un goulet à l'entrée d'un estuaire à fond mobile, il est facile de reconnaître que l'accroissement de vitesse de l'eau dans ce goulet y a créé, dès l'origine, un affouillement, et comme une fosse profonde. Le jusant, en sortant de l'estuaire,

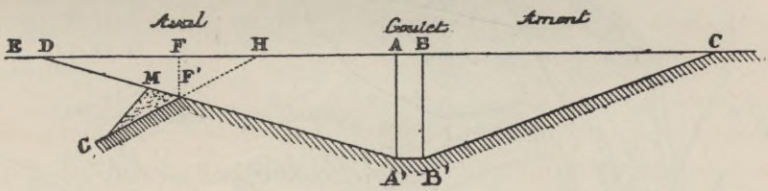


Fig. 26.

a entraîné les sables d'amont dans cette fosse, et l'on voit aisément que plus la quantité d'eau débitée par l'estuaire est grande, plus le volume de sable emporté vers le goulet a dû être considérable et le chenal créé en amont par cet entraînement plus long et plus profond.

Du côté de la mer, il se produit un effet semblable. Le sable déposé à l'embouchure est emporté dans le goulet par le courant de flot, et plus l'amplitude de la marée est forte et son débit considérable, plus l'enlèvement du sable est grand du côté de la mer, plus le chenal qui en résulte vers le large et sur la barre est profond et allongé.

Il faut bien remarquer que ces conséquences ne s'appliquent, pour chaque courant, qu'à la partie du fond qui est, pour lui, en amont du goulet.

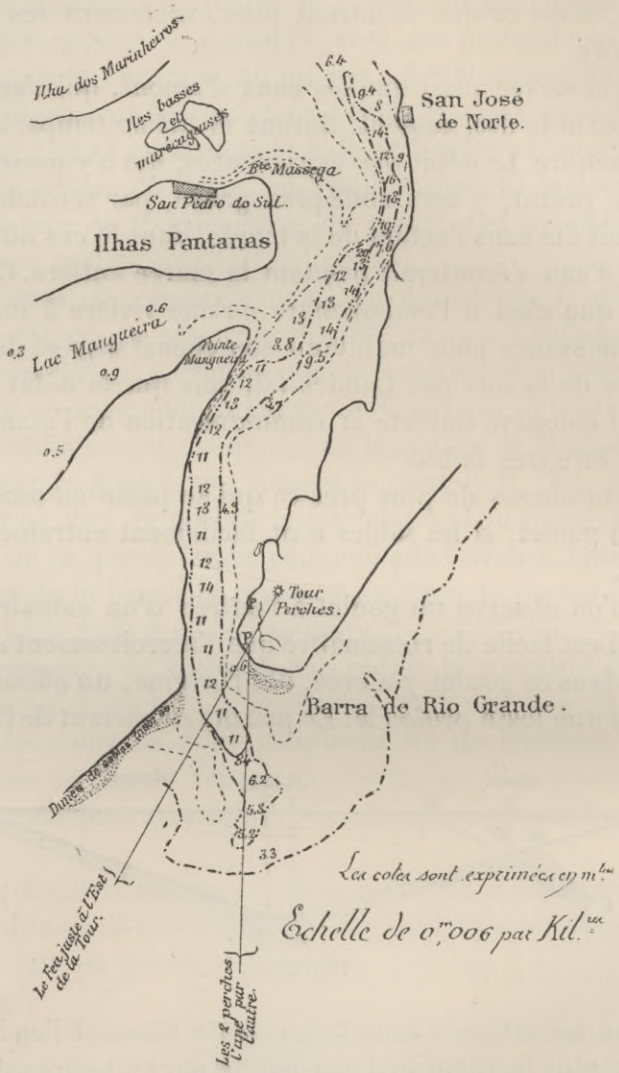


Fig. 27. — Le Rio Grande do Sul.

Citons de suite deux exemples à ce sujet, ceux du Rio Grande do Sul et de la Mersey.

Le Rio Grande do Sul. — Le Rio Grande do Sul est l'une des plus grandes rivières du Brésil. Elle trouve à son embouchure un goulet de 1.100 mètres environ de large, où la profondeur à basse mer atteint 13 mètres. Elle a formé, en amont du goulet, par

l'entraînement des sables et grâce à son énorme débit, un chenal qui a des profondeurs de 10 mètres au moins à mer basse, sur 11.500 et jusqu'à San José de Norte.

La marée ne s'élève que de 0 m. 60 à l'embouchure de ce fleuve, et le flot n'entraîne dans le goulet qu'une très petite quantité d'eau. Le chenal dû à cet entraînement aidé par le débit du fleuve, ne présentait, en 1869, qu'une longueur de 3 kilomètres, et il n'y avait que 3 m. 30 d'eau sur la barre. Celle-ci se trouve sur un dépôt de sable qui s'étend en éventail le long de la côte. Le chenal d'ailleurs, du côté du large, et en amont du goulet par rapport au courant du flot, a varié au milieu des sables de cet embouchure, et présentait en même temps deux bras distincts en 1883 et en 1894.

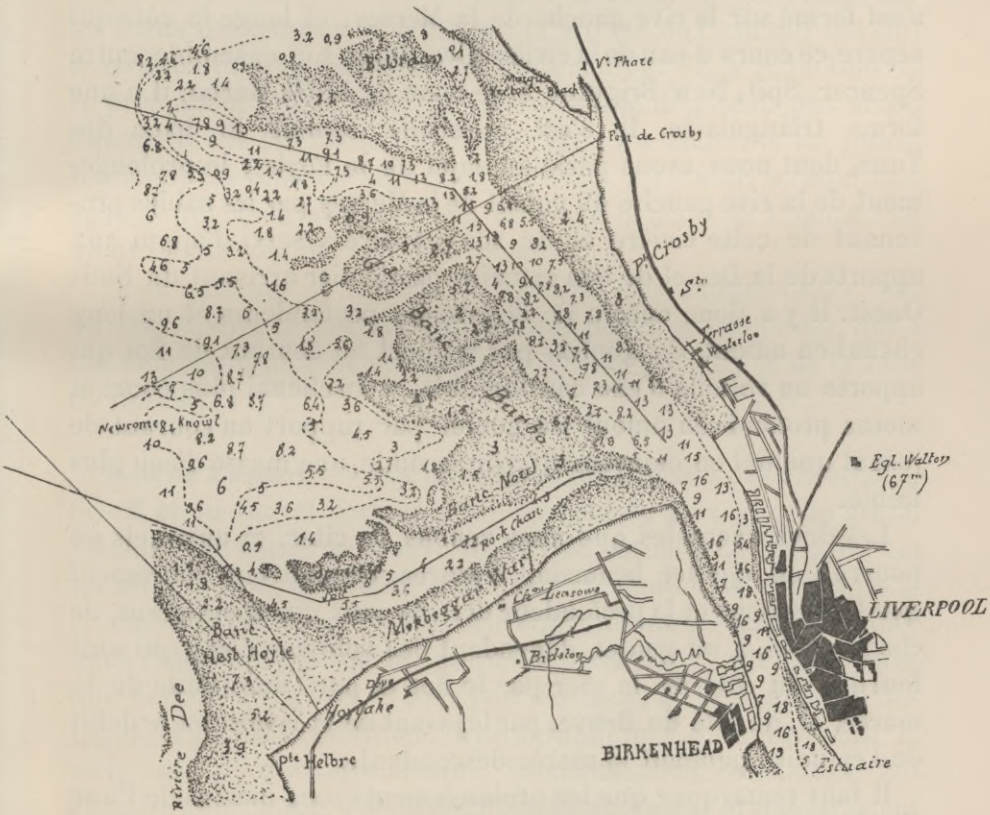


Fig. 28. — La Mersey.

La Mersey. — La Mersey, qui passe à Liverpool, présente des dispositions qui sont, pour ainsi dire, l'inverse de celles du Rio Grande do Sul.

La Mersey est une fort petite rivière, mais la mer marne en vive eau de 6 m. 82 à son embouchure dans la mer d'Irlande.

Elle traverse, au-dessous de Manchester, un estuaire dont la largeur maxima est de 5 kilomètres et qui a 37 kilomètres de long entre Runcorn et Liverpool. En face de cette dernière ville et sur 5 kilomètres environ, la Mersey présente un goulet large de 1.100 mètres et profond de 14 à 16 mètres. Dans l'estuaire, la Mersey n'a, grâce à son peu de débit, des profondeurs de 10 mètres à mer basse que sur 3 ou 4 kilomètres en amont du goulet, malgré l'appoint du jusant dû à l'estuaire.

Du côté de la mer d'Irlande, où la marée monte de 6 m. 80 en vive eau, la barre est à 18 kilomètres au Nord-Ouest de Liverpool. Les profondeurs de 8 mètres et au delà existent naturellement jusqu'à 14 kilomètres en aval du goulet. Le grand banc Burbo s'est formé sur la rive gauche de la Mersey, et longe la côte qui sépare ce cours d'eau de la rivière Dee. Dans son ensemble, entre Spencer Spit, New Brighton et le banc de Little Burbo, il a une forme triangulaire. Il s'est constitué comme le banc des Tuns, dont nous avons parlé au sujet de la Foyle ; le prolongement de la rive gauche du goulet de la Mersey par les sables provenant de cette rivière et de son estuaire a servi d'appui aux apports de la Dee et de son estuaire particulier arrivant du Sud-Ouest. Il y a donc encore là de grandes profondeurs et un long chenal en amont du goulet, par rapport au courant de flot qui apporte un volume d'eau considérable, et un chenal plus court et moins profond en amont du goulet par rapport au courant de jusant qui met en mouvement, par seconde, une masse d'eau plus faible.

Les deux exemples que nous venons de citer, et auxquels on pourrait en ajouter beaucoup d'autres, démontrent clairement que la longueur et la profondeur des chenaux qui aboutissent, de chaque côté, à un goulet, dépendent des volumes d'eau qui sont fournis, du côté de la mer par le flot et par l'amplitude de la marée, et, du côté du fleuve, par le jusant de la rivière et le débit de l'estuaire pendant la marée descendante.

Il faut remarquer que les prolongements sous-marins de l'une des rives du chenal et les bancs triangulaires qui se déposent à l'embouchure des rivières à marée sont un obstacle à l'introduction des sables de cette rive dans l'estuaire. On voit du reste de suite, quand il y a un goulet comme pour la Foyle, que la quantité de sable qui peut entrer dans un estuaire de ce genre est

beaucoup plus faible que ne le serait celle que la mer introduirait dans cet estuaire s'il était de forme évasée et présentait ainsi une large entrée aux sables venant de la mer ; c'est sans doute pour ce motif qu'en Angleterre on désigne spécialement les estuaires à goulet sous le nom d'estuaires préservés (*preserved estuaries*).

L'observation prouve d'ailleurs que les estuaires à goulet se conservent et ne reçoivent généralement que très peu, ou pas, de dépôts définitifs d'alluvions de la mer.

Le sable de l'extérieur entraîné dans le fleuve par le flot continue à en suivre le chenal au delà du goulet. Les grains les plus gros et les matières les plus lourdes se meuvent dans le chenal, et sont reportés vers la mer par le jusant. Les sables plus fins et les vases entraînés par la marée montante se déversent sur les bords des bancs de l'estuaire ; la vitesse de l'eau qui envahit la rivière diminue par l'effet du frottement et de la réduction de la profondeur sur le banc, et les sables se déposent plus abondamment sur les bords du chenal. Mais les courants de jusant tendent à les reporter vers la mer. En fait, il s'établit un équilibre spécial qui conserve l'estuaire, tant que la main de l'homme ne vient pas le troubler par des travaux.

Nous citerons à ce sujet le résultat des études faites par M. Bourdelles, Inspecteur général des ponts et chaussées, qui a été longtemps attaché au service maritime du port et de la rade de Lorient.

Baie de Lorient. — Les parties les plus basses des rivières du Scorff et du Blavet forment, sur la côte de Bretagne, un grand estuaire sur lequel se trouve le port de Lorient. Cet estuaire est terminé, à son extrémité aval, par un goulet situé près de la citadelle de Port Louis. Cette baie était très intéressante à étudier dans l'intérêt de la marine militaire, mais elle l'était aussi parce que Lorient a été vers 1750 le port d'attache de la compagnie des Indes et que les conditions hydrographiques que présentait la rade ont été, dès cette époque, soigneusement constatées. Cet estuaire a été depuis l'objet d'études nombreuses, et spécialement de celles entreprises par M. Bourdelles, qui en a été chargé pendant longtemps.

Dans son rapport du 31 décembre 1867, M. l'inspecteur général Bourdelles a émis l'avis que les lits du Scorff et du Blavet, jadis trop profonds par rapport aux quantités d'eau qu'ils rece-

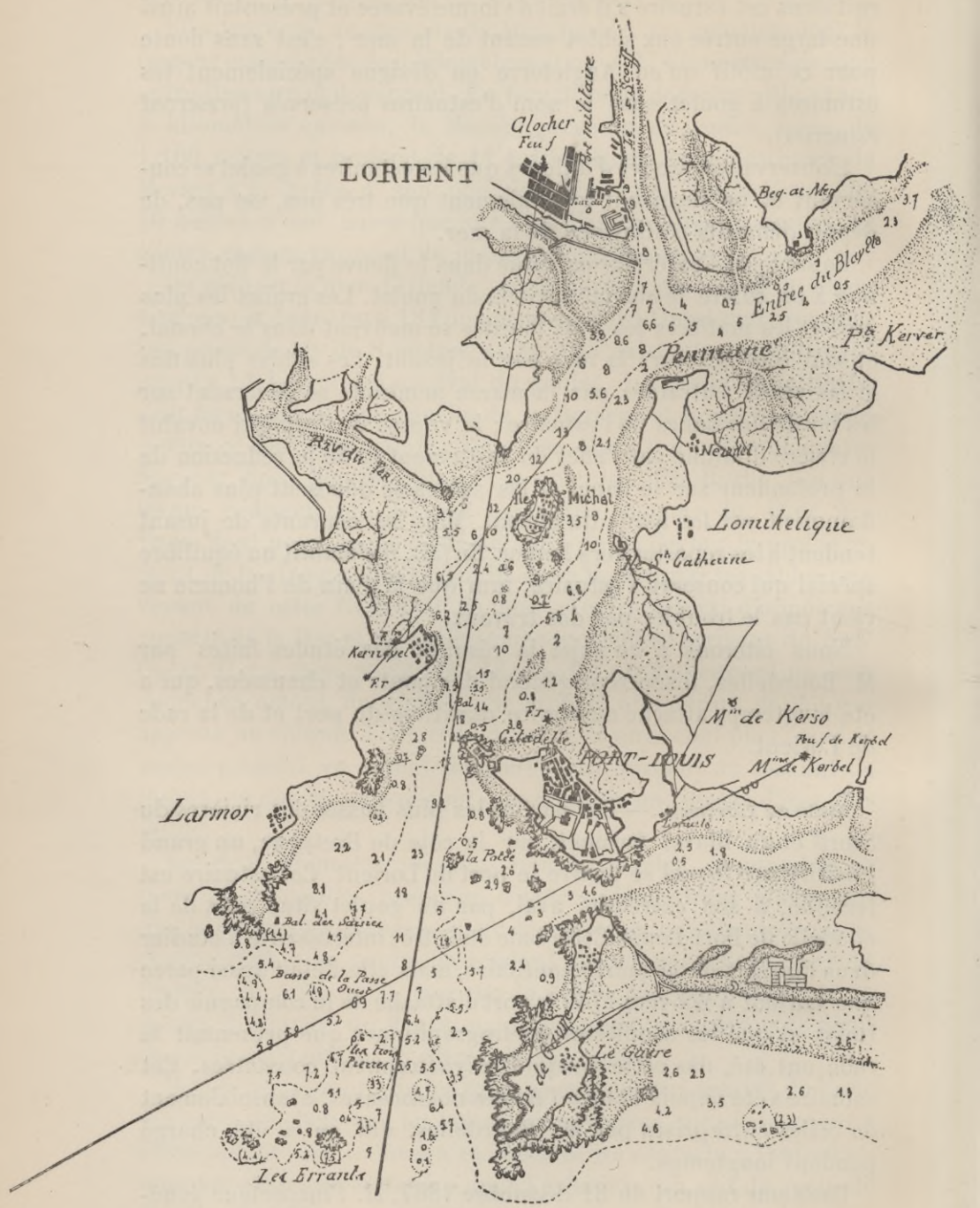


Fig 29. — Baie de Lorient.

vaient, se sont comblés peu à peu avec des alluvions marines jusqu'à ce qu'ils aient atteint l'état ou ils se trouvent aujourd'hui. Ces alluvions, très peu abondantes, se sont déposées jusqu'à ce que la réduction de l'aire de chaque section ait amené les vitesses à être suffisantes pour prévenir les alluvions ou pour les emporter à la mer. Lorsque les choses en sont arrivées à ce point, les vases ne pouvant pas s'arrêter pour former des dépôts, restent en suspension dans l'eau ; elles peuvent entrer avec la marée dans la région maritime, mais elles en ressortent avec le jusant et les lits des rivières restent invariables.

La comparaison des cartes du Scorff et du Blavet, des rades et des passes de Lorient levées à différentes époques, particulièrement en 1756, 1819 et 1855, fournit une vérification de l'existence de l'équilibre du lit. Elle montre la permanence des fonds partout où la main des hommes ne les a pas altérés, et même elle donne une preuve de la tendance marquée à l'approfondissement qui s'établit sous l'influence des causes citées plus haut.

M. Bourdelles ajoute que la comparaison des cartes fait voir que partout où le fond a été modifié par des ouvrages, le lit est retourné, ou tend à revenir à son niveau primitif. « Les observa- « tions qui précèdent le font», « dit-il » comprendre : toutes les « fois que l'état d'équilibre a été troublé, les alluvions abon- « dantes fournies par les plages l'ont rétabli rapidement ; si bien « que l'on peut dire que le curage des plages serait préférable « à celui du chenal ». M. Bourdelles en conclut qu'aucune amélioration ne peut être obtenue à l'aide des curages si l'on n'agit pas en même temps sur le régime de la rivière, et si on ne modifie pas celui-ci de manière à faire que les courants entretiennent les profondeurs acquises.

Ces remarques sont très bien justifiées. Ainsi la conservation du chenal dans l'estuaire dépendant de la quantité plus ou moins grande d'eau qui s'y trouve en mouvement, il était à penser que la conquête de terrains d'alluvions sur l'espace occupé par les eaux entraînerait une altération des chenaux et de l'embouchure des deux cours d'eau. C'est en effet ce que l'expérience a prouvé et ce dont la nature présente divers exemples.

Conquêtes de terrains sur les estuaires. Exemple de la Slaney. — Nous avons déjà mentionné les atterrissements que ces conquêtes de terrains ont produits dans la partie sud-est de l'estuaire de la Foyle. Nous citerons aussi la Slaney, au sud-ouest.

Cette rivière, qui se jette dans la mer d'Irlande à peu de distance de Wexford, traverse à partir de cette ville une baie peu profonde. Cette baie fut fermée au Nord-Est par des dunes et au

Fig. 30. — La Slaney.

Sud-Est par un long cordon littoral venant du Sud. La lagune ainsi formée se transforma en marais et en bancs de sable découvrant à mer basse. Dans le goulet formé par les pointes de Raven Spit et de Rosslave, où la profondeur atteint de 12 à 15 mètres, les courants de flots et de jusant sont fort rapides ; mais, en amont, le chenal, dû au goulet, n'a plus que 2 m. à 3 m. de profondeur. Par un haut-fond où l'on ne trouve que 1 m. 50 à mer basse, il est séparé d'un chenal plus profond dû à la Slaney, et à un estuaire intérieur accessible aux marins et situé un peu en amont de Wexford. Ce haut-fond intérieur de 1 m. 50 est dû aux conquêtes de terrains faites dans l'estuaire et qui en occupent une grande étendue. En aval du goulet, on trouve un banc trian-

gulaire, le Dogger Bank, mais le chenal est variable, et sur la barre il n'y a que 2 m. 40 à mer basse. Cette partie de la côte, semée de roches, de bancs changeants, etc., et de brisants, est très dangereuse pour les navires.

Les conquêtes de terrain sur un estuaire ne paraissent pas toutefois devoir être proscrites d'une manière absolue dans l'intérêt de la navigation. Si l'étude de la rivière et de son estuaire démontre que les quantités d'eau introduites aux heures de marée suffisent pour assurer largement à la navigation, à mer basse, les profondeurs voulues, la conservation des chenaux tant en amont qu'en aval du goulet, et de bonnes conditions pour la barre de l'embouchure, on peut calculer les surfaces qu'il sera possible de gagner sur l'estuaire et les bénéfices qui en seront la conséquence. Mais il faudra toujours tenir compte, comme d'une somme à valoir importante, de ce fait que la présence des terrains conquis entraînera, comme dans la baie de la Foyle, de nouveaux dépôts. Il faudra aussi s'assurer que la rivière indiquée, prise isolément ou avec certaines parties de l'estuaire maintenues par de petits cours d'eau particuliers, assurerait en tout cas toute la quantité d'eau et les profondeurs nécessaires à la navigation.

L'on peut citer un bon nombre d'estuaires à goulet que nous n'avons pas mentionnés dans ce chapitre. On peut distinguer ceux qui reçoivent un cours d'eau relativement important de ceux où il n'aboutit que des ruisseaux ou de petites rivières. Leur étude mène aux conclusions que nous avons tirées ci-dessus de l'examen de ceux que nous avons examinés plus haut [1].

[1] On peut étudier avec fruit la baie de Pôole, la Tees, la rivière d'Ex (Angleterre) ; la Tay, la baie de Dornoch, celle de Loch Fleet (Ecosse) la Loire, la Gironde (en France) ; le Tage (en Portugal), la rivière de Caméron (Afrique occidentale) ; l'Hudson (New-York) ; les baies de Port-Courbet (en Annam) ; de la Jade (Allemagne) ; de Jamaica (près New-York).

CHAPITRE IV

LA SEINE MARITIME

La Seine prend sa source à Chanceaux, dans le département de la Côte-d'Or. Son cours, qui est très sinueux, présente une longueur totale d'environ 800 kilomètres. Elle est navigable sur 561 kilomètres à partir de Marcilly (Aube).

Le bassin qui alimente cette rivière est généralement composé de terrains perméables ; seule, la partie haute du bassin de l'un de ses affluents, l'Yonne, fait exception à cette règle : aussi les crues de la Seine sont-elles lentes et durables dans la partie inférieure de son cours. Son débit à Mantes, en aval de l'embouchure de l'Oise, varie de 80 mètres cubes en étiage à 1.800 mètres dans les plus grandes crues. Le volume des sables qu'elle charrie, et qui proviennent principalement de la décomposition des granites et des gneiss, est peu considérable, et la plus grande partie en est utilisée par les travaux de Paris. La Seine ne transporte guère jusqu'à son embouchure qu'une petite quantité de sable fin, mélangé de vase.

On distingue sous les noms de Haute et de Basse Seine [1] les deux parties de la rivière qui sont en amont et en aval de Paris. La seconde comprend la Seine maritime, où la marée se fait sentir jusqu'au barrage de Martot, à 26 kilomètres au-dessus de Rouen. Avant la construction récente de cet ouvrage, elle allait jusqu'à Poses, à 16 kilomètres au delà.

Avant les travaux entrepris au-dessous de Rouen, la rivière présentait à peu près la même largeur d'environ 300 mètres sur 43 kilomètres entre La Bouille et La Mailleraye. Sur ce dernier point [2], elle est large de 330 m. A trois kilomètres au-dessous de La Mailleraye, il y avait un seuil élevé, celui du banc des Meules. La rivière s'élargissait ensuite rapidement, et, à Caudebec, la

[1] Atlas : planche I.
[2] Atlas : planche V.

Seine avait environ 700 mètres de largeur et renfermait deux îles.

En amont de La Mailleraye les marais d'Heurteauville et de Jumièges s'étendent le long du fleuve sur 17 kilomètres, jusqu'à La Roche. Enfin le profil en long de la Seine en 1856 faisait voir que la différence de niveau entre les basses mers à La Mailleraye et au Havre était en vive eau de 4 m. 98, tandis qu'à Rouen, à une distance du banc des Meules égale à celle de ce banc au Havre, la différence de hauteur avec La Mailleraye n'était que de 0 m. 47. Le haut-fond des Meules constituait donc un seuil sous-marin qui maintenait le niveau des eaux d'amont et présentait à la navigation un sérieux obstacle.

Banc des Meules. — Ce banc a été dragué dès 1852. On a reconnu qu'il se composait d'un massif de tourbes reposant sur du sable et de l'argile. En 1880, les dragages y avaient ouvert une passe de 150 mètres de large creusée au niveau du zéro des cartes marines. Cette cote a été encore abaissée depuis de 1 m. 50.

Il est intéressant de connaître l'origine de ce banc et je crois devoir citer à ce sujet l'opinion de M. Deschamps qui a été chargé, comme conducteur, des premiers travaux de dragage. Dans une petite brochure de 1877, il a publié ce qui suit :

« Cette formation est postérieure aux derniers creusements « du fleuve. La preuve en est facile. Qu'on veuille bien se repor- « ter à l'époque où l'immense Seine quaternaire, perdant de « son volume et de sa force, abandonnait son ancien fond qui « forme aujourd'hui la presqu'île de Brotonne. La Seine déposa « d'abord toutes les masses de silex et de sable qui composent « les terres sablonneuses des communes de Guerbaville et de « Bliquetuit. Son lit, encore énorme, comprenait, en outre de « son cours actuel, tout l'espace que couvrent aujourd'hui les « prairies qui produisent le foin célèbre de La Mailleraye. Après « une nouvelle étape, la période de décroissance continuant « toujours pour la Seine, elle déposa d'autres sédiments vaseux « plus légers, provenant de la mer, tandis que les précédents « venaient de la Seine supérieure et des érosions considérables « qu'elle entraînait. Enfin, des îles se formèrent, et il suffit que « les noues en fussent obstruées pour que toutes les conditions « nécessaires à la formation de la tourbe se rencontrassent « immédiatement ».

Le dragage du banc des Meules a été complété par celui du banc d'Harcourt, situé sur la rive gauche de la Seine en aval de La Malleraye, et qui est formé de sable et de galets agglutinés. En résumé le banc des Meules a été abaissé d'environ 3 m. 50 et peut l'être encore à l'avenir.

Il ne paraît pas y avoir d'autre banc qui barre de la même manière le lit primitif de la Seine ; sur aucun point, du moins, le lieu des basses mers n'indique, à notre connaissance, une inflexion comme celle qui se trouve au banc des Meules.

Au delà de Caudebec, la largeur de la Seine augmentait rapidement. Elle était d'environ un kilomètre à Villequier et atteignait 2.500 mètres auprès de Quillebeuf, après un rétrécissement à 600 mètres à Aizier. On peut dire que l'estuaire de la Seine commençait en aval du banc des Meules, à 62 kilomètres du Havre et qu'il occupe au delà toute la baie qui sépare la Seine-Inférieure de l'Eure et du Calvados. Sa largeur est de 8.300 mètres à Honfleur et de 9.200 mètres dans le méridien du Havre.

Les sables qui occupent ce grand espace proviennent principalement des côtes du Calvados et de la Seine-Inférieure, d'où ils ont été apportés par l'action des courants et des vagues.

Régime maritime de la Manche et de l'embouchure de la Seine. — Une partie de la grande onde qui produit la marée dans l'océan Atlantique contourne en effet les îles Britanniques, et descend dans la mer du Nord le long des côtes orientales de l'Ecosse et de l'Angleterre. Elle atteint le Pas-de-Calais, par où elle arrive dans la Manche. Son amplitude primitive au Nord de l'Ecosse est, en vive eau, de 4 mètres, auprès d'Aberdeen ; elle est de 1 m. 80 à Yaremouth, au Nord de l'embouchure de la Tamise. Sa célérité et son amplitude augmentent au passage du Pas-de-Calais, mais elles diminuent notablement ensuite par l'effet de son épanouissement dans le bassin Est de la Manche, dont la largeur devient le quadruple de celle du détroit. Par la même raison son influence doit être beaucoup moindre à l'Ouest de Cherbourg,

L'onde de l'Atlantique donne aussi naissance, au Nord-Ouest de Brest, à deux ondes dérivées, dont l'une se propage dans la mer d'Irlande et l'autre dans la Manche. L'amplitude verticale de cette dernière onde en vive eau ordinaire est de 6 m. 75 à Brest, d'environ 5 mètres aux îles Scilly, de 5 m. 70 à Cherbourg et dépasse 12 mètres dans la baie de St-Malo. Elle franchit le pas-

sage qui sépare Cherbourg de la côte anglaise, et se propage au delà dans la Manche. Le régime des marées dans cette mer résulte des deux ondes opposées et inégales qui y pénètrent par l'Ouest et par la mer du Nord, ainsi que des circonstances locales ; mais l'influence de l'onde de l'Atlantiqne est prépondérante.

A l'Est de Cherbourg (1) cette onde s'épanouit au Sud-Est dans la vaste baie qui sépare la pointe de Barfleur du cap d'Antifer, et elle arrive directement sur toute la côte qui s'étend entre ces deux points. Mais si l'on examine l'orientation des côtes les plus voisines de l'estuaire de la Seine, on voit que les vents du Nord-Ouest et de l'Ouest-Nord-Ouest qui ont le plus d'action dans ces parages, font des angles aigus avec les côtes du Calvados et de la Seine-Inférieure. Ils poussent l'un et l'autre des sables vers l'embouchure de la Seine, l'un en longeant la côte du Calvados de Port-en-Bessin à Honfleur, l'autre en suivant le pied des falaises qui forment les bords de la mer depuis le cap d'Antifer jusqu'au Havre. La rencontre de ces deux ondes entre elles est la cause qui maintient la marée haute pendant trois heures à l'entrée du port du Havre.

Mais examinons d'abord de plus près la marche des deux ondes entre le méridien de Barfleur et l'embouchure de la Seine.

Un rapport a été présenté le 4 juin 1885 à la Chambre des députés par M. Mathieu, au nom d'une commission nommée pour examiner le projet de loi présenté par le gouvernement à l'appui de l'amélioration du port du Havre. Ce rapport a reproduit les points sur lesquels la commission nautique nommée par le gouvernement et les ingénieurs des ponts et chaussées se sont mis d'accord au sujet des courants. Ce rapport s'exprime ainsi (2) :

1° des courants : « Le flot de la Manche après avoir doublé la « presqu'île du Cotentin se bifurque en deux branches. La pre- « mière se dirigeant vers l'Est, vient frapper la côte aux envi- « rons d'Antifer, un rameau de cette branche, divisée par la côte « qu'elle frappe normalement, vient contourner la Hève et pénè- « tre dans la Seine en passant par la petite rade du Havre, « parallèlement à la côte. La deuxième branche vient longer les « côtes du Calvados, et, se dirigeant droit à l'Est, produit le rem- « plissage de l'estuaire. Cette branche est en avance sur la pre-

(1) Voir fig. 16.
(2) Page 25.

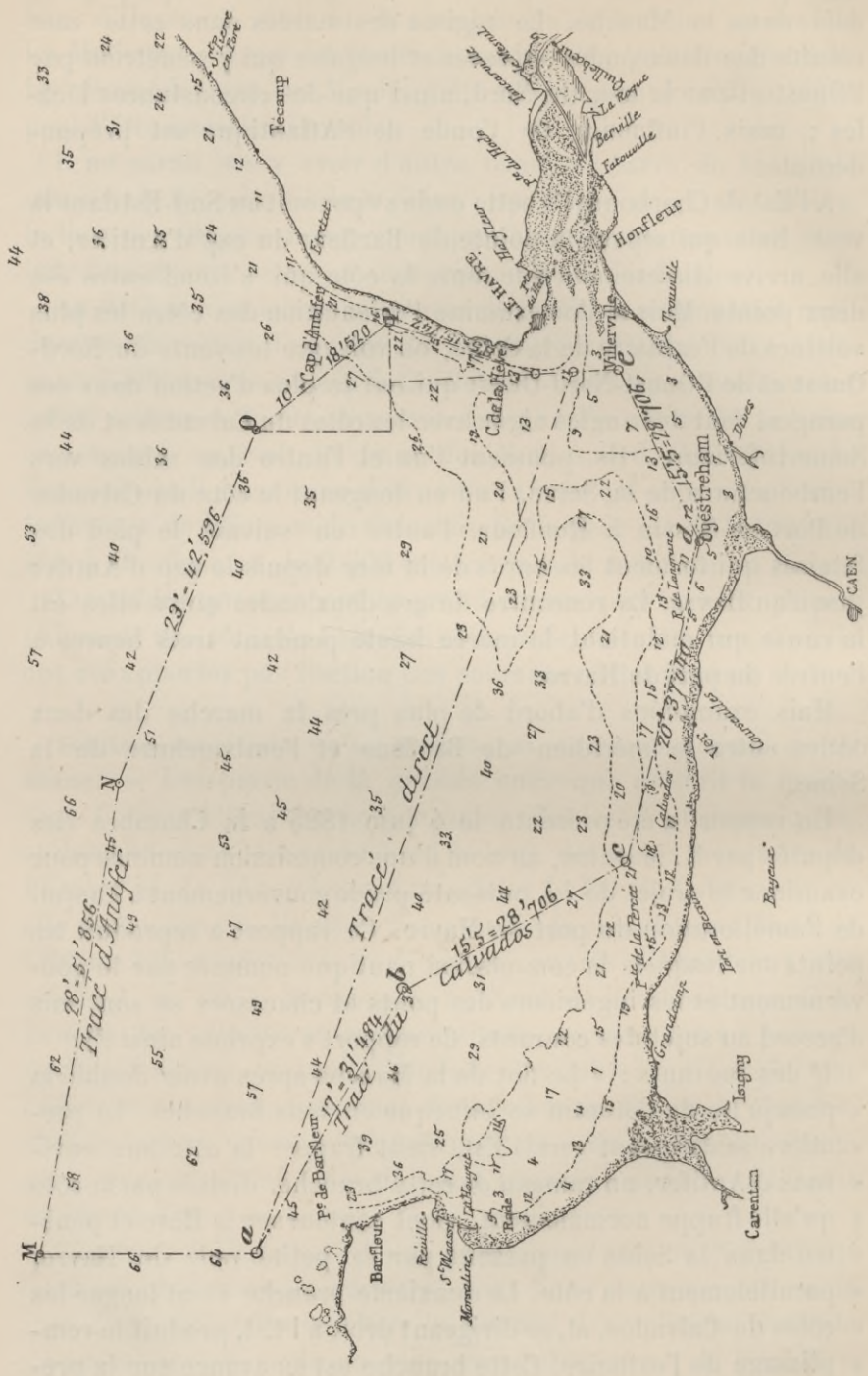


Fig. 31. — Carte de la Baie de la Seine.

« mière ; elle achève le remplissage de l'estuaire environ une « heure avant l'heure de la pleine mer au Havre. A partir de ce « moment les eaux de la côte Sud se déversent vers le Nord, for- « mant ce qu'on appelle le *courant de Verhaule*, qui n'est en « réalité qu'un prolongement en direction presque inverse du « flot de la côte du Sud, et est constitué en entier par les eaux « de celui-ci. Ce courant, portant au Nord-Ouest, se fait sentir à « l'ouverture des jetées du Havre environ 45 minutes avant la « pleine mer. Il va en s'éloignant peu à peu de l'ouverture du « port : à la pleine mer, la plus grande vitesse est à 200 mètres en « avant des jetées ; puis, continuant son mouvement, il mollit « en vitesse, et après un instant très court pendant lequel il est « presque étale, il est remplacé par le courant de masse du « jusant, qui, dans la petite rade, conserve d'abord la même « direction vers le Nord-Ouest en augmentant graduellement de « force. Ces courants de directions différentes ont des caractères « très visibles et tranchés. — Le premier flot, qui contourne « la Hève, amène des eaux bleues ; il ne contient pas de matières « en suspension.

« Le flot du Calvados, au contraire, plus spécialement à la « suite des mauvais temps qui ont battu les falaises de cette « côte, arrive chargé de sédiments, et il est facile de suivre, avant « le plein, le mouvement vers le Nord et la ligne de séparation « des eaux troubles et des eaux claires.

« A mesure que le jusant se forme, sa direction en petite « rade oblique légèrement vers l'Ouest, en restant trouble. Il n'y « a pas à proprement parler d'étale de jusant, sur les hauts de « la rade, le dernier jusant porte à l'Ouest et infléchit graduel- « lement vers le Sud, puis au Sud-Est sous l'influence du flot « qui suit. Le jusant est également chargé de sédiments, surtout « à l'époque des crues de la Seine. Le vrai flot, en petite rade, « ne dure ainsi que quatre heures à peine, tandis que le jusant « dure huit heures. »

Cette description, que nous avons voulu reproduire en entier, fait connaître l'ensemble des mouvements de l'eau près du Havre, au moment de la marée. Il y a lieu de remarquer que dans la petite rade, le courant du jusant dure deux fois plus que le flot, et que les sédiments apportés par le courant du Calvados n'arrivent à l'ouverture des jetées du Havre que 45 minutes avant la pleine mer. La basse mer s'étant produite 4 heures ou 4 h. 1/2 avant le même instant, l'exhaussement du niveau de la

mer s'est effectué pendant 3 h. 1/4 ou 3 h. 3/4 avant l'arrivée des eaux troubles du Calvados. Il paraît difficile qu'elles soient en avance sur celles du courant d'Antifer, et surtout qu'elles pénètrent avant elles dans l'estuaire auprès du Havre.

Les longues discussions qui se sont produites au sujet de l'amélioration du port du Havre et de la Basse-Seine ont amené de nouvelles études sur ce sujet. Une autre commission a été nommée par la Chambre, et a fait connaître son avis par l'organe de M. Pesson, son rapporteur. La commission y constate la formation des deux courants d'Antifer et du Calvados et poursuit en disant [1] :

« C'est avec le premier, le courant d'Antifer, dont la marche « plus directe et par de grands fonds est plus rapide, que com- « mence à se faire sentir le courant de flot à l'entrée de l'estuaire, « c'est-à-dire sur le méridien de la Hève et de Trouville, environ « 4 h. 1/2 avant l'heure de la pleine mer au Havre. La vitesse, « qui croît rapidement, varie de 2 nœuds au large de la Hève, « et, dans la petite rade, à 3 nœuds, à l'extrémité des jetées du « port. »

Les cartes hydrographiques de la marine permettent de se rendre compte, au moins approximativement, de ce qui se passe dans la baie de la Seine.

Elles donnent, en effet, les profondeurs de la Manche, et la vitesse de propagation des ondes, qui en dépend, peut aisément se calculer par une formule. Celle de Lagrange :

$$K = \sqrt{gH},$$

qui ne renferme que l'intensité g de la pesanteur et la profondeur H de l'eau fournit un moyen simple de calculer la vitesse de propagation, ou célérité K de l'onde.

Nous avons pris sur la carte hydrographique de la Manche [1], deux points dans le méridien de Barfleur (fig. 31), l'un à environ 9 kilomètres au Nord de ce point, l'autre à 34 kilomètres. Du premier, le plus voisin de Barfleur, nous avons figuré par de grandes lignes droites le tracé du flot le long du Calvados. Les longueurs ont été calculées au moyen des graduations mises au bord de la carte à la même latitude, et les profondeurs ont été prises au-dessous du zéro des cartes marines ; elles sont indiquées par la carte elle-même. En divisant les longueurs parcourues

[1] Rapport sur l'amélioration du port du Havre et de la Basse-Seine, du 14 juin 1888, p. 21.

par les célérités de l'onde, nous avons obtenu le temps correspondant de chaque parcours. Nous avons pu obtenir ainsi le tableau suivant pour le flot du Calvados [1].

LONGUEURS	PROFONDEURS	CÉLÉRITÉS	DURÉE DU PARCOURS	
			en secondes	heur., min., secondes
ab = 31.484	44 m.	20m.775	1515″20	25′15″20
bc = 28.706	32 m.	17 , 70	1602 24	
cd = 37.048	16 m.	12 , 27	3015 50	
97.238			6132″94	1 h.42′12″94
de = 28.706	8 m.	8 , 858	3240 5	
Total 125.944			Total 9373″44	2 h.36′13″44

Le flot qui suit la côte du Calvados mettra donc 1 h. 42′13″ pour arriver à Oystreham, à l'embouchure de l'Orne et 2 h. 36′13″, pour atteindre Villerville qui est dans le méridien du Havre.

Du même point du méridien de Barfleur, nous avons fait partir un autre tracé se dirigeant en ligne droite sur la fosse centrale de l'entrée de l'estuaire et passant entre les bancs d'Amfard et du Ratier. Soumis aux mêmes calculs, ce tracé a donné les résultats figurant au tableau qui suit :

LONGUEURS	PROFONDEURS	CÉLÉRITÉS	DURÉE DU PARCOURS	
			en secondes	heur., min., secondes
*a*A = 18.520	46 m.	21m.24	871″87	
AB = 18.520	44 , 6	20 , 916	885 45	
BC = 27.780	32 , 2	17 , 77	1564 20	
CD = 9 160	21 , 5	14 , 51	630 72	
DE = 9.160	17 , 7	13 , 176	696 19	
EF = 9.160	14 , 6	11 , 967	745 44	
92.300			5393″87	1 h.30′13″77
FG 18.520	11 , 50	10 , 33	1739 90	28 59 90
Total 110.820			Total 7133″77	1 h,58′53″77

[1] Carte n° 944 (figure 31).

Ce tracé est plus court de 15 kilomètres que le tracé par Oystreham. Le flot le parcourt en 37 minutes de moins que l'onde du Calvados ne met à aller de Barfleur à Villerville. Il faut remarquer que, pour le tracé direct, on ne trouve plus de grandes profondeurs en arrivant auprès du Havre.

Enfin, nous avons étudié un tracé correspondant au courant qui vient frapper la côte entre Le Havre et le cap d'Antifer. Il part d'un point M, située à 39 kilomètres au Nord de Barfleur et se dirige, en moyenne, sur le milieu de la côte, du cap d'Antifer au Havre. Après avoir rencontré cette côte, il se dirige parallèlement au rivage jusqu'au Havre. Le tableau ci-dessous renferme les éléments et les résultats de cette dernière étude :

LONGUEURS	PROFONDEURS	CÉLÉRITÉS	DURÉE DU PARCOURS	
			en secondes	heur., min., secondes
MN = 51.856	57 m.	23m.64	2193″6	
NO = 42.596	41 m.	20 , 05	2124 1	
OP = 18.520	24 m.	15 , 34	1207 3	
PR = 15.742	14 m.	11 , 71	1343 3	
Total 128.714			Total 6868″3	1 h. 54′28″3

La durée du parcours est, à une minute près, la même que par le tracé direct quoique la longueur du trajet soit plus grande de 18 kilomètres. Cela tient évidemment aux grandes profondeurs que le flot rencontre sur le tracé par la côte d'Antifer.

Ces résultats justifient pleinement l'avis de la commission de 1888.

Le flot d'Antifer arrive donc au Havre environ 38′21″ avant que le flot du Calvados ne parvienne à Villerville, et 14 minutes seulement après l'arrivée de ce flot à Oystreham. On ne peut pas supputer exactement d'après les profondeurs qu'on trouve à l'embouchure de la Seine, la célérité avec laquelle les deux ondes tendront à se rencontrer dans le méridien du Havre, parce que leur vitesse est modifiée par le passage du chenal de la Seine et par les courants de flot qui traversent les trois passes que forment à l'embouchure les bancs du Ratier et d'Amfard ; mais il est certain que la rencontre des deux flots et des courants du Calvados et d'Antifer se produit entre les deux côtés de la baie.

Dans son rapport du 14 juin 1888, M. Pesson, exprimant l'opinion de la commission de la Chambre des députés, dit (p. 31), « qu'une notable proportion des matières entraînées par le cou- « rant du Calvados se dépose à l'entrée même de l'embouchure, « au Sud-Ouest du banc du Ratier, au point de rencontre des « deux courants du Calvados et d'Antifer et contribue à la « formation du banc de Seine ».

Il est évident que lorsque deux courants s'avancent l'un vers l'autre en suivant en sens inverse une même direction, leur vitesse doit s'amortir à leur point de rencontre, et les matières qu'ils portent en suspension ou qu'ils entraînent doivent se déposer par suite de la diminution de vitesse des deux courants. On peut donc dire que les hauts-fonds qui existent à l'Ouest du méridien du Hoc indiquent les lieux de rencontre des courants, les endroits où leurs vitesses diminuent et sont trop faibles pour emporter les matériaux qu'ils ont entraînés jusque-là.

Or, si l'on examine la carte hydrographique de la baie de la Seine, on voit que la courbe des profondeurs de 10 mètres, après avoir longé de très près la côte d'Antifer et longé les hauts de la petite rade jusqu'au milieu de la passe centrale de l'entrée de l'estuaire, se reporte à l'Ouest, et entoure au Sud le vaste dépôt de sable qui forme le banc de Seine. La partie de ce banc qui s'élève au-dessus des fonds de 10 mètres se prolonge sur 35 kilomètres jusqu'au plateau des Roches du Calvados, et ne dépasse guère, au Nord-Ouest, l'alignement de la côte d'Antifer. Mais au-dessous des profondeurs de 10 mètres et jusqu'à celles de 20 mètres, le banc de Seine forme une longue pointe sous-marine qui s'étend à 30 kilomètres à l'Ouest du Havre, au delà du méridien de l'embouchure de l'Orne, et qui atteste l'action puissante du courant d'Antifer. Le banc ne s'est guère étendu à l'Est du Havre. Les sables qui pourront être portés en dehors de l'estuaire par les travaux de la Seine seront donc rejetés à l'Ouest. Ils pourront avancer un peu la courbe des profondeurs de 10 mètres du banc de Seine, vers le Nord, mais ils laisseront libre l'entrée du fleuve qui se maintiendra profonde comme l'entrée de la fosse centrale de l'estuaire et par les mêmes motifs.

Régime spécial des courants de l'embouchure. — Des observations de marée ont été entreprises les 10 et 17 septembre 1885, en vive et en eau morte, sur toute la côte française, depuis Brest jusqu'à Dunkerque. Celles qui ont été faites le 10, sur les rivages

des départements de la Manche et du Calvados, indiquent que l'onde d'Antifer, après avoir traversé l'estuaire, se propage par interférences le long de la côte de Normandie jusqu'à Isigny. On voit par les courbes locales que les sommets des deux ondes sont encore séparés à Trouville par un léger abaissement qui permet de les distinguer l'une de l'autre. Cet indice disparaît à Oystreham, mais le haut de l'onde, qui n'a varié, le 10 septembre 1885, que d'un mètre en trois heures, fait voir que l'onde d'Antifer croise auprès de ce point celle du Calvados. Dans la baie des Veys et dans les chenaux de Carentan et d'Isigny, l'on observe deux ondes successives. Après le plein dû au flot venant de Barfleur et une heure environ après le renversement du courant de la marée montante, le jusant perd sa vitesse, et le niveau de la marée descendante ne s'abaisse que beaucoup plus lentement; au bout d'une heure et demie, la mer reprend sa marche descendante. Ce phénomène est dû à l'arrivée de l'onde d'Antifer qui parcourt la côte de l'Est à l'Ouest.

Dans les premiers temps de la marée montante le flot qui longe la côte du Calvados, en venant de Barfleur, pénètre dans l'estuaire et y apporte en abondance les sédiments dont il est chargé. Ses eaux se répandent dans la baie et la remplissent avec celles du courant d'Antifer. L'onde du Calvados dépose les sables et les vases qu'elle charrie, dès que la vitesse des courants diminue, et l'on a remarqué que c'était surtout sur la côte du Sud, du côté de Saint-Sauveur et de l'abbaye de Grestain. Elle produit ensuite un courant qui forme comme un remous dans la baie quand la marée l'a presque remplie. Ce courant vient suivre la côte de la Seine-Inférieure, et se dirige vers le Havre. Il y arrive chargé de vase, une heure environ avant la pleine mer. On le désigne alors par le nom de courant de *Verhaule*.

« A ce moment [1] où il parvient au Havre, dit le rapport de « 1888, l'estuaire est à peu près plein et le courant du Calvados « s'introduit encore en Seine vers le Sud ; mais, bientôt refoulé, « comme si l'*estuaire était barré*, il porte au Nord-Est, puis au « Nord, et appuie sur le courant de Verhaule qui continue à se « diriger à l'Ouest jusqu'au méridien du Havre et au Nord-Ouest « dans la petite rade, pour atteindre sa vitesse maxima à l'heure « de la pleine mer du Havre. Le renversement des courants pré-

[1] Extrait du rapport de la commission de la Chambre des députés du 14 juin 1888 rédigé par M. Pesson, son rapporteur, p. 21.

« cède cette heure de 15 minutes vers le Hoc, de 40 minutes à « l'entrée du port et de 1 h. 15′ sous la Hève, sans que la mer « cesse de monter pendant cette période. Le courant de Verhaule « prend très rapidement une grande vitesse, qu'il conserve long- « temps. Il atteint ainsi le maxima d'intensité 2 nœuds 5/10 à « l'extrémité des jetées, et c'est lui qui achève de remplir le « port du Havre. Le jusant commence ensuite et s'établit lente- « ment, sans atteindre l'intensité du flot ; sa vitesse, en effet, « ne dépasse pas 1 nœud 5/10 ou 2 nœuds dans la petite rade, « et 2 nœuds 6/10 au large des jetées. »

Conséquences de ce régime. — Les dépôts faits par le courant du Calvados sont en partie repris par le jusant qui les entraîne vers l'aval, mais ils sont partiellement rapportés par le flot de la marée suivante. D'un autre côté, le chenal de la Seine varie dans l'estuaire,et la rivière attaque les bancs déjà formés et en entraîne les débris vers la mer. La marée suivante les remonte dans la baie. Ceux qui sont portés dans des endroits à l'abri du jusant se déposent, et forment bientôt des bancs qui se couvrent de prairies. C'est ainsi qu'en dehors du lit endigué de la Seine, se sont constitués à l'abri des digues 7.566 hectares de prairies d'alluvion. Nul doute que si l'on crée, par la construction de la digue Nord de la Seine, aux abords du Havre, un angle mort à l'abri du jusant, cet angle se remplira de sable ; les alluvions qui se sont déjà formées de la sorte sur 50 kilomètres depuis Villequier jusqu'au Hoc s'étendront jusqu'à l'entrée Sud-Ouest du port du Havre.

Les variations du chenal modifient l'endroit où l'onde du Calvados rencontre la Seine et les points où les sables se déposent ; mais la grande source des alluvions maritimes se trouvera toujours dans l'érosion de la côte du Calvados et dans les bancs qu'elle a produits devant ses rivages.

Parfois, quand le chenal de la Seine s'éloigne de Honfleur, un banc se forme devant ce port ; on n'y accède plus alors que par un chenal sans profondeur ,qui se maintient au milieu du banc ; quelquefois une prairie se forme, comme aujourd'hui, le long de la côte du Sud, entre Honfleur et Grestain. Les intérêts du port de Honfleur exigent qu'on fasse passer le chenal de la Seine à l'entrée de son port, et l'intérêt général demande qu'on empêche le sable du Calvados de pénétrer dans l'estuaire et que l'on ferme la passe du Sud de la baie.

On pourrait parvenir à ce résultat par plusieurs moyens, par exemple en prolongeant les digues depuis Honfleur jusqu'à la partie profonde de la fosse d'Antifer, ou en fermant la partie Sud de la baie par un môle, de manière à grouper les eaux de la Seine et de l'estuaire sous les jetées du Havre et à créer une rade auprès de ce port. Cette dernière solution mettrait sûrement le Havre à l'abri des atterrissements qui menacent de l'ensabler et de transformer toute la partie Nord de l'estuaire en prairies marécageuses et malsaines.

Quel que soit le parti qu'on adopte, il conviendra d'amener la Seine jusqu'au courant de jusant qui longe la côte d'Antifer, afin que ce courant maintienne l'entrée de la rivière toujours libre en rejetant sur le banc de Seine les sables qu'elle charrie. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Propagation de la marée dans la Seine. — Une partie de l'onde du Calvados pénètre dans la Seine et remonte le fleuve à la suite de celle qui vient du cap d'Antifer. L'onde du Calvados donne ainsi naissance à une seconde haute mer [1].

La profondeur que cette onde rencontre dans la Seine et dans l'estuaire est assez faible pour que la célérité de propagation des couches d'eau les plus voisines du fond soit bientôt dépassée par celles des parties les plus élevées de l'eau qui les recouvrent, et pour que ces dernières se déversent par-dessus les premières en formant un mascaret. Le point où ce phénomène se produit aujourd'hui de la façon la plus notable est entre Caudebec et Villequier. Après son passage, la Seine se remplit presque instantanément sur une hauteur qui atteint parfois deux ou trois mètres ; la partie du flot qui est en arrière suit le mascaret, en conservant d'abord à peu près le profil qu'elle avait précédemment.

Les deux ondes d'Antifer et du Calvados continuent à se suivre à peu près dans les mêmes conditions d'ensemble, mais le déversement qui se produit à l'avant du flot semble faciliter l'écoulement de l'eau dans la partie de l'onde qui est la plus voisine. On remarque, en effet, que cette onde, qui est celle d'Antifer, reste la plus haute depuis l'estuaire jusqu'à Caudebec, mais qu'elle s'abaisse au delà peu à peu. De Caudebec à Duclair, son sommet se trouve à peu près au même niveau que celui de l'onde du Calvados et celle-ci devient ensuite la plus haute jusqu'à Martot. On peut s'en rendre compte par l'examen des courbes

[1] Atlas : planche V.

locales qui reproduiraient la coupe longitudinale des deux ondes si celles-ci ne varient pas de forme durant leurs parcours. Mais les profils en long instantanés le feraient beaucoup mieux voir si les échelles d'observations étaient suffisamment rapprochées le long du fleuve.

Nous expliquerons plus loin (page 82) le fait dont il s'agit en faisant l'étude du mascaret. La production de ce phénomène sur de grandes longueurs fait aisément comprendre cet abaissement.

Ensablement de l'estuaire jusqu'à La Mailleraye. — Les sables qui s'accumulent à l'embouchure de la Seine ont rempli l'estuaire d'une façon telle qu'ils ont formé comme un vaste barrage dont le sommet se trouve au banc des Meules et à La Mailleraye. Au-dessous, le fleuve s'écoulait encore en 1844 comme sur un long déversoir entre ce point et la mer : il y était variable et sans profondeur. Pendant la marée de vive eau du 18 août 1856, ce barrage a maintenu la mer basse à La Mailleraye à 4 m. 95 au-dessus de la basse mer du Havre [1].

On conçoit qu'en donnant à la Seine un lit profond et compris entre deux digues, en faisant, pour ainsi dire, une coupure dans ce barrage, on devait amener un abaissement notable dans les basses mers en amont, y accroître beaucoup la quantité d'eau introduite par le flot et celle qui en sort aux heures de marée, et obtenir ainsi une augmentation notable des débits et des profondeurs de la Seine. C'est l'amélioration qu'on a réalisée partiellement jusqu'ici.

Cherchons maintenant à indiquer le moyen de rendre la Seine maritime susceptible de rendre le plus de services possible.

Il est évident que cette condition serait remplie si la Seine pouvait admettre à basse mer jusqu'à Rouen les plus gros bâtiments du commerce et de la flotte. Elle constituerait alors une longue rade intérieure, qui s'étendrait de Rouen au Havre et qui serait d'autant plus précieuse que la côte de France n'offre aucun abri sérieux entre Cherbourg et la mer du Nord. Elle serait une voie navigable exceptionnellement utile si elle pouvait recevoir des bâtiments tirant 10 m. 50, au moins sur une partie de son cours.

L'état actuel de la Seine semble tout d'abord rendre difficile de remplir de pareilles conditions. Mais, si l'on considère que

[1] Voir le profil en long de la Seine maritime, pl. II de l'atlas.

l'amplitude moyenne de la marée est, au Havre, de 7 m. 20 en vive eau et de 3 m. 50 en morte eau, l'on peut espérer faire venir à Rouen des navires de plus de 9 mètres de tirant d'eau, tout au moins en leur faisant franchir les seuils les plus élevés au moment du plein. Si l'on suppose, en effet, que l'on puisse abaisser le fond de la Seine à 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines, profondeur analogue à celle que l'on a obtenue au-dessous de l'étiage de Paris à Rouen, on trouve que les pleines mers au Havre, si elles se propageaient en conservant leur niveau jusqu'à Rouen, donneraient 11 m. 05 de profondeur en vive eau et 9 m. 35 en morte eau. Les navires tirant 9 mètres pourraient ainsi passer à toute marée sur les hauts-fonds, et aller attendre, pour continuer leur route, dans des endroits où se trouvent des fosses très profondes. On pourrait employer une marche analogue, quoique plus difficilement à la descente.

Examinons les moyens d'avoir une profondeur de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines jusqu'à Rouen.

Nous rappelons d'abord, qu'ainsi que nous l'avons dit précédemment, il est possible d'abaisser très notablement l'étiage de la Seine en faisant disparaître, par des dragages, le seuil qui existe aux abords de La Mailleraye. La quantité d'eau de marée qui pénètre aujourd'hui dans le fleuve serait considérablement accrue, ainsi que les profondeurs de la Seine.

L'expérience semble avoir maintenant établi que la meilleure manière d'améliorer les rivières maritimes consiste à les comprendre entre des digues longitudinales et à faire agir leurs courants pour creuser les fonds mobiles de leurs lits. C'est par cette méthode, complétée par des dragages, que l'on a agi avec succès sur la Tees en Angleterre, la Meuse en Hollande et sur la Seine elle-même. Nous supposerons que l'on y continuera ce genre de travaux auxquels s'applique toute cette étude.

Pour employer la méthode par abaissement de l'étiage que nous avons indiquée dans le troisième chapitre de ce travail, il convient d'étudier d'abord les conditions principales que doit remplir le profil en long du fleuve.

Nous les avons résumées sur un dessin (figure 32).

Croquis du profil en long de la Seine. — Sur un dessin indiquant les principaux points de la Seine et les distances qui les séparent, on a d'abord coté, sur la verticale correspondant au Havre, les hauteurs moyennes des pleines et des basses mers de

vive eau, et celle du zéro des cartes marines, par rapport au plan général de comparaison du nivellement de Paris et de la Seine. Ce plan est à 101 m. 525 au-dessus du plan de comparaison adopté par M. Bourdaloue pour le nivellement général de la France, et à 105 m. 814 au-dessus du zéro des cartes marines aux abords du Havre.

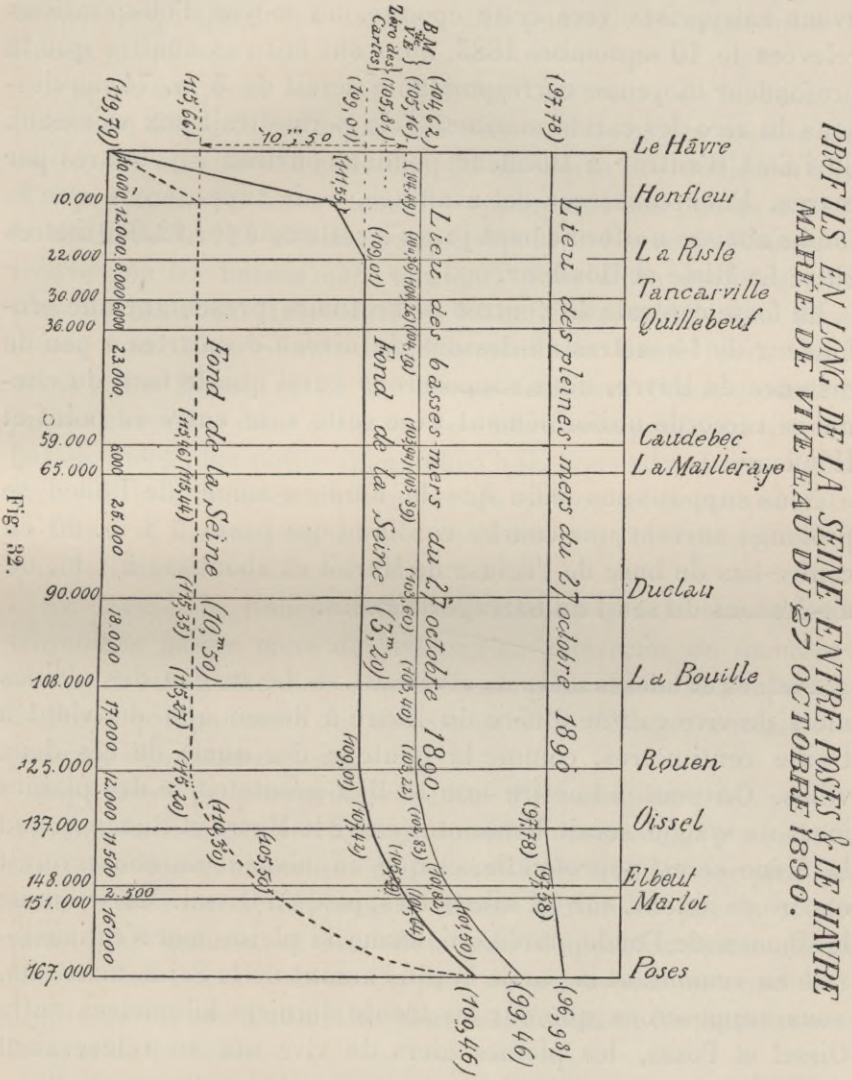


Fig. 32.

On a ensuite figuré sur le croquis le fond moyen du lit du fleuve par une ligne horizontale, tracée à 3 m. 20 au-dessous du zéro de ces cartes, entre Rouen et La Risle, ou à la cote (109,01). L'existence d'un lit sans pente dans une rivière à marée peut se justifier par l'exemple de la Gironde et de son affluent, la

Garonne. De La Maréchale à Bordeaux, sur 58 kilomètres, la profondeur moyenne varie entre 3 m. 36 et 3 m. 62 au-dessous du zéro de l'échelle hydrométrique du pont de Bordeaux.

Des études faites par MM. les ingénieurs du service de la Seine maritime les avaient conduits à fixer à 1.400 mètres la largeur du fleuve en face de Honfleur. Des recherches que nous avons entreprises vers cette époque, au moyen d'observations relevées le 10 septembre 1885, nous ont fait reconnaître que la profondeur moyenne correspondante serait de 5 m. 74 au-dessous du zéro des cartes marines. Cela permettrait aux vaisseaux de l'Etat d'entrer à Honfleur pendant environ six heures par marée. Pour conserver cet avantage, nous supposerons que le fond s'abaisse uniformément jusqu'à cette cote sur 12.000 mètres entre La Risle et Honfleur.

La fosse centrale de l'entrée de l'estuaire présentant une profondeur de 14 mètres au-dessous du niveau des cartes à peu de distance du Havre, nous supposerons aussi que le fond du chenal se raccorde uniformément avec cette cote entre ce point et Honfleur.

Nous supposerons enfin que le fond en amont de Rouen se prolonge suivant une courbe continue qui passe à 1 m. 90 en contre-bas du busc de l'écluse de Martot et aboutisse à 1 m. 60 au-dessous du seuil du barrage de Poses.

Pleines et basses mers de vive eau. — Le niveau des pleines mers de vive eau ne diffère du Havre à Rouen que de vingt à trente centimètres, comme la hauteur des quais de ces deux villes. On peut admettre que le lieu géométrique des pleines mers de syzigie serait horizontal entre le Havre et Rouen quand la Seine serait approfondie, et que ce niveau se conserverait encore en amont, sur 12 kilomètres, jusqu'à Oissel. Mais comme le sommet de l'onde marée qui forme la pleine mer s'exhausserait en remontant la partie la plus amont de la Seine maritime, nous supposerons que sur les trente derniers kilomètres entre Oissel et Poses, les pleines mers de vive eau se relèveraient de 0,80.

Le lieu géométrique des basses mers peut se déterminer par les considérations suivantes.

Le long déversoir que les sables ont formé en aval du banc des Meules paraît se terminer à La Mailleraye où il maintient, à marée basse, les eaux de la rivière bien au-dessus du niveau

qu'elles ont au Havre ; mais, en amont de ce barrage, le lieu géométrique des basses mers présente une inclinaison plus douce et qui dépend de l'écoulement des eaux du fleuve et de la marée ; cette inclinaison resterait probablement la même en aval si la Seine ne trouvait pas de seuil auprès de La Mailleraye. Il paraît dès lors rationnel d'examiner cette pente et de supposer qu'après les travaux elle pourrait se reproduire de Rouen jusqu'à la mer.

D'après un profil levé par MM. les Ingénieurs de la Seine et publié en 1886, la différence du niveau des basses mers a été de 0 m. 80 en vive eau et de 0 m. 50 en morte eau, de Rouen à La Mailleraye, sur 60 kilomètres. En appliquant ces pentes à toute la distance de 125 kilomètres qui sépare le Havre de Rouen, on trouve que les basses mers seraient, dans cette dernière ville, plus élevées qu'au Havre de 1 m. 54 en vive eau et de 0 m. 96 en morte eau. Mais comme l'abaissement des hauts fonds de la Seine entre Rouen et La Mailleraye facilitera l'écoulement du jusant et rendra dans cette partie du fleuve la pente du lieu des basses mers plus petite qu'aujourd'hui, nous admettrons qu'en vive eau la différence de hauteur de ce lieu géométrique entre le Havre et Rouen sera un peu moindre et qu'elle pourra n'être que de 1 m. 40.

Au-dessus de Rouen, nous admettrons que le lieu géométrique des basses mers de vive eau se relèverait de manière à atteindre une hauteur de 1 mètre au-dessus du busc de l'écluse de Poses qui, par suite de l'abaissement de l'étiage, devrait être pourvue d'un nouveau sas.

Si, grâce à la plus grande facilité d'écoulement créée par les travaux, le lieu géométrique des pleines mers venait à s'exhausser, ou le lieu géométrique des basses mers à s'abaisser plus que nous l'avons prévu, la quantité d'eau introduite par la marée serait plus grande, et ses effets pour l'approfondissement du fleuve plus considérables. On peut donc accepter les conditions que nous venons d'admettre pour les pleines et les basses mers futures de la Seine.

Nous rappellerons aussi que les débits par seconde, dans les différentes sections, sont généralement plus grands durant le flot qu'à marée descendante, parce que le flot dure moins longtemps que le jusant et que la section cherchée du fleuve devra être capable de donner passage à ses eaux durant le moment où elles seront le plus abondantes. C'est ce motif qui nous a con-

duit à étudier plus particulièrement la marée montante, le lit qu'elle exige pendant cette période de temps étant nécessairement assez grand pour laisser passer les eaux de la marée descendante.

L'effet des crues sera, dans cette étude, l'objet d'observations spéciales.

Nous avons choisi, pour faire l'étude du nouveau régime de la Seine, la marée de vive eau du 27 octobre 1890 dont le coefficient était 100. Cette marée s'est élevée à 8 m. 08 au-dessus du zéro du marégraphe du Havre [1], et son amplitude a été de 6 m. 84 à l'entrée de ce port.

Courbes locales. — Pour tracer les nouvelles courbes locales de cette marée dans la Seine, il a fallu commencer par calculer les cotes successives de la marée dans chaque station hydrométrique. Nous nous bornerons à nous en référer, pour ce sujet, aux explications qui sont données aux chapitres II et III de ce travail.

Pendant la marée du 27 octobre 1890, les basses mers qui ont précédé et suivi la pleine mer ont été aux cotes de 1 m. 24 et de 1 m. 26 au-dessus du zéro du marégraphe du Havre, et les amplitudes des marées montantes et descendantes ont atteint 6 m. 84 et 6 m. 82. Une différence de 0 m. 02 a paru négligeable et l'on s'est contenté de calculer sur leur moyenne les coefficients $\frac{bb'}{aa'}$ et $\frac{bb''}{aa''}$ [2]. On en a trouvé les valeurs suivantes pour les différentes stations :

pour Honfleur	0,981	Duclair	0,851
La Risle	0,962	La Bouille	0,822
Tancarville	0,947	Rouen	0,796
Quillebeuf	0,937	Oissel	0,737
Caudebec	0,901	Elbeuf	0,620
		Poses	0,3625

En joignant entre eux les points donnés par ces formules pour une même onde élémentaire, on a obtenu approximativement la trajectoire suivie par cette petite onde dans toute la Seine maritime.

(1) Le zéro du marégraphe du Havre est à 0 m. 10 en contre-bas du zéro des cartes marines, soit à la cote (105,91) du nivellement de la Seine.

(2) Chapitre II, p. 32 et formules 34 et 35.

Le calcul des heures d'arrivée de l'onde en chaque point résulte de l'heure initiale de sa formation à l'embouchure et de la célérité avec laquelle elle se propage dans les différentes sections du fleuve. Celle-ci a été calculée par la formule de M. Boussinesq.

Cette formule est :

$$\omega - U_0 = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right) \qquad (38)$$

ω étant la célérité, U_0 la vitesse du courant sur lequel l'ondulation se propage, H la profondeur au-dessous de l'étale basse mer et h la hauteur de la cote au-dessus du même niveau.

L'on a eu ainsi tous les éléments nécessaires pour calculer les courbes locales sur la Seine maritime. On a obtenu les feuilles de hauteur d'eau pour chaque station, et l'on a déduit les courbes locales cherchées ; on peut conclure de celles-ci le profil en long momentané du fleuve à une heure donnée, en prenant pour cette heure les cotes correspondantes soit sur les feuilles, soit sur un dessin à grande échelle sur lequel toutes les courbes locales sont figurées[1]. Les erreurs qu'on obtient ainsi ne sont pas supérieures à celles d'une observation directe qui pourraient résulter d'un coup de sonde donné dans la Seine à l'heure et à l'endroit voulus.

Mascaret. — Toutes les formules d'où l'on déduit la célérité de propagation des ondes indiquent que cette célérité augmente avec la profondeur de l'eau sur laquelle elles se propagent. Il en résulte que les petites ondes élémentaires qui forment la base de toute ondulation, ont moins de vitesse que celles qui sont au-dessus d'elles, et doivent toujours finir par être atteintes par celles-ci quand elles ont à faire un parcours assez long. C'est ce qui arrive en effet : les petites ondes supérieures se déversent alors par-dessus celles qui sont au-dessous et donnent naissance à un déferlement qui constitue le phénomène du mascaret ([1]).

Si l'on examine les feuilles qui contiennent les éléments des courbes locales, on remarque qu'avec les profondeurs de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines entre la Risle et Rouen, que nous avons choisies pour base de nos calculs, le

([1]) Atlas : planches IX et X.

Marée de vive eau du 27 octobre 1890. **SEINE MARITIME** (3 m 20)

LE HAVRE	LA BOUILLE				ROUEN				ELBEUF				POSES				OBSERVATIONS
heures	heures	différ.	cotes	différ.	heures	différ.	cotes	différ.	heures	différ.	cotes	différ.	heures	différ.	cotes	différ.	
Marée du matin. — Marée montante.																	Les calculs de la célérité des ondes élémentaires ont été faits en supposant que le lit du fleuve, de l'embouchure de La Risle à Rouen, serait à 3m20 au-dessous du zéro des cartes marines.
H M	H M				H M				H M				H M				
5 00	8 47		102.93		9 23		102.76		10 17		101.46		11 17		99.25		
		H M 0 11		0.66		H M 0 08		0.63		H M 0 04		0.50		H M — 03		0.29	
5 30	8 58		102.27		9 31		102.13		10 21		100.96		11 14		98.96		
		0 02		1.16		— 02		1.13		— 07		0.87		— 15		0 51	
6 00	9 00		101.11		9 29		101.00		10 14		100.09		10 59		98.45		
		0 10		1.18		0 07		1.13		0 01		0.89		— 05		0.52	
6 30	9 10		99 93		9 36		99.87		10 15		99.20		10 54		97.93		
		0 15		1.05		0 13		1.02		0 09		0.79		0 05		0.46	
7 00	9 25		98.88		9 49		98.85		10 24		98.41		10 59		97.47		
Marée du soir. — Marée montante.																	
H M	H M				H M				H M				H M				
5 30	9 14		102.84		9 49		102.68		10 43		101.39		11 42		99.21		
		H M 0 05		0.89		H M 0 02		0.86		H M — 04		0.67		H M — 12		0.40	
6 00	9 19		101.95		9 51		101.82		10 39		100.72		11 30		98.81		
		0 05		1.22		0 01		1.18		— 04		0.92		— 12		0 53	
6 30	9 24		100.73		9 52		100.64		10 35		99.80		11 18		98.28		
		0 11		1.15		0 08		1.12		0 03		0.86		— 03		0.51	
7 00	9 35		99.58		10 00		99.52		10 38		98.94		11 15		97.77		
		0 15		0.99		0 13		0.95		0 10		0.75		0 06		0.43	
7 30	9 50		98.59		10 13		98.57		10 48		98.19		11 21		97.34		

phénomène du Mascaret se produirait entre La Bouille et Poses.

Les cotes et les heures relatives à ces stations permettent, en effet, d'établir le tableau suivant : (1)

Les chiffres de ce tableau font voir qu'à La Bouille, le niveau de la Seine monterait de 1 m. 16, entre 8 h. 58 et 9 h. du matin, et de 2 m. 34 entre la même heure de 8 h. 58 et 9 h. 10. Un pareil exhaussement du niveau de la Seine indique déjà une arrivée brusque de l'onde marée.

Mais si l'on considère les ondes élémentaires parties à 5 h. 30 et à 6 h. du matin du Havre, on peut calculer le point où la seconde atteint la première et où elles sont à la même distance de La Bouille, après avoir dépassé cette station. Désignons par x (fig. 33) l'espace situé entre le point cherché, et La Bouille, par K′ et K les célérités correspondantes à 5 h. 30′ et 6 h. indiquées sur les feuilles des courbes locales dans la section située entre Rouen et La Bouille, et par t le temps du parcours depuis La Bouille. Remarquons que l'onde de 6 h. n'arrive à ce dernier point qu'un certain temps δ, ici de 0 h. 2 ou 120 secondes, après celle de 5 h. 30.

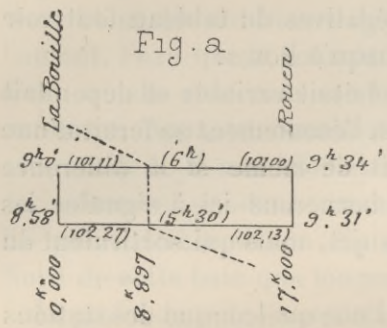


Fig. 33.

On voit que l'espace parcourue sera égal à K′t pour l'onde de 5 h. 30, et de K (t—δ) pour celle de 6 h. L'espace étant le même pour les deux ondes, on aura l'équation suivante :

$$K't = K\,(t - \delta)$$

d'où :

$$t = \frac{K\delta}{K - K'} \qquad (39)$$

a valeur de t donne de suite la distance cherchée. Elle est de $x = K't$ pour l'onde de 5 h. 30 et de K ($t - \delta$) pour l'onde de 6 h. Comme K′ = 8 m. 57 et K = 9 m. 69, on trouve t = 1038″,2 ou 17″ 18′, et 8.897 mètres pour la distance K′t cherchée, la concordance se ferait à 9 h. 15′ 18″. Il faut bien noter que dans ce calcul, le temps doit être compté à partir de La Bouille et les célérités prises dans le tableau relatif à Rouen (amont). Les cé-

(1) Page 78.

lérités du Havre à Honfleur et en amont sont en effet portées dans les tableaux de Honfleur. et, en général, de la station d'amont de la section considérée.

Il est évident qu'au point ainsi trouvé il y aurait un mascaret. On peut calculer les cotes des ondes élémentaires sur les trajectoires de 5 h. 30 et de 6 h. et l'on trouverait que leur différence de hauteur serait d'environ 1 m. 13.

Les ondes élémentaires n'étant calculées que de demi-heure en demi-heure, on peut se demander si la concordance ne se produirait pas antérieurement avec une onde partie du Havre à 5 h. 45′ par exemple; on trouve en effet qu'elle se ferait plus tôt.

A Rouen (amont), l'onde de 6 h. arrive deux minutes avant celle de 5 h. 30′ et les différences négatives du tableau font voir qu'un fait analogue se produirait jusqu'à Poses.

On peut voir que si la différence δ était variable et dépendait d'une autre loi que celle des marées, l'écoulement se ferait d'une façon toute différente. Il en serait de même si la différence $K' - K$ était constante. Nous nous bornerons ici à signaler les études que l'on pourrait faire à ce sujet, mais qui sortiraient du cadre de ce travail.

La formule (39) peut s'appliquer à l'une quelconque des stations d'observations établies sur le fleuve. Supposons qu'on prenne celle de l'embouchure et qu'on s'en serve pour chercher les points de concordance entre deux ondes élémentaires successives dont le départ se ferait à des intervalles de temps δ égaux, de dix minutes par exemple ; δ serait alors constant.

La formule indique, dans ce cas, que le point de coïncidence serait d'autant plus éloigné de la mer que la diffférence $(K - K')$ des célérités des deux ondes successives serait moindre. Il en résulte que le point où le mascaret se produit est d'autant plus éloigné de la mer vers l'amont que $(K - K')$ est plus petit, ce qui arrive quand la profondeur au-dessous de l'étiage augmente. Les travaux d'amélioration de la navigation auront donc pour effet d'éloigner de la mer les points où le mascaret se produit, et de finir par le faire disparaître. Avec des fonds de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes, il ne se produirait guère en aval de La Bouille et avec des fonds de 10 m. 50 au-dessous de l'étiage il ne se manisfesterait théoriquement qu'en amont du barrage de Poses, si ce barrage n'empêchait pas la marée de se propager au delà. Il disparaîtrait ainsi de la Seine maritime.

Si l'on considère la courbe locale d'une marée régulière, on

voit que les différences de profondeur successives et celles des célérités (K — K′) en un même point et pour un intervalle constant de δ sont plus faibles vers les basses et les pleines mers que vers l'instant de la mi-marée. Il en est autrement lorsque les profondeurs sont faibles et que le frottement sur le fond et les rives vient modifier les vitesses de propagation dont il s'agit.

La formule (39) indique aussi par son numérateur que le mascaret s'éloigne d'autant plus de la mer que la célérité de l'onde élémentaire supérieure est plus grande.

Lorsque la profondeur est faible, le frottement sur le fond diminue la célérité des couches inférieures de l'onde et amène la formation du mascaret à un instant plus voisin de la basse mer. La partie antérieure de l'onde s'avance plus lentement vers l'amont, l'eau qui la compose s'accumule, augmente le volume d'eau qu'elle renferme et amène l'exhaussement du sommet du mascaret. Nous citerons à ce sujet une observation que nous avons faite le 6 mai 1856 dans la baie que forme l'embouchure de la Seine et pendant une marée de vive eau de coefficient 100. Le point d'observation était pris à Saint-Jacques sur le côté Nord de cette baie que longeait le chenal du fleuve.

La profondeur de l'eau n'était que de 0 m.35 et n'avait pas varié sensiblement de hauteur depuis dix minutes ; aucun gonflement ne précéda immédiatement l'arrivée du flot. Le mascaret se présenta comme un long barrage qui s'étendait sur le chenal et les bancs de sable voisins. L'eau bouillonnait sur toute sa hauteur. Il était terminé du côté de la rive par cinq ou six lames en forme de volutes et suivi d'autres vagues parallèles connues dans le pays sous le nom d'éteules.

La hauteur de la première vague formant le mascaret et mesurée à l'aide d'une échelle voisine du rivage, était de 2 m. 18. Les éteules étaient séparées par des creux dont on n'a pu reconnaître exactement la profondeur, mais qui paraissait être de 1 m. 50 environ. Deux minutes 15 secondes après leur passage, le niveau de la mer était assez tranquille et se trouvait à 1 m. 68 au-dessus de la mer basse. Le mascaret formant la tête du flot s'élevait donc à 0 m. 50 au-dessus de la couche d'eau qui le suivait [1]. Ce fait est analogue à la formation d'un ressaut dans certaines conditions de l'écoulement des eaux courantes.

On a tracé sur le dessin reproduit par la planche III de l'atlas

[1] Mémoire de l'auteur sur le mascaret. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1861, 1er cahier.

et au moyen des trajectoires, les profils en long momentanés de la Seine à des heures choisies aux stations comprises entre La Bouille et Poses. Le croquis ci-joint (fig. 34) reproduit une partie de ce dessin et du profil instantané à 9 h. 34. Les points correspondant aux différences négatives du tableau de la page 69 ont donné des lignes qui, dans les parties ponctuées ne peuvent évidemment pas se réaliser. L'eau apportée par l'onde élémentaire la plus rapide tombera nécessairement sur la partie inférieure du contour théorique à partir du point où ce contour passera sur la trajectoire de la petite onde qui précède, et formera un mascaret en amont de ce point. Au moment correspondant au profil en long instantané, cette dernière onde n'a pas encore amené la couche liquide sur laquelle elle s'est propagée jusque-là. L'eau qui manque, entre les points d'intersection de la trajectoire inférieure et du profil théorique jusqu'à la rencontre de ce profil avec la trajectoire supérieure est évidemment remplacée aux dépens de la masse liquide qui suit ce dernier point. Il en résulte que la surface de l'eau s'abaisse nécessairement, et que la production continue du mascaret sur de grandes longueurs abaisse le niveau du fleuve pendant un certain temps après son passage. Le remplissage se fait d'autant plus vite que la célérité des ondes est plus grande, et que la profondeur est plus forte. Les courbes locales de la Seine maritime sont intéressantes à cet égard. Elles sont reproduites à la planche IV de l'atlas d'après les observations faites le 10 septembre 1885. Sur le dessin, les ondes se propagent de droite à gauche.

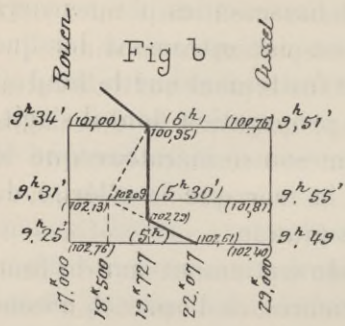


Fig. 34.

La courbe locale de l'embouchure, à Honfleur, indique les deux ondes qui arrivent successivement en ce point de la cote de la Seine-Inférieure et de celle du Calvados. La première est plus haute que la seconde de 0 m. 59. A Quillebœuf, la différence est de 0 m. 64 et la première onde s'est abaissée de 0 m. 36. A Duclair, le sommet de l'onde d'Antifer est devenu plus bas que celui de l'onde du Calvados, et s'est abaissé de 0 m. 91 depuis Quillebœuf. Cet abaissement continue : à Rouen, il est de 1 m. 20 depuis Quillebœuf et le sommet de l'onde d'Antifer est à 0 m. 59 au-dessous de celui de l'onde du Calvados. Celle-ci ne s'est abaissée

que de 0 m. 03. Elle n'arrive que la seconde, tandis que celle d'Antifer est immédiatement précédée du mascaret qui a produit au sommet de cette ondulation un abaissement de 1 m. 20. La courbe locale de Honfleur est par là complètement modifiée.

Les profils instantanés qui figurent dans la planche III de l'atlas joint à ce travail ont été tracés en supposant que le vide laissé par le retard de l'onde élémentaire inférieure au-dessous de la trajectoire de l'onde supérieure ait été rempli au moment où cette dernière onde coupe le profil en long théorique, et que le mascaret se forme alors par le déversement des eaux de l'onde élémentaire supérieure sur la partie inférieure du profil en long. Les considérations que nous venons de développer prouvent qu'il n'en est pas tout à fait ainsi. Le mascaret amène sur la Seine un abaissement de 1 m. 20 sur 89 kilomètres, ou de treize millimètres par kilomètre entre Rouen et Quillebœuf et il y aurait à prévoir un abaissement analogue des pleines mers, et, par suite, des trajectoires ; mais la modification serait minime. La coupe en long du mascaret serait celle de la croupe arrondie de parabole que donne tout courant qui s'avance sur un fond horizontal ou à contre-pente ; mais nous pensons que la partie correspondante que nous avons admise pour les profils instantanés et figurée par une verticale peut être considérée comme une courbe enveloppe de la courbe réelle formée par le mascaret. Sous le bénéfice de ces observations nous croyons que ces profils peuvent être admis.

Retard des étales de jusant sur les basses mers en cas de mascaret. — Une partie des lignes ponctuées, et les portions de ces lignes qui restent découvertes montrent l'effet des ondes élémentaires précédentes : elles peuvent avoir assez relevé le niveau des basses mers pour avoir adouci la pente du jusant, l'avoir annulée et l'avoir assez changée de sens pour produire un courant de flot.

Il peut être intéressant de savoir où l'onde élémentaire de 6 h. atteindrait celle de 6 h. 30, et celle-ci celle de 7 h. dans le cas où la marée se prolongerait plus en amont dans les mêmes conditions. Nous avons trouvé que celle de 6 h. 30 arriverait en même temps que celle de 6 h. à 64,268 m. au delà d'Elbeuf et celle de 6 h. 30 au même point que celle de 7 h. à 20.670 au delà de Poses.

Le tableau de la page 78 indique que les phénomènes que

nous avons étudiés pour la marée du matin se reproduiraient à la marée du soir. Ils cessent de se manifester quand l'amplitude des marées diminue et par conséquent en morte eau.

A la fin du jusant et dans l'espace compris entre Poses et le point où arrive le mascaret, les profils instantanés qui figurent sur la planche font voir qu'après le moment de la mer basse, la pente de la Seine vers la mer diminue et son niveau s'élève. La surface de l'eau devient horizontale, et prend ensuite une pente inclinée vers Poses. Cette pente augmente encore, et le courant se renverse vers l'amont. C'est l'instant de l'étale de jusant. L'heure où la vitesse devient ainsi nulle peut se déterminer, comme nous l'avons dit, par l'étude de la courbe des vitesses du fleuve. Cette courbe indique l'instant où la vitesse moyenne de la section considérée est nulle. L'heure de l'étale de jusant est ainsi déterminée. Elle est séparée de celle où la mer est basse par un certain intervalle de temps, qui constitue le retard de l'étale de jusant sur la basse mer.

Les profils en long instantanés, à 9 h. 34 et à 9 h. 42, montrent que la pente qui est immédiatement en amont du mascaret peut devenir assez forte pour amener, avant l'arrivée de ce phénomène, le renversement du courant vers Poses. Les pentes dont il s'agit atteindraient 0 m. 136 par kilomètre à 9 h. 34′ et 0,1146 à 9 h. 42 ; et avec une profondeur de 5 m. 80 pourraient donner aux courants des vitesses de 1 m. 52 et de 1 m. 40. L'étale de flot peut donc précéder l'arrivée du mascaret.

Pénétration télescopique de la marée. — La pénétration télescopique de la marée dont nous avons parlé ailleurs[1] peut contribuer avec les faits résultant de la formule (39) et que nous avons développés plus haut à rendre compte du soulèvement des rivières avant l'arrivée du flot. La plus faible vitesse des courants de jusant voisins des parois du lit d'un fleuve produit une moindre résistance de leur part à l'introduction des eaux de la marée montante. Les courants de flot pénètrent d'abord par le fond et par les bords du fleuve, et agissent comme un véritable coin : ils soulèvent les eaux, et renversent bientôt vers l'amont les pentes qui étaient inclinées vers la mer.

[1] Choix d'une formule donnant la célérité de propagation des ondes. — Mémoire présenté à l'Institut le 18 mai 1898.

Un effet analogue se produit, pour les mêmes raisons, sur les bords du lit du cours d'eau au commencement du jusant.

Nous ne croyons pas devoir revenir ici sur le mode de pénétration de la marée dans les fleuves, qui a été maintes fois étudiée et décrite. Nous nous bornerons à rappeler que les molécules d'eau, ramenées vers l'amont par l'attraction des astres, se pressent, pour ainsi dire, les unes les autres, et que la poussée qui en résulte se reporte vers la source du cours d'eau, avec une célérité de propagation très différente de la vitesse de translation des molécules elles-mêmes, c'est-à-dire de la vitesse du courant. Celles-ci ne remontent qu'à une distance relativement faible. C'est pour cela que les eaux salées de l'embouchure ne pénètrent que peu dans l'intérieur des fleuves.

Le mascaret et le cas des eaux profondes. — Nous avons été conduit, ainsi que nous le dirons plus loin, à faire l'étude de la propagation de la marée de vive eau du 27 octobre 1890 dans la Seine dans le cas où son lit s'abaisserait à 10 m. 50 au-dessous des basses mers moyennes de vive eau du Havre, au lieu de 3 m. 20 en contre-bas du zéro des cartes marines. Nous avons voulu nous rendre compte de la manière dont la marée se propagerait avec des fonds de 10 m. 50 au-dessous des basses mers de vive eau dans la section d'Elbeuf à Poses, où le mascaret se ferait particulièrement sentir avec des fonds de 3 m. 20, et nous avons dressé pour cela le tableau suivant [1], analogue à celui de la page 78.

Si l'on compare aux quantités contenues dans le tableau de la page 78 les résultats de cette nouvelle étude, on voit qu'à Elbeuf les intervalles de temps que la marée met à s'élever d'une cote à l'autre ne sont pas irréguliers comme dans le cas d'une profondeur en Seine de 3 m. 20.

Dans le premier cas, celui de 3m. 20, la marée se manifesterait brusquement à Elbeuf vers 10 heures du matin, par un mascaret produit entre les trajectoires des ondes élémentaires parties du Havre entre 4 h. 30′ et 5 heures, tandis que dans le second cas, celui de 10 m. 50, le niveau de l'eau mettrait 14 minutes pour monter de 0 m. 88. Au delà, à Poses si la marée pouvait y pénétrer, la Seine mettrait 7 minutes à monter de 0 m. 51, et le mascaret ne se manifesterait pas au-dessous de Poses. On peut dire qu'il se formerait probablement au delà de ce point s'il n'y avait pas de barrage en cet endroit ; à un kilomètre au-dessous de ce

[1] Page 88.

Marée de vive eau du 7 septembre 1892. **GIRONDE ET GARONNE MARITIME** (Coefficient 104).

POINTE DE GRAVE				BY					PAUILLAC					
Heures	Différences	Cotes	Différ.	Heures	Différences	Cotes	Différ.	Célérités de la Pointe de Grave à By.	Heures	Différences.	Cotes	Différ.	Célérités de By à Pauillac	Différ.
Marée montante du matin														
H M	H M			H M S	H M S				H M S	H M S				
11 30		— 0.02		12 16 22		— 0.07		10.209	1 17 00		— 0.05		5.937	
	0 15		0.22		0 11 16		0.24	(1.00)		0 03 46		0.25		0.792
11 45		0.20		12 27 16		0.17		11.200	1 20 46		0.20		6.729	
	0 15		0.18		0 09 29		0.20	(1.665)		0 10 26		0.26		0.116
12 00		0.38		12 36 46		0.37		12.874	1 31 12		0.40		6.613	
	0 15		0.20		0 11 12		0.22	(1.491)		0 06 36		0.22		0.391
12 15		0.58		12 47 57		0.59		14.365	1 37 48		0.62		7.223	
	0 15		0.28		0 14 33		0.31	(0.199)		0 10 29		0.31		0.641
12 30		0.86		1 02 30		0 90		14.564	1 48 17		0.93		7.863	
	0 15		0.28		0 15 00		0.30	(0.000)		0 11 58		0.31		0.668
12 45		1.14		1 17 30		1.20		14.564	2 00 15		1.24		8.421	
	0 15		0.27		0 15 03		0.30	(0.053)		0 15 42		0.30		0.192
1 00		1.41		1 32 33		1.50		14.617	2 15 57		1.54		8.229	
	0 15		0.27		0 16 48		0.30	(0.851)		0 12 49		0.30		3.269
1 15		1.68		1 49 21		1.80		13.766	2 28 46		1.84		11.498	
	0 15		0.30		0 15 39		0.33	(0.242)		0 13 09		0.24		1.746
1 30		1.98		2 05 00		2.13		13.524	2 41 55		2.18		9.752	
	0 15		0.29		0 15 00		0.32	(0.000)		0 24 41		0.32		2.027
1 45		2.27		2 27 00		2.45		13.524	3 06 36		2.50		7.725	
	0 15		0.25		0 13 30		0.27	(0.505)		0 17 09		0.28		0.661
2 00		2.52		2 33 30		2.72		14.129	3 23 45		2.78		7.164	

village, et avec des fonds de 3 m. 20, il y aurait environ 1 m. 50 de hauteur dans une marée comme celle du 27 octobre 1890.

Il en serait de même à la marée du soir. La petite onde de 6 heures du soir au Havre parviendrait à Elbeuf à 10 h. 39′, avec des fonds de 3 m. 20; elle y arriverait à 9 h. 37′ avec des profondeurs de 10 m. 50. La marée arriverait plus tôt, monterait moins vite et plus également dans les parties amont de la Seine maritime, bien que les célérités soient plus fortes quand les profondeurs sont plus grandes.

Cas de profondeurs de 10,50 en aval de Caudebec seulement. — Nous avons eu à examiner le cas où le niveau du fond inaffouillable de la vallée de la Seine ne permettrait pas de compter entre Rouen et La Mailleraye sur des profondeurs de plus de 3 m. 20 en contre-bas du zéro des cartes marines, mais où l'on pourrait avoir des fonds de 10 m. 50 entre Caudebec et le Havre.

Il a été facile de calculer les courbes locales relatives à ces nouvelles données, parce que les trajectoires des ondes élémentaires resteraient les mêmes, et que les heures de départ de ces ondes de La Mailleraye seraient toutes avancées de quantités constantes dues à l'arrivée plus rapide en ce point des ondes propagées dans les fonds de 10 m. 50. Cette étude a fait voir que la présence de grandes profondeurs entre la mer et Caudebec aurait pour effet de faire disparaître le mascaret au-dessus de Rouen et jusqu'à un point situé à 12 kilomètres en aval de Poses.

Nous avons vérifié, comme nous l'avons dit, les formules de la célérité de propagation de l'onde marée au moyen d'observations faites sur la Gironde et la Garonne (1). Nous avons pu étudier ainsi celles qui ont été faites le 7 septembre 1892, en vive eau, entre la Pointe de Grave et By dans une section de 28 k. 4, d'une profondeur moyenne de 7 m. 87 au-dessous du zéro des cartes entre By et Pauillac sur 21 k. 6, partie profonde en moyenne de 3 m. 53. Les résultats de cette recherche sont consignés dans le tableau qui suit :

On voit que les observations ont varié de quart d'heure en quart d'heure, et que la mer monte plus lentement dans la section profonde comprise entre la Pointe de Grave à By que dans celle de By à Pauillac, bien que les célérités soient plus grandes dans la première section.

(1) Voir fig. 10, page 15.

Le Havre	La Bouille				Rouen				Elbeuf				Poses				Célérités (3 m. 20)				Célérités (10 m. 50)			
heures	heures	diff.	cotes	différ.	heures	diff.	cotes	différ.	heures	diff.	cotes	différ.	heures	diff.	cotes	différ.	La Bouille	Rouen	Elbeuf	Poses	La Bouille	Rouen	Elbeuf	Poses
Marée montante du matin																								
H M	H M	H M			H M	H M			H M	H M			H M	H M										
5 00	7 41		102.93		8 07		102.76		8 52		101.46		9 52		99.25		7.83	7 94	6.74	5.13	11.0	11.1	7.8	5.2
		0 27		0.66		0 25		0.63		0 22		0.49		0 15		0.29								
5 30	8 08		102.27		8 32		102.13		9 14		100.97		10 07		98.96		8.50	8.57	7.38	5.75	11.5	11.6	8 4	5.8
		0 18		1.16		0 17		1.13		0 14		0.88		0 07		0.51								
6 00	8 26		101.11		8 49		101.00		9 28		100.09		10 14		98.45		9.68	9.69	8 50	6.84	12.3	12.3	9.2	6.8
		0 21		1.18		0 20		1.13		0 16		0.89		0 09		0.52								
6 30	8 47		99.93		9 09		99.87		9 44		99.20		10 23		97.93		10.88	10.83	8.69	7.94	13.1	13.0	10.2	7.8
		0 21		1.05		0 19		1.02		0 16		0.79		0 12		0.46								
7 00	9 08		98.88		9 28		98.85		10 00		98.41		10 35		97.47		11.95	11.85	10.65	8 93	13.9	13.8	11.1	8 9
Marée montante du soir																								
H M	H M	H M			H M	H M			H M	H M			H M	H M										
5 30	8 13		102.84		8 38		102.68		9 22		101.39		10 20		99.21		7.92	8.02	6.84	5.22	11.1	11.2	7.9	5.2
		0 20		0.89		0 19		0.86		0 15		0.67		0 07		0.39								
6 00	8 33		101.95		8 57		101.82		9 37		100.72		10 27		98.82		8.82	8.87	7.69	6.05	11.8	11 8	8.7	6 1
		0 19		1.22		0 17		1.18		0 14		0.91		0 07		0.54								
6 30	8 52		100.73		9 14		100.64		9 51		99.81		10 34		98.28		10.06	10.05	8.86	7.20	12.6	12.6	9.6	7.2
		0 20		1.25		0 19		1.12		0 16		0.87		0 10		0.51								
7 00	9 12		99.58		9 33		99.52		0 07		98.94		10 44		97.77		11.24	11.18	9.97	8.28	13.4	13.4	10 6	8.3
		0 23		0.97		0 22		0.94		0 20		0.73		0 17		0.42								
7 30	9 35		98.61		9 55		98.58		10 27		98.21		11 01		97.35		12.25	12.13	10.93	9.19	14.1	14.0	11 4	9.2

On remarquera même qu'à Pauillac, où le lit de la Gironde commence à être encombré d'îles et de bancs, l'ascension de l'eau qui est à 1 h. 17′ de 0.25 en 0 h. 3′46″, est assez rapide pour indiquer des déferlements sur les bancs de cette partie du fleuve.

En résumé, l'on peut dire que le mascaret se forme d'autant plus facilement que l'ascension de la marée est plus rapide et que la profondeur et la célérité de propagation sont plus petites

Pleines et basses mers. — La méthode qui a servi à déterminer les points de rencontre des profils en long momentanés avec les trajectoires des ondes élémentaires peut servir à reconnaître le point précis où se trouve la pleine ou la basse mer à l'heure fixée pour l'un de ces profils. Ce point est celui où est parvenue à cet instant l'onde élémentaire la plus haute ou la plus basse de la marée que l'on considère.

Cubages. — Nous avons expliqué plus haut (1) la méthode par laquelle on peut reconnaître la profondeur que donnerait le débit d'une rivière à fond mobile quand son débit et sa largeur sont connus, ou bien calculer la largeur nécessaire pour obtenir une profondeur donnée ; c'est le cas qui se présente quand il s'agit de mettre un cours d'eau entre deux digues longitudinales. Nous avons, d'autre part, reconnu qu'il pouvait être utile de fixer le niveau du fond de la Seine entre Rouen et l'embouchure de la Risle à une cote de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines. Avec cette cote, la batellerie, qui peut compter sur une profondeur de 3 m. 20 au-dessous de l'étiage entre Paris et Rouen, serait assurée d'avoir autant d'eau en contre-bas des mers basses entre Rouen et la mer.

Nous avons enfin montré que l'ouverture d'un chenal suffisamment profond dans le long déversoir formé par l'accumulation des sables entre la mer et La Mailleraye aurait pour effet d'amener un abaissement du niveau des basses mers en amont de ce dernier point, et par conséquent une augmentation du volume d'eau introduit par les marées, en même temps qu'un changement dans le régime du fleuve.

Etude avec fonds de 3 m. 20 en contre-bas du zéro des cartes marines. — Il était nécessaire d'examiner ce que deviendrait ce

(1) Figure 10 et pages 14 et 15.

régime et de voir si la Seine pourrait maintenir d'elle-même, ou peut-être augmenter les profondeurs au-dessous de 3m. 20 en contre-bas du zéro des cartes marines

Nous avons, en conséquence, pris pour type la marée du matin du 27 octobre 1890, de coefficient (100). Le débit de la Seine était ce jour-là de 442 mètres cubes par seconde, à Mantes. Au-dessous de cette petite ville, la Seine ne reçoit aucun affluent de quelque importance. Nous avons admis dans la suite de ce travail ce chiffre du débit du fleuve pour toutes nos études de marée, afin d'en pouvoir comparer les résultats, entre eux et avec ceux de la marée du 27 octobre 1890.

Nous avons dit aussi que nous conserverions de Poses à Rouen les largeurs indiquées par MM. les Ingénieurs de la navigation de la 3e section de la Seine.

Nous avons calculé, avec la formule de M. Boussinesq, les courbes locales qui résulteraient sur la Seine du nouveau régime, entre le Havre et Poses. Nous avons établi, pour chaque station hydrométrique, des feuilles indiquant les cotes des courbes locales, les heures, les profondeurs et les célérités moyennes correspondantes. Nous avons dessiné ces courbes et calculé les tableaux de cubage dont nous avons parlé plus haut. Les volumes d'eau que ces tableaux nous ont donnés nous ont permis d'en déduire les largeurs, les profondeurs ou les vitesses moyennes par les formules (6), (7) et (8) [1]. La formule (9) a donné les largeurs successives à adopter en chaque point de la Seine pour y avoir une profondeur et une vitesse moyennes voulues.

Tableaux de cubage entre Poses et La Bouille. — Pour faciliter la lecture de ce travail, nous avons cru devoir faire, de l'étude détaillée des tableaux de cubage, l'objet d'une note spéciale que l'on trouvera à la fin de ce volume. Nous nous bornerons à indiquer ici, sur un tableau d'ensemble ci-joint, les principaux renseignements qu'on y trouve et de signaler les résultats qu'ils nous ont donnés.

La colonne des observations de ces tableaux de cubage fait connaître les heures et les cotes des étales de jusant et de flot qui ont été calculées par la méthode de M. Belleville indiquée à la page 6. Elle donne les instants où la moyenne des vitesses est nulle dans le profil correspondant à l'échelle d'observations

[1] Page 8.

(3 m 20)

DÉSIGNATION des STATIONS	DISTANCES Intermédiaires	DISTANCES Cumulées à partir de La Bouille	HEURES DES ÉTALES de jusant	HEURES DES ÉTALES de flot	DURÉE du FLOT	VOLUMES D'EAU INTRODUITS JUSQU'A POSES Totaux	VOLUMES D'EAU INTRODUITS JUSQU'A POSES par seconde	VITESSES MOYENNES du FLOT	LARGEURS	VOLUMES D'EAU INTRODUITS JUSQU'A MARTOT Totaux	VOLUMES D'EAU INTRODUITS JUSQU'A MARTOT par seconde	VITESSES MOYENNES du FLOT
			H M	H M	H M							
La Bouille..... ..			8 40	12 40	4 00	65.991.400m3	4.583m3	1m801	300m	56.947.400m3	3.955m3	1m550
	14.500m											
Rouen aval).....		14.500m	9 1	1 8	4 7	42.814.160	2.889	1.130	300	33.572.560	2.265	0.886
	2.500											
Rouen (amont).....		17.000	9 5	1 13	4 8	38 842.665	2.610	1.028	300	29.585.865	1.988	0.502
	12.000											
Oissel		29.000	9 35	1 50	4 15	20.157.700	1.317	0.646	290	10.855.300	709	0 348
	11.500											
Elbeuf.....		40.500	10 14	2 37	4 23	4.615.084	292	0.166	320	2.728.000	»	»
	2.500											
Martot..... .		43.000										
	16 000											
Poses.....		59 000										

considérée. L'on a pu en conclure la durée du flot et, au besoin, celle du jusant. Les niveaux des basses et des pleines mers y sont rappelés, ainsi que la cote du fond et la profondeur moyenne à mi-marée entre les étales.

Le tableau d'ensemble des études faites en supposant à la Seine une profondeur uniforme de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines figure à la page 91.

Les marées se propageaient autrefois jusqu'à Poses, mais il y a quelques années on a établi à 16 kilomètres en aval de ce point, un nouveau barrage à Martot. Dans les grandes marées, les eaux qui remontent la Seine renversent parfois vers l'amont les aiguilles de ce barrage mobile. La quantité d'eau que le flot emmagasinerait entre Poses et Elbeuf est réduite de plusieurs millions de mètres cubes qui pourraient être fort utiles au maintien des profondeurs de la Seine maritime et dont l'influence pourrait se faire sentir jusqu'au Havre. Diverses circonstances peuvent rendre inutile le barrage de Martot, par exemple la rectification de la Seine à Oissel pour l'exécution du canal maritime de Paris à Rouen. Nous avons dû, en conséquence, examiner les deux cas de la suppression et du maintien du barrage de Martot. Notre but étant de tirer le plus grand parti possible de l'action de la marée sur la Seine maritime, nous avons supposé d'abord que la marée se propagerait jusqu'à Poses. Nous avons en même temps étudié l'effet que produirait la conservation du barrage.

L'examen du tableau d'ensemble fait voir que la durée du flot est partout d'à peu près quatre heures et qu'elle va en augmentant de l'aval à l'amont. Les vitesses moyennes du flot par seconde croissent au contraire de l'amont à l'aval.

La quantité d'eau introduite dans la Seine par la marée pendant le flot au-dessus d'Elbeuf, serait, en temps ordinaire, de 4.615.084 mètres cubes, si la marée se propageait jusqu'à Poses, et de 2.728.000 mètres cubes si l'on maintenait le barrage de Martot. En admettant la première hypothèse, l'apport de la marée en temps d'étiage de la Seine, atteindrait 4.615.084 ; il serait suffisant pour faire remonter le sable vers l'amont. Quand le fleuve aurait un débit moyen, comme celui de 442 m^3 par seconde, et dans le cas défavorable où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le courant de jusant serait suffisant pour entraîner le sable vers la mer. Dans les grandes crues, les marées de vive eau ne feraient que ralentir le courant du fleuve.

A Rouen (amont), auprès des ponts de Brouilly, la profondeur prévue par le projet étudié avec fonds de 3,20, serait de 5 m. 24 au-dessous de la basse mer future de vive eau, ce qui donnerait une vitesse moyenne du courant de flot de 1 m. 028. Mais, si l'on approfondissait en ce même point la Seine jusqu'à 10 m. 50 au-dessous de la basse mer et si la marée se propageait jusqu'à Poses, la vitesse de fond serait de 0,545. Cette vitesse suffit, en aval d'Orléans, pour entraîner le sable de la Loire en suspension dans l'eau. Si l'on maintenait le barrage de Martot et la profondeur de 10 m. 50 au-dessous de la basse mer à Rouen (amont), la vitesse moyenne serait encore de 0 m. 502 et la vitesse de fond de 0 m. 415. On pourrait donc, en ce point, avoir une profondeur de 10 m. 50 à mer basse, même en conservant le barrage.

L'intervalle restreint de 2.500 mètres entre les stations de Rouen amont et Rouen (aval) a été pris pour mieux étudier ce qui se passerait dans ce port.

La largeur moyenne qu'y présente la Seine entre les bornes kilométriques 242 et 245 n'est que de 176 mètres. Le volume d'eau introduite par le flot en amont de Rouen (aval) avec les largeurs actuelles et les fonds de 3 m. 20 en Seine, serait de 42.814.160 m³ ou de 2.889 par seconde. La vitesse moyenne du flot serait de 1 m. 85. Avec des profondeurs de 10 m. 50 au-dessous des basses mers de vive eau, ce volume serait de 39.584.320 mètres cubes. Si donc on veut obtenir l'avantage d'avoir de grandes profondeurs à mer basse depuis Rouen jusqu'à la mer et donner à ce port les avantages qu'il est en droit d'en attendre, il est nécessaire d'élargir le port de Rouen ou d'ouvrir auprès de lui un nouveau débouché pour la Seine.

Le tableau d'ensemble de la page 91 fait voir que les vitesses moyennes des eaux de la Seine iraient en augmentant vers l'aval, mais, avec les largeurs actuelles d'environ 300 mètres, elles ne seraient de plus de 1 mètre qu'à partir de Rouen. A La Bouille elles atteindraient le chiffre de 1 m. 801, qui n'est pas admissible. Il est à désirer, dans l'intérêt de la navigation, que la vitesse moyenne du courant ne dépasse pas 1 mètre. Avec cette vitesse et la largeur de 300 mètres, on trouve que la profondeur à La Bouille atteindrait 12 m. 72 au-dessous des basses mers de vive eau. En maintenant le barrage de Martot et la largeur de 300 mètres, la vitesse moyenne serait de 0 m. 985 pour une profondeur de 10 m. 50.

Nous avons vu, d'autre part, que cette profondeur pourrait se maintenir à Rouen (amont) par l'effet des courants, si elle y était un jour établie ; mieux vaut donc admettre de suite que les fonds de 10 m. 50 qu'on peut obtenir dans la Seine y soient créés entre Rouen et la mer.

Mais avant d'entreprendre l'étude de ce que pourrait amener cette nouvelle condition, il nous paraît essentiel d'examiner ce que deviendrait le port de Rouen avec des fonds de 3 m. 20.

La largeur de ce port, sur trois kilomètres, n'est en moyenne que de 176 mètres. C'est à cette circonstance que sont dues les profondeurs qu'on y observe. Avec cette largeur, la vitesse moyenne du courant serait de 1 m. 854 par seconde si la marée se propageait jusqu'à Poses, et de 1 m. 439 si l'on conservait le barrage de Martot. Le 10 septembre 1885, par une marée de coefficient 100, la vitesse moyenne du flot observé à Rouen n'a été que de 0,532. La différence des vitesses dont il s'agit est due à l'augmentation du débit de la marée par suite de l'abaissement prévu de l'étiage. La largeur de 176 m. ne saurait donc être conservée.

Pour que la vitesse s'abaissât à un mètre, il faudrait que les profondeurs fussent de 16 m. 41 dans la première hypothèse et de 12 m. 86 si l'on conservait le barrage de Martot.

Disons de suite que pour une vitesse moyenne de 0,532 comme celle qui a été observée le 10 septembre 1885 et une profondeur de 10 m. 50 au-dessous de la basse mer, on trouve que les largeurs devraient être de 394 mètres, si la marée se propageait jusqu'à Poses, et de 305 m. 70 si elle était arrêtée par le barrage de Martot.

Création d'un nouveau bras sur la Seine à Rouen. — Ces largeurs nous ont fait penser que l'on pourrait ouvrir à la Seine un nouveau bras qui doublerait l'étendue du port de Rouen et lui donnerait de nouveaux quais [1] Il serait peut-être, en effet, possible d'en creuser un parallèlement à la rive gauche, dans la partie basse du faubourg St-Sever. D'assez longues surfaces de son emplacement ne sont pas entièrement bâties et l'on y trouve les deux gares terminus des chemins de fer de Rouen à Orléans et à Paris que l'on songe à réunir en une seule. Malheureusement, l'on a beaucoup construit en cet endroit, depuis

[1] Voir la planche VI de l'Atlas.

une dizaine d'années, et bien que les maisons situées à l'ouest de la rue Amiral-Cécille soient, pour la plupart, de peu d'importance et entourées de petits jardins, les dépenses d'expropriation seraient importantes On pourrait les diminuer en déplaçant un peu vers le nord la partie correspondante du nouveau bras.

Si l'on donnait à ce nouveau bras une largeur de 300 mètres, et si l'on conservait le lit actuel de la Seine, la largeur totale de la rivière à Rouen serait de 476 mètres. Il conviendrait d'avoir en même temps des profondeurs de 10 m. 50 au-dessous de la basse mer.

Cette augmentation de largeur et de surface entraînerait un accroissement du volume introduit dans la partie correspondante de la Seine. Les débits seraient de 45 053.760 m³ ou de 3.039 m³ par seconde, dans la première hypothèse, et de 35.812.160 m³ ou de 2.415 m³ par seconde si l'on conservait le barrage de Martot. Les vitesses moyennes correspondantes sont de 0,481 et de 0,394 au fond, dans le premier cas, et de 0,382 en moyenne et de 0,313 au fond si l'on maintient le barrage.

Cette dernière vitesse serait assez grande pour entraîner le sable qui descend d'amont dans le lit de la Seine. La table de Genieys, que nous avons reproduite [1], indique qu'une vitesse de 0,189 suffit pour entraîner les graviers de la Seine de la grosseur d'une fève de marais, et le tableau publié par M. l'inspecteur général Sainjon constate qu'une vitesse de fond de 0,25 entraîne du sable du genre de celui de la Seine à Rouen. Les deux bras pourraient donc subsister ensemble avec des profondeurs de 10 m. 50.

Mais la situation serait meilleure encore si l'on pouvait transformer une partie du lit actuel en un bassin à flot par deux barrages mobiles qui permettraient de régler l'écoulement des crues devant la ville Dans ce cas, le commerce local serait parfaitement desservi. Le nouveau bras de 300 mètres débiterait 2.889 m³ par seconde, la vitesse moyenne du flot serait de 0,725 et la vitesse de fond de 0,595 si la marée se propageait jusqu'à Poses ; les vitesses seraient de 0,569 en moyenne et de 0,47 au fond si l'on conservait le barrage de Martot. La limite de la vitesse de fond à laquelle le sable de la Loire est entraîné en suspension dans l'eau est de 0,55. Mais il n'est pas certain que la

[1] Page 17.

nature du sol de la rive gauche se prêtât à cette combinaison.

Le terrain qui constitue la rive gauche de la Seine à Rouen présente en effet des difficultés spéciales.

Lors de la construction de la gare du chemin de fer de Rouen à Orléans qui a été établie sur cette rive, l'on eut à construire deux ponts pour faire passer des rues qui traversaient cette gare. Des sondages furent faits dans leur emplacement et aux abords. Le pont à construire pour la rue de l'Amiral Cécille franchissait, sur un pont en arc, le boulevard d'Orléans établi le long du chemin de fer puis la gare elle-même sur une assez grande largeur. Des sondages tubulaires faits dans l'emplacement de la culée du pont en arc la plus voisine de la Seine, firent voir que le terrain résistant n'était qu'à 14 mètres au-dessous de la surface du sol. La culée opposée du pont a été établie sur un lit de gravier trouvé à 5 mètres environ de profondeur. Mais, de l'autre côté de la gare, les fouilles ouvertes dans l'argile molle et la vase allaient en s'approfondissant le long du mur de l'usine à gaz, et à 20 mètres du pont l'on n'a plus trouvé de terrain solide. La gare des voyageurs sur la place St-Sever a été fondée sur pilotis ; enfin les grands magasins docks construits sur la rive gauche ont souffert du peu de résistance du sol. Il serait donc possible que, si l'on faisait du lit actuel de la Seine un bassin à flot, la différence de niveau entraînât des écoulements d'eau entre ce bassin et le nouveau bras à mer basse.

Aucune difficulté ne s'est présentée pour l'autre pont qui assure en aval le passage de la rue Jean Rondeaux par-dessus la gare. Il a été fondé sur un banc de gravier à 3 ou 4 mètres au-dessous du sol.

La nature du terrain d'une partie de la rive gauche pourrait donc obliger à conserver libre le lit actuel de la Seine. Mais nous avons calculé qu'en admettant que l'ensemble des deux bras donnât une largeur de 476 mètres, et qu'ils eussent une profondeur de 10 m. 50 au-dessous des nouvelles basses mers de vive eau, la marée montant dans les deux bras, la vitesse moyenne serait de 0,481 et la vitesse de fond de 0,394 si la marée se propageait jusqu'à Poses ; la vitesse moyenne serait de 0,382 et la vitesse de fond de 0,313 dans le cas de la conservation du barrage de Martot Ces vitesses seraient largement suffisantes pour maintenir la profondeur indiquée ci-dessus. On pourrait donc encore

faire le second bras, sauf à maintenir les quais de 50 mètres par un massif d'enrochements et de menus blocs sur une partie de la largeur, ou par tout autre moyen, dans les parties correspondantes au fond de vase ou sans consistance. Quoi qu'il en soit, la possibilité de créer à la Seine un nouveau bras de 300 m. nous paraît établie. Ce bras pourrait être mis entre deux quais, larges chacun de 50 mètres.

Si l'on conservait le lit actuel seul et le port de Rouen tel qu'il est, avec sa largeur de 176 mètres, il serait bon de tenir compte de ce que le fond de craie dure ou de gravier s'y trouve à la cote (113,00), soit à 9 m. 50 au-dessous des nouvelles basses mers. Il faudrait toutefois y conserver une couche d'environ un mètre de sable pour retenir les ancres des navires. Dans ces conditions, et si l'on prend le cas de la conservation du barrage de Martot, on trouve que la vitesse moyenne du flot dans le port serait de 1 m. 186. En supposant que cette vitesse entraîne le sable et dénude la craie dure ou le gravier, la vitesse serait encore de 1 m. 087. Pendant la marée de vive eau du 10 septembre 1885, la vitesse moyenne du flot constatée à Rouen a été de 0 m. 532. On voit donc qu'en laissant une couche de gravier d'un mètre pour l'ancrage des navires, cette dernière vitesse serait un peu plus que doublée. Il nous semble dès lors indispensable d'élargir le port actuel de Rouen s'il est maintenu dans le bras unique de la Seine. Mais il serait bien préférable de créer un second bras entre les ponts de Brouilly et l'un des points situés à l'extrémité aval du port.

Nous avons dit plus haut qu'à l'amont du port, au-dessus des ponts de Brouilly, le lit de la Seine avait une largeur de 300 m. et que des profondeurs de 10 m. 50 en contre-bas des nouvelles basses mers pourraient s'y maintenir. Il est évident qu'il faut prévoir que l'on voudra posséder un jour à Rouen un port qui remplisse des conditions aussi avantageuses que celles dont nous avons parlé, si l'on crée un nouveau bras dans le faubourg St-Sever.

Nous admettrons, en conséquence, que ces changements auront un jour lieu, et nous examinerons les conditions dans lesquelles se trouvera alors la Seine en aval, en admettant qu'elle ait 300 mètres de large dans le port de Rouen.

Les vitesses augmentant à mesure qu'on descend vers la mer, on pourrait, en maintenant celles-ci à la limite fixe de 1 mètre, accroître la largeur ou la profondeur en descendant le cours du

fleuve. L'intérêt de la flotte et celui des grands navires du commerce demandent que l'on conserve toujours au moins 10 m. 50 à basse mer, en aval de Rouen.

D'autre part, la marée se propage différemment dans les fonds de 10 m. 50 et dans ceux de 3 m. 20 que nous avons pris jusqu'ici pour base du projet examiné, et ce seraient, en fait, des profondeurs de plus de 10 m. 50 qui se produiraient au-dessous de Rouen si les courbes locales déduites de l'hypothèse de fonds de 3 m. 20 étaient maintenues pour le calcul. C'est donc sur les courbes correspondant à 10 m. 50, selon nous, que doivent se baser les recherches relatives à la Seine améliorée.

Nous avons en conséquence repris d'abord l'étude des courbes locales entre Rouen et la mer, en supposant que les profondeurs doivent être de 10 m. 50 au-dessous de la mer basse moyenne de vive eau du Havre. Nous avons admis que les largeurs resteraient les mêmes entre Poses et Rouen ; mais comme la marée serait modifiée, nous avons jugé nécessaire de reprendre nos calculs depuis Poses, suivant un profil en long correspondant à de grandes profondeurs et nous les avons continués jusqu'à la mer.

Une autre raison nous a paru motiver aussi cette détermination.

Si l'on examine, en effet, la manière dont s'effectue la navigation de la Seine, on voit que les navires d'un grand tirant d'eau, de 7 mètres, par exemple, remontent assez aisément en vive eau jusqu'à Rouen. Ils trouvent la quantité d'eau nécessaire pour franchir le banc des Meules, et ils arrivent à Rouen dans la même marée. Mais il en est tout autrement à la descente. Les grands navires doivent quitter Rouen au commencement du jusant, c'est-à-dire de la marée descendante, et prendre le flot à la Corvette, un peu en amont de Quillebeuf, pour franchir l'estuaire pendant la marée montante. Il s'ensuit que le tirant d'eau possible du navire dépend de la profondeur de la Seine entre La Mailleraye et Quillebeuf à mer basse. Des fonds de 10 m. 50 en contre-bas de la basse mer peuvent donc seuls assurer la navigation des grands bâtiments à toute heure.

Mais il faut voir si la constitution géologique de la vallée de la Seine se prêterait facilement à l'établissement d'un nouveau lit de ces profondeurs. Les études faites à cet égard nous paraissent l'indiquer.

Etude géologique de la vallée de la Seine, du Havre à Rouen. — Dans son ouvrage sur l'*Estuaire de la Seine*, M. Lennier[1], président de la Société géologique de Normandie, constate qu'il est maintenant établi que, « depuis les temps géologiques où le bassin de la Seine a pris son relief actuel, le volume des eaux du fleuve et la rapidité de son cours ont considérablement diminué. »

« Le premier effet de cette diminution, dit-il, aura été de per-
« mettre aux bancs qui s'étaient formés au large de l'estuaire
« actuel de remonter plus à l'amont, et de commencer ainsi le
« remplissage de la baie par les alluvions que le grand courant
« du fleuve ancien avait maintenues jusqu'alors à l'Ouest. Ces
« alluvions ont d'abord comblé les anses, puis, de proche en
« proche, se sont étendues sur le fond même de la baie qu'elles
« ont exhaussé, puis rempli, ne laissant plus comme souvenir
« du grand cours d'eau d'autrefois, du fleuve immense qui a
« taillé à pic, par ses érosions séculaires, les falaises des Andelys,
« d'Orival, de Rouen, de Caudebec, que le filet d'eau qui se perd
« au milieu des alluvions de l'estuaire et qu'il faut chercher à
« basse mer après Quillebeuf et jusqu'à Honfleur, entre les bancs
« de sable que la mer a jetés comme pour l'empêcher de
« s'amoindrir encore.

« Les bancs principaux, l'Eclat, Amfard et le Ratier, tiennent
« à la constitution ancienne du sol sous-marin et ne sont que la
« continuation des assises qui forment les rives de la baie à son
« embouchure.

« Le dépôt sableux de l'estuaire de la Seine paraît avoir une
« grande épaisseur.

« La carte de 1834 donne à la fosse du Hoc, qui existait alors,
« une profondeur de 14 mètres, de basse mer.

« En 1838, d'après M. Fortin, il fallait à Honfleur aller cher-
« cher le rocher (alternances d'argiles et de calcaires marneux)
« à 7 ou 8 mètres au-dessous du même niveau.

« Des forages faits en 1850, entre Quillebeuf et La Roque,
« d'autres exécutés en 1862 en face de Berville, ceux récemment
« faits pour le canal de Tancarville et pour les études du tunnel
« sous la Seine auprès de Quillebeuf, accusent des profondeurs
« d'alluvion moderne de 8, 15 et 25 mètres en contre-bas du
« zéro des cartes marines, ce qui donne, au-dessous de l'étiage,
« deux ou trois mètres de plus.

[1] *L'Estuaire de la Seine*, par M. Lennier, Le Havre, 1885, p. 55.

« Le fond mobile de la baie de la Seine est donc d'une grande « épaisseur, et, ce qui le prouve, c'est la rapidité avec laquelle « les navires naufragés y disparaissent [1]. »

Nous ajouterons qu'en 1877 la fosse du milieu de l'estuaire, dans le méridien du Havre, avait des profondeurs de 15 et de 18 mètres au-dessous du zéro des cartes. Un projet de chemin de fer du Havre à Glos-Montfort dressé vers 1892 par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a exigé l'étude d'un long viaduc traversant la Seine auprès du vallon du Flacq et d'Aizier [2]. L'étude des fondations de cet ouvrage a exigé, dans les alluvions de la rive droite, des sondages qui ont fait voir que le terrain crétacé se trouve à la cote 126,53, soit de 24 m. 45 à 26 m. 06 au-dessous du niveau moyen de la mer (nivellement Bourdaloue), ou à 20 m. 71 au-dessous du zéro des cartes marines.

A Rouen, la gare du chemin de fer d'Orléans est traversée par la rue Amiral-Cécile sur un pont en fer dont les culées sont fondées sur pilotis. Les pieux, de 16 mètres de longueur, sont enfoncés à 2 m. 40 environ au-dessous du sol et ont à peine atteint le terrain résistant.

Les seuils des Meules et du Trait, près La Mailleraye, ont été dragués à 1,50 au-dessous du zéro. On a reconnu qu'ils étaient formés de tourbe, ou de sable et de galets agglutinés.

Il faut conclure, selon nous, de tous ces faits, que si la présence d'un banc de roches sous-marines qui barre la vallée n'est pas démontrée par des forages, il faut admettre que le fleuve immense, dont parle M. Lennier, et qui a façonné, aux temps géologiques, la vallée de la Seine, a laissé entre Rouen et la mer un fond dur qui doit atteindre partout au moins 10 ou 12 mètres au-dessous des basses mers de vive eau du Havre ; tout ce qui est au-dessus peut être enlevé par les courants ou par la drague.

Formation de la tourbe dans la vallée de la Seine. — Le profil en long levé près d'Aizier pour faire l'étude d'un viaduc pour le chemin de fer du Havre à Glos-Montfort a fait voir que le sol de la vallée renferme de grandes couches de tourbe. Dans l'estuaire, leur formation est due aux variations du chenal. Les points qu'il abandonne et où les courants sont faibles ne tardent pas à s'atterrir, et les bancs qui s'y forment s'élèvent assez pour se couvrir de prairies. Mais celles-ci sont sapées par les eaux

[1] *L'estuaire de la Seine*, par M. Lennier, Le Havre, 1885, p. 18.
[2] Planche VII de l'atlas.

quand le chenal se reporte vers elles ; le banc s'écroule, et les herbes qui le recouvrent tombent au fond de l'eau. Elles forment alors des couches de tourbe qui indiquent le niveau du fond du chenal à l'époque oú le banc a été détruit.

Dans le Marais Vernier les tourbes se sont formées autrement. Les eaux qui ont produit la courbe concave du coteau qui limite le Marais au Sud et les pentes abruptes qui le séparent du plateau du Roumois se sont peu à peu retirées vers le Nord. Le chenal, qui longeait le pied du coteau, s'est redressé, et a abandonné le lit profond qu'il occupait. Il s'est produit, entre son ancienne et sa nouvelle position, un banc en forme de croissant qui est encore concave vers le Sud. De nouveaux mouvements du chenal vers le Nord ont reproduit les mêmes faits, jusqu'à ce que la vaste baie que ce marais occupe ait été remplie depuis Quillebeuf jusqu'à la pointe de La Roque.

A cette époque on construisit, entre ces deux points, la digue des Hollandais, pour mettre tout le marais à l'abri de la mer. Il y restait des bancs déjà herbés et des espaces, tels que la Grande-Mare, occupés par les eaux et correspondant en général à d'anciens lits du fleuve. Les plantes aquatiques, venues dans ces espaces, en ont couvert en partie la surface de leurs feuilles, et celles-ci ont formé des prairies flottantes. Un chasseur qui s'y est aventuré sans les connaître a crevé par son poids cette croûte encore mince et a failli périr.

La tourbe se forme en général dans les endroits de la Seine maritime et de l'estuaire que les courants abandonnent et qu'une cause quelconque empêche de s'atterrir ; c'est ce qui explique les couches tourbeuses que l'on a trouvées au Trait, au banc des Meules et sous une partie des bassins et de la ville du Havre.

Etude avec profondeurs de 10^{m}50 au-dessous de la basse mer moyenne de vive eau au Havre. — Nous avons refait l'étude de la propagation de la marée du 27 octobre 1890 en supposant une profondeur de 10^{m}50 au-dessous de la basse mer moyenne de vive eau au Havre. Nous avons tracé, sur le croquis du profil en long (page 73, fig. 32) qui indique déjà le fond avec des profondeurs de 3 m. 20, les nouvelles profondeurs de 10 m. 50. La formule de M. Boussinesq, déjà appliquée, pour les fonds de 3 m. 20, a été conservée la même pour l'évaluation des célérités.

Les ondes élémentaires soumises à cette nouvelle étude, se

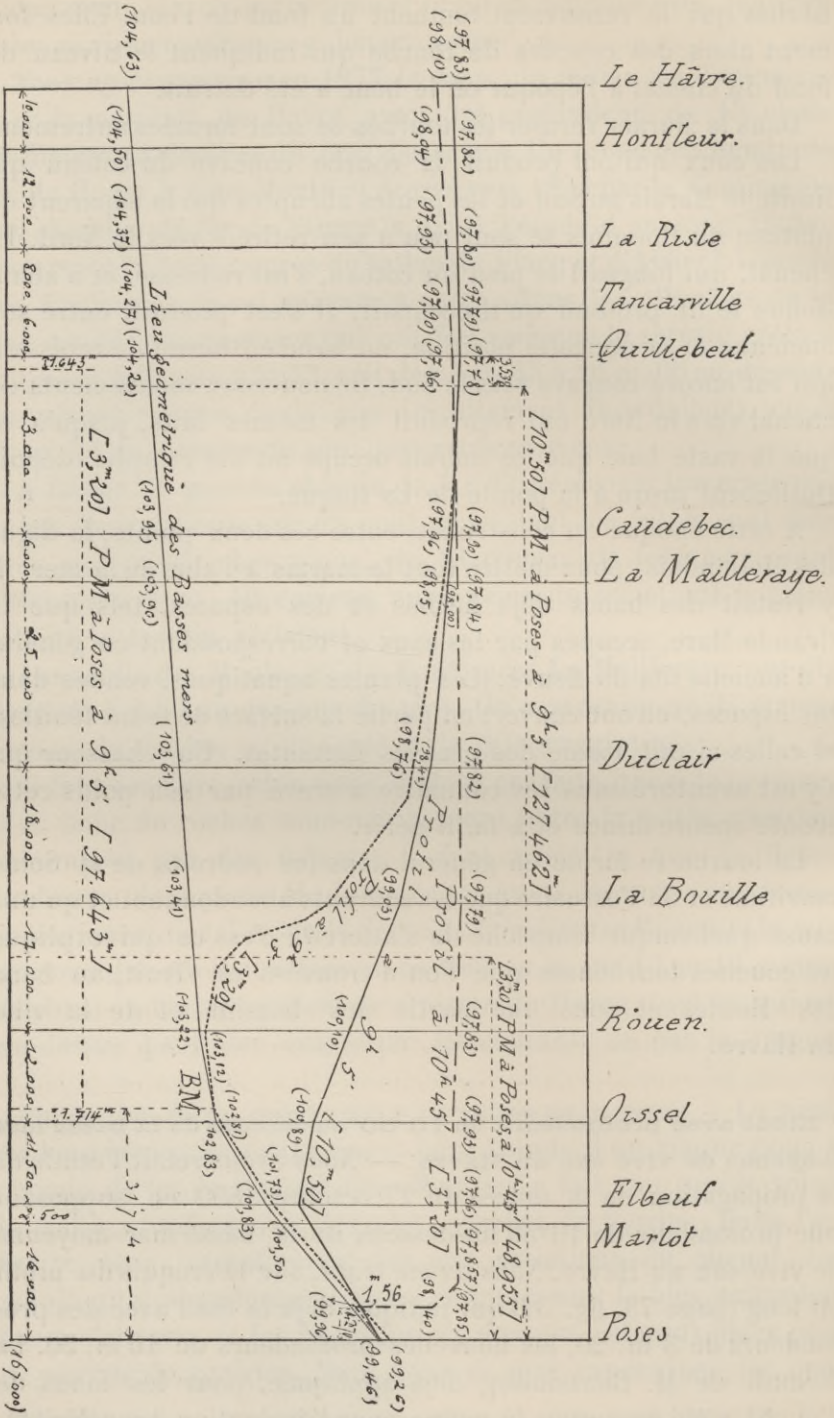

Le Hâvre.
Honfleur.
La Risle
Tancarville
Quillebeuf
Caudebec.
La Mailleraye.
Duclair
La Bouille
Rouen.
Orssel
Elbeuf
Martot
Poses
Lieu géométrique des Basses mers
[3,20] P.M. à Poses à 9h5' [97.643m]
[10,30] P.M. à Poses à 9h5' [127.462m]
[3,20] PM à Poses à 10h45' [48.955m]
Profil
Profil
BM.

Fig. 35.

propageant dans de plus grands fonds, arrivent beaucoup plus tôt à Rouen que dans la première hypothèse, surtout à basse mer. Si l'on compare les heures des basses et des pleines mers à Poses et à Rouen, dans les deux cas on trouve ce qui suit :

PROFONDEURS	BASSES MERS		PLEINES MERS		OBSERVATIONS
	Heures	Différences	Heures	Différences	
3 m. 20	10 h. 45	1 h. 45	11 h. 57	0 h. 14	à Poses
10 m. 50	9 h. 05		1 h. 43		
3 m. 20	8 h. 41	1 h. 26	10 h. 54	0 h. 13	à Rouen
10 m. 50	7 h. 15		10 h. 41		

Avec des fonds de 10 m. 50, la basse mer se produirait 1 h. 40′ à Poses et 1 h. 26′ à Rouen plus tôt qu'avec des fonds de 3 m. 20; mais les heures du plein se suivraient de près. Celles-ci ne différeraient que de 13 minutes à Rouen et de 14′ à Poses. La durée du flot à Rouen serait de 4 h. 8′ avec 3 m. 20 et 5 h. 10′ avec 10 m. 50.

Sur un croquis reproduit par la figure 35 nous avons admis que le lieu des basses mers fixé comme il a été dit p. 65 resterait le même dans les deux hypothèses, ce qui n'est qu'approximatif mais suffit pour notre démonstration. Ce croquis indique à la fois les profils en long instantanés dans les deux hypothèses, au moment de la basse mer correspondante à Poses, c'est-à-dire à 10 h. 45′ et à 9 h. 5′. Avec 10 m. 50, l'onde qui remonte le fleuve est allongée et le mascaret ne s'y fait pas sentir. A 9 h. 5′, heure de la basse mer de l'onde des fonds de 10 m. 50 à Poses, la basse mer de l'onde de 3 m. 20 est encore à 31′714 mètres en aval de Poses. Le profil à 3 m. 20 est, pour ainsi dire, plus ramassé ; on voit qu'il y a tendance à la formation d'un mascaret un peu en amont de La Bouille. Le profil pour 3 m. 20 à 10 h. 45′, heure de la basse mer à Poses, indique qu'il se produit en effet alors avec une hauteur de 1 m. 56.

La forme même du profil indique clairement qu'à l'heure de la basse mer le volume d'eau introduit par la marée en amont de Rouen est plus grand quand les fonds sont de 3 m. 20 que lorsqu'ils sont de 10 m. 50.

Avec les fonds de 3 m. 20 l'onde qui remonte le fleuve est courte ; au moment de la basse mer à Poses, la pleine mer n'est qu'à 48.955 m. de cette station. Cet intervalle, qui embrasse toute la marée montante, est plus petit de 78.507 mètres que dans le cas de 10 m. 50. Avec ces dernières profondeurs le profil en long instantané à 9 h. 5′ indique que le même intervalle entre les points de pleine et de basse mer est de 127.462 mètres, au lieu de 48.955 ; la différence est de 78.507 mètres.

Disons de suite que les vitesses de flot sont plus grandes avec les fonds de 3 m. 20 qu'avec ceux de 10 m. 50 comme le montrent les tableaux des pages 91 et 107, ce qui concorde d'ailleurs avec une plus grande masse d'eau introduite dans la Seine et une durée moindre du flot pour les fonds de 3 m. 20. On voit aussi que l'influence du barrage de Martot diminue à mesure qu'on s'éloigne de ce barrage.

Avant d'exposer les résultats donnés par l'étude de la propagation de la marée dans la Seine avec des fonds de 10 m. 50, nous croyons devoir anticiper un peu pour compléter ce que nous avons à dire au sujet du port de Rouen.

Port de Rouen. — Disons de suite qu'avec des fonds de 10 m. 50 et les modifications de l'onde marée qui en seraient la conséquence, le débit du flot à Rouen serait moindre qu'en laissant subsister des fonds de 3 m. 20 dans la Seine ; mais cette diminution n'aurait pas pour conséquence d'empêcher d'obtenir des débits tels que la profondeur de 10 m. 50 puisse se maintenir à Rouen si la rivière y avait une largeur de 300 mètres. L'amélioration qui résulterait de ce nouvel état de choses peut être sûrement obtenue, et se maintiendrait ensuite d'elle-même.

A l'entrée, amont du port, à l'origine de la section de Rouen à Oissel et dans le cas où la marée se propagerait jusqu'à Poses, le débit du flot serait de 37.267.625 mètres cubes, ou de 2003 m. 363 par seconde. Il serait ainsi plus faible de 606 mètres cubes que le débit produit par l'onde qui résulterait des fonds de 3 m. 20. La durée du flot étant de 5 h. 10′ au lieu de 4 h. 7′, la navigation ascendante serait favorisée par le courant pendant 1 h. 3′ de plus. Le flot durerait à peu près autant qu'au Havre, où il se prolonge, d'après les observations faites en ce point, pendant 5 h 5′ en vive eau. La vitesse moyenne du flot correspondant à une profondeur de 10 m. 50 en contre-bas de la basse mer de vive eau à l'amont du port, serait de 0 m. 456.

Si l'on conservait le barrage de Martot, le débit du flot par seconde serait de 1.501 m³, et sa vitesse moyenne de 0 m. 341. Nous ferons remarquer que l'augmentation de 1 h. 2′ de la durée du flot contribuerait beaucoup à la diminution du débit évalué par seconde ; il en a été tenu compte dans le calcul du chiffre de 1.501 m³ que nous venons de donner pour le débit.

A l'entrée du port de Rouen par l'aval, le débit moyen du flot par seconde, si la marée se propageait jusqu'à Poses, serait de 2.213 m³. 46 pour les fonds de 10 m. 50, et la vitesse moyenne du flot de 0 m. 503. Dans le cas du maintien du barrage de Martot, le débit moyen du flot serait de 1.712 m³ par seconde, et sa vitesse moyenne de 0 m. 389.

La plus faible vitesse moyenne du flot à Rouen que nous ayons constatée avec des fonds de 10 m. 50 correspond au maintien du barrage de Martot. Elle est de 0 m. 341 et donnerait une vitesse de fond moyenne de 0 m. 321. Or, si l'on se reporte aux tables de Genyès, relatées plus haut à la page 17, on voit que cette vitesse suffirait à entraîner du sable de la grosseur ordinaire.

En raison de l'importance de l'action de la marée dans le port de Rouen, nous avons examiné ce qui se passerait quand la rivière serait à l'étiage et ne débiterait à Poses que 80 mètres cubes par seconde. Les tableaux de cubage nos 3, 4 et 4 *bis* donnent le résultat de cet examen.

Dans le cas défavorable où l'on maintiendrait le barrage de Martot et où la Seine, étant à l'étiage, ne débiterait que 80 mètres cubes par seconde, le débit fluvial à la station de Rouen (amont), pendant les 5 h. 10′ de flot, serait de 1.488.000 m³, le débit du flot par seconde de 2.365 m³6 la vitesse moyenne de 0 m. 538 et la vitesse de fond de 0 m. 441 ; à la même station et dans les mêmes conditions d'étiage la vitesse moyenne pendant les 6 h. 49′ de jusant serait de 0 m. 518 et la vitesse de fond de 0 m. 428.

A la station de Rouen (aval) le débit du flot en étiage, si l'on maintenait le barrage de Martot, serait de 2.074 m. 5 par seconde pendant les 5 h. 10′ de flot, la vitesse moyenne de 0 m³ 504 et la vitesse de fond de 0 m. 417. Durant les 7 h. 15′ de jusant, le débit par seconde serait de 1.607 m³ 7, la vitesse moyenne de 0 m. 492 et la vitesse de fond de 0 m. 407.

Si donc on admet que les quantités de sable entraînées par le flot et par le jusant soient proportionnelles aux produits du temps de l'écoulement par le carré des vitesses de fond, soit à Rouen

(amont) pour le jusant à	$24.540 \times (0,2755)^2$	$= 1.862,80$
et pour le flot à	$18.600 \times (0.386\ )^2$	$= 1.697,63$
	Différence	0.165,17
et à Rouen (aval)		
pour le jusant à	$26.100 \times (0.407\ )^2$	$= 4.323,44$
et pour le flot à	$18.600 \times (0.417\ )^2$	$= 3.234,34$
	Différence	1.089,10

on en conclut aisément que les cubes de sable emportés vers la mer seraient supérieurs en nombre à ceux reportés en amont par le flot et que les marées et la Seine feraient descendre les apports de sable du fleuve vers la Manche.

Basse mer à Rouen. — Pendant les basses mers de morte eau, la pente totale actuelle de la Seine entre la Mailleraye et Rouen est de 0 m. 475. En admettant que cette même pente s'établisse de Rouen au Havre, on trouve qu'elle serait en tout de 0 m. 990. La basse mer moyenne de morte eau au Havre étant à la cote 103 m. 165, son niveau serait à Rouen à la cote 102 m. 175, soit à 1 m. 585 au-dessus des basses mers de vive eau. Il y aurait plus de profondeur d'eau à basse mer à Rouen en morte eau qu'en vive eau, ce qui est le contraire de ce qui se passe aujourd'hui ; les profondeurs que nous avons calculées seraient augmentées dans ce port en morte eau de la différence de leurs cotes.

Il est donc démontré qu'il est possible d'avoir à Rouen, pour la Seine, un lit de 300 mètres de largeur et profond de 10 m. 50 dans les basses mers moyennes de vive eau. Les circonstances locales paraissent s'y prêter parfaitement.

Nouveau lit de la Seine. — Nous avons dit, page 96, que le sol sur lequel repose la gare du chemin de fer d'Orléans à Rouen est très affouillable sur une grande profondeur. La partie du faubourg Saint-Sever, la plus voisine de la Seine et la gare de Paris sur la rive gauche sont aussi sur des terrains affouillables. En prenant pour alignement le mur de la caserne Saint-Sever le long de la rue Bonne-Nouvelle, on peut avoir un espace de 400 mètres de large, dans lequel on peut établir le nouveau lit de la Seine entre deux quais de 50 mètres de largeur chacun. Les deux gares des chemins de fer de l'Ouest pourraient être réunies en une seule, placée vers la rue Pavée, sur le côté Sud-

Est de la rue Saint-Sever et sur le quai rive gauche du nouveau bras de la Seine. A partir de la nouvelle gare commune, le chemin de fer d'Orléans à Rouen serait établi dans le faubourg, au pied du coteau, et se relierait à la gare du Petit-Quévilly, au besoin par un petit tunnel. Le nouveau lit de 300 mètres se prolongerait sur trois kilomètres en ligne droite, donnerait plus de six kilomètres de nouveaux quais, et se raccorderait en amont au lit actuel de la Seine au pont de Brouilly vers l'aval. Il toucherait à la plaine industrielle du Petit-Quévilly, où il se rattacherait à tous les nouveaux bassins que l'on jugerait utile d'y établir. Le port actuel serait transformé en un bassin à flot par deux barrages en partie mobiles, qui permettraient de régler le passage des crues devant la ville. Rouen pourrait ainsi devenir l'un des ports les plus importants de l'Europe.

La Seine maritime avec des fonds de 10 m. 50.—Nous avons dressé, pour la Seine, les tableaux de cubage nécessaires pour déterminer les largeurs à adopter si l'on veut obtenir, de Rouen au Havre, des profondeurs de 10 m. 50 au-dessous des basses mers de vive eau, conformément au profil en long dont le croquis figure à la page 73. Ces largeurs ont été calculées par la formule 11 (1).

Nous donnons dans le tableau ci-contre le résumé de ces calculs. On pourra les comparer à ceux du tableau relatif aux profondeurs de 3 m. 20. Nous avons indiqué plus haut (2) les observations que nous avons tirées de cette comparaison.

Les largeurs de la Seine à La Bouille et en amont ont été fixées d'après les renseignements dus à l'obligeance de MM. les ingénieurs de la 3e section de la Seine, et en vue de la propagation ultérieure des marées jusqu'à Poses et des intérêts de Paris et de Rouen. Nous nous sommes expliqué plus haut sur ce sujet. Avec les fonds de 10 m. 50 les mêmes largeurs ont été maintenues jusqu'à La Bouille, parce que les vitesses moyennes du flot vont en augmentant de l'amont à l'aval et que c'est auprès de La Bouille qu'elles atteignent le chiffre d'un mètre. Avec 300 mètres de largeur ; elle serait de 1 m. 20 à Duclair. La vitesse moyenne de 1 mètre étant celle que l'on observe sur la Gironde en vive eau et sur la Seine elle-même, ne doit pas être, selon nous, dépassée. Nous l'avons prise pour limite, et nous avons dû

(1) Page 16.
(2) page 103.

(10m50)

DÉSIGNATION des STATIONS	DISTANCES intermédiaires	DISTANCES cumulées à partir du Havre	Heures des étales de jusant	Heures des étales de flot	Durée du flot	Volumes d'eau introduits jusqu'à Poses Totaux	Volumes d'eau introduits jusqu'à Poses par seconde	Vitesses moyennes du flot	Largeurs	Volumes d'eau introduits jusqu'à Martot Totaux	Volumes d'eau introduits jusqu'à Martot par seconde	Vitesses moyennes du flot
			H M	H M	H M							
Le Havre			5 32	10 46	5 14	681.555.730m³	36.176m³	1m000	2.494m	674.913 330m³	35.823m³	0m990
	10.000m											
Honfleur		10.000m	5 35	10 50	5 15	561.902.640	29.730	1.000	1.996	555.106.240	29.371	0.988
	12.000											
La Risle		22.000	5 51	10 55	5 04	435.593.510	23.881	1.000	1.602	428.282 310	23.480	0.983
	8.000											
Tancarville		30 000	5 57	10 56	4 59	368.627.565	20.548	1.000	1.382	361.164.365	20.132	0.980
	6.000											
Quillebœuf		36 000	6 07	11 00	4 53	321.730.185	18.301	1.000	1.228	314.023.785	17.863	0.976
	23.000											
Caudebec		59.000	6 30	11 23	4 53	192.123.500	10.929	1.000	738	183.763.500	10.453	0.956
	6.000											
La Mailleraye		65.000	6 36	11 28	4 52	169.598.035	9.680	1.000	654	161.116.435	9 196	0.949
	25.000											
Duclair		90.000	7.08	12 00	4 52	98.316.685	5.611	1 000	379	89.363.885	5.101	0.910
	18.000											
La Bouille		108.000	7.28	0 25	4 57	65.034.885	3.650	0.826	300	55.838.885	3.133	0.709
	14.500											
Rouen (aval)		122.500	7.45	0 55	5 10	41.168.400	2.213	0.503	300	31.850.800	1.712	0.389
	2.500											
Rouen(amont)		125.000	7 50	1 00	5 10	37.267.625	2.004	0.456	300	27.919.625	1.501	0 341
	12.000											
Oissel		137.000	8.07	1 27	5 20	18.106.450	943	0.321	290	9.168.850	477	0.162
	11.500											
Elbeuf		148.500	8.47	2 20	5 33	2.272.840	137	0.075	320			
	2.500											
Martot		151.000										
	16.000											
Poses		167.000										

augmenter par suite les largeurs à donner à la Seine entre La Bouille et la mer.

Il est à remarquer que la durée du flot accusée par le tableau de la page 107 diminue depuis Elbeuf jusqu'à Duclair, et augmente ensuite au contraire depuis ce point jusqu'au Havre. Sur ce point, le calcul indique que la durée du flot serait pour la marée du 27 octobre 1890 (coefficient 100) de 5 h. 14′ et les calculs faits sur une marée moyenne un peu plus faible ont donné 5 h. 5′ (1).

L'étude faite sur les retards des étales sur les basses et les pleines mers de la marée du 27 octobre 1890 a donné une loi analogue pour les étales de flot, mais a fait voir que pour le jusant les retards ont continué à s'accroître d'une façon continue depuis Elbeuf jusqu'au Havre. Ces retards sont ceux qui suivent :

STATIONS	RETARD DES ÉTALES		STATIONS	RETARD DES ÉTALES	
	de jusant sur les basses mers	de flot sur les pleines mers		de jusant sur les basses mers	de flot sur les pleines mers
Le Havre.....	1.32	2.25	Duclair.....	0.47	1.58
Honfleur.....	1.19	2.18	La Bouille.....	0.39	2.03
La Risle.....	1.16	2.10	Rouen (aval)...	0.34	2.17
Tancarville . ..	1.09	2.02	Rouen (amont) .	0.35	2.19
Quillebeuf.....	1.10	1.59	Oissel..... ..	0.32	2.31
Caudebec.....	0.57	1.56	Elbeuf.....	0.46	3.80
La Mailleraye ..	0.54	1.54			

On voit qu'en vive eau sur la Seine, les retards du jusant sur les basses mers sont moindres que ceux du flot sur les pleines mers et qu'ils diminuent les uns et les autres à partir du Havre ; mais à partir de La Mailleraye, où la Seine devient relativement étroite, les retards du flot sur la pleine mer vont en croissant jusqu'à Elbeuf.

Les méthodes indiquées au premier chapitre de cet ouvrage, et principalement les formules (6) et (7) ont servi à ces calculs ; les

(1) Les observations faites au Havre par le service hydrographique ont indiqué 5 h. 10.

vitesses de fond ont été évaluées au moyen du tableau de la page 25.

Les tableaux de cubage de la Seine avec fonds de 10 m. 50 se rapportent presque tous à la période de flot par les raisons que nous avons fait connaître. Six ont été dressés pour la marée descendante dans des endroits où il était utile d'étudier la période du jusant. Ils renferment les cotes des profils en long momentanés qui correspondent aux heures du second étale de jusant et du flot. Les heures d'étale, calculées d'après l'étude des vitesses des courants, comme l'a fait M. l'ingénieur en chef Belleville, se trouvent assez éloignées l'une de l'autre pour qu'il n'y ait pas croisements entre les profils momentanés

Il eût été d'ailleurs facile d'en tenir compte dans les tableaux de cubage considérés.

Les largeurs trouvées par nos calculs en aval de La Bouille et qui figurent au tableau de la page 107 varieraient de 379 mètres à Duclair à 1.382 mètres à Tancarville et à 2.494 mètres au Havre. La fosse d'Amfard, qui occupe la passe du milieu de l'embouchure, présente à son extrémité, près du pied des écueils des Hauts de la petite rade, des profondeurs de 13 à 14 mètres en contre-bas du zéro des cartes marines ; pour avoir aux mêmes points cette profondeur, le nouveau lit de la Seine devrait n'avoir que 1.522 mètres de large à son extrémité au Havre. Ce serait, de Honfleur au Havre une diminution de largeur de 474 mètres pour une augmentation de profondeur de trois mètres.

L'extrémité de cette passe est maintenue libre par le courant du flot d'Antifer, qui rejette à l'Ouest, sur le banc de Seine, les sables et les vases provenant du fleuve et de l'estuaire, ainsi que de la côte du Calvados.

Un tableau spécial de cubage a été dressé pour évaluer le débit du jusant au Havre. Ce tableau a fait voir que ce débit serait en temps ordinaire et si l'on supprimait le barrage de Martot de 28.173 m^3 par seconde avec des vitesses moyennes de fond de 0 m^3 635 ; avec le barrage, le débit se réduirait à 27.754 m^3 et la vitesse de fond à 0 m. 634.

La comparaison des tableaux de cubage avec fonds de 3 m. 20 et de 10 m. 50, confirme l'observation faite plus haut page 103 sur l'excédent du volume introduit en amont de Rouen par l'onde qui correspond aux fonds de 3 m. 20. Mais dans ce cas la durée du flot n'est que d'environ 4 heures, tandis qu'elle atteint et dépasse 5 heures avec des profondeurs de 10 m. 50.

Aussi la différence des volumes d'eau introduits est-elle relativement assez faible Dans le cas où la marée se prolongerait jusqu'à Poses, elle serait à Oissel, de 20.157.700 m³ à 18.106.450, et à Rouen (amont) de 38.842.665 m³ à 37.267.625 et les vitesses moyennes en ce dernier point seraient de 0. m. 456. Dans l'hypothèse du maintien du barrage de Martot, la différence des vitesses moyennes au même endroit serait de 1 m. 028 à 0 m. 341. Cette dernière vitesse moyenne correspond à une vitesse de fond de 0 m. 281. Ces vitesses sont capables d'entraîner le sable de la Seine. Le maintien des profondeurs d'eau de 10 m. 50 au-dessous des basses mers moyennes de vive eau serait donc assuré à Rouen (amont).

A Oissel la vitesse moyenne du flot, dans l'hypothèse du maintien du barrage de Martot et de fonds de 10 m. 50, ne serait que de 0 m. 162 et ne donnerait au fond qu'une vitesse de 0 m. 13. Mais si l'on étudie le jusant d'une marée semblable à celle du 27 octobre 1890, on trouve[1] que le débit moyen de la marée descendante à Oissel serait de 1.478 m³ par seconde et sa vitesse moyenne de 0 m. 501, si le flot se propageait jusqu'à Poses. Si l'on maintenait le barrage de Martot, le débit du jusant se réduirait à 1.118 m³ par seconde et la vitesse moyenne à 0 m. 379 par seconde, au lieu de 0 m. 162. Cette vitesse de 0 m. 379 pour une profondeur moyenne de 10 m. 56, correspond à une vitesse de fond de 0 m. 312, suffisante d'après la table de Genyès, pour mettre le sable en mouvement vers la mer.

Ainsi, dans le cas défavorable du maintien du barrage de Martot, le flot ne produirait plus à Oissel une vitesse capable de remonter le sable en amont aux heures de marée, mais le jusant suffirait pour l'emporter vers la mer. Dans la partie haute de la Seine maritime, l'action du jusant devient prépondérante sur celle du flot, et la diminution de cette dernière concoure à la marche du sable vers l'aval.

Nous avons examiné plus haut les conditions dans lesquelles se trouverait le port de Rouen avec des fonds de 10 m. 50, et nous avons vu que cette profondeur y serait créée et maintenue par les courants, même dans le cas où un nouveau bras de 300 mètres de large devrait y être creusé à côté du bras existant.

Le tableau de la page 108 et les tableaux de cubage donnent

[1] Tableau de cubage, pour Oissel (jusant).

tous les renseignements relatifs aux stations en aval de Rouen. On les trouvera à la fin de ce volume.

Tracé. — Le tracé devrait être étudié par MM. les Ingénieurs attachés spécialement au service de la navigation de la Seine maritime et nous nous bornerons à quelques indications spéciales.

Il serait d'abord utile de se rendre compte exactement par des sondages du relief réel du sol dur dans le fond de la vallée de la Seine, entre La Bouille et le Havre. Des sondages ont été faits en 1883 dans la petite rade et aux abords du Havre, lors d'une reconnaissance du fond exécutée par M. Héraud, ingénieur hydrographe directeur, mais nous n'en connaissons pas d'autres faits ailleurs dans l'estuaire.

Il conviendrait ensuite, d'une façon générale, de conserver autant que possible le lit actuel, partout où il pourrait donner les largeurs calculées en même temps que la profondeur voulue de 10 m. 50 au-dessous des basses mers de vive eau indiquées sur le croquis du profil en long (page 73).

Il serait, croyons-nous, possible d'abréger de 16 kilomètres le parcours de Rouen à la mer en faisant une tranchée auprès de Yainville, mais cette grosse opération ne devrait être entreprise qu'en s'assurant que le lit actuel se conserverait et que la quantité d'eau introduite en amont de La Mailleraye ne serait pas réduite.

Le dragage des seuils du Trait et des Meules devrait être complété jusqu'aux profondeurs voulues.

En aval de La Meilleraye, le lit de la Seine devrait être rectifié pour éviter les éboulis dus à la formation des côtes abruptes et des vallons secondaires à l'époque géologique. Un bras complémentaire du lit actuel serait ouvert entre La Mailleraye et le fanal de Villequier, pour obvier aux défauts de largeur et de profondeur du lit actuel. Au delà, le lit de la Seine devrait être mis dans les terrains de sable vaseux, mobile et facilement affouillables, qui occupent tout le milieu de la vallée jusqu'à Tancarville. Il serait possible d'y ouvrir facilement un nouveau lit, en lui donnant d'abord une largeur d'environ 50 mètres et une profondeur de 1 mètre à 1 m. 50 au-dessous du niveau de la plus basse mer dans la partie la plus voisine du chenal de la Seine. En obligeant, au besoin, par des épis en fascinages, le courant à suivre la nouvelle direction, la Seine s'élargirait d'elle-

même et s'approfondirait comme elle l'a fait en 1858 en amont de Tancarville : il n'y aurait qu'à limiter sa largeur par des enrochements, en partie pris aux anciennes digues.

En face du Vieux Port et d'Aizier, les coteaux se rapprochent du milieu de la vallée et ne permettraient probablement pas de donner à la Seine une largeur de mille mètres. Mais le sol résistant est à 25 mètres au-dessous de la prairie et à 17 m. 86 au-dessous de la basse mer voisine, et il suffirait d'avoir une largeur de 750 mètres si le fond du lit de la Seine se réglait à 1 m. 86 au-dessus du terrain dur, et à 16 mètres au-dessous de la basse mer en cet endroit. C'est la section calculée surtout, plus que la largeur, qu'il faut réaliser.

Estuaire. — En aval de Tancarville, le projet adopté par les Chambres en 1895 et qui avait été présenté par le gouvernement le 8 novembre 1887 [1] admettait qu'il se formerait dans le chenal un haut-fond entre le méridien de Honfleur et la fosse centrale de l'entrée de l'estuaire. L'exposé des motifs de 1887 admettait que les digues longitudinales seraient prolongées suivant un tracé sinusoïdal jusqu'à Honfleur, mais qu'elles ne dépasseraient pas ce point. « En aval de l'embouchure, le chenal « abandonné à lui-même aura », disait le rapport, « à gagner la

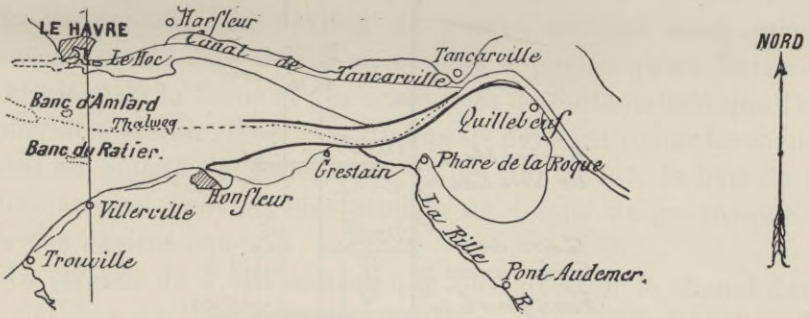


Fig. 36. — Projet voté par les Chambres.

« fosse d'Amfard. »... « cependant, il faut s'attendre à rencon- « trer là un haut-fond qui limitera la navigation. Pour en appré- « cier autant que possible la hauteur probable, on remarquera

[1] Voir le rapport de M. de Lasteyries, à la Chambre des députés, en date du 11 février 1895, page 5, et l'exposé des motifs du gouvernement du 8 novembre 1887, pages 20 et 21.

« qu'en 1880 le chenal s'étant de lui-même fixé suivant un tracé « très analogue à celui que l'on propose aujourd'hui, a donné, « pendant ce temps, sur ces hauts-fonds, une profondeur de « 6 m. 50 à pleine mer de morte eau. »... « On doit espérer un « résultat au moins égal. »... « Que si l'on voulait encore aug- « menter le tirant d'eau, il n'est pas douteux que les dragages... « ne deviennent possibles, et ne permettent assez facilement « de gagner encore un demi-mètre en portant la profondeur à « 7 mètres en morte eau, 8 m. 50 en vive eau, avec un accrois- « sement de 1 m. 50 sur l'état actuel. »

L'exposé des motifs de 1887 acceptait donc la formation d'un haut-fond sur lequel on pouvait espérer trouver une profondeur de 6 m. 50 à 7 mètres au-dessous des pleines mers de morte eau. Mais si l'on examine le profil en long de la Seine [1], dont nous reproduisons ci-contre les indications (fig. 37), on voit

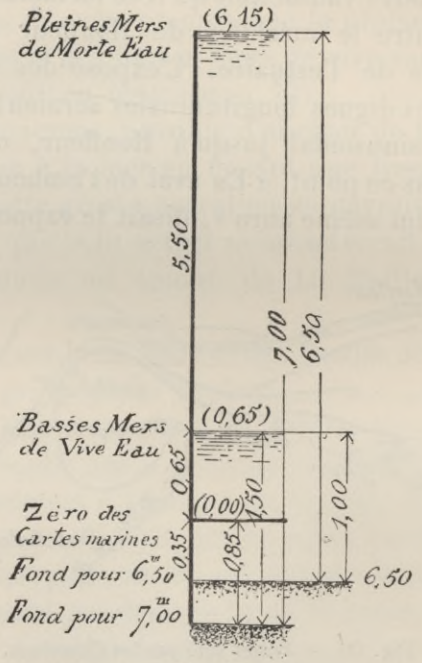


Fig. 37.

que les basses mers de vive eau sont à 5 m. 50 en contre-bas des pleines mers de morte eau et qu'il ne resterait ainsi, dans ces conditions, que des profondeurs de 1 mètre à 1 m. 50 à mer basse de vive eau. On peut dire que, dans ces conditions, l'entrée

[1] Atlas : planche II.

de la Seine serait barrée aux navires pendant une partie de chaque marée. En basse mer de morte eau il resterait 2 mètres.

La nécessité de donner au Havre une rade plus sûre qu'une rade foraine, l'utilité de créer pour la flotte un abri qui n'existe pas entre Cherbourg et Dunkerque, et l'avantage qu'il y aurait à ouvrir la Seine aux plus grands navires nous paraît devoir faire remettre un jour sur le tapis le projet actuellement adopté. Nous croyons pour ce motif devoir examiner avec un peu plus de détail les dispositions à prendre à l'embouchure de la Seine.

Les largeurs données par le tableau de la page 107 pour le lit de ce fleuve, entre Tancarville et le Havre, varient de 1.382 mètres à 2.494, et les volumes d'eau, introduits par la marée, de 368 à 681 millions de mètres cubes. Il nous paraît utile de faire passer le fleuve à l'embouchure actuelle de la Risle et près des jetées de Honfleur, dans l'intérêt de ce port et de Pont-Audemer, de n'y admettre aucun haut-fond et de le guider jusqu'au méridien du Havre. Ce méridien étant à 9.500 mètres à l'Ouest de celui de Honfleur, on aurait toute facilité pour choisir un tracé entre les deux ports.

En faisant passer la Seine au Sud de l'estuaire, en amont de Honfleur, on empêcherait l'atterrissement de ce côté de la baie, et l'on mettrait le chenal plus à l'abri des vents du Sud-Ouest qui soufflent en moyenne 103 jours par an et qui sont souvent très dangereux. Les navires de guerre seraient aussi mieux garantis par la côte de Grâce, et plus à portée qu'au Havre de l'intérieur de la Seine et des ressources de toute nature que l'on pourrait y établir. Il est essentiel qu'ils puissent remonter facilement en amont de Tancarville et de Quillebeuf, la baie de la Seine en aval pouvant être atteinte en temps de guerre par le feu des navires ennemis.

La largeur de 2.494 mètres que devrait avoir le chenal dans le méridien du Havre ne permettrait pas d'avoir à la fois 10 m. 50 de profondeur au-dessous des basses mers de vive eau dans les deux passes du Nord et du Centre de l'embouchure de la Seine. Mais il nous paraîtrait possible de remédier à l'insuffisance du fleuve en conservant au jeu des marées la partie de l'estuaire située au Nord et qui est encore couverte d'eau au moment des pleines mers. La largeur de 1.602 mètres n'est pas indispensable à la navigation à l'entrée de la Risle, et peut être réduite, à la condition de maintenir en amont l'arrivée du volume d'eau voulu pendant le flot. On pourrait donc faire passer dans la partie Nord

de la baie, en dehors du nouveau lit de la Seine et par un bras secondaire, la quantité d'eau dont on aurait besoin pour rétablir ou maintenir le régime que l'estuaire avait avant 1898.

Si l'on distrayait, en face de la Risle, 500 mètres cubes par seconde en moyenne du débit du fleuve pendant la durée du jusant, la largeur de la Seine ne devrait être réduite en aval que de 50 mètres. La partie du jusant qui passerait dans le second bras saperait les bancs de sable à marée basse, les ferait tomber en fontures, et les maintiendrait, en définitive, à un niveau analogue à celui qu'ils avaient jadis.

Pour assurer les profondeurs obtenues dans la Seine, les digues longitudinales devraient, en principe, être conduites jusqu'en un point situé en mer, où la profondeur serait suffisante, et où les apports du fleuve seraient emportés par le courant littoral.

Examinons les conditions que devraient remplir les digues et le tracé qu'il conviendrait de choisir.

Les travaux faits sur 43 kilomètres, depuis La Meilleraye jusqu'à la Risle, ont donné à la fois une rivière profonde, et 7.566 hectares de prairies d'alluvion, qui se sont formées par atterrissement derrière les digues. Si l'on crée un nouveau lit à la Seine, au milieu de l'estuaire, les mêmes raisons qui ont amené le dépôt de ces vastes alluvions entraîneront l'atterrissement des espaces laissés sur les côtés du fleuve, en dehors des digues, jusqu'à la mer. Les eaux qui remplissent aujourd'hui ces mêmes espaces aux heures de marée maintiennent en aval du Havre les profondeurs nécessaires à l'accès de ce port, et celles-ci seront compromises, au grand préjudice de cette ville. C'est un danger que le projet en cours d'exécution ne permet pas d'éviter et qui amènera un jour la modification de ces travaux.

Il faudrait donc, à ce point de vue, faire passer le chenal sous les jetées de Honfleur, comme l'a prévu la loi du 19 mars 1895, et faire déboucher la Seine dans la fosse d'Amfard.

On peut supposer que l'augmentation du débit du fleuve tendra à approfondir cette fosse, et que la courbe centrale des fonds marins de dix mètres pourra remonter vers l'amont. Nous pensons que tel sera effectivement un jour le résultat des travaux ; mais en attendant qu'ils aient produit tous leurs effets, nous croyons qu'il faut assurer avant tout, aux heures de jusant, la marche des sables jusqu'à l'ouvert de la côte d'Antifer, et prévoir, en conséquence, le prolongement des digues jusqu'au méridien du Havre. Nous expliquerons plus loin les raisons qui atténueront la dépense de leur construction.

Il y a, d'autre part, lieu d'empêcher autant que possible, les sables d'entrer dans la baie pour remplir l'estuaire. Les sables de la côte du Calvados devront être particulièrement arrêtés ou déviés, parce qu'ils forment la grande majorité des sédiments qui pénètrent dans l'estuaire. Ils arrivent par la passe du Sud jusqu'à la Seine, qui les charrie jusqu'au-dessous du Havre.

Ils sont repris par le flot, qui les entraîne dans la passe du Nord qu'ils encombrent, et du côté de Rogerville où ils se déposent.

Il conviendrait donc de prolonger la digue gauche de la Seine jusqu'au méridien de l'entrée Sud-Ouest du Havre. Mais comme cette digue devrait être longue d'environ neuf kilomètres, il serait préférable de construire un épi d'environ quatre kilomètres qui partirait des environs de Villerville et se dirigerait sur le point où devrait finir la digue gauche du fleuve. Cet épi serait plus court de cinq kilomètres que la digue et permettrait d'établir plus légèrement celle-ci, parce qu'elle serait prise plus obliquement et moins atteinte par les vagues lors des vents d'Ouest et de Nord-Ouest. L'intervalle compris entre l'épi, la côte et la digue s'atterrirait rapidement et sans inconvénient pour l'estuaire.

L'expérience démontre que les rives des fleuves qui arrivent à la mer chargés d'alluvions se prolongent par des bancs, créés par leurs dépôts, à leur embouchure (1). Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons déjà dit à ce sujet sur les travaux de M. l'inspecteur général Guérard, et l'embouchure du Rhône. Les sables qui sont poussés par les lames ou les vents le long du rivage sont arrêtés par l'une des rives sous-marines du fleuve et produisent, en dehors de celui-ci et du côté d'où ils proviennent, un banc qui s'appuie contre le prolongement de la rive et produisent un banc triangulaire. Un abaissement se forme d'ordinaire entre le banc et le rivage.

Il se formerait évidemment un banc triangulaire de ce genre en prolongement de la rive gauche de la Seine.

Les ports du Calvados situés entre Langrune, Lion-sur-Mer et Villerville, pourraient être préservés des sables, soit par des épis situés le long de la côte et qui arrêteraient les sables du rivage à l'Ouest du port, soit par des dragages. On a remarqué que la formation des sables littoraux qui arrivent annuellement

(1) Voir pages 42 et suivantes.

aux jetées des ports du Calvados était peu considérable et qu'on pourrait les draguer. C'est ainsi qu'on maintient des profondeurs de six mètres à basse mer à l'entrée du port de Bayonne qui était, encore récemment, obstrué par les sables du rivage que formait une barre à l'entrée de l'Adour.

Régime de l'embouchure de la Seine après les travaux. — L'onde secondaire qui suit les côtes du Calvados et pénètre dans la Seine rencontrerait les atterrissements qui se seraient déposés dans l'angle formé par la côte de Villerville et par la nouvelle jetée. Elle se porterait vers le Nord, ainsi qu'elle le fait aujourd'hui quand, l'estuaire étant plein, elle l'abandonne comme s'il était barré. Elle se partagerait ensuite et suivrait, d'un côté l'abaissement vers le Havre, de l'autre le bord Sud du banc triangulaire. Cette dernière partie de l'onde porterait la plus grande part des alluvions du Calvados au Nord du banc de Seine, et sur la longue pointe formée à l'Ouest de ce banc par les courants qui ont suivi la côte d'Antifer. Cette pointe, qui s'étend à 30 kilomètres à l'Ouest du Havre, semble principalement composée par les sables du Calvados.

Les ports situés entre Lion-sur-Mer et Villerville pourraient être préservés, peut-être, de l'invasion des sables par la création de dunes artificielles sur certaines parties du rivage. Ainsi, près des roches du Calvados et à l'Est de Trouville, on pourrait provoquer l'accumulation sur le rivage des sables qui sont le long de la côte et qui rendent difficile l'entrée de la Touques. La plage de Trouville s'étendrait moins loin et serait plus sûre pour les baigneurs. Des études pourraient être entreprises à ce sujet.

Les travaux que nous venons d'indiquer pour la digue gauche de la Seine en aval de Honfleur supprimeraient, au Havre, le courant de Verhaule, et, presque entièrement, l'entrée des sables du Calvados dans l'estuaire. Mais, une partie de l'onde du Calvados, suivrait, comme nous l'avons dit, l'abaissement à l'Est du banc triangulaire, et se ferait encore sentir au Havre. La quantité de sable qui parviendrait ainsi près de ce port serait extrêmement réduite, et pourrait même être entièrement supprimée par la fermeture de l'abaissement dont nous venons de parler.

Le régime actuel de la marée dans la petite rade du Havre serait modifié; mais il faut remarquer qu'il est utile de rendre ce grand port accessible à toute heure aux plus grands navires,

et que l'on prend déjà les dispositions voulues pour avoir 8 mètres de profondeur entre les jetées de l'avant-port à mer basse. Le changement de régime n'aurait donc guère d'effet que sur l'avant-port, et n'aurait de conséquences que pour la facilité d'entrer à l'heure du plein dans les bassins, où il faudra d'ailleurs toujours pouvoir pénétrer à tout instant par des écluses.

Mais il ne faut pas se dissimuler que si la passe du Nord était laissée sous l'action des lois qui régissent les estuaires isolés, cette passe se remplirait bientôt, et que les alluvions qui ont déjà formé sur 49 kilomètres, depuis Villequier jusqu'au Hoc, 7.566 hectares de prairies marécageuses, se prolongeraient jusqu'au Havre. A la suite d'une reconnaissance faite en 1894, M. Renaud, ingénieur hydrographe en chef de la marine, signalait « le danger de la situation [1] ». Bien qu'aucune digue n'eût encore été faite en aval de la Risle en 1898, un vaste banc s'était déjà élevé à 7 mètres au-dessus du zéro des cartes entre Rogerville et le Havre. Il importe donc de s'opposer au remplissage de l'estuaire par les sables et à la formation, dans la passe du Nord et sur le rivage comprenant la plage de l'Eure, de prairies marécageuses. Elles s'opposeraient aux améliorations que l'on pourrait tenter de ce côté pour le port, et compromettrait gravement la santé publique dans la ville du Havre. Nous croyons donc que la dérivation dans l'estuaire d'un bras secondaire de la Seine serait d'une grande utilité.

D'après nos calculs, l'estuaire pouvait contenir encore en juillet 1898 au moment des pleines mers de vive eau, environ 238 millions de mètres cubes d'eau au-dessus du zéro des cartes. Cette eau s'écoulant pendant le jusant avec celle dérivée de la Seine, donnerait un débit de 251 millions de mètres cubes ou de 9.929 mètres cubes par seconde. On pourrait faire passer toute cette eau dans la passe du Nord. Elle débarrasserait l'entrée du Havre des atterrissements et pourrait donner un chenal ayant 10 m. 50 de profondeur à basse mer, si la largeur qui leur serait laissée était de 885 mètres.

Enfin, si l'on voulait donner au chenal une largeur de mille mètres, la profondeur resterait de 8 m. 83 au-dessous de la basse mer et de 12 m. 75 à mi-marée. Ces profondeurs pourraient augmenter, si les érosions du bras secondaire venaient à rendre l'estuaire capable de contenir au-dessus du zéro, plus de 238 millions de mètres cubes d'eau de marée en pleine mer de vive eau.

[1] Rapport sur la reconnaissance hydrographique de la Seine, en 1894, p. 31.

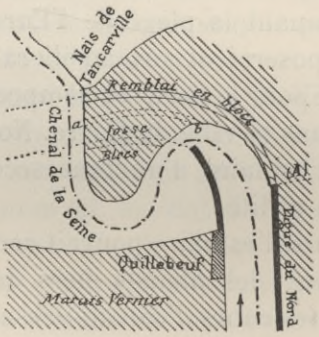
De l'évaluation des travaux. — On doit se demander quel serait le prix de ces travaux.

Nous dirons qu'il dépendra beaucoup du talent des ingénieurs qui en seraient chargés.

Nous ferons remarquer que le principal instrument à mettre en œuvre pour déblayer le nouveau lit du fleuve serait la Seine elle-même. C'est à l'ouverture d'un passage profond dans le barrage naturel produit par l'amoncellement des sables entre La Mailleraye et la mer, c'est à l'abaissement de l'étiage dont cette coupure serait la cause et à l'augmentation du volume d'eau que la marée refoule en amont de ce barrage que serait due l'augmentation de la puissance des courants et des déblais qu'ils feraient économiquement jusqu'à la mer.

Qu'il nous soit permis de citer notre expérience personnelle à cet égard.

Lorsque nous étions attaché comme ingénieur ordinaire aux travaux de la Seine maritime, le lit actuel du fleuve entre Quil-



Plan des travaux.

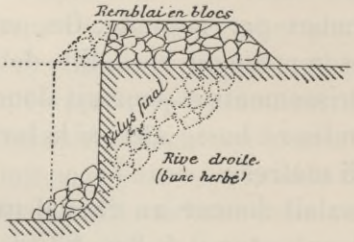


Fig. 38. — Profil en travers en (A).

lebeuf et Tancarville était occupé par une vaste prairie d'alluvion adhérente à la rive droite depuis Tancarville jusqu'à Petitville, et la Seine se jetait brusquement à l'Ouest au-dessous de Quillebeuf. Pour le redresser, on construisit (fig. 38) une digue

en enrochements partant du phare de cette ville et suivant le tracé de la rive gauche du fleuve. Cette digue provoquait, en face de son extrémité, des érosions dans la prairie et la rivière se rectifiait ainsi peu à peu.

Mais comme les affouillements produits par le bout avancé de la digue donnaient naissance à de grandes profondeurs en ce point et à beaucoup de dépenses en enrochements, on ouvrit dans l'axe du lit projeté une tranchée d'environ vingt mètres de largeur. Les courants qui parcouraient le nouveau chenal n'avaient pas grand effet sur le fond tant que l'on n'était pas dans le voisinage de la basse mer. Ce n'est que lorsque le fond de la tranchée eut été abaissé un peu au-dessous du niveau de la mer basse, que le courant s'y ouvrit brusquement un passage. Le fond se creusa de plus de 10 m. tandis que les bords de la tranchée furent minés par les eaux et précipités par grosses masses dans le nouveau lit de la Seine. Celui-ci s'élargit peu à peu jusqu'à ce que les érosions aient été arrêtées par les digues en enrochement construites sur la prairie suivant le tracé des nouvelles rives et que la Seine ait eu les 490 mètres de large qu'elle devait avoir.

La digue en enrochements de la rive droite fut établie comme un remblai de chemin de fer sur la prairie. Quand les érosions atteignirent cette digue auprès de laquelle la profondeur était grande, les enrochements s'écroulèrent sur le fond du lit et protégèrent d'abord la base de la nouvelle rive concave. Les corrosions continuèrent au-dessus et d'autres matériaux s'éboulèrent et garantirent la rive sur une nouvelle hauteur. La digue forma ainsi un tapis d'enrochements qui revêtit le talus et n'exigea que 18 mètres cubes de pierres par mètre courant de rive, sur une hauteur totale de 14 à 15 m.

Si l'on ouvrait ainsi un canal de 50 à 100 mètres de large creusé à 1 m. ou 1 m. 50 au-dessous des basses mers dans les terrains affouillables qui sont au-dessous de La Mailleraye et si l'on y faisait ensuite passer le courant de la Seine, ce courant creuserait le canal et le nouveau lit de la rivière ; on n'aurait qu'à limiter son élargissement pour avoir la profondeur voulue. Nous avons dit qu'en face de Petitville et du Vieux Port, le terrain résistant est à 25 mètres au-dessous du niveau de la prairie. Il est à 17 m. en face de Quillebeuf.

Nous devons indiquer toutefois une précaution nécessaire, c'est de ne pas laisser le nouveau lit ouvert aux marées tant qu'il ne pourrait pas donner un passage complètement assuré

sur sa largeur primitive de 50 à 100 mètres aux eaux de la Seine à mer basse. Les marées gêneraient les travaux de déblais, et tendraient à combler le chenal, comme l'expérience nous l'a prouvé.

Une observation indique la facilité avec laquelle la rivière achèverait elle-même les déblais. On a voulu donner à la Seine une largeur de 730 mètres à mi-distance entre Quillebeuf et Tancarville. On a enlevé sur une certaine longueur les enrochements qui défendaient la rive gauche et la rivière a entrainé les terres de la prairie qui formaient cette rive. De même, la digue droite a été ruinée par le flot en amont du fanal du Courval, et la rivière, qui a 430 mètres de largeur entre les digues à Quillebeuf, prend au point que nous signalons une largeur qu'on veut limiter à 635 mètres.

Il faut toutefois qu'aucun relief du sol résistant qui compose le fond de la vallée de la Seine ne s'oppose à l'abaissement du thalweg jusqu'aux profondeurs indiquées. Des forages pourront seuls sans doute en donner l'assurance, mais nous avons exposé plus haut [1] les motifs que nous avons de croire qu'il est possible d'établir le chenal dans les conditions prévues.

L'exécution des travaux exigerait la modification ou l'enlèvement de certaines digues déjà construites ; cela est nécessaire pour que la Seine puisse donner tous les avantages qu'on a le droit d'en attendre. Toutefois ces changements du chenal n'entraîneraient pas de dépenses exagérées. Nous dirons à ce sujet qu'une digue en enrochements construite en plein chenal dans la Loire au-dessous de Nantes, à l'extrémité de l'île Thérèse a dû être supprimée ; ce travail a fait voir que les matériaux pris dans cette digue revenaient au même prix que ceux venant des carrières. Il en serait sans doute de même pour la Seine.

Objections tirées des travaux faits jusqu'ici. — Une objection peut être tirée de ce que les travaux faits jusqu'ici sur la Seine maritime ont eu surtout pour but de créer un chenal profond entre La Mailleraye et la mer ; mais il faut remarquer que le projet en a été conçu à une époque où les navires d'un tirant d'eau de trois mètres arrivaient seuls à Rouen, et où l'entrée de la basse Seine était semée d'épaves. Aujourd'hui les bâtiments tirant sept mètres viennent normalement à Rouen et l'on a

[1] Page 100.

réalisé une amélioration considérable ; à l'origine des travaux, l'on n'aurait pas osé penser aux résultats que l'expérience et le calcul démontrent maintenant possibles. L'on a dirigé la Seine le long des bords de la vallée pour économiser la construction de l'une des digues, et l'on a fait passer le fleuve sur les éboulis des coteaux et les cônes de déjection des vallons ou des falaises créés par les eaux lors de la formation primitive de la vallée de la Seine. Au banc de Meules, auprès de La Mailleraye, l'on a placé le chenal entre deux digues en pierre et sur un fond élevé que les courants seuls ne pouvaient entamer. On a ainsi formé comme un déversoir fixe et empêché l'abaissement des eaux en amont. C'est ce qui fait que les basses mers de vive eau, qui ont baissé de 1 m. 76 à Quillebeuf du 18 août 1856 au 10 septembre 1885, ne se sont abaissées que de 0 m. 56 à la Mailleraye et de 0 m. 56 à Rouen entre les mêmes dates. On a porté remède depuis à cette situation en draguant le lit de la Seine.

Il eût fallu reconnaître tout d'abord, par des forages, le relief du fond inafouillable de la vallée, comme l'avait demandé depuis 1845 M. l'ingénieur en chef Bouniceau [1], puis tracer ensuite le chenal dans une partie suffisamment affouillable de la vallée.

Deux genres de solution nous semblent particulièrement possibles pour l'amélioration de l'embouchure de la Seine. L'une, qui a été mentionnée par M. Bouniceau, ingénieur en chef au Havre, en 1845, et consistant à améliorer la Seine par des digues longitudinales ; l'autre en profitant, quand c'est possible, des propriétés spéciales des estuaires protégés par un goulet.

Sans proposer un projet particulier, M. Bouniceau indiquait la construction de digues longitudinales donnant à la rivière un élargissement progressif. Elle eût conservé sa largeur actuelle de 300 mètres jusqu'aux environs de La Mailleraye où les deux digues eussent eu leur origine, et elle eût eu de 800 à 1.000 m. de large en face de Honfleur, si l'on eût exécuté les travaux d'après les vues de M. Bouniceau. Il aurait voulu qu'on trouvât sur ce dernier point de 7 à 8 pieds d'eau (de 2 m 27 à 2 m. 92) de basse mer pour qu'un navire « pût s'y réfugier à mer basse, et entrer à Honfleur au premier flot » [2] ; au delà de ce port, M. Bouniceau pensait que les alluvions mobiles, placées à cette époque en aval d'une ligne allant de Honfleur au Hoc, seraient venues former des prai-

[1] *Etudes sur la navigation des rivières à marées*, par M. Bouniceau, Paris 1845, pages 143 (note), 152 et suivantes.

[2] M. Bouniceau, p. 165.

ries entre Petit-Ville et la pointe du Hode, que les abords du Havre

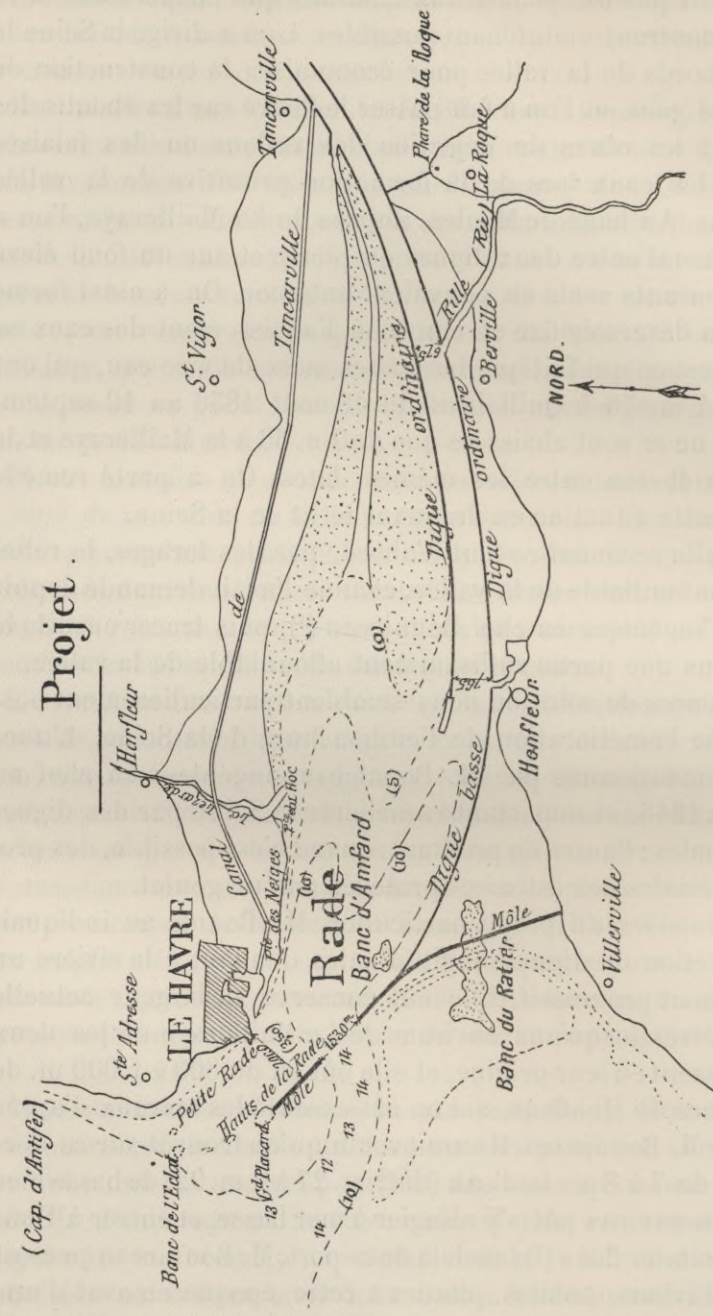


Fig. 39. — Projet de 1859.

se trouveraient dégagés [1] et que la digue droite débouchant alors dans de grandes profondeurs n'aurait pas besoin d'être poursui-

[1] M. Bouniceau, p. 148.

vie au delà de Honfleur [1]. En présence toutefois d'objections possibles, M. Bouniceau proposait de prolonger les digues jusqu'au Havre.

L'expérience a démontré que les mêmes causes sur lesquelles il comptait pour remonter les alluvions mobiles du Havre vers l'intérieur de l'estuaire devaient les remplacer au fur et à mesure de leur enlèvement par d'autres provenant de l'immense dépôt connu sous le nom de « Banc de Seine » dont elles faisaient jadis partie. Les abords du Havre ne se sont donc pas dégagés comme il le supposait. Le projet de M. Bouniceau peut être en tout cas cité comme type du prolongement des digues jusqu'à la mer. Le projet que nous avons étudié pour donner à la Seine, à mer basse, une profondeur de 10 m. 50 avec une largeur de 2.491 m., dans le méridien du Havre, peut être considéré comme se rattachant à ce modèle, bien qu'il soit basé sur l'effet de l'abaissement de l'étiage de Rouen à la mer.

Projet de 1859. – En 1859, nous avons présenté, comme ingénieur ordinaire des travaux de la basse Seine, un projet pour l'achèvement de ces travaux, alors exécutés jusqu'à Tancarville. Ce projet supposait les digues faites jusqu'à Honfleur ; au delà l'on eût obtenu, entre Honfleur et le Havre, une rade capable de recevoir les plus gros vaisseaux. Cette partie du projet était basée sur les propriétés des estuaires à goulet et sur l'observation qu'une jetée, nécessaire pour fixer l'ensemble des courants de la Seine et de l'estuaire sous les jetées du Havre et enracinée sur la côte du Calvados, serait plus économique que le prolongement des deux digues jusqu'au Havre.

L'expérience prouve en effet que les estuaires protégés par un goulet ne se comblent pas et qu'il s'y établit un équilibre entre les courants de flot qui tendraient à les remplir avec des sables venus du dehors et les courants de jusant de la marée et des eaux fluviales qui les entraînent au large. Des chenaux s'établissent en amont et en aval du goulet. Ils ont d'autant plus de profondeur et d'étendue de chaque côté du goulet que la quantité d'eau fournie par le côté correspondant, le jusant en amont et le flot de la marée en aval, est plus considérable. L'un de ceux qui se forment à l'amont se relie au chenal du cours d'eau qui aboutit dans l'estuaire, et celui qui se forme en aval du goulet se propage au large d'autant plus loin que l'amplitude

[1] M. Bouniceau, p. 153.

des marées est plus considérable sur la côte. Nous avons déjà expliqué ces faits ([1]) en citant la rivière de Foyle et d'autres exemples.

Le projet de 1859 tel qu'il a été présenté de nouveau en 1896, prévoyait l'exécution d'un môle de 6.800 mètres de longueur, partant de Villerville sur la côte du Calvados; il passait sur les bancs du Ratier et d'Amfard et laissait une largeur d'environ deux kilomètres entre son extrémité et l'entrée Sud-Ouest du port du Havre. Ce môle eût été de 3.400 mètres plus court que la digue nécessairement élevée qu'il eût fallu construire sur la rive gauche du chenal entre le Havre et Honfleur. On n'eût établi de ce côté qu'une digue basse pour mieux diriger les courants de jusant et le chenal vers le Havre. La digue droite eût été presque entièrement supprimée entre cette ville et Honfleur et l'estuaire fût resté ouvert directement aux eaux de marée. Dans les calculs qui ont servi à fixer la largeur du goulet le débit du flot en amont de la Risle n'était compté que pour 197 millions de mètres cubes, le lit de la Seine en amont conservant ses largeurs actuelles. La quantité d'eau que l'estuaire eût fourni en vive eau durant le jusant a été évaluée à 744 millions de mètres cubes en dehors du chenal de la Seine, fictivement supposé prolongé jusqu'au Havre. Le débit total du courant pendant le jusant dans le méridien du Havre était estimé à 40.000 mètres cubes par seconde et la dépense du projet à 50 millions. Nous avions en même temps proposé de créer dans le Nord de l'estuaire un bras secondaire d'érosion de 100 mètres de large qui se serait détaché du chenal principal à Tancarville. Par ses variations dans la baie il eût amené la destruction des prairies marécageuses qui s'y forment et eût rendu à l'estuaire les eaux nécessaires pour maintenir les profondeurs d'eau voulues auprès du Havre.

Ce projet eût donné, à l'embouchure de la Seine, une vaste rade capable de recevoir les plus grands navires du commerce et de l'Etat et eût assuré en basse mer une profondeur de 11 mètres pendant les vives eaux et de plus de 9 mètres durant les quadratures. Les grands navires eussent trouvé à Rouen des profondeurs suffisantes pour leur permettre d'y stationner.

Nouvelles études. — Les études exposées dans le cours de ce chapitre ont fait voir que l'abaissement de l'étiage de la Seine

([1]) Page 43.

amènerait l'approfondissement de ce fleuve et donnerait des profondeurs de plus de 10 m. 50 en contre-bas du nouvel étiage entre Rouen et la mer. On pourrait obtenir ces profondeurs sur des largeurs qui atteindraient 300 mètres à La Bouille et 2.494 mètres dans le méridien du Havre. En donnant 500 mètres cube par seconde en moyenne pendant le jusant à un bras dérivé de la Seine en face de la Risle, les largeurs seraient diminuées de 50 mètres à partir de ce point, et celle de l'embouchure serait réduite à 2.444 mètres.

En amont, les profondeurs de 10 m. 50 à mer basse seraient conservées jusqu'aux ponts de Brouilly, à Rouen. Un second bras de la Seine serait creusé à Rouen et doublerait l'étendue de ce port. Les largeurs seraient de 738 mètres à Caudebec et de 743 mètres à Villequier, là où elles étaient de 700 mètres et de 1.180 mètres avant l'exécution des premières digues de la Seine (1). La marine militaire, qui demande mille mètres pour faire évoluer ses vaisseaux, trouverait cette largeur et plus sur 45 kilomètres en amont du Havre et la Seine deviendrait une rade intérieure de premier ordre.

L'abaissement de l'étiage forcerait à draguer certaines parties de la Seine. Un nouveau lit devrait être ouvert dans les terrains affouillables qui composent le fond de la vallée en aval de Caudebec jusqu'à la mer. Mais la masse d'eau mise en mouvement serait assez grande pour que l'on pût conserver en même temps, en dehors du nouveau chenal, quelques parties du lit actuel du fleuve, particulièrement celle qui dessert le port de Caudebec.

Aménagement de l'embouchure de la Seine. — La loi du 19 mars 1895 a décidé que le chenal de la Seine serait dirigé sur la fosse centrale qui existe à l'entrée de la baie entre les bancs du Ratier et d'Amfard. L'exposé des motifs du projet de loi fait à la Chambre des députés le 8 novembre 1887 (2) disait que les digues finiraient à Honfleur et qu'un haut-fond se formerait au-delà entre l'extrémité des digues et la fosse d'Amfard. Il exprimait l'espoir qu'on pourrait trouver sur ce haut-fond de 6 m. 50 à 7 mètres en pleine mer de morte eau.

Nous avons fait voir plus haut, page 114, que les pleines mers de morte eau étant à 5 m. 50 plus haut que les basses

(1) Voir l'atlas PL. III.
(2) Pages 20 et 21, de l'exposé des motifs.

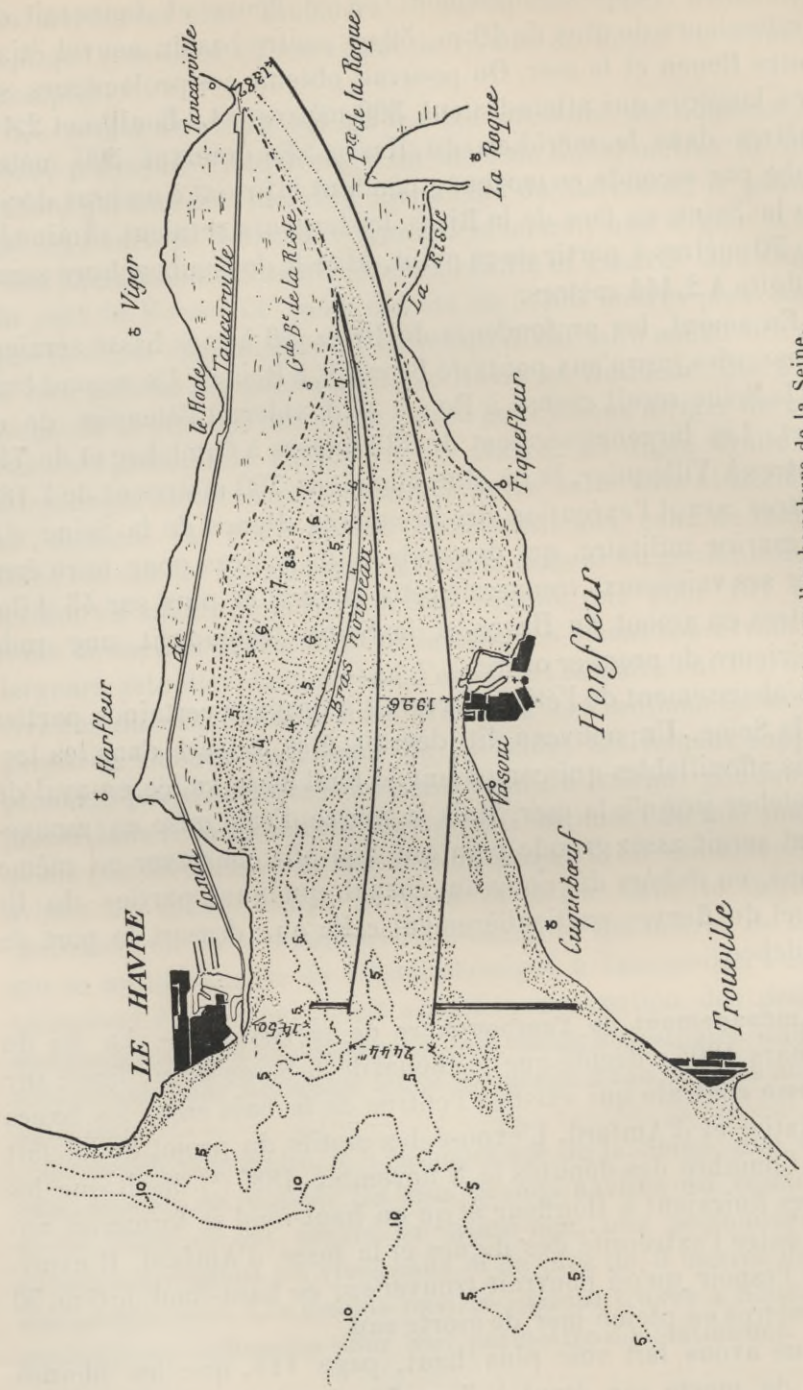


Fig. 40. — Nouvel aménagement projeté pour l'embouchure de la Seine.

mers de vive eau, il en résulterait que la profondeur en basse mer de vive eau sur ce point ne serait que de 1 mètre à 1 m. 50, c'est-à-dire totalement insuffisante et que l'entrée de la Seine resterait fermée aux navires du commerce, et surtout aux principaux bâtiments de l'Etat pendant une grande partie de la marée. La possibilité d'obtenir 10 m. 50 de profondeur à mer basse étant démontrée, l'existence du seuil accepté en 1887 ne saurait plus être admise.

L'estuaire étant en grande partie comblé par les sables, on est amené à reconnaître que pour assurer l'écoulement des apports de la Seine jusqu'à l'ouvert du cap d'Antifer, il y a lieu de prolonger les digues jusqu'au méridien du Havre.

La construction d'une jetée haute partant de Villerville étant plus économique que celle d'une jetée longitudinale sur la rive gauche de la Seine entre Honfleur et le méridien du Havre, les dispositions qui ont été indiquées ci-dessus au sujet de la digue gauche de la Seine au-dessous de Honfleur nous paraissent devoir être suivies. L'extrémité de la digue gauche devrait être reliée par une jetée haute à la côte du Sud auprès de Villerville. Le courant et les sables du Calvados devraient être rejetés sur le banc de Seine par la formation d'un banc triangulaire en prolongement de la digue gauche de la Seine. Si ce banc ne se formait pas naturellement comme nous le prévoyons, il y serait suppléé par un prolongement de la jetée dans la direction de la digue.

La digue droite devrait être continuée jusqu'au banc d'Amfard. Le tracé de la Seine par la fosse centrale, admis par la loi de 1895, serait très propre à faire écouler les sables par la fosse d'Amfard. Ils seraient entraînés vers la mer par un courant de 26.700 mètres cubes d'eau par seconde, et suivraient la rive gauche de la fosse centrale, qui est pour eux le chemin le plus court pour arriver sur le versant Nord du banc de Seine. Ils seraient en même temps plus éloignés des Hauts de la rade et de la petite rade elle-même ; ils auraient ainsi moins de chances de s'y déposer. La fosse d'Amfard s'est toujours maintenue libre, avec des débits de jusant qui souvent n'atteignaient pas le chiffre que nous venons de citer.

Les sables de la Seine et de l'estuaire atteindraient donc sûrement l'extrémité de cette fosse, d'où ils seraient rejetés sur la côte Nord du banc de Seine par le courant de jusant venant du cap d'Antifer.

Le débit de 500 m³ par seconde pris à la Seine, et celui

donné par la partie de l'estuaire située au Nord des digues, s'il revenait à l'état où il était en juillet 1898, serait, au jusant, de 251 millions de mètres cubes, qui donneraient un écoulement de 9.929 mètres cubes d'eau par seconde en face du Havre. En faisant passer tout ce débit par la passe du Nord et en rétrécissant cette passe à 885 mètres en face du Havre, on aurait une profondeur de 10 m. 50 au dessous des basses mers de vive eau. Mais en prenant une largeur de mille mètres, on aurait 12 m. 75 d'eau à mi-marée, et 10 m. 65 en pleine mer de morte eau avec 1.433 mètres de large. Comme la situation de l'estuaire Nord irait en s'améliorant, grâce à la dérivation des eaux de la Seine qui y passerait, on peut admettre pour le bras Nord une largeur de 1.450 mètres. La profondeur y augmenterait peu à peu. Il se formerait en amont du Havre un chenal profond qui longerait la plage de l'Eure, en passant dans les endroits où, en 1841, on trouvait 21 pieds (6 m. 80) d'eau à basse mer dans la fosse des Neiges et 35 pieds (11 m. 34) dans celle du Hoc. On pourrait ouvrir sur cette passe des accès directs aux bassins Bellot et de l'Eure ainsi qu'au bassin à pétrole, et installer sur ses bords un port franc avec un avant-port. Le Havre aurait alors en partie les avantages que lui eût assuré l'exécution du projet de 1859, et il aurait de ce côté son accès particulier et des établissements à lui sur l'estuaire et la mer.

Nous pensons donc qu'on pourrait établir pour la Seine et l'estuaire deux embouchures séparées et indépendantes laissant entre elles le banc d'Amfard et une jetée spéciale. Rouen et le Havre seraient ainsi desservis par des eaux distinctes.

Le débit total du jusant dans le méridien du Havre, dû à la Seine est de 28.017 m³ par seconde, la durée du jusant 25.320 secondes.

On pourrait augmenter le débit de l'estuaire en lui attribuant une plus large part des 710 millions de mètres cubes d'eau que la Seine écoulerait pendant le jusant. Mais il faut considérer que ce fleuve doit être lui-même le grand instrument de l'approfondissement de son lit et du transport à la mer des déblais qu'il doit en entraîner. Il n'est pas inutile qu'ils passent à bonne distance du port du Havre, et l'on ne doit pas craindre leur action s'ils doivent suivre la fosse d'Amfard, aménagée au besoin pour avoir toujours jusqu'à son extrémité une profondeur de 10 m. 50 à mer basse. Lorsque la Seine aura pris son régime normal après les travaux on songera peut-être à créer un accès

direct du Havre à l'entrée de la Risle et vers Rouen. Mais un bras de ce genre, rendu fixe dans l'intérêt de la navigation, pourrait amener l'atterrissement du reste de l'estuaire Nord, compromettre la profondeur obtenue à l'entrée de cet estuaire et causer de très graves préjudices au port du Havre.

Le projet de 1859 aurait donné une vaste rade abritée à l'embouchure de la Seine, mais ce projet a été rejeté, par des motifs en dehors de sa valeur technique. Si l'on ne peut guère y revenir aujourd'hui, il faut considérer que la possibilité d'avoir 10 m. 50 à mer basse dans la Seine, n'avait pas encore été prouvée ; l'étude du nouveau projet fait voir qu'il se formera un jour une rade dans la partie de l'estuaire conservée auprès du Havre. Nous croyons donc que le projet indiqué par nous dans cet ouvrage serait en définitive préférable.

Conclusions. — Le port de Rouen comprenant deux bras de la Seine, dont l'un transformé en bassin à flot et l'autre offrant des profondeurs de 10 m. 50 en basses mers de vive eau, presque doublé comme étendue et accessible à toute heure aux plus gros navires, deviendrait l'un des plus beaux ports de l'Europe.

La Seine maritime serait une vaste rade abritée à partir de Honfleur, capable de recevoir les plus grands bâtiments du commerce et de l'Etat : elle présenterait un puissant intérêt pour la défense nationale. Elle offrirait spécialement à la marine militaire un abri sûr, qui lui manque aujourd'hui sur toute la côte de la Manche, entre Brest et Cherbourg et de Cherbourg à Dunkerque.

Le Havre bénéficierait largement de la nouvelle situation.

De grandes profondeurs existant à basse mer devant la plage de l'Eure jusqu'à l'entrée du Sud-Ouest, les bassins de l'Eure et Bellot et le bassin au pétrole auraient un accès direct à la mer. Un port franc, qu'on ne pourrait pas mieux placer ailleurs, serait établi sur un point suffisamment rapproché de la ville et serait mis en amont des bassins Bellot. Il aurait un avant-port spécial et serait immédiatement en contact avec le canal de Tancarville et la gare maritime du chemin de fer. Enfin les dépôts de charbon de la marine et les établissements militaires pourront être portés à côté de Honfleur, en laissant le Havre devenir un port exclusivement commercial.

Enfin la rivalité des deux ports de Rouen et du Havre, a

fait désirer qu'on les rendît totalement indépendants l'un de l'autre en séparant leurs intérêts et en leur donnant à chacun tout ce qu'il est possible de tirer de leur position géographique.

Nous croyons que ces avantages seraient d'un grand intérêt pour le pays tout entier et qu'il y aurait lieu de faire les travaux nécessaires pour les lui assurer.

Telles seraient les conséquences du projet que nous venons d'indiquer. Elles intéressent à la fois Rouen, le Havre, Paris et la marine militaire. L'exécution des travaux nous paraît offrir pour ces motifs tous les caractères d'une œuvre d'intérêt vraiment national.

Période de transition. — L'abaissement de l'étiage et le creusement du lit par l'action des courants nécessiteront toutefois des précautions spéciales, sur lesquelles nous croyons devoir appeler l'attention des ingénieurs.

L'étude du mascaret, dont il a été rendu compte dans le cours de ce travail, a fait voir que le phénomène se manifesterait auprès de La Bouille, à Rouen et en amont jusqu'à Poses si le fond de la Seine était réglé à 3 m. 20 en contre-bas du zéro des cartes marines. Il disparaîtrait, si les profondeurs étaient de 10 m. 50 au-dessous des basses mers de vive eau. Mais il y aura une période de transition où il pourrait être un danger pour le port de Rouen, si l'on n'avait pas pris d'avance les dispositions nécessaires.

L'abaissement du fond de la Seine doit être obtenue par l'action de la rivière elle-même et par des dragages. C'est dire que dans l'état actuel du port de Rouen, les déblais des fonds d'amont doivent traverser en très majeure partie le port pour descendre vers la mer. Il nous semblerait difficile, dans ces conditions, de maintenir à Rouen les profondeurs voulues.

Il en serait tout différemment s'il existait un autre bras de la Seine à côté du port, et si le bras actuel était mis en dehors des alternatives de niveau et de courants que produisent les marées ou les travaux.

Il conviendrait donc, selon nous, de commencer par l'ouverture du nouveau bras, en acquérant les terrains, en faisant les murs de quai, surtout dans les parties où le terrain vaseux peut exiger qu'on les exécute afin d'empêcher toute communication entre l'ancien et le nouveau lit. On ouvrirait ensuite le bras nouveau sur une largeur provisoire de 150 à 200 mètres.

On transformerait en même temps le lit actuel en bassin à flot depuis l'angle du quai Saint-Sever jusqu'à la rue Nétien. Cela fait, on approfondirait ce bassin à la cote voulue par des dragages, dont l'effet resterait acquis. On économiserait ainsi le bassin à flot qu'on se propose de construire ailleurs et, provisoirement, les nouveaux quais actuellement projetés ; l'ouverture du nouveau lit en donnerait une longueur de quatre kilomètres.

Le bras nouveau recevant la totalité des eaux de la Seine par suite de la fermeture du lit actuel, ne pourrait pas s'encombrer ; il aurait le même régime que la Seine dans la section d'Oissel à Rouen dont il aurait la largeur moyenne. L'effet de l'abaissement de l'étiage et les dragages amèneraient bientôt les profondeurs voulues. D'autres bassins à flot et d'autres ouvrages, nécessités par les besoins du commerce, s'établiraient dans la plaine du Petit-Quévilly, et près de l'embouchure de la rivière de Cailly.

CHAPITRE V

LA LOIRE MARITIME

La Loire prend sa source au mont Gerbier-des-Joncs, dans l'Ardèche, à l'Est du massif central des terrains primitifs qui occupent une grande partie du bassin géographique de cette rivière. Sa longueur est d'environ mille kilomètres; elle traverse la France dans la presque totalité de sa largeur. Ses eaux charrient des quantités de sable considérables, et elle peut être regardée comme l'un des types des grands cours d'eau torrentiels.

La pente totale de la Loire entre Amboise et Mauves, limite supérieure de sa partie maritime, est de 47 m. 75 sur 205 k. 5, ou de 0 m. 2426 par kilomètre, tandis que la pente de la Seine sur 201 kilomètres de Paris (Pont-Royal) à Poses n'est en tout que de 21 m. 20 ou de 0 m. 1054 par kilomètre. La longueur de la Seine maritime du Havre à Poses était de 167 kilomètres avant la construction du barrage de Martot, tandis que la Loire maritime n'a que 68 kilomètres de Saint-Nazaire à Mauves. Cette longueur paraît avoir diminué de 19 kilomètres, car les marées se propageaient autrefois jusqu'à Ancenis.

Les débits de la Loire varient à Nantes de 400 à 8.000 mètres cubes par seconde. Dans un mémoire inséré dans l'ouvrage publié par le Ministre des Travaux Publics sur les Ports maritimes de France [1], M. l'Inspecteur général Joly a donné le tableau suivant de la durée moyenne des débits de la Loire à Mauves.

DÉSIGNATION	HAUTEURS A MAUVES				
	au-dessous de zéro	de zéro à 1 mètre	de 1 à 2 m.	de 2 à 4 m.	au-dessus de 4 mètres
Nombre de jours.....	43	132	108	73	10
Hauteurs moyennes.....	—0.16	0.61	1.48	2.68	4.45
Débits moyens.....	140	430	850	1650	3400

[1] Ports maritimes de France, t. V, p. 246.

Nous donnerons ci-après le tableau des débits de la Loire à Mauves et des hauteurs correspondantes du fleuve à l'échelle établie sur ce point.

HAUTEURS d'eau observées à l'échelle de Mauves	DÉBITS correspondants par seconde	DIFFÉRENCES Partielles	DIFFÉRENCES Par centimètre	OBSERVATIONS
	M³	M³	M³	Jusqu'à 4 m 50 de hauteur, les débits ont été calculés au moyen de jaugeages faits en Loire.
— 0,40	98,00			
		72,00	1,80	
0,00	170,00			On a admis que le débit maximum de la crue de juin 1856, qui est montée à 6 m. 09, a été de 5600 m³ 00 par seconde, d'après des calculs faits, dit-on, aux ponts de Nantes.
		210,00	4,20	
0,50	380,00			
		250,00	5,00	
1,00	630,00			
		260,00	5,20	Les débits aux cotes de 5 m. 00, 5 m. 50 et 6 m. 00 ont été obtenus par interpolation.
1,50	890,00			
		280,00	5,60	
2,00	1170,00			
		360,00	7,20	De Mauves à Nantes, la Loire ne reçoit aucun affluent et les débits à Nantes peuvent être, en temps ordinaires, considérés comme les mêmes sur les deux points, abstraction faite de l'action des marées.
2,50	1530,00			
		380,00	7,60	
3,00	1910,00			
		390,00	7,80	
3,50	2300,00			
		420,00	8,40	
4,00	2720,00			
		590,00	11,80	
4,50	3310,00			
		660,00	13,20	
5,00	3970,00			
		720,00	14,40	
5,50	4690,00			
		770,00	15,40	
6,00	5460,00			
6,09	5600,00			

Le plus bas niveau qu'ait atteint la Loire a été à 0 m. 40 au-dessous du zéro à l'échelle de Mauves. A cette cote de (— 0,40), elle n'avait qu'un débit de 98 mètres cubes par seconde, mais on admet généralement que cette rivière débite 100 mètres cubes par seconde quand elle est à l'étiage.

En calculant d'après les données du tableau ci-dessus le volume moyen de l'eau que déverse annuellement à la mer le bassin géographique de la Loire, on trouve que ce volume est de 26.700 millions de mètres cubes. En adoptant ce chiffre, le débit moyen de la Loire à Mauves serait de 844 mc. 35 par seconde. Du 1er janvier 1849 au 31 décembre 1868, en vingt ans, ce débit a

été en moyenne de 809 mc. 996. On admet généralement qu'il est de 810 mètres cubes. En faisant abstraction des grandes crues de plus de 4 m. 00 au-dessus du zéro de l'échelle de Mauves, la moyenne se réduit à 772 mc. 56 ; la moyenne des deux chiffres extrêmes est de 808 mc. 45 ; celui de 810 mc. peut donc être admis pour le débit moyen de la Loire.

A Nantes la marée s'élève de 2 m. 01 en vive eau, et de 1 m. 27 en morte eau [1]. L'amplitude des deux mêmes marées à Saint-Nazaire est de 4 m. 92 en vive eau (coefficient 1,07) et de 1 m. 70 en morte eau (coefficient 0,25). La pente totale du lieu des basses mers de Saint-Nazaire à Nantes (bureau du port) a été de 2 m. 79 en vive eau et de 0,80 dans le second cas. On peut remarquer que l'onde marée s'élève beaucoup moins à Saint-Nazaire qu'au Havre, où elle monte de 7 m. 40 en vive eau et de 3 m. 30 en morte eau pour les mêmes coefficients. Elle a presque les mêmes amplitudes à Saint-Nazaire qu'à Cordouan à l'embouchure de la Gironde, où elles sont de 4 m. 80 et de 1 m. 60.

Le mascaret ne se manifeste pas sur la Loire et nous pensons que les modifications apportées par les travaux que nous proposerons ne détermineraient pas l'apparition de ce phénomène sur le fleuve.

En 1855, les navires ne pouvaient remonter jusqu'à Nantes qu'avec un tirant d'eau de 3 m. 50 en vive eau et de 2 m. 30 en morte eau [2]. Des digues furent construites de 1854 à 1859 entre Nantes et l'île Thérèse, dans le but d'obtenir 5 m. de profondeur dans les faibles marées de vive eau, mais « sans abaisser le niveau de l'étiage à Nantes ». Ces travaux n'avaient que partiellement réussi, lorsque la Chambre de commerce de cette ville, d'accord avec l'administration des ponts et chaussées, fit étudier un projet de canal latéral en 1867, puis un nouveau projet d'endiguement en 1869. Le canal latéral, étudié par M. Carlier, eut été établi sur la rive droite entre Nantes et Saint-Nazaire ; il aurait eu une profondeur de 6 m. 00 et une largeur de 30 m. au plafond. Le nouveau projet d'endiguement fut dressé par M. l'Ingénieur en chef Lechalas, qui voulut bien s'adjoindre, comme ingénieur ordinaire, l'auteur de la présente étude. Le but à atteindre par la construction de digues était d'obtenir dans le fleuve une profondeur de 6,50 en contre-bas des pleines mers de vive eau. Le lit de la

(1) *Ports maritimes de France*, t. V, p. 247.
(2) *Précis des voies navigables de France*, par M. Grangy, Paris, 1855, p. 318.
(3) *Ports maritimes de France*, t. V, p. 259.

Loire eût été réduit à un bras unique, endigué depuis Mauves jusqu'à Paimbœuf ; des dragages eussent fait baisser l'étiage de 1 m. 32 à Nantes. On eût eu partout, à mer basse, une profondeur de 1 m. 20 au moins.

Les deux projets furent repoussés par une décision ministérielle du 5 septembre 1871. L'administration s'arrêta définitivement à l'exécution d'un canal latéral sur la rive gauche, destiné à relier la partie déjà endiguée de la Loire à l'estuaire de Paimbœuf.

Ce canal, long de 15 kilomètres, a son origine à la Martinière, à 16 kilomètres de Nantes, et aboutit au bras profond du Carnet, à 7 kilomètres en amont de Paimbœuf. Le canal a 24 mètres de largeur au plafond et 6 mètres de tirant d'eau. Son plan d'eau normal a été fixé à 3 m. 60 au-dessus du zéro de Saint-Nazaire et correspond à la moyenne entre les dénivellations des marées. Des dragages ont été en outre entrepris dans les parties défectueuses du fleuve en vue d'obtenir, soit naturellement, soit à l'aide de la drague, une profondeur de 5 m. 50 en vive eau minima, correspondant à 6 m. dans les fortes marées et à 4 m. 40 dans les plus faibles mortes eaux. Avec ces profondeurs, on espérait pouvoir organiser à Nantes des services réguliers de steamers, portant au moins 1.200 tonneaux. Ces travaux ont donné les profondeurs cherchées en amont de Paimbœuf; on les obtient entre cette ville et Saint-Nazaire de diverses façons, et moyennant une dépense annuelle de cinquante mille francs.

Il est à remarquer que l'une des conditions que l'on s'était imposées en 1869, celle de « ne pas abaisser le niveau des basses mers à Nantes », était diamétralement contraire aux principes que l'on doit suivre pour améliorer les rivières à marée. Si l'on s'impose, en effet, l'obligation de maintenir le niveau des basses mers sur un point de l'un de ces cours d'eau, on se prive de la possibilité d'augmenter le volume d'eau introduit en amont de ce point et de profiter de l'action produite par cette augmentation pour creuser la rivière au-dessus et en aval.

Nous ne reviendrons pas sur tout ce que nous avons dit de l'intérêt que l'on a d'augmenter la quantité d'eau emmagasinée par la marée dans le lit des rivières et sur les exemples que nous avons cités. Nous rappellerons seulement celui de l'Odet (p. 41), qui ne débite que de 4 à 8 mètres cubes en étiage, et qui, grâce à l'étendue des épanouissements submersibles de la vallée qu'il rencontre au-dessous de Quimper, présente à son embouchure des profondeurs suffisantes pour recevoir des vaisseaux de guerre.

L'importance que présenterait pour les intérêts commerciaux et militaires du pays la transformation de l'embouchure de la Loire et de la partie inférieure de son cours en une rade profonde, nous a engagé à chercher si cette modification serait possible, et si les conditions dans lesquelles se trouverait la Loire maritime seraient telles que l'action des courants conservât les résultats obtenus par les travaux.

Pour s'en rendre compte, il faut d'abord jeter un coup d'œil sur l'économie du projet conçu par M. Lechalas.

Projet de M. Lechalas. — M. Lechalas avait très justement remarqué que les six ponts qui forment une longue ligne vers l'entrée amont du port de Nantes ont constitué pour la Loire un véritable barrage, qui produit, à mer basse, une différence de niveau d'environ 0 m. 96 sur deux kilomètres entre les ponts de la Bourse et de la Rotonde, et s'oppose à la libre propagation des marées en amont de la ville. M. Lechalas a pensé qu'il fallait y ouvrir un passage à la rivière par la création d'un nouveau bras, et qu'il y aurait avantage à distraire, pour ainsi dire, le port de Nantes de l'ensemble des travaux faits sur la Loire. Ce serait, en effet, exonérer le port des difficultés temporaires que pourrait susciter l'abaissement du niveau des basses mers pendant la période transitoire des travaux, et, à titre définitif, des inconvénients dus aux variations perpétuelles du niveau du fleuve et des courants produits par les marées et par les crues. Le port de Nantes, presque entièrement transformé en bassin à flot, bénéficierait des profondeurs chaque jour croissantes produites par l'amélioration du fleuve, tout en conservant l'avantage de l'action des marées qui lui apporteraient les navires aux heures du flot. La série des bassins du port, également desservie par les quais du nouveau bras qui aurait 200 mètres de large, serait une sérieuse amélioration réalisée dans l'intérêt du commerce de Nantes.

Ajoutons que la création des nouveaux bassins à flot réunirait dans le nouveau bras la totalité des eaux de la Loire et y assurerait des profondeurs plus grandes.

Ce bras devait être continué en amont pour constituer le lit mineur du fleuve jusqu'à Mauves, à 2 kilomètres en amont de la limite extrême du parcours des marées. La profondeur devait y être de 1,57 à mer basse. Il formerait ainsi un long réservoir de 17.400 mètres de long au-dessus de la ligne des ponts de

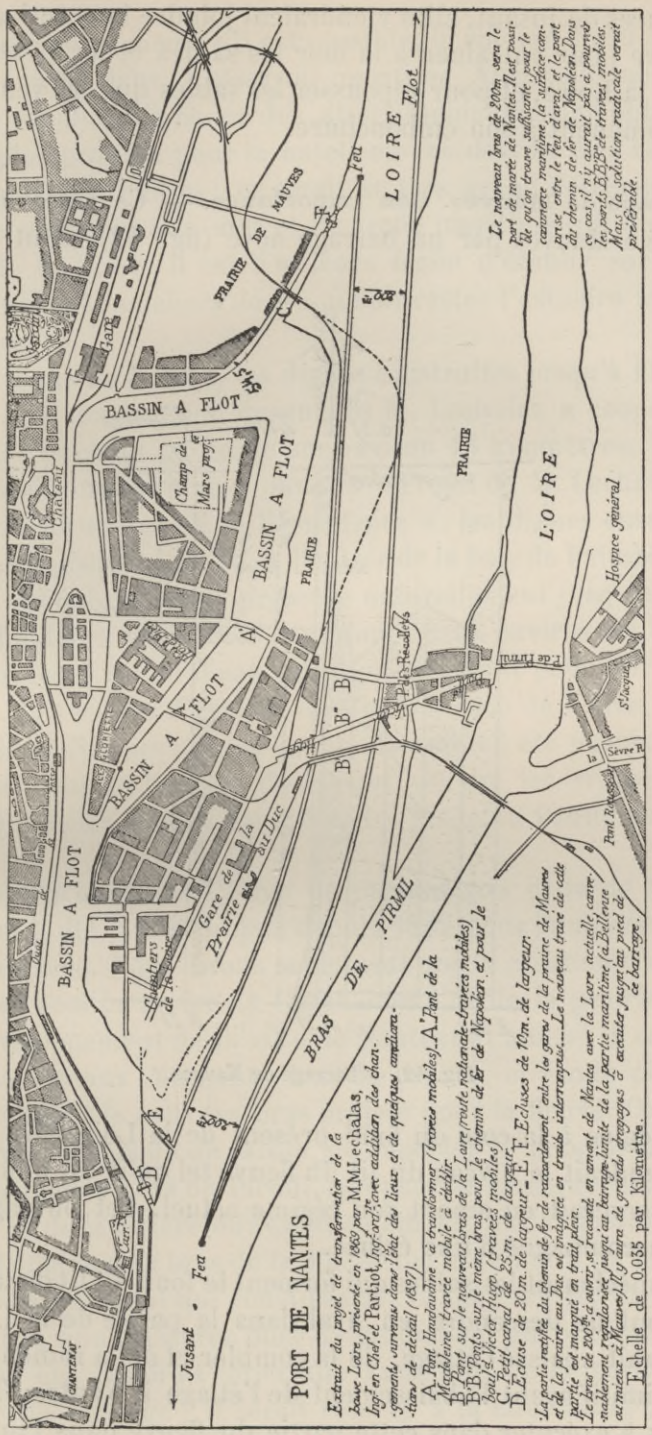


Fig. 41. — Projet de M. Lechalas.

Nantes. Les eaux de marée s'y accumuleraient durant le flot ; aux heures de jusant, elles viendraient joindre leur action à celle du fleuve pour entraîner à la mer les sables et les vases apportés par la Loire, et pour repousser les sables que les vents et les lames amènent à son embouchure.

Barrage de Mauves. Son importance. — Ce réservoir serait terminé à Mauves par un barrage noyé (fig. 42), dont la crête

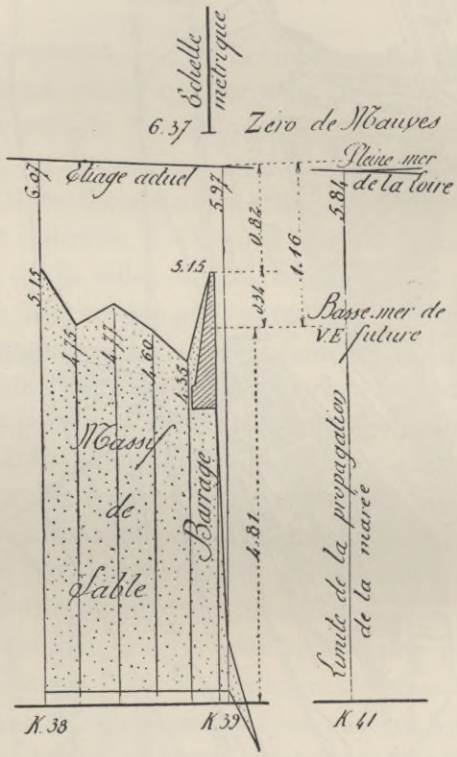


Fig. 42. — Barrage de Mauves.

serait réglée à la cote du fond présent de la Loire. Ce barrage maintiendrait le niveau du lit du fleuve tel qu'il est aujourd'hui et conserverait en amont son régime actuel. Cet ouvrage d'art serait accompagné d'une écluse.

Il empêcherait les sables qui forment le fond du lit de la rivière en amont de descendre en aval dans la partie de la Loire où l'on aurait abaissé l'étiage, de la combler et de la ramener à son état primitif avant l'abaissement de l'étiage à Nantes. Tous les travaux à exécuter dans cette partie du fleuve dans l'intérêt de la navigation fluviale devraient être conçus de manière à respec-

ter, à augmenter même s'il est possible, le volume d'eau apporté par les marées dans ce réservoir maritime. Aucune digue, aucun ouvrage capable d'amener des atterrissements pour obtenir un chenal plus profond pour la batellerie ne devrait être construit entre Mauves et Nantes ; ce serait au très grand détriment de ce port, de son accès à la mer et du trafic maritime qui dessert la vallée de la Loire. Il est d'ailleurs facile d'établir sur la rive droite un canal en dehors de ce qui doit rester l'estuaire intérieur de Nantes.

Au-dessous de Nantes, les digues construites jusqu'à l'île Thérèse et à la construction desquelles M. Lechalas a coopéré, ont régularisé le cours du fleuve sur environ 16 kilomètres. Suivant les propositions contenues dans le « Projet de M. Lechalas pour « la transformation de la Basse-Loire », les digues eussent été continuées jusqu'à Laveau, à l'entrée de la baie de Paimbœuf. Au delà, le chenal du fleuve présente naturellement jusqu'à la mer des profondeurs suffisantes pour donner aux navires, au moment du plein, les 6 m. 50 d'eau que le projet avait pour but de leur assurer. Les sables d'amont, suivant le chenal du fleuve, eussent gagné Saint-Nazaire ; de ce point, ils eussent été portés jusqu'à la mer et dans la baie de Bourgneuf, ou sur les rivages et les dunes qui s'étendent de Saint-Nazaire jusqu'au Pouliguen.

Nouvelles études. — Nous ne jugeons pas utile de rappeler ici ce qui a été fait et projeté depuis 1869 pour l'amélioration de la Basse-Loire. Nous dirons seulement que la création d'une gare pour les chemins de fer de l'Etat dans l'île de la prairie au Duc et le développement de la ville de Nantes ont amené la construction de nouveaux bâtiments dans la prairie, et rendu plus difficile d'y établir le nouveau bras projeté pour le fleuve. On a proposé, avec beaucoup de raison, de reporter le bras principal de la Loire dans le bras de Pirmil, qui peut se raccorder aussi bien avec le lit de la rivière en aval et en amont. Il conviendrait, selon nous, d'englober le bras de la Madeleine et la Boire de Toussaint dans le bassin à flot qui constituerait la majeure partie du port de Nantes, afin d'assurer plus de profondeur au bras de Pirmil. Ce bras, qui resterait sujet aux variations de la marée, aurait 300 mètres de large ; il serait réservé à la circulation générale des bateaux sur la Loire et aux navires qui ne devraient pas séjourner à Nantes.

Examinons d'abord ce qu'on pourrait obtenir pour la Loire, en

appliquant à ce fleuve les remarques que nous avons faites précédemment sur l'abaissement de l'étiage. Nous supposerons qu'on pourra y avoir les profondeurs de 10 m. 50 et de 10 m. 60 nécessaires pour donner accès aux plus gros navires.

Calcul des courbes locales. — Le calcul des feuilles de hauteur d'eau et des courbes locales a été fait conformément aux indications données dans le chapitre Ier. Nous représenterons par le

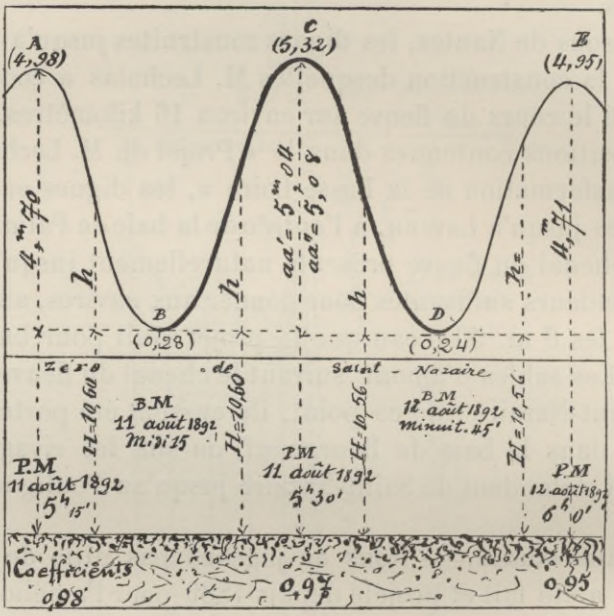


Fig. 43.

graphique ci-joint (fig. 43) les courbes de marée constatées le 11 et le 12 août 1892, à Saint-Nazaire. Celle que nous avons prise pour type est désignée par les lettres BCD. On remarquera que chaque marée a deux amplitudes, l'une aa' pour la marée montante, et l'autre aa'' pour la marée descendante. Ces deux parties de l'onde ont un point commun C au moment du plein, et des points communs inconnus B avec la marée précédente ou D avec la marée qui suit :

Dans la formule

$$z' = z\frac{bb'}{aa'} \ldots \qquad (34) \text{ (répétée et fig. 13)}$$

bb' est l'amplitude locale correspondant, dans la station B d'amont que l'on considère, à aa' de la station A, pendant la marée montante ; bb'' correspondraient à aa'' pour la marée descendante.

Nous indiquerons, dans le tableau suivant, les amplitudes en chaque station de la Loire entre Saint-Nazaire et Nantes pendant la marée BCD que nous avons choisie pour type.

Cotes des lieux géométriques des pleines et basses-mers de St-Nazaire à Mauves, et amplitudes correspondantes des stations pour les demi-marées AB, BC, CD, DE.

STATIONS	A	B	Amplitudes AB	C	Amplitudes BC	D	Amplitudes CD	E	Amplitudes DE
Saint-Nazaire.	4.98	0.28	4.70	5.32	5.04	0.24	5.08	4.95	4.71
Paimbœuf ...	5.07	0.46	4.61	5.40	4.94	0.42	4.98	5.04	4.62
Toue de Bouée	5.20	0.60	4.60	5.53	4.93	0.60	4.93	5.17	4.57
La Martinière.	5.33	0.79	4.54	5.65	4.86	0.75	4.90	5.29	4.54
Couëron.....	5.47	0.86	4.61	5.70	4.84	0.82	4.88	5.34	4.52
Nantes.....	5.50	1.04	4.46	5.82	4.78	1.00	4.78	5.47	4.47
Bellevue.....	5.62	1.76	3.88	5.90	4.14	1.73	4.17	5.60	3.87
Mauves.....	5.87	4.81	1.16	5 95	1.14	4.80	1.15	5.87	1.07

Ces amplitudes permettront de calculer en chaque station les cotes de hauteurs correspondant à celles de l'embouchure, en remontant de Saint-Nazaire à Mauves. L'on aura ainsi toutes les feuilles de hauteurs d'eau, et l'on pourra réunir sur un même graphique l'ensemble des courbes locales relatives aux diverses stations.

Pleines et basses mers. — Nous croyons pouvoir admettre pour le lieu géométrique des basses mers en eaux moyennes une pente de 0,013 par kilomètre. Une pente analogue de 0,004 a été observée le 20 octobre 1847 en vive eau sur la Garonne entre Bordeaux et Pauillac, sur 45 kilomètres. La formule (17) indique que pour une largeur de 300 mètres, une profondeur de 10 m. 60 et un débit moyen de 810 mètres, la pente serait de 0,0173 par kilomètres, et la vitesse de 0 m. 254. En étiage, pour un débit de 100 mètres par seconde, la pente et la vitesse seraient à peu près nulles. En prenant la moyenne de divers chiffres nous trouvons que la différence de niveau de St-Nazaire à Nantes, se-

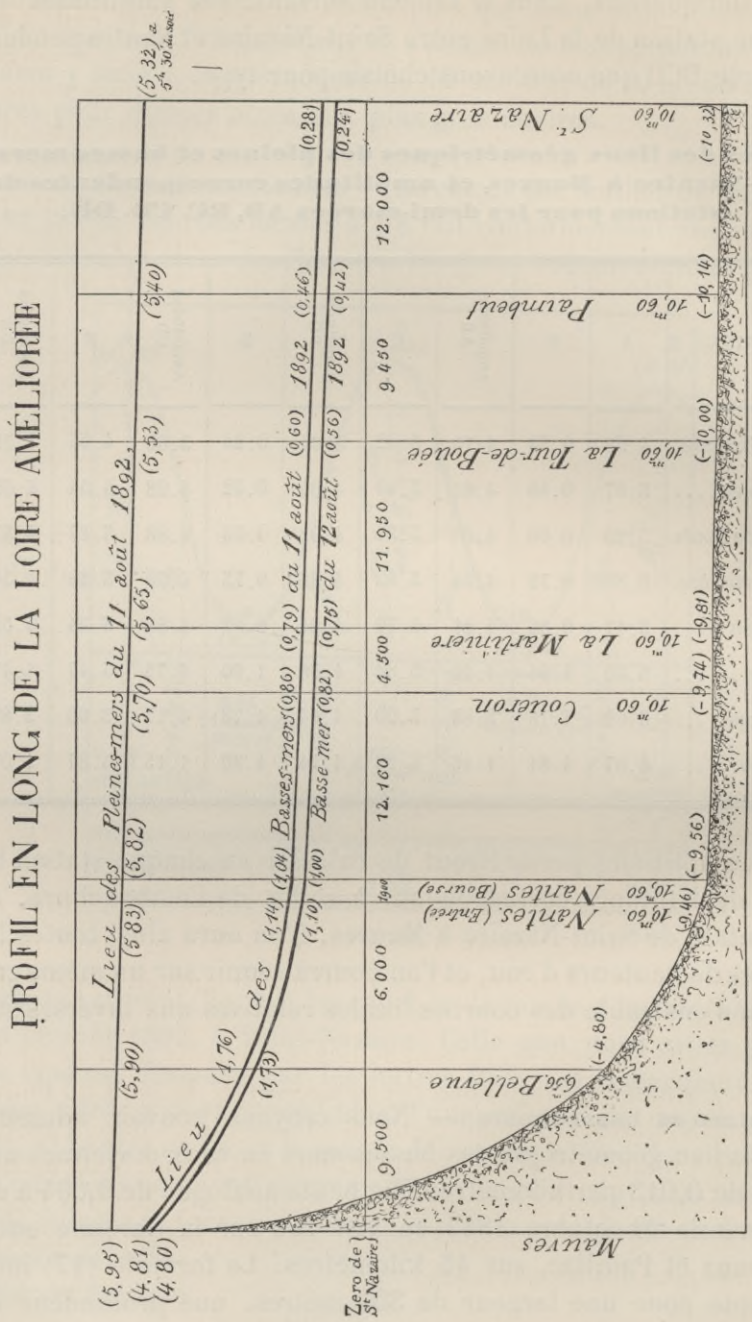


Fig. 44. — Croquis du profil en long de la Loire maritime.

rait en eaux moyennes de 0,76 et nous admettrons définitivement ce résultat.

Nous avons pris pour type la marée de vive eau du soir du 11 août 1892, dont l'amplitude a été de 5,04 à St-Nazaire, pour

la marée montante. Son coefficient a été de 0,97, soit de la moyenne générale des coefficients des marées de vive eau ; à mer basse (fig. 44), elle était le 11 août à midi 15 à la cote 0,28 à l'échelle hydrométrique de St-Nazaire. La pente admise entre ce point et Nantes correspond à une cote de 1,04 dans cette dernière ville.

Le lieu géométrique des basses mers s'élèverait en amont, par une courbe continue jusqu'à Mauves, où il serait à 4 m. 81 au-dessus du zéro de St-Nazaire au pied du barrage noyé qui serait construit à Mauves.

La marée descendante du soir du 11 août 1892 s'est abaissée le 12, à 1 h. du matin, à la cote 0,24 de l'échelle de St-Nazaire, c'est-à-dire à 0 m. 04 au-dessous de la basse mer précédente.

La facilité plus grande que les travaux donneraient aux marées pour pénétrer dans la Loire peut faire admettre qu'elles ne s'élèveraient pas moins haut qu'aujourd'hui à Nantes et à Mauves. La marée que nous avons choisie pour type a monté de 0,50 de plus à Nantes, au moment du plein, qu'à St-Nazaire, et de 0 m. 63 à Mauves. Nous avons conservé ces cotes pour le lieu géométrique des pleines mers sur le profil en long que nous avons dressé de l'état futur de la Loire.

Le niveau de l'étiage en 1869 était à l'échelle de la Bourse de cette ville à 3 m. 40 au-dessus du zéro de l'échelle de St-Nazaire. Nous avons fait voir qu'avec des profondeurs de 10 m. 60 au-dessous de la basse-mer, on pouvait abaisser le niveau du fleuve en eaux moyennes à la cote de 1,04 à Nantes, c'est-à-dire de 2 m. 36. En étiage, la pente de St-Nazaire à Nantes serait presque nulle. Nous admettrons la cote 0 m. 75 comme étant celle de l'étiage futur à Nantes.

Nous compléterons les renseignements à fournir pour ce profil en long en ajoutant que nous supposerons que le fond du fleuve soit parallèle au lieu géométrique des basses mers dans l'après-midi du 11 août 1892 et à 10 m. 60 au-dessous de lui. Nous ménagerons ainsi une petite marge de 0 m. 10 en contre-bas des fonds de 10 m. 50, en vue d'un abaissement un peu plus grand que celui admis pour les basses mers.

Propagation de la marée dans la Loire et tableaux de cubage. — Avec les éléments que nous venons d'indiquer, l'on a toutes les données nécessaires pour calculer la propagation de la marée du 11 août 1892 dans la Loire jusqu'à Mauves, et les feuilles de

hauteur d'eau correspondantes en chaque point. Ces feuilles sont jointes à ce travail, ainsi que les tableaux de cubage qu'elles ont permis d'établir pour chaque station, tant pour le jusant que pour le flot.

Nous avons résumé dans le tableau ci-joint (page 147) les résultats que leur étude nous a fournis, tant pour les eaux moyennes de la Loire que pour les moments d'étiage. On remarquera qu'en eaux moyennes, le flot ne pourrait pas faire remonter les sables au-dessus de Nantes, tandis que le jusant les entraînerait aisément vers la mer. En étiage, le flot aurait une action plus forte et le jusant serait plus faible.

Hauteurs des crues. — Les quais de la ville ont été inondés par la crue du 14 décembre 1872, qui a atteint, à Nantes, la cote (9,96) à l'échelle de Saint-Nazaire. On a exhaussé un peu depuis les quais, qui sont aujourd'hui à la cote (10,03) (fig. 45).

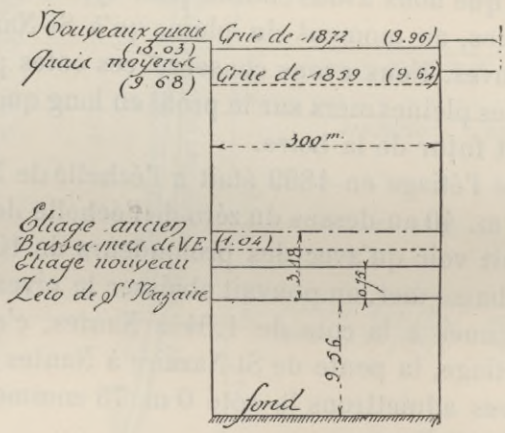


Fig. 45.

La hauteur de la crue de 1872 a été en partie due à des travaux de terrassement faits pour exhausser des chemins dans la plaine de la rive gauche de la Loire auprès de Nantes. Sans la rupture de la Levée de la Divatte la crue eût été plus haute, et M. Lechalas, qui cite ce fait [1], ajoute qu'il n'y aurait rien de très surprenant à ce que l'on vit à Nantes une crue supérieure à celle de 1872.

L'une des grandes crues constatées avant celle de 1872 a été celle du mois de juin 1856. Elle a été étudiée par un service

[1] Transformation de la Basse-Loire. Rapport de M. Lechalas, p. 103.

DÉSIGNATION DES STATIONS	DISTANCES intermédiaires	DISTANCES cumulées	VOLUMES DÉBITÉS PAR LE FLOT en totalité	VOLUMES DÉBITÉS PAR LE FLOT par seconde	VITESSES moyennes	VITESSES au fond	DURÉE du flot	VOLUMES DÉBITÉS PAR LE JUSANT en totalité	VOLUMES DÉBITÉS PAR LE JUSANT par seconde	VITESSES moyenn.	VITESSES au fond	DURÉE du jusant	OBSERVATIONS
1° En eaux moyennes du fleuve (810m³)													
Saint-Nazaire ..			75.523.550m³	3.884m³95	0m840	0m701	5h24m	113.050.695m³	4.433m³60	0m963	0m795	7h05m	Largeurs de Mauves à la Tour de Bouée. 300m A Paimbœuf. 350m A St-Nazaire. 400m L'élargissement est prévu en raison des eaux de l'estuaire.
Paimbœuf.....	12.000m	12.000m	57.425.640	2.990 , 89	0.760	0.627	5.20	83.305.525	3.266 , 88	0.823	0.679	7.05	
Tour de Bouée .	9.450	21.450	43.074.075	2.243 , 47	0.571	0.460	5.20	80.110.485	3.105 , 06	0.792	0.653	7.10	
La Martinière ..	11.950	33.400	20.777.550	1.406 , 37	0.358	0.300	5.10	62.246.270	2.412 , 50	0.619	0.510	7.10	
Couéron.....	4.500	37.900	20.264.550	1.089 , 49	0 279	0.228	5.10	57.176.340	2.160 , 86	0.554	0.457	7.26	
Nantes (Bourse).	12.160	40.060	2.992.350	161 , 40	0.040	»	5.09	39.932.250	1.492 , 24	0.383	0.316	7.26	
Nantes(B.k.54,5)	1.900	41.960	359.700	19 , 46	0.005	»	5.09	35.162.100	1.313 , 98	0.337	0.275	7.26	
Bellevue.....	6.000	47.960	—7.558.800	—409 , 02	—0.158	—0.146	5.08	29.191.200	1.088 , 41	0.666	0.550	7.27	
Mauves.....	9.500	57.460											
2° En étiage de la Loire (100m³)													
Saint-Nazaire ..			89.325.950m³	4.594m³95	0m996	0m822		94.945.695m³	3.723m³36	0m809	0m668		
Paimbœuf.....	12.000m	12.000m	71.057.610	3.700 , 92	0.941	0.776		65.200.525	2 556 , 90	0.644	0.531		
Tour de Bouée .	9.450	21.450	56.706.075	2.953 , 44	0.751	0.620		61.792.485	2.395 , 50	0.611	0.504		
La Martinière ..	11.950	33 400	39.815.550	2.140 , 62	0.549	0.453		43.928.270	1.702 , 65	0.437	0.360		
Couéron.....	4.500	37 900	33.470.550	1.679 , 38	0.460	0.380		38.389.740	1.450 , 87	0.372	0 306		
Nantes (Bourse).	12.160	40.060	16.155.750	871 , 38	0.224	0.185		20.932.650	782 , 24	0.201	0.166		
Nantes(B.k.54,5)	1.900	41.960	13.480.500	729 , 46	0.187	0.153		16.163.500	604 , 02	0.155	0.129		
Bellevue	6.000	47.960	5.562.000	300 , 97	0.166	0.095		10.149.000	378 , 41	0.146	0.120		
Mauves.....	9.500	57.460											

spécial créé à cette époque sous la direction supérieure de M. l'Inspecteur général Comoy, chargé en même temps de proposer les remèdes à opposer aux inondations. On a calculé que cette crue, qui a atteint la cote (9,62), aurait amené à Nantes, à son maximum, 8.000 mètres cubes par seconde sans la rupture des digues. Ce volume a été considéré comme le plus grand débit des crues à Nantes.

Débit du bras de Pirmil à Nantes. — Le bras de Pirmil serait destiné à recevoir la plus grande partie des eaux de la Loire, et de les faire même passer toutes si l'on réunissait tous les autres bras en un bassin à flot. Il devrait, dans ce cas, livrer passage aux crues de la Loire et un accès suffisant aux marées qui doivent alimenter, en étiage, le réservoir que la Loire forme au-dessus de Nantes et dont dépend la profondeur du fleuve au-dessous de cette ville. Il importe donc d'examiner si ce bras ne contribuerait pas à l'inondation des quais et de la ville en temps de crue, et à l'appauvrissement en étiage du lit de la Loire, tant en amont qu'en aval du port. On peut s'en rendre compte au moyen des formules que nous avons données au premier chapitre de ce travail.

La formule (6) qui donne le débit dans un temps $(t' - t)$ se réduit pour le débit par seconde, à :

$$D = HLU \qquad \text{(18) répétée}$$

D étant le débit par seconde, H la profondeur moyenne ou $[H = 9.56 + h]$, L la largeur et U la vitesse moyenne, h étant la cote de cette profondeur moyenne par rapport au zéro de Saint-Nazaire.

La formule de Prony

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{H} \qquad (40)$$

contient deux coefficients, α et β, qui ont été calculés d'après des expériences faites sur une rigole de petites dimensions, mais celle de M. Bazin

$$U = \frac{87R\sqrt{I}}{\sqrt{R} + \gamma} \qquad \text{(16) répétée}$$

a été déduite d'un grand nombre d'observations sur les cours d'eau et s'applique mieux aux rivières que la formule (40).

Dans les deux formules (16) et (40) I est la pente superficielle par mètre, R représente le rayon moyen du cours d'eau.

$$R = \frac{LH}{L + 2H} \qquad (41)$$

et la quantité γ un nombre qui est de

$\gamma = 1{,}30$ pour les rivières à parois en terre ;

et $\gamma = 0{,}85$ pour des parois en terre très régulières ou revêtues de pierres.

La Loire devant s'écouler aux abords de Nantes dans les deux conditions ainsi prévues nous établirons dans les deux cas les calculs dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Enfin la pente kilométrique maxima de la Loire immédiatement au-dessus de Nantes a été de 0,162 pendant la crue de 1859, et de 0,125 durant celle de 1872. Comme il s'agit surtout de connaître l'effet des grandes crues nous choisirons le cas le plus défavorable et nous prendrons

$$I = \frac{0{,}162}{1.000} \qquad (42)$$

Avec ces éléments nous trouvons ce qui suit :

$\gamma = 1{,}30$				$\gamma = 0{,}85$			
H	h	U	D	H	h	U	D
10,56	1,00	0m2576	791m3	10,56	1,00	0m2497	816m3
11,06	1,50	2.5296	8.393	11,06	1,50	2.5666	8.516
11,56	2,00	2.5972	9.007	11,56	2,00	2 6346	9.137
12,06	2,50	2.6633	9.636	12,06	2,50	2.6953	9.752
12,56	3,00	2.7282	10.280	12,56	3,00	2.7664	10.424
12,74	3,18	2.7514	10.516	12,74	3,18	2.7897	10.663
13,06	3,50	2.7913	10.937	13,06	3,50	2.8299	11.088
13,56	4,00	2.8534	11.608	13,56	4,00	2.8924	11.766
14,06	4,50	2.9140	12.291	14,06	4,50	2.9533	12.457
14,56	5,00	2 9731	12.987	14,56	5,00	3.0128	13.160
14,86	5,30	3.0082	13.411	14,86	5,30	3.0480	13.588
15,56	6,00	3.0888	14.418	15,56	6,00	3.1290	14 606
16,06	6,50	3.1448	15.152	16,06	6,50	3.1854	15.347
16,56	7,00	3.1998	15.897	16,56	7,00	3.2406	16.099
17,06	7,50	3 2538	16.653	17,06	7,50	3.2948	16.863
17,56	8,00	3.3068	17.420	17,56	8,00	3 3482	17.638
18,06	8,50	3.3589	18.198	18,06	8,50	3.4005	18.424
18,59	9,03	3.4132	19.036	18,59	9.03	3.4551	19.269
19,24	9,68	3.4782	20.076	19,24	9,68	3.5204	20.319
19,59	10,03	3.5128	20.645	19,59	10,03	3.5551	20.896
19,48	9,92	3.5018	20.464	19,48	9,92	3.5440	20.711

Nous croyons néanmoins qu'il serait utile de diminuer la vitesse U en créant, en dehors de la ville, un déversoir et un passage pour les eaux, comme on l'a fait à Blois, à Toulouse et dans d'autres endroits.

Les résultats que fournirait la formule (40) se rapprochent sensiblement de ceux que donne la formule de M. Bazin. On trouve en effet ce qui suit :

H	*h*	U	D
11.06	1.50	2m3977	7.955m³
11.56	2.00	2.4546	8.505
12.06	2.50	2.5144	9.097
12.56	3.00	2.5708	9.687
13.06	3.50	2.6260	10.289
13.56	4.00	2.6802	10.903

Le débit D de 8.000 mètres cubes correspondrait, à mer basse, à la cote de 1 m. 50 environ au-dessus du zéro de St-Nazaire d'après les deux formules de MM. de Prony et Bazin. Cette cote est à 8,18 au-dessous du niveau moyen des quais qui seraient difficilement atteints après les travaux.

On peut donc dire que la transformation du bras de Pirmil, en lui donnant une largeur de 300 mètres et une profondeur de 10 m. 60 en contrebas des basses mers moyennes de vive eau, mettrait la ville de Nantes à l'abri des inondations.

Action des marées sur la Loire durant les crues. — Dans son ouvrage sur l'hydraulique fluviale, M. Lechalas rapporte que le jour du maximum de la crue de décembre 1872, l'oscillation produite par la marée n'a été sensible qu'à une grande distance en aval de Nantes [1]. Le contre-courant de flot a cessé d'exister longtemps avant les simples oscillations de la courbe des hauteurs.

Les calculs que nous venons de résumer ci-dessus ne tiennent pas compte de l'exhaussement produit par les marées durant les crues. Nous pouvons seulement fournir à ce sujet les renseignements qui suivent.

La crue du 14 décembre 1872 qui s'est élevée à Nantes à la cote (9 m. 96) s'est relevée par l'effet des marées de . . 0 m. 05

Celle de 1856 cote (9 m. 62), celle de 1882 cote (9 m. 35) et celle des 8 et 9 février 1866 cote (9 m. 28) se sont relevées de la même quantité . . . . . 0 m. 05

[1] *Hydraulique fluviale* de M. Lechalas, Page 139

Celle du 20 février 1869 cote (7 m. 61), a produit un exhaussement de . . . . . 1 m. 16

Celle du 9 septembre 1858 a la cote (3 m. 36), un de. 2 m. 05

Il est fort difficile de dire, en raison de la largeur qu'avait alors la Loire, ce qui se passerait quand le lit de cette rivière serait large de 300 mètres et son étiage notablement abaissé. Ce qu'on peut dire de plus sûr à ce sujet, c'est qu'une crue de 8.000 mètres cubes par seconde ne devant pas monter plus haut que la cote 2 m. environ au-dessus du zéro de Saint-Nazaire, le niveau moyen des quais ne serait certainement pas atteint.

La durée des basses-eaux de la Loire, qui se prolonge en moyenne pendant 43 jours, soit presque un mois et demi chaque année, la petitesse du débit de son étiage qui n'est que d'environ 100 mètres cubes par seconde, l'abondance enfin des sables que cette rivière charie en temps de crue, donnent un intérêt spécial à l'étude de la question de la conservation d'une profondeur de 10 m. 60 au-dessous de l'étiage, si on la donnait à la Loire dans le bras de Pirmil et en aval.

Section de Mauves à Nantes. — Pour se rendre compte de ce qui se passerait à ce sujet, il convient de chercher ce que devrait être, pour maintenir cette profondeur, le volume d'eau emmagasiné par le flot et par la Loire dans le réservoir que forme le lit de cette rivière entre Nantes et Mauves et que le fleuve et la marée débiteraient à Nantes pendant le jusant, c'est-à-dire, depuis l'étale de flot jusqu'au second étale de jusant.

Si l'on trace, pour la marée de vive eau du 11 août 1892 que nous avons choisie pour type, et sur un profil en long de la Loire en amont de la barre de Nantes, les profils instantanés aux heures des deux étales comme on a tracé, au commencement de cet ouvrage, les profils MNC et PQC sur la figure 1, on calculera facilement les surfaces B et S qui, multipliées par les largeurs correspondantes, donnent les volumes cherchés. Cette opération, pour la Loire, donne la figure (46) ci-dessous :

L'intervalle de 1900 mètres qui sépare les profils en travers de la Loire en face de l'échelle de Nantes (bourse) et du kilomètre 54 k. 500 devra conserver la largeur de 300 mètres assignée au bras de Pirmil ; mais, sur les 15.500 mètres en amont, on pourra faire varier la largeur du fleuve de manière à augmenter, s'il le faut la capacité du réservoir qu'il forme au-dessus de la ville.

Les cotes indiquées sur la figure (46) donnent entre les divers profils les surfaces suivantes :

$$S = 8\,825{,}5 \qquad S_1 = 26190 \qquad S_2 = 25'365$$

En multipliant les surfaces par les largeurs correspondantes, on trouvera quelle sera la quantité d'eau dont on aura diminué

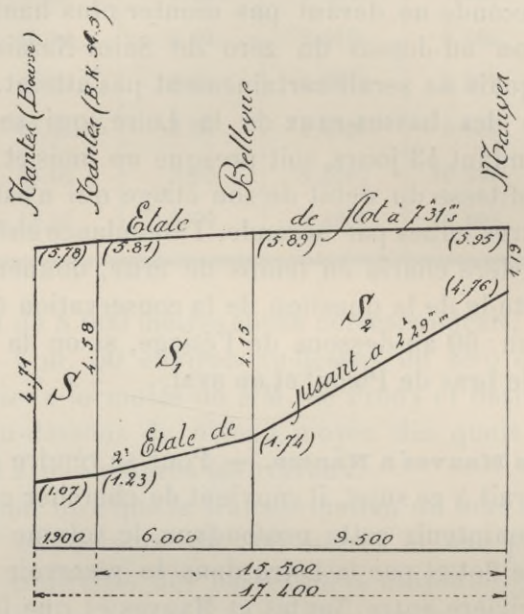


Fig. 46

la masse liquide contenue dans le réservoir pendant l'intervalle de temps compris entre les heures des deux étales. Mais comme la Loire n'aura pas cessé de déverser ses eaux dans ce même réservoir, il faut, pour connaître le cube total écoulé par le fleuve et le réservoir entre les heures des deux étales dans le bras de Pirmil, ajouter au cube de la diminution de volume évaluée ci-dessus, le débit fluvial de la Loire pendant le même intervalle de temps.

Ce volume, qui doit passer dans le bras de Pirmil dans le même temps, que nous désignerons par $(t' - t)$, sera donné par l'expression :

$$HLU\,(t' - t)$$

dans laquelle L est la largeur L de 300 mètres, H la profondeur moyenne au droit de l'échelle de la bourse et U la vitesse moyenne

au même endroit. En désignant par q le débit fluvial par seconde à Mauves, et par λ la largeur moyenne de Nantes à Mauves, on a l'équation :

$$SL + (S_1 + S_2)\lambda + q(t' - t) = HLU(t' - t).$$

Eaux moyennes de jusant. — Cette évaluation a été faite au moyen du tableau de cubage 3 bis relatif au jusant de la Loire à Nantes (bourse), et les deux évaluations coïncideraient si la largeur de 300 mètres qui y figure était applicable aux surfaces S_1 et S_2.

Le tableau de cubage 3 bis fait voir qu'avec une largeur de 300 mètres entre la borne kilométrique 54 k. 5 et Mauves, le débit total du jusant à Nantes (bourse) serait de 39.789.750 mètres cubes, ou de 1.487 m³ 47 par seconde en eaux moyennes de la Loire, et que la vitesse de fond du jusant serait de 0 m. 315 par seconde, ce qui serait largement suffisant pour maintenir les profondeurs voulues. Notons, en passant, que la pente kilométrique que ferait connaître l'application des mêmes données aux formules (40) et (16) serait de 0,00051 et de 0,00083, c'est-à-dire presque nulle.

Etiage. — Mais en étiage le débit total se réduirait à 20.790.150 mètres cubes, ou à 777 mètres cubes par seconde. La vitesse moyenne du jusant serait de 0,1995 et la vitesse du fond de 0,165, ce qui n'assurerait que l'entraînement de sable extrêmement fin. Il parait dès lors nécessaire d'élargir en amont de Nantes le réservoir qui reçoit les eaux de marée.

La vitesse essentielle est celle qui agit immédiatement sur le lit du fleuve, c'est-à-dire celle du fond, W. Elle est reliée à la vitesse moyenne U par la formule :

$$W = AU. \qquad (31) \text{ répétée}$$

A étant un coefficient qui dépend de la profondeur, et qui est donné par le tableau de la page 25.

Si l'on admet que la vitesse de fond nécessaire soit celle de 0,25, on trouve que la vitesse moyenne serait de U = 0,303 et la largeur à donner au réservoir de 512 m. 62.

Or, si l'on prend, de kilomètre en kilomètre, la largeur totale des bras de la Loire sur la carte au $\frac{1}{20.000}$ de l'état-major, on

trouve que la moyenne de ces largeurs est de 507 m., chiffre qui ne diffère que de 5 m. 62 de la valeur calculée, de telle sorte que le lit actuel répond convenablement à la condition de largeur voulue.

On peut donc lui laisser ses dimensions présentes. L'abaissement de l'étiage à Nantes amènera un mouvement analogue en amont jusqu'au barrage de Mauves, et l'on pourra compléter par des dragages l'effet de cet abaissement.

La contenance du réservoir formé par la Loire entre Mauves et l'entrée de Nantes à l'étiage, serait de 25.777.500 mètres cubes dans une marée de vive eau.

Excédents de largeur du lit actuel. — Que deviendrait le lit actuel de la Loire de Nantes à Mauves si l'on y créait un lit mineur dans les conditions qui répondent au profil en long de la Loire améliorée ?

Le lit de la Loire renferme plusieurs îles dans cette partie de son cours, et les divers bras du fleuve présentent ensemble une largeur moyenne d'environ 500 mètres. Ces bras seraient ramenés par les travaux à satisfaire aux conditions voulues, conformément au profil en long figuré par le croquis de la page 144 (figure 44), mais dans les étiages et à mer basse le lit unique que l'on réserverait à la batellerie serait le plus profond et le débit des autres bras serait moindre. Ils pourraient s'atterrir et former ainsi un obstacle à l'écoulement des eaux de la Loire et au passage des crues.

Les eaux de la Loire doivent, en effet, transporter en suspension dans leur masse, en temps de crue, des quantités de sable considérables. On peut en donner bien des exemples ; nous rapporterons seulement le suivant, qui montre l'effet de la marée sur les sables qui sont dans la Gironde, aux environs de la pointe de Grave.

Un navire ayant coulé un peu en amont de cette pointe, on songea à le relever. M. Labat, ingénieur maritime et depuis député de la Gironde, se rendit sur la place, et reconnut que ce bâtiment était presque entièrement couvert de sable et que l'opération semblait impossible. Toutefois, il revint sur les lieux en retournant à Bordeaux, et voulut vérifier ses premières opérations. Le courant de la marée avait changé pendant son absence et la masse de sable, où le navire était presque enseveli, avait disparu. Le relèvement fut entrepris et opéré avec succès.

Les crues sont fréquentes sur la Loire et l'on remarque qu'il s'en produit généralement une tous les ans, en y comprenant les crues exceptionnelles comme celles que nous avons citées plus haut. Ces crues viennent balayer les quantités de sable que les courants ne sauraient entraîner en eaux moyennes. Dieu mit le remède à côté du mal. Mais il ne faut pas entraver l'effet des crues par des digues qui puissent arrêter les sables et exhausser le lit du fleuve. Un système qui aurait les meilleures conséquences sur le Rhône où il coule beaucoup d'eau et relativement peu de sable, pourrait avoir de mauvais effets sur la Loire qui charrie beaucoup de sable et peu d'eau en dehors des temps de crue.

Si l'on fixe donc la Loire dans un lit mineur, il est à craindre que la partie inutilisée du lit actuel ne vienne à se combler.

Une observation semblerait conduire à une conclusion différente. Le lit actuel est encombré d'îles et contient d'anciennes digues. Celles qui existent auprès de Thouaré, sur la rive gauche du fleuve, à huit kilomètres au-dessous de Mauves, réduisent le chenal à 200 mètres ; mais il reste en face un autre bras d'à peu près même largeur. Les deux bras sont suivis d'un seuil commun couvert d'environ 0,50 lors des basses eaux, comme celles des étiages de 1858 et 1859. Il serait donc possible que les crues, n'étant pas contenues par les rives trop basses du nouveau chenal vinssent creuser des bras latéraux et former de nouvelles îles entre Mauves et Nantes.

Le plus probable est que l'abaissement de l'étiage de la Loire dans le bras de Pirmil donnant aux eaux du fleuve une issue facile à un niveau de deux mètres environ plus bas qu'aujourd'hui, produise une modification du même genre qu'à Thouaré. L'augmentation de la pente et des vitesses des courants pourrait entraîner vers la mer une grande partie des sables contenus dans l'ensemble du lit de Mauves à Nantes. Un abaissement général du lit se propagerait en amont jusqu'à Mauves, où le mouvement serait arrêté par le barrage projeté dans ce but par M. Lechalas. Le lit de la Loire s'abaisserait en prenant une pente un peu plus grande vers Nantes, et la quantité d'eau de marée introduite au-dessus de cette ville serait accrue au bénéfice de la navigation maritime.

Quoi qu'il arrive entre Nantes et Mauves, nous croyons que le plus sûr serait de laisser cette partie du fleuve aux changements que peuvent y produire les lois de l'écoulement torrentiel qui la régissent et de créer en dehors une voie navigable pour la batel-

lerie. Un canal latéral d'environ 15 kilomètres relierait la Loire supérieure au port de Nantes transformé, dont le niveau serait fixé à une hauteur notable au-dessus de l'étiage. Ce tronçon du canal serait presque de même longueur que celui qu'on a fait sur la Loire maritime en aval de la Martinière, et serait moins cher parce qu'il serait moins large et moins profond.

Nouveau lit en aval de Nantes. — Nous avons résumé dans les tableaux de cubage[1] les calculs faits pour déterminer les débits et les largeurs de la Loire en aval de Nantes.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, nous avons pris pour type la marée de vive eau du 11 août 1892, et nous en avons calculé les courbes locales en supposant la profondeur de 10 m. 60 au-dessous de la basse mer. Les débits à chaque station ont été établis dans des tableaux dressés pour les deux périodes de flot et de jusant. Les largeurs à chaque station ont été calculées d'après le flot, qui donne le plus fort débit par seconde et aussi la plus grande section. Le calcul a été fait pour avoir les profondeurs de 10 m. 60 indiqués par le profil en long de la Loire améliorée.

La largeur du bras de Pirmil étant de 300 mètres, on voit que son débit moyen pendant le flot et en étiage, en face de l'échelle de la Bourse de Nantes est de 871 m³ 38 par seconde et que la quantité d'eau introduite en amont par la marée serait 16.155.750 mètres cubes. La vitesse moyenne serait de 0 m. 224 et celle de fond de 0 m. 185. Le même tableau indique qu'en eaux moyennes et pendant le flot, le débit de la Loire serait dépassé de 2.992.350 mètres cubes par l'augmentation de volume de l'eau accumulée durant cette période entre Mauves et Nantes. On doit en conclure qu'en étiage l'introduction des eaux d'aval en amont de Nantes durerait pendant presque toute la durée du flot, mais qu'en eaux moyennes la marée refoulerait les eaux d'amont en y ajoutant 2.992.350 m³. Celles-ci écouleraient même pendant une partie de la période du flot 201.930 mètres cubes au-dessous de Nantes et vers la mer.

Nous avons expliqué plus haut que pour la plupart des stations il y avait un débit de la Loire pour lequel la quantité d'eau introduite en amont était nulle et le courant cessait de changer de direction. Ce débit, que les tableaux de cubage permettent

[1] Tableau de cubage de la Loire, nº 3.

de calculer, est très voisin du débit moyen de 810 mètres à Nantes ; il est pour ce port de 795 m³ 56 ; il serait de 1.899 m³ à Coueron, de 1.901 m³ à La Martinière, de 2.778 m³ à La Tour de Bouée, de 3.194 m³ à Paimbœuf et de 3.717 m³ à Saint-Nazaire si les digues étaient construites jusque-là.

La méthode rappelée dans le mémoire du 6 juin 1878 a permis de calculer les largeurs nécessaires pour avoir une profondeur de 10 m. 60 au-dessous de la première basse mer du 11 août 1892. La largeur de 300 mètres à Nantes ayant été fixée pour assurer les mouvements dans le port ne pouvait pas être réduite en aval. Ce n'est qu'au-dessous de La Tour de Bouée que les vitesses de jusant en eaux moyennes atteindraient une vitesse de fond de plus de 0,55, capable d'assurer le transport des sables de la Loire en suspension dans l'eau et que nous avons jugé possible d'adopter une largeur de plus de 300 mètres. Celle de 250 mètres à Paimbœuf donnerait au jusant une vitesse moyenne de fond de 0 m.569.

Si l'on prolongeait la digue rive gauche de la Loire jusqu'en face de Saint-Nazaire, on pourrait conserver en face de cette ville une profondeur de 10 m. 50 à mer basse sur une largeur de 350 mètres. En face de la pointe de Chémoulin cette dimension serait de 374 mètres.

Mais il y a lieu de remarquer que la quantité d'eau contenue dans l'estuaire de Paimbœuf pourrait former un complément très utile de celle fournie par la Loire maritime que nous avons considérée isolément jusqu'ici, et que l'on pourrait dès lors accroître la largeur en face de Saint-Nazaire. On améliorerait notablement la situation en aval de Nantes, si l'on pouvait mettre l'espace laissée au nord de la digue droite en communication avec la petite rivière de l'Erdre. On pourrait aussi établir en aval de Nantes des déversoirs, qui permettraient aux crues de plus de 3 mètres à l'échelle de Mauves de passer derrière les digues et de maintenir un courant dans la partie abandonnée de l'ancien lit du fleuve, de conserver ainsi l'entrée pour les eaux de marée, et de créer un courant plus intense dans l'estuaire de Paimbœuf.

Il est à croire aussi qu'à l'embouchure des bancs se formeraient en prolongement de la rive gauche du fleuve au-delà de Saint-Nazaire sur le banc des Morées, et limiteraient le chenal jusqu'à l'ouvert de la côte de Chémoulin au Croisic. Là, les courants maritimes et les vents de l'ouest-nord-ouest, viendraient proba-

blement rejeter les sables dans la baie laissée sur la rive gauche, en face de Saint-Breven.

Pour que l'on puisse obtenir les profondeurs de 10 m. 50 que nous avons cherchées il est nécessaire que le lit de la Loire soit affouillable, ou qu'on puisse le draguer. Ce lit contient du sable aggloméré connu sous le nom de jalle, qui peut être dragué facilement. Auprès de la Haute-Indre, entre Nantes et Coueron, on trouve une partie rocheuse d'une petite longueur, qu'il faudrait peut-être enlever, mais qu'on pourrait probablement éviter en éloignant un peu le chenal des pentes rocheuses de la Haute-Indre.

Les vitesses moyennes des courants que nous avons calculées entre Nantes et La Tour de Bouée sont inférieures à la vitesse limite avec laquelle le sable est entraîné en suspension dans l'eau. Celles que nous avons trouvées nous paraissent suffisantes pour maintenir les profondeurs de 10 m. 60 que l'on établirait entre Nantes et la mer, et nous croyons que si elles étaient insuffisantes, et que, s'il tendait à se combler, le chenal serait promptement déblayé et rétabli par les crues. Mais si l'on voulait admettre néanmoins des hypothèses défavorables, les tableaux de cubage nous semblent prouver que les profondeurs cherchées se conserveraient tout au moins du côté de l'embouchure.

On pourrait toujours avoir entre Paimbœuf et la mer de grandes profondeurs qui constitueraient une longue rade pour la marine militaire à l'entrée de la Loire.

Il nous paraît très désirable que l'on obtienne un jour ce résultat, et nous croyons devoir signaler encore le danger qu'il y aurait à compromettre le grand réservoir que la Loire constitue pour les marées entre Mauves et Nantes. Des digues et des épis ont diminué la quantité d'eau qu'il contenait jadis, quand les marées se propageaient jusqu'à Ancenis. Un système d'épis conçu pour empêcher l'abaissement de l'étiage dans le Rhône et qui a réussi sur ce fleuve où les eaux sont abondantes, peut n'être pas applicable sur la Loire dont le débit descend à 3 m³ 50 à Orléans et à 98 mètres cubes à Nantes. Son effet serait juste contraire à celui qu'on doit chercher sur la Loire maritime, où l'abaissement de l'étiage amènerait l'augmentation du débit des marées et l'approfondissement du fleuve. Ce système d'épis serait funeste à la navigation maritime, et l'adopter serait compromettre le port de Nantes, sacrifier la longue rade qu'on obtiendrait sûrement à l'embouchure de la Loire, et compromettre les intérêts de la défense nationale.

Est-ce à dire que nous voulions conseiller l'exécution immédiate des travaux que nous avons indiqués tant pour la Seine que pour la Loire ? Nullement. C'est au gouvernement qu'il appartient de juger du temps et des conditions dans lesquels il pourra les entreprendre. Notre but est seulement de prouver leur possibilité et les services qu'on peut en attendre ; l'avenir dira quand on pourra les réaliser, mais les vérités qui les concernent resteront démontrées, et l'on pourra y avoir recours plus tard quand les circonstances viendront le permettre.

Note. — Les tableaux nécessaires aux études qui précèdent sont des feuilles de hauteurs d'eau et des tableaux de cubage. Nous les reproduisons à la fin de ce volume, tant pour la Seine que pour la Loire. Mais il y a lieu de les faire précéder par quelques explications d'ensemble et des notes spéciales. Nous commencerons par la *Seine Maritime*.

CHAPITRE VI

FEUILLES DE HAUTEURS D'EAU

ET

TABLEAUX DE CUBAGE

§ 1er

SEINE MARITIME

Feuilles de hauteurs d'eau

Les cotes de hauteurs d'eau employées pour l'étude de la Seine maritime sont rapportées à un plan supérieur de comparaison usité précédemment pour le nivellement de la ville de Paris et de la Seine de Paris à Rouen. Ce plan, qui passe à 75 m. 250 au-dessus du zéro du pont de la Tournelle à Paris, se trouve à 101 m. 525 au-dessus du niveau moyen de la mer à Marseille. Le plan passant à ce niveau, a été pris pour plan de comparaison du nivellement général de la France par M. Bourdelone. Le plan du nivellement de Paris a été choisi de préférence parce qu'il évite l'emploi des cotes négatives et qu'il facilite l'examen des nombreux documents relatifs à la Seine maritime auxquels il a servi de base commune. Le zéro des cartes marines aux abords du Havre est à la cote 105,814 du nivellement de la Seine et le zéro du maréographe du Havre à la cote 105,914.

Les feuilles de hauteurs d'eau ont été calculées pour la Seine améliorée dans la double supposition d'une profondeur de (3 m. 20) au-dessous du zéro des cartes marines au Havre et de (10 m. 50) au-dessous des basses mers de vive eau au Havre. Le niveau de ces basses mers est à la cote (105,81) du nivellement de la Seine.

On s'est servi, dans les deux cas, des cotes relevées au Havre, pendant la marée du 27 octobre 1890 (coefficient 100), et l'on a employé de même la formule de M. Boussinesq pour calculer les célérités des ondes élémentaires. Les résultats dus à la différence des profondeurs de l'eau sont ainsi comparables.

Il faut remarquer que les profondeurs moyennes (page 1) et les célérités correspondantes, calculées pour la section du Havre à Honfleur par la méthode qui a été indiquée page 31 et fig. 13,

ont été inscrites sur la feuille de hauteurs d'eau de Honfleur. De même celles de la section de Honfleur à la Risle l'ont été sur la feuille de hauteurs d'eau relatives à l'entrée de la Risle ; d'une façon générale, les profondeurs moyennes et les célérités de toutes les sections, tant pour la Loire que pour la Seine, ont été mises sur la feuille relative à la localité qui limite la section à l'amont. Il est essentiel de ne pas perdre cette observation de vue quand on veut se servir des renseignements qui sont portés sur ces feuilles.

Les premières études n'ont porté ni sur Martot, ni sur la sortie (aval) du port de Rouen, et des feuilles de hauteurs d'eau spéciales n'y ont pas été tout d'abord établies. Mais il a été facile d'obtenir par interpolation les quelques cotes dont on a eu besoin pour ces deux points, ce que le mode de calcul adopté justifiait pleinement.

Tableaux de cubage

Les tableaux de cubage sont l'un des éléments les plus intéressants des recherches à faire sur les rivières à marée. Nous ne reviendrons pas sur ce qui a été dit à leur égard dans le cours de cet ouvrage. Nous rappellerons seulement qu'ils permettent de reconnaître l'action des crues et des étiages sur le débit de ces rivières, les vitesses moyennes et les vitesses de fond, la marche des sables, les étales et la durée du flot et du jusant, enfin le débit total et par seconde en un point donné de la rivière. Ces tableaux sont disposés de manière à faciliter l'étude des divers cas qui peuvent se présenter, et qui ne figurent pas dans les tableaux de cubage, tels que ceux des crues et des étiages. Des croquis très simples permettent, quand il le faut, d'y suivre la marche des calculs.

L'étude faite pour le cas où l'on établirait dans la Seine un fond horizontal à (3 m. 20) au-dessous du zéro des cartes marines, n'a été poussée que d'Elbeuf à La Bouille parce qu'elle a fait voir que les profondeurs de plus de dix mètres à mer basse s'établiraient d'elles-mêmes, avec la vitesse moyenne de plus d'un mètre au-delà de La Bouille. Bien qu'abandonnée, cette étude a donné des résultats intéressants.

Ainsi, que nous l'avons dit, le débit du flot par seconde étant plus abondant en un même point que celui du jusant, il était

essentiel d'avoir d'abord les profondeurs données par le flot ; Les sections ainsi calculées devaient nécessairement suffire pour assurer le passage des eaux durant la marée descendante. Nous avons donc toujours dressé les tableaux relatifs à la période du flot, sauf à intercaler entre eux les tableaux concernant la période du jusant, quand ils présentaient un véritable intérêt. Le calcul des largeurs accessoires de chaque section supposant connues celles des sections d'amont, nos recherches ont dû se faire en progressant de l'amont à l'aval.

Nous avons parfois scindé la longueur d'une section, soit dans le même tableau, soit en établissant des tableaux supplémentaires, quand le sujet l'a rendu désirable. C'est ainsi que l'intérêt de l'amélioration de la partie maritime de la Seine nous paraissant réclamer la propagation de la marée jusqu'à Poses, nous avons examiné de plus près ce que deviendrait la Seine dans le cas où l'on supprimerait le barrage établi à Martot pour la battellerie ; mais nous avons examiné en même temps ce qui se passerait si cet ouvrage d'art était conservé. Plus loin nous avons scindé la section de Rouen (amont) à La Bouille par le calcul d'un tableau spécial relatif à l'aval du port de Rouen pour mettre plus facilement en lumière ce qui intéresse ce port. Nous commencerons donc l'étude des tableaux de cubage par celui d'Elbeuf et par la période du flot.

PROFONDEURS DE 3 MÈTRES 20

Feuilles de hauteurs d'eau pour les profondeurs de (3 m. 20)

Les feuilles de hauteurs d'eau avec (3 m. 20) sont au nombre de 12. Elles ont dû être calculées depuis le Havre jusqu'à Poses. Elles ne donnent lieu à aucune observation particulière. Ce sont celles des stations suivantes :

Le Havre et Honfleur, page 174.
La Risle, page 175.
Tancarville, page 176.
Quillebeuf, page 177.
Caudebec, page 178.
La Mailleraye, page 179.
Duclair, page 180.
La Bouille, page 181.
Rouen (amont), page 182.
Oissel, page 183.
Elbeuf, page 184.
Poses, page 185.

Tableaux de cubage

Les tableaux de cubage avec (3 m. 20) sont au nombre de huit :

N° 1 Elbeuf (flot), page 187.
» 2 Oissel (flot), page 190.
» 3 Rouen (amont) (flot), page 191.
» 4 Rouen (aval) (flot), page 193.
» 5 La Bouille (flot), page 195.
N° 1 *bis* Elbeuf (jusant), page 189.
N° 3 *bis* Rouen (amont) (jusant), page 192.
N° 4 *bis* Rouen (aval) (jusant), page 194.

ÉTUDE DES TABLEAUX DE CUBAGE

Entre Poses et La Bouille avec fonds de (3 m. 20)

Elbeuf. — La recherche des heures d'étale a été entreprise suivant la méthode indiquée à la page 4. Elle a fait voir que dans une marée comme celle du 27 octobre 1890 (coefficient 100) que nous avons prise pour type, la vitesse du courant du jusant du matin deviendrait nulle à 10 h. 14 du matin, et que l'étale serait ainsi en retard de 0 h. 35 sur l'heure de la basse mer. L'on a reconnu de même que l'heure du changement de sens de la vitesse de flot, ou l'étale de flot, se produirait à 2 h. 37 et aurait ainsi lieu 3 h. 11 après la pleine mer. La durée du flot serait ainsi de 4 h. 23. La seconde étale de jusant aurait lieu à la fin de la marée, à 10 h. 11, soit 7 h. 34 après l'étale du flot, et six minutes après la basse mer du soir.

Un croquis, joint au tableau de cubage n° 1, représente, pour la période du flot, les profils en long instantanés de la Seine de Poses à Elbeuf aux heures des deux premières étales. A 10 h. 14 le mascaret arriverait à Elbeuf, tandis qu'à 2 h. 37, heure de l'étale du flot, la marée descendrait depuis 3 h. 11 ; la pente serait uniforme de Poses à Elbeuf.

Le tableau n° 1 indique que l'augmentation du volume d'eau de Poses à Elbeuf serait de 11.589.844 mètres cubes pendant le flot. Il faut en déduire le débit fluvial pour connaître l'augmentation de volume due à la marée. En admettant, comme nous l'avons déjà dit plus haut, que la Seine donne 442 mètres cubes par seconde, on trouve que le volume débité par le fleuve pendant le flot serait de 6.974.760 mètres cubes, et la masse d'eau due à la marée de 4.615.084 mètres cubes. Cette dernière quantité montre que la moyenne des courants qui se produiraient pendant la durée du flot introduirait en somme, en amont

d'Elbeuf une quantité d'eau de 292 m³ 46 par seconde. La vitesse moyenne de 0 m. 166 qui en résulte donnerait une vitesse de fond de 0 m. 136, suffisante pour agir sur un fond de petits graviers un peu plus gros que des grains d'anis. Le jusant, ayant un débit de 859 m³ et une vitesse moyenne de 0 m. 527 par seconde et durant 3 h. 11 de plus que le flot, entraînerait le sable à la mer.

Le débit de la Seine à Mantes varie de 80 à 1.800 mètres cubes par seconde. Si l'on était au plus bas étiage et, si les faits dus à la marée restaient les mêmes, le débit fluvial pendant le flot serait réduit à 1.262.400 m³. Celui du flot serait de 10.327.444 mètres cubes ou de 654 m³ 44 en moyenne par seconde et la vitesse moyenne de 0 m. 371. Ce dernier chiffre correspond à une vitesse de fond de 0 m. 303 et le flot serait assez fort pour faire remonter le sable vers Poses.

En cas de grande crue, le débit total de la Seine entre 10 h. 14 et 2 h. 37, heures des deux premières étales, serait de 28.404.000 mètres cubes et la marée ne ferait que ralentir la vitesse de l'eau vers l'aval.

Le courant cesserait de se renverser vers l'amont quand le débit fluvial serait égal ou supérieur à celui de la marée, si les profils instantanés et les étales n'étaient pas modifiés par la crue ; nous pourrions dire alors que ce serait quand le fleuve débiterait 5.794.221 mètres cubes, ou 367 m³ par seconde. Ces chiffres seraient certainement changés par l'augmentation du débit de la Seine, mais on peut voir que le point de la rivière où le courant cesse de se renverser vers l'amont s'éloigne d'autant plus d'Elbeuf que la crue est plus considérable.

Le tableau n° 1 indique bien la grande influence qu'exercent sur le calcul le plus ou moins d'abondance des eaux d'amont, ainsi que la durée du flot qui dépend lui-même des heures des étales.

Nous avons supposé que la marée se propagerait jusqu'à Poses, et, par conséquent, que le barrage de Martot serait supprimé ; diverses circonstances peuvent faire, en effet, réaliser cette hypothèse, par exemple la rectification de la Seine à Oissel pour exécuter le canal maritime de Paris à Rouen. Dans le cas où ce barrage serait maintenu, l'espace compris entre Martot et Poses resterait en dehors de l'action des marées, et le volume d'eau emmagasiné par elles dans cet espace devrait disparaître du calcul.

Cette réduction ramènerait l'augmentation du volume de la Seine en amont d'Elbeuf à 2.728.000 mètres cubes, chiffre que le débit fluvial dépasserait de 4.246.760 ou de 269 m³ 12 par seconde en moyenne durant la période du flot. La marée ne ferait donc que relever le niveau de l'eau de Martot à Elbeuf en produisant une accumulation d'eau dans cette section.

Mais le tableau n° 1 *bis* a été dressé pour étudier la période de jusant dans la section d'Elbeuf. Il suppose que la profondeur à Elbeuf soit celle de 3 m. 47 au-dessous de la basse mer prévue par le profil en long que nous avons admis, et il fait voir que la vitesse de fond du jusant à Elbeuf serait de 0 m. 428 si la marée se propageait jusqu'à Poses et de 0 m. 272 si l'on maintenait le barrage de Martot. Cette dernière vitesse moyenne correspondrait à une vitesse de fond de 0,166 par seconde qui n'entraînerait que du sable très fin.

Il faut remarquer que Martot et Elbeuf sont sur des points de la Seine relativement étroits par rapport à la largeur moyenne de la rivière accusée par MM. les ingénieurs de la navigation de la troisième section de ce fleuve. D'après leurs indications les largeurs moyennes sont de 320 mètres d'Elbeuf à Martot et de 190 mètres de Martot à Poses, tandis qu'il n'y a qu'un débouché libre de 198 m. 85 sous le pont d'Elbeuf. En prenant cette largeur avec la profondeur de 3 m. 47 à basse mer que nous avons prévue, la vitesse moyenne serait de 0 m. 799, c'est-à-dire suffisante, même en maintenant le barrage de Martot. Dans l'ensemble de la section d'Elbeuf à Martot elle serait de 0 m. 428 au fond, et suffisante pour entraîner le sable à la mer. Nous croyons que l'on peut laisser à la partie de la Seine située entre ces deux mêmes points sa largeur actuelle.

Oissel. — L'étale de jusant à Oissel est à 9 h. 35 du matin, et le courant de flot, qui durerait 4 h. 15 ne cesserait qu'à 1 h. 50. A 9 h. 35 le mascaret qui remonte la Seine serait encore à plus de neuf kilomètres en aval d'Oissel, et n'y arriverait qu'à 9 h. 55. A 1 h. 50 de l'après-midi, heure de l'étale du flot, le mascaret a déjà parcouru tout l'espace situé en amont jusqu'à Poses. A Oissel, la mer baisse depuis 11 h. 10 du matin; à 10 h. 50 la mer basse est à 11.500 mètres en amont de ce point, où la marée a même déjà monté de 0 m. 13.

Si la marée pouvait se propager jusqu'à Poses, la quantité d'eau introduite par le flot en amont d'Oissel serait de 20.157.700

mètres cubes ou de 1.317 mètres cubes par seconde. La vitesse moyenne qui en résulterait serait de 0 m. 646.

La largeur moyenne de la partie de la Seine comprise entre Oissel et Elbeuf est de 290 mètres et la profondeur prévue à Oissel de 4 m. 59 au-dessous de la basse-mer. Mais en ce point, la Seine s'est divisée en deux bras et la largeur totale sous les deux ponts, entre les culées, est de 370 mètres. Cette largeur réduirait à 3 m. 07 la profondeur à mer basse. Il y aurait donc intérêt à diminuer la largeur totale de la Seine à cet endroit auprès de ces ponts.

Si l'on maintenait le barrage de Martot, la quantité d'eau introduite par la marée au-dessus d'Oissel serait réduite à 10.855.300 mètres cubes, le débit moyen du flot par seconde serait de 709.47 mètres cubes, et la vitesse moyenne de 0,348 pour la largeur moyenne de 290 mètres de la section. Pour la largeur de 370 mètres auprès d'Oissel et la même profondeur de 4,59 au-dessous de la basse mer la vitesse moyenne serait de 0,2725 et la vitesse de fond de 0,22 ; avec la largeur de 370 aux ponts d'Oissel et une vitesse de 0,75, la profondeur moyenne auprès des ponts d'Oissel serait de 2,39 au-dessous de la basse mer.

Rouen (amont).— La largeur moyenne du lit de la Seine entre Oissel et les ports de Brouilly, à Rouen, est de 300 m. d'après les renseignements dus à l'obligeance de MM. les Ingénieurs de la Navigation de la 3e section de ce fleuve. La largeur totale de ces deux ponts de Brouilly entre les culées est de 272 mètres. La largeur de la Seine se continue à peu près la même jusqu'en aval du pont Corneille, à Rouen.

Si la marée se propageait librement jusqu'à Poses, le volume total de l'eau introduite en amont de Rouen serait de 38.842.665 ou de 2.601 m³ 41 par seconde. La profondeur moyenne avec fonds de 3 m. 20 au-dessous du zéro des cartes marines étant, à Rouen même, de 5 m. 24 au-dessous de la basse mer et de 5 m. 91 au-dessous de la cote de l'étale de jusant, on trouve que la vitesse moyenne du flot, près du pont de Brouilly et avec une largeur de 300 m., serait de 1 m. 028.

Mais si l'on suppose que l'on creuse la Seine à Rouen à 10 m.50 au-dessous de la basse mer, soit à la cote (113,73), on trouve que la vitesse moyenne serait de 0 m. 660 et la vitesse de fond de 0 m. 545 ; celle-ci suffirait pour emporter dans la masse des

eaux du sable de la grosseur de celui de la Loire aux environs d'Orléans.

Si l'on maintient le barrage de Martot, le débit du flot serait réduit à 29.585.865 m³ ou à 1.988 m. 30 par seconde et la vitesse moyenne serait de 0,78 à Rouen. Si l'on voulait que la Seine eut à l'extrémité aval de la section d'Oissel à Rouen une profondeur de 10 m. 50 à mer basse, la profondeur d'eau à mi-marée serait de 13 m. 18, la vitesse moyenne de 0 m. 502 et la vitesse de fond 0,41 ; celle qui, d'après la table de Genieys (p. 6), pourrait entraîner du gravier de la grosseur d'une fève de marais, n'est que de 0 m. 325 (¹). La profondeur de la Seine se maintiendrait donc à cette profondeur, même en supposant que l'on conserve le barrage de Martot.

Rouen (aval). — L'intervalle qui sépare l'extrémité aval de cette section de celle de Rouen à Oissel n'est que 2.500 mètres. Elle commence vers la borne 245 k. 5 et aboutit en amont au kilomètre 243.

La largeur du port de Rouen sur 3 kilomètres et entre les bornes kilométriques 242 et 245 n'est que de 176 mètres. C'est à cette circonstance que sont dues les profondeurs que l'on y observe. Le calcul indique qu'à la borne 245,5, le débit du flot serait, en vive eau, dans le cas de la propagation de la marée jusqu'à Poses, de 42.814.160 m³ ou de 2.889 m³ par seconde. Ce débit correspondrait à une vitesse moyenne qui serait de 1 m. 130 par seconde. Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit du flot se réduirait à 33.572.560 ou à 2.205 m³ par seconde et la vitesse moyenne à 0,886, la vitesse du fonds à 0,727. Le 10 septembre 1885, par une marée de coefficient 100, la vitesse moyenne observée à Rouen n'a été que 0,532 ; la différence des vitesses dont il s'agit est due à l'augmentation du débit de la marée par suite de l'abaissement prévu de l'étiage.

Elle démontre la nécessité d'élargir la Seine à Rouen si l'on veut obtenir en aval une profondeur de (3 m. 20) en contrebas du zéro des cartes marines aux environs du Havre.

La Bouille. — La largeur moyenne de la Seine sur 14.500 m. entre Rouen (aval) et La Bouille, prise de kilomètre en kilomètre

(¹) Voir page 10.

sur le plan au $\frac{1}{10.000}$ dressé par MM. les Ingénieurs de la 4e section de la Seine, est de 273,57. Nous supposerons qu'elle soit portée à 300 mètres, comme à Rouen.

Avec des fonds de (3 m. 20), l'étale de jusant se produirait à La Bouille à 8 h. 40 du matin et l'étale du flot à midi 40. La durée du flot serait de 4 heures.

Aux heures des deux étales, le mascaret ne se manifesterait pas entre La Bouille et Poses. Au moment de l'étale de jusant, le niveau de la Seine se serait déjà relevé de 0 m. 33 à La Bouille après la basse mer.

Si la marée se propageait jusqu'à Poses, le débit total du flot serait de 65.991.400 mètres cubes ou de 4.583 mètres par seconde. Avec les profondeurs prévues au profil avec fonds à 3 m. 20, la vitesse moyenne des courants du flot serait de 1 m. 801 ; mais avec une profondeur de 10 m. 50 au-dessous de la basse mer à La Bouille, cette vitesse moyenne se réduirait à 1 m. 14. Pour avoir une vitesse moyenne d'un mètre, il faudrait, ou une largeur de 539,7 avec les profondeurs prévues de (3 m. 20), ou une profondeur de 12 m.72 au-dessous de la basse mer avec la largeur de 300 m. que nous avons admise.

Si l'on conservait le barrage de Martot, le débit total du flot serait de 56.952.400 mètres cubes ou de 3.955 m^3 03 par seconde. Avec les fonds de (3 m. 20) et pour la largeur de 300 m., la vitesse moyenne des courants du flot serait de 1 m. 55 ; elle ne serait que de 0 m. 985 si la profondeur était de 10 m. 50.

Il est difficile de se borner à des largeurs de 300 m. en aval de La Bouille, si l'on s'en tient aux fonds de (3 m. 20) et aux vitesses maxima de 1 m. 00. Le calcul prouve donc que des fonds de (3,20) conduisent à donner au-dessous de La Bouille des profondeurs de 10 m. 50 ; il est dès lors nécessaire d'étudier le cas où le fonds de la Seine s'abaisserait à cette cote entre Rouen et la mer.

Feuilles de hauteurs d'eau

Stations du Havre et de Honfleur (3m20)

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Honfleur	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Honfleur	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.69	17 97	15 26	8 31	*Formules*
	8 30	97.71	97.71	17 95	15 24	8 41	
	9 00	97.78	97.78	17 88	15 19	9 11	1° Cotes :
	9 30	97.86	97.86	17 80	15 14	9 41	
	10 00	98.03	98.03	17 63	15 02	10 11	$z' = z\frac{aa'}{bb'}$
	10 30	98.33	98.32	17 34	14 81	10 41	
	11 00	98.86	98.84	16 82	14 45	11 12	
	11 30	99.60	99.57	16 08	13 93	11 42	2° Célérités :
	27 oct. 1890						$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	minuit	100.46	100.41	15 23	13 33	min. 12	
	12 30	101.38	101.31	14 32	12 69	0 43	
	1 00	102.28	102.19	13 43	12 06	1 14	
	1 30	102.96	102.86	12 75	11 58	1 44	
	2 00	103.44	103.33	12 28	11 25	2 15	
	2 30	103.82	103.71	11 90	10 98	2 45	
	3 00	104.23	104.11	11 49	10 70	3 16	
	3 30	104.48	104.35	11 25	10 53	3 46	
BM	4 00	104.63	104.50	11 11	10 43	4 16	
	4 30	104.48	104.35	11 25	10 53	4 46	
	5 00	104.04	103.92	11 68	10 83	5 15	
	5 30	103.24	103.14	12 47	11 38	5 45	
	6 00	101.83	101.75	13 87	12 37	6 13	
	6 30	100.40	100.35	15 29	13 37	6 42	
	7 00	99.12	99.09	16 56	14 26	7 12	
	7 30	98.27	98.26	17 40	14 85	7 41	
	8 00	97.91	97.91	17 75	15 10	8 11	
PM	8 21	97.78	97.78	17 88	15 19	8 32	
	9 00	97.83	97.83	17 83	15 16	9 11	
	9 30	97.85	97.85	17 81	15 14	9 41	
	10 00	97.84	97.84	17 82	15 15	10 11	
	10 30	98.02	98.02	17 64	15 02	10 41	
	11 00	98.19	98.18	17 48	14 91	11 11	
	11 30	98.69	98.67	16 98	14 56	11 41	
	midi	99.48	99.45	16 20	14 01	midi 12	
	12 30	100.35	100.30	15 34	13 41	0 42	
	1 00	101.37	101.30	14 33	12 69	1 13	
	1 30	102.22	102.14	13 48	12 10	1 44	
	2 00	102.80	102.70	12 91	11 69	2 14	
	2 30	103.31	103.20	12 41	11 34	2 45	
	3 00	103.74	103.63	11 98	11 04	3 15	
	3 30	104.14	104.02	11 58	10 76	3 45	
	4 00	104.51	104.38	11 22	10 50	4 16	
BM	4 22	104.61	104.48	11 11	10 43	4 38	
	5 00	104.44	104.31	11 29	10 55	5 16	
	5 30	103.93	103.81	11 79	10 91	5 45	
	6 00	102.85	102.75	12 86	11 66	6 14	
	6 30	101.37	101.30	14 33	12 69	6 43	
	7 00	99.97	99.93	15 71	13 66	7 12	
	7 30	98.77	98.75	16 90	14 50	7 41	
	8 00	97.92	97.92	17 74	15 09	8 11	
PM	8 37	97.53	97.53	18 13	15 37	8 38	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Risle **(3m20)**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Risle	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à la Risle	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.69	12 58	14 11	8 45	
	8 30	97.71	97.71	12 56	14 09	8 55	
	9 00	97.78	97.78	12 49	14 02	9 25	
	9 30	97.86	97.86	12 41	13 95	9 55	
	10 00	98.03	98.02	12 23	13 79	10 25	
	10 30	98.33	98.31	11 96	13 51	10 56	
	11 00	98.86	98.82	11 44	13 00	11 27	
	11 30	99.60	99.53	10 72	12 31	11 58	
	27 oct. 1890						
	Minuit	100.46	100.36	9 89	11 50	min. 29	
	12 30	101.38	101.24	9 00	10 63	1 2	
	1 00	102.28	102.11	8 12	9 78	1 34	
	1 30	102.96	102.76	7 46	9 14	2 6	
	2 00	103.44	103.23	6 99	8 68	2 38	
	2 30	103.82	103.59	6 62	8 32	3 9	
	3 00	104.23	103.98	6 23	7 94	3 41	
	3 30	104.48	104.23	5 98	7 70	4 12	
BM	4 00	104.63	104.37	5 85	7 58	4 42	
	4 30	104.48	104.23	5 98	7 70	5 12	
	5 00	104.04	103.80	6 41	8 12	5 40	
	5 30	103.24	103.03	7 19	8 88	6 8	
	6 00	101.83	101.68	8 56	10 21	6 32	
	6 30	100.40	100.30	9 95	11 56	6 59	
	7 00	99.12	99.07	11 19	12 76	7 28	
	7 30	98.27	98.25	12 02	13 57	7 56	
	8 00	97.91	97.91	12 36	13 90	8 25	
PM	8 21	97.78	97.78	12 49	14 02	8 46	
	9 00	97.83	97.83	12 44	13 98	9 25	
	9 30	97.85	97.85	12 42	13 96	9 55	
	10 00	97.84	97.84	12 43	13 97	10 25	
	10 30	98.02	98.01	12 26	13 80	10 55	
	11 00	98.19	98.17	12 10	13 65	11 26	
	11 30	98.69	98.66	11 57	13 13	11 56	
	Midi	99.48	99.42	10 84	12 42	midi 28	
	12 30	100.35	100.25	10 00	11 61	0 59	
	1 00	101.37	101.23	9 01	10 64	1 32	
	1 30	102.22	102.05	8 18	9 84	2 4	
	2 00	102.80	102.61	7 62	9 29	2 36	
	2 30	103.31	103.10	7 12	8 81	3 7	
	3 00	103.74	103.51	6 70	8 40	3 39	
	3 30	104.14	103.90	6 31	8 02	4 10	
	4 00	104.51	104.25	5 96	7 68	4 42	
BM	4 22	104.61	104.35	5 85	7 58	5 4	
	5 00	104.44	104.19	6 02	7 74	5 42	
	5 30	103.93	103.70	6 52	8 23	6 9	
	6 00	102.85	102.66	7 57	9 25	6 36	
	6 30	101.37	101.23	9 01	10 64	7 2	
	7 00	99.97	99.89	10 36	11 96	7 29	
	7 30	98.77	98.73	11 53	13 09	7 56	
	8 00	97.92	97.91	12 36	13 90	8 25	
PM	8 37	97.53	97.54	12 74	14 27	9 2	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Tancarville **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Tancarville	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Tancarville	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.69	11 32	13 96	8 55	
	8 30	97.71	97.71	11 30	13 94	9 5	
	9 00	97.78	97.78	11 23	13 87	9 35	
	9 30	97.86	97.86	11 15	13 78	10 5	
	10 00	98.03	98.02	10 99	13 60	10 35	
	10 30	98.33	98.30	10 70	13 29	11 6	
	11 00	98.86	98.80	10 20	12 75	11 37	
	11 30	99.60	99.50	9 49	11 98	min. 9	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.32	8 67	11 09	0 41	
	12 30	101.38	101.19	7 79	10 14	1 15	
	1 00	102.28	102.04	6 93	9 21	1 48	
	1 30	102.96	102.69	6 28	8 50	2 21	
	2 00	103.44	103.14	5 82	8 00	2 54	
	2 30	103.82	103.50	5 46	7 61	3 26	
	3 00	104.23	103.89	5 07	7 19	3 59	
	3 30	104.48	104 12	4 83	6 93	4 31	
BM	4 00	104.63	104.27	4 70	6 79	5 1	
	4 30	104.48	104.13	4 83	6 93	5 31	
	5 00	104.04	103.71	5 25	7 39	5 58	
	5 30	103.24	102.95	6 02	8 22	6 24	
	6 00	101.83	101.62	7 36	9 67	6 46	
	6 30	100.40	100.26	8 73	11 16	7 11	
	7 00	99.12	99.05	9 95	12 48	7 39	
	7 30	98.27	98.24	10 76	13 36	8 6	
	8 00	97.91	97.90	11 10	13 72	8 35	
PM	8 21	97.78	97.78	11 23	13 88	8 56	
	9 00	97.83	97.83	11 18	13 81	9 35	
	9 30	97.85	97.85	11 16	13 79	10 5	
	10 00	97.84	97.84	11 17	13 80	10 35	
	10 30	98.02	98.01	11 00	13 62	11 5	
	11 00	98.19	98.17	10 84	13 44	11 36	
	11 30	98.69	98.64	10 36	12 92	midi 6	
	midi	99.48	99.39	9 59	12 09	0 39	
	12 30	100.35	100.21	8 78	11 21	1 11	
	1 00	101.37	101.18	7 80	10 15	1 45	
	1 30	102.22	101.98	6 99	9 27	2 18	
	2 00	102.80	102.53	6 44	8 68	2 51	
	2 30	103.31	103.02	5 94	8 13	3 23	
	3 00	103.74	103.42	5 54	7 70	3 56	
	3 30	104.14	103.80	5 16	7 29	4 28	
	4 00	104.51	104.15	4 81	6 91	5 1	
BM	4 22	104.61	104.25	4 70	6 79	5 23	
	5 00	104.44	104.09	4 87	6 97	6 1	
	5 30	103.93	103.60	5 36	7 50	6 27	
	6 00	102.85	102.58	6 39	8 62	6 51	
	6 30	101.37	101.18	7 80	10 15	7 15	
	7 00	99.97	99.85	9 14	11 60	7 40	
	7 30	98.77	98.72	10 28	12 84	8 6	
	8 00	97.92	97.91	11 10	13 72	8 35	
	8 37	97.53	97.54	11 47	14 13	9 11	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Quillebeuf **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Quillebeuf	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Quillebeuf	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.70	11 31	13 90	9 2	
	8 30	97.71	97.71	11 30	13 85	9 12	
	9 00	97.78	97.78	11 22	13 77	9 42	
	9 30	97.86	97.85	11 15	13 69	10 12	
	10 00	98.03	98.01	10 99	13 52	10 42	
	10 30	98.33	98.30	10 70	13 21	11 13	
	11 00	98.86	98.79	10 21	12 68	11 45	
	11 30	99.60	99.48	9 51	11 93	min. 17	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.29	8 70	11 06	0 50	
	12 30	101.38	101.15	7 83	10 12	1 25	
	1 00	102.28	102.00	6 98	9 21	1 59	
	1 30	102.96	102.63	6 34	8 52	2 32	
	2 00	103.44	103.08	5 89	8 04	3 6	
	2 30	103.82	103.44	5 53	7 65	3 39	
	3 00	104.23	103.82	5 15	7 25	4 12	
	3 30	104.48	104.06	4 91	6 99	4 45	
BM	4 00	104.63	104.20	4 78	6 85	5 15	
	4 30	104.48	104.06	4 91	6 99	5 45	
	5 00	104.04	103.65	5 32	7 43	6 11	
	5 30	103.24	102.90	6 08	8 24	6 36	
	6 00	101.83	101.57	7 41	9 67	6 56	
	6 30	100.40	100.23	8 76	11 12	7 20	
	7 00	99.12	99.04	9 96	12 41	7 47	
	7 30	98.27	98.23	10 77	13 28	8 14	
	8 00	97.91	97.90	11 10	13 64	8 42	
PM	8 21	97.78	97.78	11 22	13 77	9 3	
	9 00	97.83	97.83	11 17	13 71	9 42	
	9 30	97.85	97.85	11 15	13 69	10 12	
	10 00	97.84	97.84	11 16	13 70	10 42	
	10 30	98.02	98.00	11 00	13 53	11 12	
	11 00	98.19	98.16	10 84	13 36	11 43	
	11 30	98.69	98.63	10 37	12 85	midi 14	
	midi	99.48	99.37	9 61	12 04	0 47	
	12 30	100.35	100.19	8 80	11 17	1 20	
	1 00	101.37	101.14	7 84	10 13	1 55	
	1 30	102.22	101.94	7 04	9 19	2 29	
	2 00	102.80	102.48	6 50	8 70	3 2	
	2 30	103.31	102.96	6 01	8 17	3 35	
	3 00	103.74	103.36	5 61	7 74	4 9	
	3 30	104.14	103.74	5 23	7 33	4 42	
	4 00	104.51	104.09	4 88	6 95	5 15	
BM	4 22	104.61	104.18	4 78	6 85	5 37	
	5 00	104.44	104.02	5 95	7 03	6 15	
	5 30	103.93	103.54	5 43	7 55	6 40	
	6 00	102.85	102.53	6 45	8 64	7 3	
	6 30	101.37	101.14	7 84	10 13	7 25	
	7 00	99.97	99.83	9 16	11 55	7 49	
	7 30	98.77	98.71	10 29	12 77	8 14	
	8 00	97.92	97.91	11 09	13 63	8 42	
PM	8 37	97.53	97.55	11 46	14 02	9 18	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Caudebec **3e20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Caudebec	Profondeurs moyennes	Celérités	Heures de la cote à Caudebec	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.70	11 31	13 69	9 30	
	8 30	97.71	97.72	11 29	13 67	9 40	
	9 00	97.78	97.78	11 22	13 60	10 10	
	9 30	97.86	97.85	11 15	13 52	10 40	
	10 00	98.03	98.01	10 99	13 35	11 11	
	10 30	98.33	98.28	10 71	13 06	11 42	
	11 00	98.86	98.75	10 23	12 55	min. 15	
	11 30	99.60	99.42	9 55	11 83	0 49	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.19	8 77	11 01	1 24	
	12 30	101.38	101.02	7 92	10 11	2 3	
	1 00	102.28	101.83	7 09	9 23	2 40	
	1 30	102.96	102.45	6 46	8 57	3 17	
	2 00	103.44	102.88	6 02	8 10	3 53	
	2 30	103.82	103.22	5 67	7 73	4 28	
	3 00	104.23	103.59	5 30	7 34	5 4	
	3 30	104.48	103.82	5 06	7 09	5 39	
BM	4 00	104.63	103.95	4 94	6 96	6 10	
	4 30	104.48	103.82	5 06	7 09	6 39	
	5 00	104.04	103.42	5 47	7 52	7 2	
	5 30	103.24	102.70	6 20	8 29	7 22	
	6 00	101.83	101.43	7 50	9 67	7 36	
	6 30	100.40	100.14	8 82	11 06	7 55	
	7 00	99.12	98.99	9 99	12 30	8 18	
	7 30	98.27	98.22	10 78	13 13	8 43	
	8 00	97.91	97.90	11 10	13 47	9 10	
PM	8 21	97.78	97.78	11 22	13 60	9 31	
	9 00	97.83	97.83	11 17	13 54	10 10	
	9 30	97.85	97.84	11 16	13 53	10 40	
	10 00	97.84	97.83	11 17	13 54	11 10	
	10 30	98.02	98.00	11 00	13 37	11 41	
	11 00	98.19	98.15	10 85	13 21	midi 12	
	11 30	98.69	98.60	10 39	12 72	0 44	
	midi	99.48	99.31	9 66	11 95	1 19	
	12 30	100.35	100.09	8 86	11 11	1 54	
	1 00	101.37	101.01	7 93	10 12	2 33	
	1 30	102.22	101.78	7 14	9 29	3 10	
	2 00	102.80	102.30	6 61	8 73	3 46	
	2 30	103.31	102.76	6 14	8 23	4 22	
	3 00	103.74	103.15	5 75	7 82	4 58	
	3 30	104.14	103.51	5 38	7 43	5 34	
	4 00	104.51	103.84	5 04	7 07	6 9	
BM	4 22	104.61	103.93	4 94	6 96	6 32	
	5 00	104.44	103.78	5 10	7 13	7 9	
	5 30	103.93	103.32	5 67	7 63	7 30	
	6 00	102.85	102.35	6 56	8 67	7 47	
	6 30	101.37	101.01	7 93	10 12	8 3	
	7 00	99.97	99.75	9 21	11 47	8 22	
	7 30	98.77	98.67	10 31	12 64	8 44	
	8 00	97.92	97.91	11 09	13 46	9 10	
PM	8 37	97.53	97.55	11 45	13 84	9 46	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Mailleraye **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Mailleraye	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à la Mailleraye	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.70	11 31	13 53	9 37	
	8 30	97.71	97.72	11 29	13 51	9 47	
	9 00	97.78	97.78	11 23	13 45	10 17	
	9 30	97.86	97.85	11 16	13 38	10 47	
	10 00	98.03	98.00	11 01	13 22	11 18	
	10 30	98.33	98.27	10 74	12 94	11 50	
	11 00	98.86	98.74	10 27	12 45	min. 23	
	11 30	99.60	99.41	9 60	11 75	0 57	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.17	8 83	10 95	1 33	
	12 30	101.38	100.99	8 01	10 10	2 13	
	1 00	102.28	101.80	7 20	9 26	2 51	
	1 30	102.96	102.41	6 58	8 61	3 29	
	2 00	103.44	102.83	6 16	8 18	4 5	
	2 30	103.82	103.17	5 82	7 82	4 41	
	3 00	104.23	103.54	5 45	7 44	5 17	
	3 30	104.49	103.76	5 22	7 20	5 53	
BM	4 00	104.63	103.90	5 10	7 07	6 24	
	4 30	104.48	103.76	5 22	7 20	6 53	
	5 00	104.04	103.37	5 62	7 61	7 15	
	5 30	103.24	102.66	6 33	8 35	7 34	
	6 00	101.83	101.40	7 60	9 67	7 46	
	6 30	100.40	100.12	8 88	11 00	8 4	
	7 00	99.12	98.98	10 03	12 20	8 26	
	7 30	98.27	98.22	10 79	12 99	8 51	
	8 00	97.91	97.90	11 11	13 32	9 17	
PM	8 21	97.79	97.78	11 23	13 45	9 38	
	9 00	97.83	97.83	11 18	13 40	10 17	
	9 30	97.85	97.84	11 17	13 39	10 47	
	10 00	97.84	97.83	11 18	13 40	11 17	
	10 30	98.02	97.99	11 02	13 23	11 49	
	11 00	98.19	98.15	10 86	13 06	midi 20	
	11 30	98.69	98.59	10 42	12 61	0 52	
	midi	99.48	99.30	9 71	11 87	1 27	
	12 30	100.35	100.07	8 93	11 06	2 3	
	1 00	101.37	100.99	8 01	10 10	2 43	
	1 30	102.22	101.75	7 25	9 31	3 21	
	2 00	102.80	102.26	6 73	8 77	3 57	
	2 30	103.31	102.72	6 27	8 29	4 34	
	3 00	103.74	103.10	5 89	7 89	5 10	
	3 30	104.14	103.46	5 53	7 52	5 47	
	4 00	104.51	103.79	5 20	7 18	6 23	
BM	4 22	104.61	103.88	5 10	7 07	6 46	
	5 00	104.44	103.73	5 26	7 24	7 23	
	5 30	103.93	103.27	5 72	7 72	7 43	
	6 00	102.85	102.31	6 68	8 72	7 58	
	6 30	101.37	100.99	8 01	10 10	8 13	
	7 00	99.97	99.74	9 27	11 39	8 31	
	7 30	98.77	98.66	10 35	12 53	8 52	
	8 00	97.92	97.90	11 11	13 32	9 17	
PM	8 37	97.53	97.56	11 46	13 69	9 53	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Duclair **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Duclair	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Duclair	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.70	11 30	13 37	10 08	
	8 30	97.71	97.72	11 28	13 35	10 18	
	9 00	97.78	97.78	11 22	13 29	10 48	
	9 30	97.86	97.85	11 15	13 22	11 18	
	10 00	97.99	97.99	11 01	13 07	11 50	
	10 30	98.25	98.25	10 74	12 80	min. 22	
	11 00	98.86	98.70	10 28	12 32	0 57	
	11 30	99.60	99.33	9 63	11 66	1 34	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.06	8 89	10 90	2 11	
	12 30	101.38	100.84	8 09	10 08	2 54	
	1 00	102.28	101.61	7 30	9 27	3 36	
	1 30	102.96	102.19	6 70	8 66	4 17	
	2 00	103.44	102.60	6 29	8 24	4 55	
	2 30	103.82	102.92	5 96	7 90	5 33	
	3 00	104.23	103.27	5 60	7 53	6 12	
	3 30	104.49	103.48	5 38	7 31	6 50	
BM	4 00	104.63	103.61	5 26	7 18	7 22	
	4 30	104.48	103.48	5 38	7 31	7 50	
	5 00	104.04	103.11	5 76	7 70	8 9	
	5 30	103.24	102.43	6 46	8 41	8 23	
	6 00	101.83	101.23	7 69	9 67	8 29	
	6 30	100.40	100.01	8 94	10 95	8 42	
	7 00	99.12	98.92	10 05	12 09	9 00	
	7 30	98.27	98.20	10 79	12 85	9 23	
	8 00	97.91	97.89	11 11	13 17	9 49	
PM	8 21	97.78	97.78	11 22	13 29	10 9	
	9 00	97.83	97.82	11 18	13 25	10 48	
	9 30	97.85	97.84	11 16	13 23	11 18	
	10 00	97.84	97.83	11 17	13 24	11 48	
	10 30	98.02	97.98	11 02	13 08	midi 21	
	11 00	98.19	98.13	10 86	12 92	0 52	
	11 30	98.69	98.55	10 43	12 48	1 25	
	midi	99.48	99.23	9 74	11 76	2 2	
	12 30	100.35	99.97	8 98	10 99	2 41	
	1 00	101.37	100.84	8 09	10 08	3 24	
	1 30	102.22	101.56	7 35	9 32	4 6	
	2 00	102.80	102.05	6 85	8 81	4 44	
	2 30	103.31	102.49	6 40	8 35	5 24	
	3 00	103.74	102.85	6 03	7 97	6 2	
	3 30	104.14	103.19	5 68	7 61	6 42	
	4 00	104.51	103.51	5 35	7 27	7 20	
BM	4 22	104.61	103.59	5 26	7 18	7 44	
	5 00	104.44	103.45	5 41	7 34	8 19	
	5 30	103.93	103.01	5 86	7 80	8 36	
	6 00	102.85	102.10	6 80	8 76	8 45	
	6 30	101.37	100.84	8 09	10 08	8 54	
	7 00	99.97	99.64	9 31	11 33	9 8	
	7 30	98.77	98.62	10 36	12 41	9 26	
	8 00	97.92	97.90	11 10	13 16	9 49	
PM	8 37	97.53	97.57	11 44	13 51	10 24	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Bouille **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Bouille	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à la Bouille	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.71	11 31	13 16	10 31	
	8 30	97.71	97.72	11 29	13 14	10 41	
	9 00	97.78	97.78	11 23	13 08	11 11	
	9 30	97.86	97.85	11 16	13 01	11 41	
	10 00	98.03	97.99	11 02	12 87	min. 13	
	10 30	98.33	98.23	10 77	12 62	0 46	
	11 00	98.86	98.67	10 32	12 17	1 22	
	11 30	99.60	99.28	9 70	11 54	2 00	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	99.98	8 99	10 83	2 39	
	12 30	101.38	100.74	8 22	10 06	3 24	
	1 00	102.28	101.48	7 46	9 30	4 8	
	1 30	102.96	102.04	6 89	8 73	4 51	
	2 00	103.44	102.43	6 49	8 33	5 31	
	2 30	103.82	102.74	6 18	8 02	6 10	
	3 00	104.23	103.08	5 83	7 67	6 51	
	3 30	104.48	103.29	5 62	7 46	7 30	
BM	4 00	104.63	103.41	5 51	7 35	8 3	
	4 30	104.48	103.29	5 62	7 46	8 30	
	5 00	104.04	102.93	5 99	7 83	8 47	
	5 30	103.24	102.27	6 66	8 50	8 58	
	6 00	101.83	101.11	7 84	9 68	9 00	
	6 30	100.40	99.93	9 04	10 88	9 10	
	7 00	99.12	98.88	10 11	11 95	9 25	
	7 30	98.27	98.18	10 82	12 67	9 47	
	8 00	97.91	97.89	11 12	12 97	10 12	
PM	8 21	97.78	97.78	11 23	13 08	10 32	
	9 00	97.83	97.82	11 19	13 04	11 11	
	9 30	97.85	97.84	11 17	13 02	11 41	
	10 00	97.84	97.83	11 18	13 03	midi 11	
	10 30	98.02	97.98	11 03	12 88	0 44	
	11 00	98.19	98.12	10 88	12 73	1 15	
	11 30	98.69	98.53	10 47	12 32	1 49	
	midi	99.48	99.18	9 80	11 64	2 28	
	12 30	100.35	99.89	9 08	10 92	3 8	
	1 00	101.37	100.73	8 22	10 06	3 53	
	1 30	102.22	101.43	7 51	9 35	4 38	
	2 00	102.80	101.91	7 03	8 87	5 17	
	2 30	103.31	102.33	6 60	8 44	5 59	
	3 00	103.74	102.68	6 24	8 08	6 39	
	3 30	104.14	103.01	5 91	7 75	7 21	
	4 00	104.51	103.31	5 60	7 44	8 00	
BM	4 22	104.61	103.39	5 51	7 35	8 24	
	5 00	104.44	103.25	5 66	7 50	8 59	
	5 30	103.93	102.84	6 08	7 92	9 14	
	6 00	102.85	101.95	6 98	8 82	9 19	
	6 30	101.37	100.73	8 22	10 06	9 24	
	7 00	99.97	99.58	9 40	11 24	9 35	
	7 30	98.77	98.59	10 40	12 25	9 50	
	8 00	97.92	97.90	11 10	12 96	10 12	
PM	8 37	97.53	97.57	11 44	13 29	10 47	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Rouen **3-20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Rouen	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Rouen	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.71	11 30	12 99	10 53	
	8 30	97.71	97.72	11 29	12 98	11 3	
	9 00	97.78	97.78	11 23	12 92	11 33	
	9 30	97.86	97.84	11 16	12 85	min. 3	
	10 00	98.03	97.98	11 02	12 71	0 35	
	10 30	98.33	98.22	10 78	12 48	1 8	
	11 00	98.86	98.64	10 35	12 05	1 45	
	11 30	99.60	99.23	9 75	11 46	2 24	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	99.91	9 06	10 78	3 5	
	12 30	101.38	100.65	8 31	10 04	3 52	
	1 00	102.28	101.36	7 59	9 34	4 38	
	1 30	102.96	101.90	7 04	8 80	5 23	
	2 00	103.44	102.29	6 65	8 41	6 5	
	2 30	103.82	102.59	6 34	8 11	6 45	
	3 00	104.23	102.91	6 01	7 78	7 27	
	3 30	104.48	103.11	5 81	7 59	8 7	
BM	4 00	104.63	103.23	5 70	7 48	8 41	
	4 30	104.48	103.11	5 81	7 59	9 7	
	5 00	104.04	102.76	6 17	7 94	9 23	
	5 30	103.24	102.13	6 81	8 57	9 31	
	6 00	101.83	101.00	7 95	9 69	9 29	
	6 30	100.40	99.87	9 11	10 83	9 36	
	7 00	99.12	98 85	10 14	11 85	9 49	
	7 30	98.27	98.17	10 83	12 52	10 10	
	8 00	97.91	97.88	11 12	12 81	10 34	
PM	8 21	97.78	97.78	11 23	12 92	10 54	
	9 00	97.83	97.82	11 19	12 88	11 33	
	9 30	97.85	97.84	11 17	12 86	midi 3	
	10 00	97.84	97.83	11 18	12 87	0 33	
	10 30	98.02	97.97	11 03	12 72	1 6	
	11 00	98.19	98.11	10 89	12 58	1 37	
	11 30	98 69	98.50	10 49	12 19	2 12	
	midi	99.48	99 13	9 85	11 56	2 52	
	12 30	100.35	99.83	9 15	10 87	3 34	
	1 00	101 37	100.64	8 32	10 05	4 21	
	1 30	102.22	101.32	7 63	9 38	5 8	
	2 00	102.80	101.78	7 16	8 91	5 49	
	2 30	103.31	102.18	6 75	8 51	6 32	
	3 00	103.74	102 53	6 40	8 17	7 14	
	3 30	104.14	102.84	6 08	7 85	7 57	
	4 00	104 51	103 14	5 78	7 56	8 37	
BM	4 22	104.61	103.22	5 70	7 48	9 2	
	5 00	104.44	103.08	5 84	7 62	9 36	
	5 30	103.93	102 68	6 25	8 02	9 49	
	6 00	102.85	101 82	7 12	8 87	9 51	
	6 30	101.37	100.64	8 32	10 05	9 52	
	7 00	99.97	99.52	9 46	11 18	10 00	
	7 30	98.77	98.57	10 43	12 13	10 13	
	8 00	97.92	97.89	11 11	12 80	10 34	
PM	8 37	97.53	97.58	11 43	13 11	11 8	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Oissel **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Oissel	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Oissel	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.71	10 50	12 61	11 9	
	8 30	97.71	97.73	10 48	12 59	11 19	
	9 00	97.78	97.78	10 43	12 54	11 49	
	9 30	97.86	97.84	10 37	12 48	min. 19	
	10 00	98.03	97.96	10 24	12 34	0 51	
	10 30	98.33	98.19	9 00	12 09	1 24	
	11 00	98.86	98.58	9 60	11 68	2 2	
	11 30	99.60	99.12	9 03	11 09	2 42	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	99.76	8 37	10 41	3 24	
	12 30	101.38	100.43	7 67	9 69	4 13	
	1 00	102.28	101.10	6 98	8 98	5 00	
	1 30	102.96	101.60	6 46	8 44	5 46	
	2 00	103.44	101.95	6 09	8 06	6 29	
	2 30	103.82	102.23	5 80	7 76	7 10	
	3 00	104.23	102.53	5 49	7 44	7 53	
	3 30	104.48	102.72	5 29	7 24	8 34	
BM	4 00	104.63	102 83	5 19	7 14	9 9	
	4 30	104 48	102.72	5 29	7 24	9 34	
	5 00	104.04	102.40	5 63	7 59	9 49	
	5 30	103 24	101.81	6 24	8 22	9 55	
	6 00	101.83	100.76	7 33	9 34	9 51	
	6 30	100.40	99.71	8 42	10 47	9 55	
	7 00	99.12	98.77	9 40	11 48	10 6	
	7 30	98.27	98.14	10 05	12 15	10 26	
	8 00	97 91	97.88	10 33	12 44	10 50	
PM	8 21	97.78	97.78	10 43	12 54	11 10	
	9 00	97 83	97.82	10 39	12 50	11 49	
	9 30	97.85	97.83	10 37	12 48	midi 19	
	10 00	97.84	97.82	10 38	12 49	0 49	
	10 30	98.02	97.96	10 24	12 34	1 22	
	11 00	98.19	98.08	10 11	12 21	1 53	
	11 30	98.69	98.45	9 73	11 82	2 29	
	midi	99.48	99.03	9 13	11 20	3 10	
	12 30	100.35	99.67	8 46	10 50	3 53	
	1 00	101.37	100.43	7 68	9 70	4 41	
	1 30	102.22	101.05	7 02	9 02	5 30	
	2 00	102.80	101.48	6 58	8 57	6 12	
	2 30	103.31	101.85	6 19	8 17	6 56	
	3 00	103.74	102.17	5 86	7 83	7 39	
	3 30	104.14	102.47	5 55	7 51	8 23	
	4 00	104.51	102.74	5 27	7 22	9 4	
BM	4 22	104.61	102.81	5 19	7 14	9 30	
	5 00	104.44	102.69	5 32	7 27	10 3	
	5 30	103.93	102.31	5 71	7 67	10 15	
	6 00	102.85	101.52	6 54	8 53	10 14	
	6 30	101.37	100.43	7 67	9 69	10 13	
	7 00	99.97	99.39	8 75	10 81	10 19	
	7 30	98.77	98 51	9 67	11 75	10 30	
	8 00	97.92	97.88	10 32	12 42	10 50	
PM	8 37	97.53	97.60	10 62	12 73	11 24	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station d'Elbeuf **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Hâvre	Cotes à Elbeuf	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Elbeuf	OBSERVATIONS
	26 oct. 1880						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	97.52	8 73	11 79	11 25	
	8 30	97.71	97.54	8 71	11 76	11 35	
	9 00	97.78	97.58	8 67	11 72	min. 5	
	9 30	97.86	97.63	8 61	11 65	0 35	
	10 00	98.03	97.74	8 50	11 52	1 7	
	10 30	98.33	97.92	8 29	11 27	1 41	
	11 00	98.86	98.25	7 93	10 85	2 20	
	11 30	99.60	98.71	7 43	10 27	3 1	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	99.24	6 85	9 59	3 44	
	12 30	101.38	99.81	6 23	8 86	4 35	
	1 00	102.28	100 37	5 61	8 14	5 24	
	1 30	102.96	100.79	5 26	7 61	6 11	
	2 00	103.44	101.09	4 83	7 22	6 56	
	2 30	103.82	101.30	4 58	6 93	7 38	
	3 00	104.23	101.58	4 29	6 59	8 22	
	3 30	104.48	101.73	4 12	6 39	9 4	
BM	4 00	104.63	101.83	4 03	6 29	9 39	
	4 30	104.48	101.73	4 12	6 39	10 4	
	5 00	104.04	101.46	4 42	6 74	10 17	
	5 30	103.24	100.96	4 96	7 38	10 21	
	6 00	101.83	100.09	5 92	8 50	10 14	
	6 30	100.40	99.20	6 89	8 69	10 15	
	7 00	99.12	98.41	7 76	10 65	10 24	
	7 30	98.27	97.88	8 34	11 33	10 43	
	8 00	97.91	97.66	8 58	11 61	11 6	
PM	8 21	97.78	97.58	8 67	11 72	11 26	
	9 00	97.83	97.61	8 64	11 68	midi 5	
	9 30	97.85	97.62	8 63	11 67	0 35	
	10 00	97.84	97.62	8 63	11 67	1 5	
	10 30	98.02	97.73	8 51	11 53	1 38	
	11 00	98.19	97.83	8 39	11 39	2 10	
	11 30	98.69	98.14	8 05	10 99	2 46	
	midi	99.48	98.63	7 52	10 37	3 28	
	12 30	100.35	99.17	6 93	9 68	4 13	
	1 00	101.37	99.80	6 23	8 86	5 2	
	1 30	102.22	100.34	5 66	8 19	5 53	
	2 00	102.80	100.68	5 27	7 74	6 36	
	2 30	103.31	101.01	4 92	7 33	7 22	
	3 00	103.74	101.28	4 62	6 98	8 6	
	3 30	104.14	101.52	4 35	6 66	8 52	
	4 00	104.51	101.75	4 10	6 37	9 34	
BM	4 22	104.61	101.82	4 03	6 29	10 00	
	5 00	104.44	101.71	4 15	6 43	10 33	
	5 30	103.93	101.39	4 50	6 84	10 43	
	6 00	102.85	100.72	5 23	7 69	10 39	
	6 30	101.37	99.80	6 23	8 86	10 35	
	7 00	99.97	98.94	7 18	9 97	10 38	
	7 30	98.77	98.19	8 00	10 93	10 48	
	8 00	97.92	97.67	8 58	11 61	11 6	
PM	8 37	97.53	97.42	8 84	11 92	11 40	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Poses **3m20**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Poses	Profondeurs moyennes	Célérités	Heures de la cote à Poses	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
PM	8 20	97.69	96.95	5 65	10 04	11 56	
	8 30	97.71	96.95	5 64	10 02	min. 6	
	9 00	97.78	96.98	5 60	9 96	0 36	
	9 30	97.86	97.01	5 56	9 90	1 6	
	10 00	98.03	97.07	5 47	9 76	1 38	
	10 30	98.33	97.18	5 33	9 54	2 13	
	11 00	98.86	97.37	5 07	9 13	2 53	
	11 30	99.60	97.64	4 70	8 55	3 37	
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	97.95	4 28	7 89	4 23	
	12 30	101.38	98.28	3 84	7 20	5 18	
	1 00	102.28	98.61	3 39	6 49	6 11	
	1 30	102.96	98.86	3 05	5 96	7 3	
	2 00	103.44	99.03	2 82	5 60	7 51	
	2 30	103.82	99.17	2 64	5 32	8 36	
	3 00	104.23	99.32	2 43	4 99	9 24	
	3 30	104.48	99.41	2 31	4 80	10 8	
BM	4 00	104.63	99.46	2 24	4 69	10 45	
	4 30	104.48	99.41	2 31	4 80	11 8	
	5 00	104.04	99.25	2 52	5 13	11 17	
	5 30	103.24	98.96	2 92	5 75	11 14	
	6 00	101.83	98.45	3 61	6 84	10 59	
	6 30	100.40	97.93	4 31	7 94	10 54	
	7 00	99.12	97.47	4 94	8 93	10 59	
	7 30	98.27	97.16	5 36	9 58	11 15	
	8 00	97.91	97.03	5 54	9 87	11 37	
PM	8 21	97.78	96.98	5 60	9 96	11 57	
	9 00	97.83	97.00	5 58	9 93	midi 36	
	9 30	97.85	97.01	5 56	9 90	1 6	
	10 00	97.84	97.00	5 57	9 91	1 36	
	10 30	98.02	97.07	5 48	9 77	2 9	
	11 00	98.19	97.13	5 40	9 65	2 42	
	11 30	98.69	97.31	5 15	9 25	3 19	
	midi	99.48	97.60	4 77	8 66	4 3	
	12 30	100.35	97.91	4 34	7 98	4 51	
	1 00	101.37	98.28	3 84	8 20	5 45	
	1 30	102.22	98.59	3 42	6 54	6 40	
	2 00	102.80	98.80	3 14	6 10	7 26	
	2 30	103.31	98.99	2 88	5 69	8 16	
	3 00	103.74	99.14	2 67	5 36	9 3	
	3 30	104.14	99.28	2 48	5 06	9 53	
	4 00	104.51	99.42	2 30	4 78	10 38	
BM	4 22	104.61	99.46	2 24	4 69	11 5	
	5 00	104.44	99.40	2 32	4 81	11 37	
	5 30	103.93	99.21	2 58	5 22	11 42	
	6 00	102.85	98.81	3 11	6 05	11 30	
	6 30	101.37	98.28	3 84	7 20	11 18	
	7 00	99.97	97.77	4 53	8 28	11 15	
	7 30	98.77	97.34	5 11	9 19	11 21	
	8 00	97.92	97.03	5 53	9 85	11 37	
PM	8 37	97.53	96.89	5 72	10 15	min. 10	

Elbeuf (Flot)

TABLEAU DE CUBAGE

Croquis à joindre au tableau.

Tableau N°1.

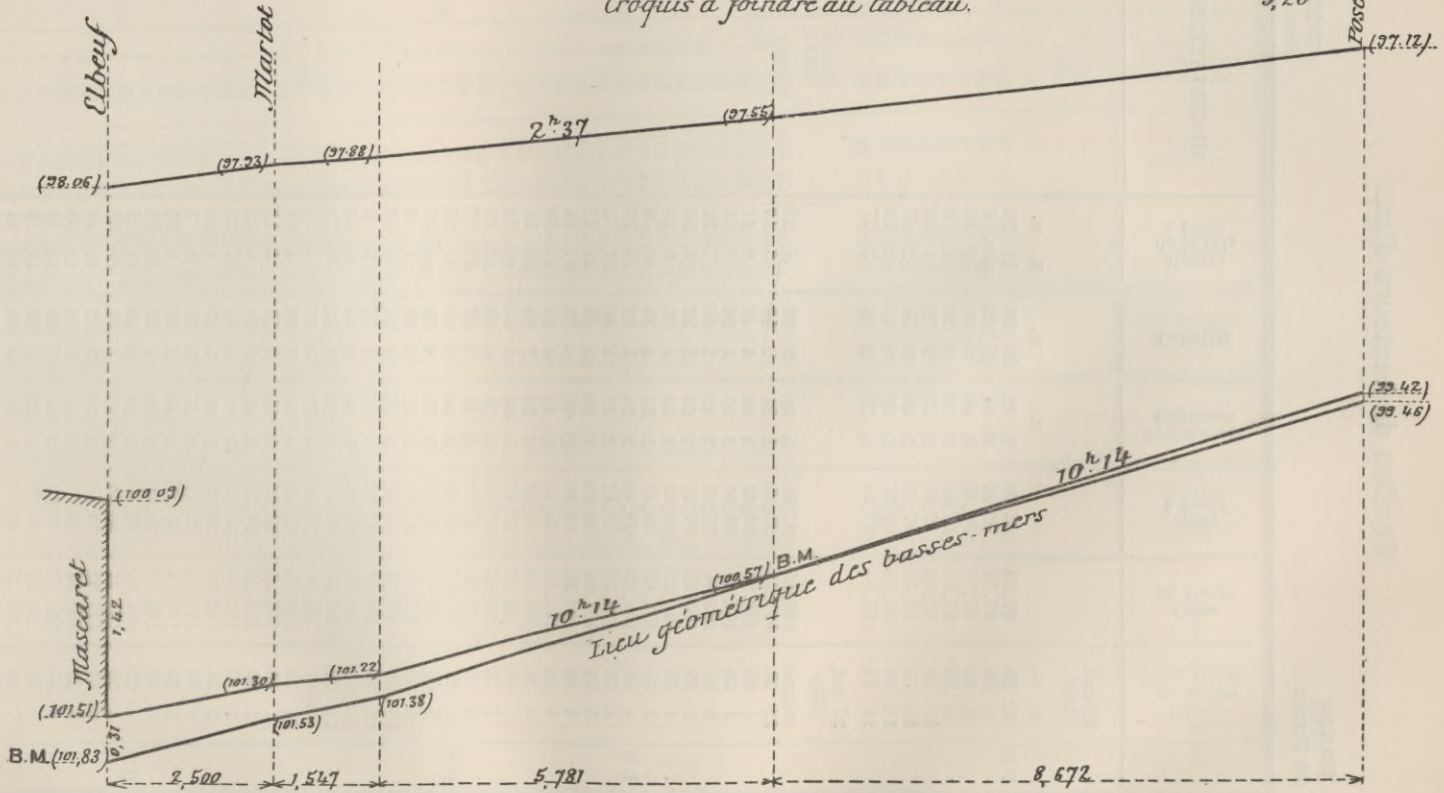


TABLEAU I
(3m20)

Elbeuf (flot)

Tableau de cubage

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 10 h.14	COTES à 2 h. 37	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Elbeuf.....							101.51	98.06	3.45				1° Etale de jusant à 10 h, 14 (100.09). Etale de flot à 2 h. 37 (98.06). 2° Etale de jusant à 10 h. 26 (101.73).
		320	2.500		800.000					3.41	2.728.000		Durée du flot 4 h. 23 (15.780s). Durée du jusant 7 h. 49 (28.140s). Durée de la marée 12 k. 12.
Martot.....							101.30	97.93	3.37				B M 9 h. 39 (101.83). P M 11 h. 26 (97.58). B M 10 h. 05 (101.82).
				1.547	293.930					3.355	986.135		Cote du fond 105.29. Débit fluvial 442 m³.
							101.22	97.88	3.34				Profondeur moyenne 5.505, $p = 3.78$, $\frac{}{2} =$ 1.725.
		190	16.000	5.781	1.093.390					3.18	3.492.880		Débit du flot par seconde 292 m³ 46. Vitesse moyenne du flot 0.166.
							100.37	97.55	3.02				Vitesse du fond 0.136.
				3.672	1.647.680					2.66	4.382.829		Le débit total du flot ne serait que de 4.615.084 Ce chiffre étant dépassé par le débit fluvial, la marée n'aurait pour effet que de ralentir le cours du fleuve et d'augmenter l'emmagasinement de l'eau entre Poses et Elbeuf d'un volume égal à celui du débit total du flot.
Poses.....							99.42	97.12	2.30		11.589.844		
							Débit fluvial.....				6.974.760		
							Débit total du flot				4.615.084		
							Par seconde.....				292.46		
							Vitesse moyenne..				0.166		Dans le cas du maintien du barrage de Martot, le cube d'eau accumulé par la marée et par le fleuve en amont d'Elbeuf et en aval de Martot ne serait que de 2.728.000 m³, l'action du flot serait moindre encore.

Elbeuf (Jusant)

TABLEAU DE CUBAGE

Croquis à joindre au tableau.

Tableau N° 1 BIS

3m,20

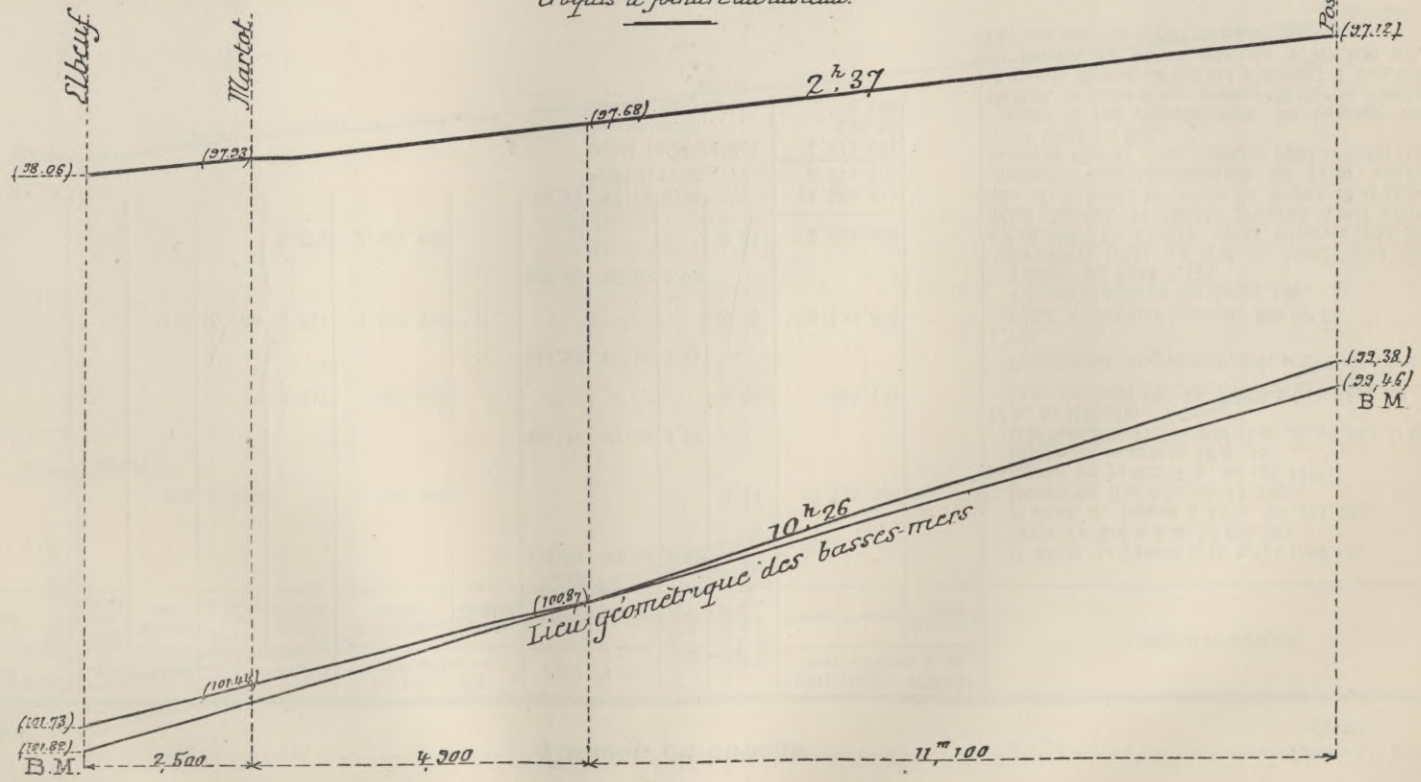


TABLEAU I *bis*

Elbeuf (jusant)

Tableau de cubage

3m20

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 2 h. 37	COTES à 10 h. 26	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Elbeuf.....							98.06	101.73	3.67				1° Etale de flot à 2 h. 37 (98.06). 2° Etale de jusant à 10 h. 26 (101.73).
		320	2.500	2.500		800.000				3 59		2.872.000	Durée du jusant 7 h. 49 m. ou 28.140 s. Débit du jusant 24.175.755 m³ ; par seconde 859.14.
Martot.....							97.93	101.44	3.51				Débit fluvial par seconde 442 m³ ; total 12.437.880.
				4.900		931.000				3.35		3.118.850	Cote du fond (105.29).
		190	16.000				97.68	100.87	3.19				Profondeur moyenne H = 5.395 ; p = 3.56 ; $\frac{y'}{2}$ = 1.835.
				11.100		2.109.000				2.725			
Poses.....							97.12	99.38	2.26			5.747.025	Vitesse moyenne du jusant 0.527 ; de fond 0.429.
												11.737.875	Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit total du jusant serait réduit à 15.309.880 ou à 544 m³ 06 par seconde, la vitesse moyenne à 0.334 et celle de fond à 0.272.
											Débit fluvial.....	12.437.880	
											Débit du jusant.....	24.175.755	
											Débit par seconde.....	859.14	
											Vitesse moyenne.....	0.527	

Oissel (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU II
3m20

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 9 h. 35	COTES à 1 h. 50	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Oissel.....							102.70	98.07	4.63				1° Etale de jusant à 9 h. 35 (102.70). Etale de flot à 1 h. 50 (98.07).
		290	11.500		3.335.000					4.34	14.473.900		2° Etale du jusant à 9 h. 55 (102.72). Durée du flot 4 h 15 (15.300 s.).
Elbeuf.....							101.82	97.77	4.05				Durée du jusant 8 h. 5 (29.100). Durée de la marée 12 h. 20.
		320	2.500		800.000					3.93	3.144.000		BM à 9 h. 9 (102 83). PM à 11 h. 10 (97.78). BM à 9 h. 30 (102.81).
Martot.....							101.48	97.67	3.81				Cote du fond 107.42. Débit fluvial 442 m³. Débit du flot 20.157.700 m³.
		190	16.000		3.040.000					3.06	9.302.400		Débit du flot par seconde 1.317 m³. Vitesse moyenne du flot 0.046.
Poses.....							99.34	97.03	2.31		26.920.300		Profondeur moyenne 7.036, $p = 4.72$; $\frac{y'}{2} = 2.315$.
									Débit fluvial.....		6.762.600		
									Débit du flot.....		20 157.700		Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du flot serait 10.855.300 m³ ; par seconde 709 m³ 5 ; la vitesse moyenne du flot 0 m. 348 et la vitesse du fond 0.285.
									Par seconde.....		1.317.50		
									Vitesse.....		0.646		

TABLEAU III

Rouen (amont) (flot) — **Tableau de cubage** — **3m20**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 9 h. 5	COTES à 1 h. 13	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (amont).							103.10	98.00	5.10				1° Etale de jusant à 9 h. 5 (103.10). Etale de flot à 1 h. 15 (98.00). 2° Etale de jusant à 9 h. 22 (103.15). Durée du flot 4 h. 8 (14.880s). Durée du jusant 8 h. 9 (29.340s). Durée de la marée 12 h. 19. BM à 8 h. 41 (103.23); PM à 10 h. 54 (97.78). BM à 9 h. 2 (103.22). Cote du fond : 109.01 Débit fluvial 442 m³. Débit du flot : 38 842.665 m³. Débit par seconde : 2 610 m³. Vitesse moyenne du flot : 1.028. Profondeur moyenne 8.46, $p = 5.91$; $\frac{y'}{2} = 2.55$. Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du flot serait 29.585.865 m³ ; par seconde : 1.988 m³ ; la vitesse moyenne du flot 0,502 et la vitesse du fond 0,415.
		300	12 000		3.600.000					5.00	18.000.000		
Oissel.....							102.82	97.92	4.90				
		290	11.500		3.335.000					4.495	14.990.825		
Elbeuf.....							101.74	97.65	4.09				
		320	2.500		800.000					3.965	3.172.000		
Martot.....							101.40	97.56	3.84				
		190	16.000		3.040.000					3.045	9.256.800		
Poses.....							99.26	97.01	2.25				
											45.419.625		
								Débit fluvial.....			6.576.960		
								Débit du flot.....			38.842.665		
								Par seconde.....			2.610.41		
								Vitesse.....			1.028		

TABLEAU III *bis*

3m20

Tableau de cubage

Rouen (amont) (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicable	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 13	COTES à 9 h. 22	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (amont).							98.00	103.15	5.15				1° Etale de flot à 1 h. 13 (98,00). 2° Etale de jusant 9 h. 22 soir (103.15). Durée du jusant 8 h. 9 ou 29.340s. P M à 10 h. 54 (97.78). B M à 9 h. 2 (100.22). Débit du jusant 59.136.086. Débit par seconde 2.015.54. Cote du fond 109.01 ; débit fluvial 442 m³ par seconde. Vitesse moyenne du jusant 0,797 ; au fond 0,654. Profondeur moyenne 8.435, $p = 5{,}86$, $\frac{y}{2} = 2.575$. A 9 h. 22, la mer est basse à 8.568 en amont de Rouen (amont) et à la cote 102.92. Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit du jusant serait de 50.076.886 ou de 1.704 m³ 43 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.673 et la vitesse de fond de 0.820.
				8.568		2.570.400				5.08		13.057.632	
		300	12.000				97.91	102.92	5.01				
				3.432		1.029.600				4.94		5.086.224	
Oissel.....							97.92	102.79	4.87				
		290	11.500	11.500		3.335.000				4.45		15.840.750	
Elbeuf....							97.65	101.68	4.03				
		320	2.500	2.500		800.000				3.905		3.124.000	
Martot.....							97.56	101.34	3.78				
		190	16.000	16.000		3.040.000				2.98		9.059.200	
Poses.....							97.01	99.19	2.18				
												46.167.806	
							Débit fluvial.....					12.968.280	
							Débit total du jusant..					59.136.086	

TABLEAU IV

Rouen (aval) (flot) — **Tableau de cubage** — **3m20**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 9 h. 1	COTES à 1 h. 8	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (aval)...							103.00	97.98	5.02				1° Etale de jusant à 9 h. 1 (103.00). Etale de flot à 1 h. 8 (97.98).
		300	2.500		750.000					5.09	3.817.500		2° Etale de jusant à 9 h. 18 (103.02). Durée du flot 4 h. 7 (14.820s).
Rouen (amont).							103.14	97.98	5.16				Durée du jusant 8 h. 10 (29.400). Durée de la marée 12 h. 17.
		300	12.000		3.600.000					5.035	18.126.000		B M à 8 h. 35 (103.26) ; P M à 10 h. 51 (97.98).
Oissel.....							102.31	97.90	4.91				2e B M à 9 h. (103.22). Cote du fond (109.01). Débit fluvial 442 m³.
		290	11.500		3.335.000					4.50	15.007.500		Débit du flot 42.814.160 m³. Débit par seconde 2.889 m³.
Elbeuf.....							101.72	97.63	4.09				Vitesse moyenne du flot 1.130. Vitesse du fond 0.928.
		320	2.500		800.000					3.965	3.172.000		Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du flot serait de 33 millions 572.560 m³ ; par seconde 2.265 m³ ; la vitesse moyenne du flot 0.886 et la vitesse du fond 0.727.
Martot.....							101.39	97.55	3.84				
		190	16.000		3.040.000					3.04	9.241.600		
Poses.....							99.25	97.01	2.24				Profondeur moyenne 8.52 ; $p = 6.01$; $\frac{y'}{2} = 2.51$.
											49.364.600		
							Débit fluvial.....				6.550.440		
							Débit du flot.....				42.814.160		
							Débit par seconde....				2.889		
							Vitesse moy. du flot.				1.13		
							Vitesse de fond.....				0.928		

TABLEAU IV *bis*

Rouen (aval) (jusant) **3m20**

Tableau de cubage

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 8	COTES à 9 h. 18	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (aval)...							97.98	103.02	5.04				Etale de flot à 1 h. 8 du soir (97.98). 2e Etale de jusant à 9 h. 18 du soir (103.02). Durée du jusant 8 h. 10 ou 29.400s. PM à 10 h. 51 (97.78) : BM à 9 h. (103.22). A 9 h. 18 la basse-mer serait à 9.357 m. en amont de Rouen (aval) et à 6.857 m. en amont de Rouen (amont). Cote du fond (109.01). Débit fluvial 442 m³ par seconde ; débit total 12.994.800 m³. Profondeur moyenne 8.51 ; $p = 5.99$; $\frac{y'}{2} = 2.52$. Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit du jusant serait de 53.452.076 m³ ou de 1.824 m³ 3 par seconde, La vitesse moyenne serait de 0.567 et la vitesse de fond de 0.466.
		300	2.500			750.000				5.105		3.828.750	
Rouen (amont).							97.98	103.15	5.17				
		300		6.857		2.057.100				5.165		10.624.921 5	
			12.000				97.95	103.11	5.16				
		300		5.143		1.542.900				5.02		8.022.180	
Oissel							97.90	102.78	4.88				
		290	11.500			3.335.000				4.455		14 857.425	
Elbeuf.....							97.63	101.66	4.03				
		320	2.500			800.000				3.905		3.124.000	
Martot.....							97.55	101.33	3.78				
		190	16.000			3.044.600				2.975		9.055.900	
Poses.....							97.01	99.18	2.17				
												49.513.176.5	
									Débit fluvial.....			12.994.800	
									Débit du jusant....			62.507.976	
									— par seconde.			2.126.12	
									Vitesse moyenne...			0.833	

La Bouille (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU V
3m20

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 8 h. 40	COTES à 0 h. 40	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
La Bouille.....							103.08	97.96	5.12			
		300	14.500		4.350.000					5.23	22.750.500	
Rouen (aval)...							103.21	97.87	5.34			
		300	2.500		750.000					5.355	4.016.250	
Rouen (amont).							103.23	97.86	5.37			
		300	12.000		3.600.000					5.145	18.522.000	
Oissel.....							102.74	97.82	4.92			
		490	11.500		3.335.000					4.47	14.907.450	
Elbeuf.....							101.64	97.62	4.02			
		320	2.500		800.000					3.895	3.116.000	
Martot.....							101.31	97.54	3.77			
		190	16.000		3.040.000					2.975	63.312.200	
Poses.....							99.18	97.00	2.18		9.044.000	
											72.356.200	
Débit fluvial.....											6.364.800	
Débit du flot.....											65.991.400	
Par seconde.....											4.583	
Vitesse moyenne.....											1.801	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 8 h. 40 m. (103.08).
Etale de flot à midi 40 (97.96).
2° Etale de jusant à 8 h. 53 s. (103.27).
Durée du flot 4 h. 0 (14.400 s.).
» » jusant 8 h. 13 (29.580 s.).
» de la marée 12 h. 13
B. M. à 8 h. 3 (103.41) ; P. M. à 10 h. 32 (97.98).
B. M. à 8 h. 24 (103.39). Cote du fond (109.01).
Débit fluvial 442 m³ par seconde.

Profondeur moyenne 8.49 ; $p = 5.93$; $\frac{y'}{2} = 2.56$.
Débit du flot 65.991.400 m³.
— par seconde 4.583 m³.
Vitesse moyenne du flot 1.801.
Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du flot serait 56.947.400 m³ ou de 3.955 m³ par seconde, et la vitesse moyenne du flot de 1.550.

PROFONDEURS DE 10 MÈTRES 50

Feuilles de hauteurs d'eau

Ces feuilles sont encore au nombre de 12 comme celles avec 3 m. 20; elles sont reproduites de la page 198 à la page 209.

Tableaux de cubage pour les profondeurs de (10 m. 50)

Les tableaux de cubage ont été étudiés en supposant que des dragages ou l'action des marées donnent à la Seine, à partir de l'entrée amont du port de Rouen, une largeur de 300 mètres, à peu près égale à celle qu'elle a, sauf à Rouen même. Cette largeur lui serait conservée jusqu'à La Bouille, où la vitesse moyenne du flot, augmentant progressivement de l'amont à l'aval, serait près d'atteindre un mètre. Les largeurs seraient déterminées au-dessous de ce point de manière à conserver cette même vitesse de 1 m. 00 avec des profondeurs moyennes de 10 m. 50 dont il s'agit.

L'étude de ces tableaux a fait voir que le mouvement des eaux établirait les profondeurs voulues partout où la nature du sol n'exigerait pas de dragues, et conserverait, dans ce cas, leurs résultats lorsqu'ils auraient été obtenus. La profondeur de 10 m. 50 serait maintenue par les courants à l'entrée amont du port de Rouen et en aval, même en temps d'étiage. Il en serait de même si l'on conservait le barrage de Martot qui réduit de plus de huit millions de mètres cubes en vive eau le volume d'eau introduit en amont de Rouen.

Les largeurs de 300 mètres ou la section de la Seine devraient être accrus en aval de La Bouille, jusqu'à la mer. Ces largeurs atteindraient 2.494 mètres dans le méridien du Havre si la masse totale des eaux était maintenue entre deux digues jusqu'à ce point, et le débit du jusant y serait en vive eau de 28.017 m. par seconde; si l'on maintenait le barrage de Martot, il ne serait

réduit que d'environ 260 mètres, et sa vitesse moyenne serait encore de 0 m. 77 par seconde.

Ces tableaux permettent enfin de calculer les quantités dont il faudrait réduire les largeurs de la Seine si l'on en dérivait une quantité d'eau donnée. Pour en diriger 500 mètres cubes par seconde dans la partie de l'estuaire situé au Nord de la digue droite et à partir de la Risle, cette réduction de largeur ne serait que de 50 mètres. Mais les digues devraient être construites en vue d'une réduction fixe et définitive du volume d'eau du chenal de la Seine pour ne pas avoir, au delà de la Risle, une diminution de vitesse ou de profondeur pouvant être nuisible à la navigation du fleuve et aux intérêts de Rouen et de la marine militaire.

Feuilles de hauteurs d'eau

Les feuilles de hauteurs d'eau sont au nombre de 12, comme celles avec profondeurs de (3,20) ; ce sont celles qui suivent :

Le Havre et Honfleur, page 198.
La Risle, page 199.
Tancarville, page 200.
Quillebeuf, page 201.
Caudebec, page 202.
La Mailleraye, page 203.
Duclair, page 204.
La Bouille, page 205.
Rouen (amont), page 206.
Oissel, page 207.
Elbeuf, page 208.
Poses, page 209.

Tableaux de cubage

Les tableaux de cubage sont au nombre de 19. Des tableaux ont été dressés pour le jusant à la Risle, à Honfleur et au Havre pour l'étude des diverses solutions à comparer pour l'estuaire. Les tableaux sont ceux qui suivent :

N° 1 Elbeuf (flot), page 210.
« 2 Oissel (flot), page 211.
« 3 Rouen (amont) (flot), page 213.
« 4 Rouen (aval) (flot), page 215.
« 5 La Bouille (flot), page 217.
« 6 Duclair (flot), page 218.
« 7 La Mailleray (flot), page 219.
« 8 Caudebec (flot), page 220.
« 9 Quillebeuf (flot), page 221.
« 10 Tancarville (flot), page 222.
« 11 La Risle (flot), page 223.
« 12 Honfleur (flot), page 225.
« 13 Le Havre (flot), page 227.
N° 2 *bis* Oissel (jusant), page 212.
« 3 *bis* Rouen (amont) (jusant), page 214.
« 4 *bis* Rouen (aval) (jusant), page 216.
« 11 *bis* La Risle (jusant), page 224.
« 12 *bis* Honfleur (jusant), page 226.
« 13 *bis* Le Havre (jusant), page 228.

Feuilles de hauteurs d'eau

Station du Havre et de Honfleur **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Honfleur	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Honfleur	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.82	16 81	14 5	11 12	
	11 30	99.60	99.54	16 08	13 9	11 42	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.38	15 23	13 3	min. 12	Entre le Havre et Honfleur
	12 30	101.38	101.27	14 32	12 7	12 43	
	1 00	102.28	102.11	13 45	12 1	1 14	
	1 30	102.96	102.78	12 78	11 6	1 44	H = 11.09
	2 00	103.44	103.28	12 29	11 3	2 15	
	2 30	103.82	103.70	11 89	11 0	2 45	P = H + h
	3 00	104.23	104.08	11 49	10 7	3 16	
	3 30	104.49	104.35	11 23	10 5	3 46	
BM	4 00	104.63	104.50	11 09	10 4	4 16	
	4 30	104.48	104.35	11 23	10 5	4 46	
	5 00	104.04	103.92	11 67	10 8	5 15	
	5 30	103.24	103.14	12 46	11 4	5 45	
	6 00	101.83	101.75	13 86	12 3	6 14	
	6 30	100.40	100.35	15 27	13 3	6 43	
	7 00	99.12	99.09	16 54	14 2	7 12	
	7 30	98.27	98.26	17 38	14 8	7 41	
	8 00	97.91	97.91	17 74	15 1	8 11	
PM	8 21	97.70	97.78	17 87	15 2	8 32	
	9 00	97.83	97.83	17 82	15 1	9 11	
	9 30	97.85	97.85	17 80	15 2	9 41	
	10 00	97.84	97.84	17 81	15 1	10 11	
	10 30	98.02	98.02	17 63	15 1	10 41	
	11 00	98.19	98.18	17 46	14 9	11 11	
	11 30	98.69	98.67	16 97	14 6	11 41	
	midi	99.48	99.45	16 18	14 0	midi 12	
	12 30	100.35	100.30	15 32	13 5	12 42	
	1 00	101.37	101.30	14 31	13 0	1 13	
	1 30	102.22	102 14	13 47	12 1	1 44	
	2 00	102.80	102.70	12 90	11 6	2 14	
	2 30	103.31	103.20	12 39	11 4	2 45	
	3 00	103.74	103.63	11 96	11 1	3 15	
	3 30	104.14	104.02	11 57	10 8	3 45	
	4 00	104.51	104.38	11 20	10 5	4 16	
BM	4 22	104.61	104.48	11 09	10 4	4 38	
	5 00	104.44	104.31	11 27	10 6	5 16	
	5 30	103.93	103.81	11 78	10 9	5 45	
	6 00	102.85	102.75	12 85	11 7	6 14	
	6 30	101.37	101.30	14 31	12 7	6 43	
	7 00	99.97	99.93	15 70	13 7	7 12	
	7 30	98.77	98.77	16 88	14 5	7 41	
	8 00	97.92	97.92	17 73	15 1	8 11	
PM	8 37	97.53	97.63	18 07	15 4	8 48	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Risle **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Risle	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à la Risle	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.81	16 80	14 4	11 26	
	11 30	99.60	99.52	16 09	13 9	11 56	$\omega = \sqrt{gh}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.35	15 25	13 3	min. 27	Entre Honfleur et la Risle
	12 30	101.38	101.23	14 37	12 7	12 59	
	1 00	102.28	102.02	13 55	12 1	1 30	H = 11.19
	1 30	102.96	102.69	12 88	11 6	2 1	
	2 00	103.44	103.18	12 39	11 3	2 33	
	2 30	103.82	103.58	11 98	11 0	3 3	
	3 00	104.23	103.96	11 59	10 7	3 35	
	3 30	104.49	104.23	11 33	10 6	4 5	
BM	4 00	104.63	104.37	11 19	10 5	4 35	
	4 30	104.48	104.23	11 33	10 6	5 5	
	5 00	104.04	103 80	11 76	10 8	5 34	
	5 30	103.24	103.03	12 53	11 4	6 3	
	6 00	101.83	101.68	13 90	12 4	6 30	
	6 30	100.40	100.30	15 29	13 2	6 58	
	7 00	99.12	99.07	16 54	14 2	7 26	
	7 30	98.27	98.25	17 36	14 8	7 55	
	8 00	97.91	97.90	17 71	15 0	8 24	
PM	8 21	97.79	97.78	17 84	15 1	8 45	
	9 00	97.83	97.83	17 79	15 1	9 24	
	9 30	97.85	97.85	17 77	15 1	9 54	
	10 00	97 84	97.84	17 78	15 1	10 24	
	10 30	98.02	98.01	17 60	15 0	10 54	
	11 00	98.19	98.17	17 44	14 8	11 25	
	11 30	98.69	98.66	16 95	14 5	11 55	
	midi	99.48	99.42	16 18	14 0	midi 26	
	12 30	100.35	100.25	15 34	13 5	12 57	
	1 00	101.37	101.23	14 35	12 9	1 28	
	1 30	102.22	102.05	13 52	12 2	2 00	
	2 00	102.80	102.61	12 96	11 6	2 31	
	2 30	103.31	103.10	12 47	11 4	3 3	
	3 00	103.74	103.51	12 05	11 1	3 33	
	3 30	104.14	103.90	11 66	10 8	4 4	
	4 00	104.51	104.25	11 30	10 6	4 35	
BM	4 22	104.61	104.35	11 19	10 5	4 57	
	5 00	104.44	104.19	11 37	10 6	5 35	
	5 30	103.93	103.70	11 86	10 9	6 3	
	6 00	102.85	102.66	12 91	11 7	6 31	
	6 30	101.37	101.23	14 35	12 7	6 59	
	7 00	99.97	99.89	15 71	13 7	7 27	
	7 30	98.77	98 75	16 86	14 4	7 55	
	8 00	97.92	97.91	17 70	15 0	8 23	
PM	8 37	97.53	97.63	17 99	15 2	9 1	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Tancarville **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Tancarville	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à Tancarville	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.79	16 78	14 4	11 35	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 30	99.60	99.49	16 08	13 9	min. 6	
	27 oct. 1890						Entre la Risle et Tancarville
	minuit	100.46	100.30	15 26	13 3	0 37	
	12 30	101.38	101.17	14 38	12 7	1 9	H = 11.27
	1 00	102.28	101.96	13 59	12 1	1 41	
	1 30	102.96	102.61	12 93	11 7	2 12	
	2 00	103.44	103.09	12 45	11 3	2 45	
	2 30	103.82	103.49	12 05	11 1	3 15	
	3 00	104.23	103.86	11 67	10 8	3 47	
	3 30	104.49	104.12	11 40	10 6	4 18	
BM	4 00	104.63	104.27	11 27	10 5	4 48	
	4 30	104.48	104.12	11 40	10 6	5 18	
	5 00	104.04	103.71	11 82	10 8	5 46	
	5 30	103.24	102.95	12 59	11 4	6 15	
	6 00	101.83	101.62	13 93	12 3	6 41	
	6 30	100.40	100.26	15 30	13 2	7 8	
	7 00	99.12	99.05	16 52	14 2	7 35	
	7 30	98.27	98.24	17 33	14 7	8 4	
	8 00	97.91	97.90	17 68	15 0	8 33	
PM	8 21	97.79	97.78	17 80	15 1	8 54	
	9 00	97.83	97.83	17 75	15 1	9 33	
	9 30	97.85	97.85	17 73	15 0	10 3	
	10 00	97.84	97.84	17 74	15 0	10 33	
	10 30	98.02	98.01	17 57	15 0	11 3	
	11 00	98.19	98.17	17 41	14 8	11 34	
	11 30	98.69	98.64	16 93	14 5	midi 4	
	midi	99.48	99.39	16 17	13 9	0 36	
	12 30	100.35	100.21	15 35	13 5	1 7	
	1 00	101.37	101.18	14 37	12 9	1 38	
	1 30	102.22	101.98	13 56	12 2	2 11	
	2 00	102.80	102.53	13 01	11 7	2 42	
	2 30	103.31	103.02	12 52	11 4	3 15	
	3 00	103.74	103.42	12 11	11 1	3 45	
	3 30	104.14	103.80	11 73	10 8	4 16	
	4 00	104.51	104.15	11 38	10 6	4 48	
BM	4 22	104.61	104.25	11 27	10 5	5 10	
	5 00	104.44	104.09	11 44	10 7	5 47	
	5 30	103.93	103.60	11 93	11 0	6 15	
	6 00	102.85	102.58	12 96	11 7	6 42	
	6 30	101.37	101.18	14 38	12 7	7 9	
	7 00	99.97	99.85	15 71	13 6	7 37	
	7 30	98.77	98.74	16 84	14 4	8 4	
	8 00	97.92	97.91	17 67	15 0	8 32	
PM	8 37	97.53	97.63	17 95	15 2	9 10	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Quillebeuf **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Quillebeuf	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à Quillebeuf	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.78	16 77	14 3	11 42	
	11 30	99.60	99.47	16 08	13 8	min. 13	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						Entre Tancarville et Quillebeuf
	minuit	100.46	100.27	15 27	13 3	0 45	
	12 30	101.38	101.13	14 41	12 7	1 17	H = 11.33
	1 00	102.28	101.91	13 62	12 1	1 49	
	1 30	102.96	102.56	12 97	11 7	2 21	
	2 00	103.44	103.04	12 49	11 4	2 54	
	2 30	103.82	103.43	12 10	11 1	3 24	
	3 00	104.23	103.80	11 73	10 8	3 56	
	3 30	104.49	104.06	11 46	10 6	4 27	
BM	4 00	104.63	104.20	11 33	10 5	4 57	
	4 30	104.48	104.06	11 46	10 6	5 27	
	5 00	104.04	103.65	11 87	10 8	5 55	
	5 30	103.24	102.90	12 63	11 4	6 24	
	6 00	101.83	101.57	13 96	12 3	6 49	
	6 30	100.40	100.23	15 31	13 2	7 16	
	7 00	99.12	99.04	16 51	14 1	7 42	
	7 30	98.27	98.24	17 31	14 7	8 11	
	8 00	97.91	97.90	17 65	14 9	8 40	
PM	8 21	97.79	97.78	17 77	15 1	9 1	
	9 00	97.83	97.83	17 72	15 0	9 40	
	9 30	97.85	97.85	17 70	15 0	10 10	
	10 00	97.84	97.84	17 71	15 0	10 40	
	10 30	98.02	98.00	17 55	14 9	11 10	
	11 00	98.19	98.16	17 39	14 7	11 41	
	11 30	98.69	98.63	16 92	14 4	midi 11	
	midi	99.48	99.37	16 17	13 9	0 43	
	12 30	100.35	100.19	15 35	13 5	1 14	
	1 00	101.37	101.14	14 39	12 9	1 46	
	1 30	102.22	101.94	13 59	12 2	2 19	
	2 00	102.80	102.48	13 05	11 7	2 51	
	2 30	103.31	102.96	12 56	11 4	3 24	
	3 00	103.74	103.36	12 16	11 1	3 54	
	3 30	104.14	103.74	11 78	10 8	4 25	
	4 00	104.51	104.09	11 43	10 6	4 57	
BM	4 22	104 61	104.18	11 33	10 5	5 19	
	5 00	104.44	104.02	11 50	10 7	5 56	
	5 30	103.93	103.54	11 98	11 0	6 24	
	6 00	102.85	102.53	13 00	11 7	6 51	
	6 30	101.37	101.14	14 40	12 7	7 17	
	7 00	99.97	99.83	15 72	13 6	7 44	
	7 30	98.77	98.73	16 82	14 4	8 11	
	8 00	97.92	97.91	17 65	14 9	8 39	
PM	8 37	97.53	97.63	17 93	15 1	9 17	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Caudebec **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Caudebec	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à Caudebec	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.73	16 75	14 3	min. 9	
	11 30	99.60	99.39	16 08	13 8	0 41	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						
	minuit	100.46	100.16	15 29	13 2	1 14	Entre Quillebeuf et Caudebec
	12 30	101.38	100.97	14 46	12 7	1 47	
	1 00	102.28	101.75	13 68	12 1	2 21	H = 11.44
	1 30	102.96	102.38	13 04	11 7	2 54	
	2 00	103.44	102.83	12 57	11 4	3 28	
	2 30	103.82	103.21	12 19	11 1	3 58	
	3 00	104.23	103.56	11 83	10 9	4 31	
	3 30	104.49	103.82	11 56	10 7	5 3	
BM	4 00	104.63	103 95	11 44	10 6	5 33	
	4 30	104.48	103.82	11 56	10 7	6 3	
	5 00	104.04	103.42	11 97	10 9	6 27	
	5 30	103.24	102.70	12 71	11 4	6 57	
	6 00	101.83	101.43	14 01	12 3	7 20	
	6 30	100.40	100.14	15 32	13 2	7 45	
	7 00	99.12	98.99	16 49	14 1	8 9	
	7 30	98.27	98.22	17 28	14 6	8 37	
	8 00	97.91	97.90	17 61	14 9	9 6	
PM	8 21	97.79	97.78	17 73	15 0	9 27	
	9 00	97.83	97.83	17 68	15 0	10 6	
	9 30	97.85	97 84	17 66	15 0	10 36	
	10 00	97.84	97.83	17 67	15 0	11 6	
	10 30	98.02	98.00	17 51	14 9	11 36	
	11 00	98.19	98.15	17 35	14 7	midi 8	
	11 30	98.69	98.60	16 89	14 4	0 39	
	midi	99.48	99.31	16 17	13 9	1 12	
	12 30	100.35	100.10	15 36	13 4	1 44	
	1 00	101.37	101.01	14 43	12 9	2 17	
	1 30	102.22	101.78	13 65	12 2	2 52	
	2 00	102.80	102.30	13 12	11 7	3 24	
	2 30	103.31	102.76	12 65	11 4	3 58	
	3 00	103.74	103.14	12 26	11 2	4 26	
	3 30	104.14	103.51	11 88	10 9	5 1	
	4 00	104.51	103.84	11 54	10 7	5 33	
BM	4 22	104.61	103.93	11 44	10 6	5 55	
	5 00	104.44	103.78	11 60	10 7	6 32	
	5 30	103.93	103.32	12 08	11 0	6 59	
	6 00	102.85	102.35	13 07	11 7	7 24	
	6 30	101.37	101.01	14 43	12 7	7 47	
	7 00	99.97	99.95	15 72	13 6	8 12	
	7 30	98.77	98.67	16 80	14 3	8 38	
	8 00	97.92	97.91	17 60	14 9	9 5	
	8 37	97.53	97.63	17 88	15 1	9 42	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Mailleraye **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Mailleraye	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à la Mailleraye	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.72	16 71	14 2	min. 16	
	11 30	99.60	99.37	16 05	13 8	0 49	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{34}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						entre Caudebec et la Mailleraye
	minuit	100.46	100.14	15 28	13 2	1 22	
	12 30	101.38	100.93	14 48	13 7	1 55	H = 11.52
	1 00	102.28	101.71	13 70	12 1	2 29	
	1 30	102.96	102.33	13 08	11 7	3 3	
	2 00	103.44	102.78	12 63	11 4	3 37	
	2 30	103.82	103.15	12 25	11 1	4 7	
	3 00	104.23	103.50	11 90	10 9	4 40	
	3 30	104.49	103.75	11 64	10 7	5 12	
BM	4 00	104.63	103.89	11 52	10 6	5 42	
	4 30	104.48	103.75	11 64	10 7	6 12	
	5 00	104.04	103.36	12 04	11 0	6 35	
	5 30	103.24	102.65	12 76	11 5	7 6	
	6 00	101.83	101.39	14 02	12 4	7 28	
	6 30	100.40	100.11	15 31	13 2	7 53	
	7 00	99.12	98.98	16 45	14 0	8 16	
	7 30	98.27	98.22	17 21	14 6	8 44	
	8 00	97.91	97.90	17 53	14 8	9 13	
PM	8 21	97.79	97.78	17 65	14 9	9 34	
	9 00	97.83	97.83	17 60	14 9	10 13	
	9 30	97.85	97.84	17 59	14 8	10 43	
	10 00	97.84	97.83	17 60	14 9	11 13	
	10 30	98.02	98.00	17 43	14 7	11 43	
	11 00	98.19	98.15	17 28	14 6	midi 13	
	11 30	98.69	98.59	16 84	14 3	0 46	
	midi	99.48	99.29	16 13	13 8	1 19	
	12 30	100.35	100.07	15 35	13 3	1 51	
	1 00	101.37	100.98	14 44	12 7	2 25	
	1 30	102.22	101.74	13 67	12 1	3 00	
	2 00	102.80	102.25	13 16	11 8	3 32	
	2 30	103.31	102.71	12 70	11 5	4 7	
	3 00	103.74	103.08	12 32	11 2	4 35	
	3 30	104.14	103.45	11 95	10 9	5 10	
	4 00	104.51	103.78	11 62	10 7	5 42	
BM	4 22	104.61	103.88	11 52	10 6	6 4	
	5 00	104.44	103.72	11 68	10 7	6 41	
	5 30	103.93	103.26	12 14	11 1	7 6	
	6 00	102.85	102.30	13 11	11 7	7 33	
	6 30	101.37	100.98	14 44	12 7	7 55	
	7 00	99.97	99.73	15 69	13 5	8 19	
	7 30	98.77	98.68	16 75	14 2	8 45	
	8 00	97.92	97.91	17 52	14 8	9 12	
PM	8 37	97.53	97.63	17 80	15 0	9 49	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Duclair **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Duclair	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à Duclair	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.67	16 71	14 2	min. 45	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 30	99.60	99.29	16 02	13 7	1 19	
	27 oct. 1890						entre Caudebec et Duclair
	minuit	100.46	100.06	15 30	13 2	1 53	
	12 30	101.38	100.77	14 54	12 7	2 28	$\omega = 11.64$
	1 00	102.28	101.53	13 77	12 1	3 4	
	1 30	102.96	102.12	13 16	11 7	3 38	
	2 00	103.44	102.55	12 72	11 4	4 13	
	2 30	103.82	102.91	12 35	11 2	4 44	
	3 00	104.23	103.24	12 01	10 9	5 18	
	3 30	104.49	103.48	11 76	10 8	5 50	
BM	4 00	104.63	103.61	11 64	10 7	6 21	
	4 30	104.48	103.48	11 76	10 8	6 50	
	5 00	104.04	103.11	12 17	11 0	7 14	
	5 30	103.24	102.43	12 91	11 5	7 42	
	6 00	101.83	101.23	14 21	12 3	8 2	
	6 30	100.40	100.01	15 52	13 2	8 24	
	7 00	99.12	98.92	16 69	14 0	8 46	
	7 30	98.27	98.20	17 48	14 5	9 13	
	8 00	97.91	97.89	17 81	14 7	9 41	
PM	8 21	97.79	97.79	17 93	14 8	10 2	
	9 00	97.83	97.82	17 88	14 8	10 41	
	9 30	97.85	97.84	17 86	14 7	11 11	
	10 00	97.84	97.83	17 87	14 7	11 41	
	10 30	98.02	97.98	17 71	14 7	midi 11	
	11 00	98.19	98.13	17 55	14 5	0 44	
	11 30	98.69	98.55	17 09	14 3	1 15	
	midi	99.48	99.23	16 37	13 8	1 50	
	12 30	100.35	99.97	15 56	13 4	2 23	
	1 00	101.37	100.84	14 63	12 9	2 57	
	1 30	102.22	101.56	13 85	12 2	3 34	
	2 00	102.80	102.05	13 32	11 7	4 8	
	2 30	103.31	102.49	12 85	11 5	4 43	
	3 00	103.74	102.85	12 46	11 2	5 12	
	3 30	104.14	103.19	12 08	11 0	5 48	
	4 00	104.51	103.51	11 74	10 8	6 20	
BM	4 22	104.61	103.59	11 64	10 7	6 43	
	5 00	104.44	103.45	11 80	10 8	7 19	
	5 30	103.93	103.01	12 28	11 1	7 46	
	6 00	102.85	102.09	13 19	11 8	8 8	
	6 30	101.37	100.84	14 49	12 6	8 28	
	7 00	99.97	99.64	15 72	13 5	8 50	
	7 30	98.77	98.64	16 75	14 2	9 14	
	8 00	97.92	97.90	17 51	14 7	9 40	
PM	8 37	97.53	97.63	17 78	14 9	10 17	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de la Bouille **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à la Bouille	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à la Bouille	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.63	16 66	14 1	1 6	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 30	99.60	99.23	16 05	13 7	1 41	
	27 oct. 1890						Entre Duclair et la Bouille
	minuit	100.46	99.92	15 32	13 2	2 16	
	12 30	101.38	100.66	14 60	12 7	2 52	H = 11.81
	1 00	102.28	101.41	13 84	12 1	3 29	
	1 30	102.96	101.97	13 27	11 8	4 3	
	2 00	103.44	102.39	12 84	11 5	4 39	
	2 30	103.82	102.74	12 49	11 2	5 11	
	3 00	104.23	103.06	12 16	11 0	5 45	
	3 30	104.49	103.29	11 92	10 8	6 18	
BM	4 00	104.63	103.41	11 81	10 8	6 49	
	4 30	104.48	103.29	11 92	10 8	7 18	
	5 00	104.04	102.93	12 29	11 0	7 41	
	5 30	103.24	102.27	12 96	11 5	8 8	
	6 00	101.83	101.11	14 14	12 3	8 26	
	6 30	100.40	99.93	15 34	13 1	8 47	
	7 00	99.12	98.88	16 41	13 9	9 8	
	7 30	98.27	98.18	17 12	14 4	9 34	
	8 00	97.91	97.89	17 42	14 6	10 2	
PM	8 21	97.79	97.78	17 53	14 7	10 22	
	9 00	97.83	97.82	17 49	14 7	11 1	
	9 30	97.85	97.84	17 47	14 6	11 32	
	10 00	97.84	97.83	17 48	14 6	midi 2	
	10 30	98.02	97.98	17 33	14 5	0 32	
	11 00	98.19	98.12	17 19	14 4	1 5	
	11 30	98.69	98.53	16 77	14 2	1 36	
	midi	99.48	99.18	16 11	13 7	2 12	
	12 30	100.35	99.89	15 38	13 2	2 46	
	1 00	101.37	100.73	14 53	12 8	3 20	
	1 30	102.22	101.43	13 82	12 2	3 58	
	2 00	102.80	101.91	13 33	11 7	4 33	
	2 30	103.31	102.33	12 90	11 5	5 9	
	3 00	103.74	102.68	12 55	11 3	5 39	
	3 30	104.14	103.01	12 21	11 0	6 15	
	4 00	104.51	103.31	11 90	10 8	6 48	
BM	4 22	104.61	103.39	11 81	10 8	7 11	
	5 00	104.44	103.25	11 96	10 8	7 47	
	5 30	103.93	102.84	12 39	11 1	8 13	
	6 00	102.85	101.95	13 29	11 8	8 33	
	6 30	101.37	100.73	14 53	12 6	8 52	
	7 00	99.97	99.58	15 70	13 4	9 12	
	7 30	98.77	98.61	16 69	14 1	9 35	
	8 00	97.92	97.90	17 41	14 6	10 1	
PM	8 37	97.53	97.63	17 68	14 8	10 37	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Rouen (amont) **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Rouen	Profondeurs moyennes	Célérités ω	Heures de la cote à Rouen	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.60	16 63	14 0	1 26	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 30	99.60	99.17	16 04	13 6	2 2	
	27 oct. 1890						Entre la Bouille et Rouen
	minuit	100.46	99.84	15 36	13 2	2 38	H = 11.93
	12 30	101.38	100.55	14 64	12 7	3 14	
	1 00	102.28	101.29	13 89	12 1	3 52	
	1 30	102.96	101.84	13 34	11 8	4 27	
	2 00	103.44	102.25	12 92	11 5	5 4	
	2 30	103.82	102.58	12 58	11 3	5 36	
	3 00	104.23	102.89	12 27	11 0	6 11	
	3 30	104.49	103.11	12 04	10 9	6 44	
BM	4 00	104.63	103.23	11 93	10 8	7 15	
	4 30	104.48	103.11	12 04	10 9	7 44	
	5 00	104.04	102.76	12 40	11 1	8 7	
	5 30	103.24	102.13	13 04	11 6	8 32	
	6 00	101.83	101.00	14 19	12 3	8 49	
	6 30	100.40	99.87	15 34	13 0	9 9	
	7 00	99.12	98.85	16 38	13 8	9 28	
	7 30	98.27	98.17	17 07	14 3	9 54	
	8 00	97.91	97.88	17 36	14 5	10 22	
PM	8 21	97.79	97.78	17 46	14 6	10 41	
	9 00	97.83	97.82	17 42	14 6	11 20	
	9 30	97.85	97.84	17 40	14 5	11 51	
	10 00	97.84	97.83	17 41	14 5	midi 21	
	10 30	98.02	97.97	17 27	14 4	0 52	
	11 00	98.19	98.11	17 13	14 3	1 25	
	11 30	98.69	98.50	16 73	14 1	1 56	
	midi	99.48	99.13	16 09	13 6	2 33	
	12 30	100.35	99.83	15 38	13 2	3 8	
	1 00	101 37	100.64	14 56	12 8	3 42	
	1 30	102.22	101.31	13 87	12 2	4 21	
	2 00	102.80	101.78	13 40	11 8	4 57	
	2 30	103.31	102.18	12 99	11 6	5 33	
	3 00	103.74	102.52	12 64	11 3	6 4	
	3 30	104.14	102.84	12 32	11 0	6 41	
	4 00	104.51	103.14	12 02	10 9	7 14	
BM	4 22	104.61	103.22	11 93	10 8	7 37	
	5 00	104.44	103.08	12 08	10 9	8 13	
	5 30	103.93	102.68	12 48	11 2	8 38	
	6 00	102.85	101.82	13 36	11 8	8 57	
	6 30	101.37	100.64	14 56	12 6	9 14	
	7 00	99.97	99.52	15 69	13 4	9 33	
	7 30	98.77	98.58	16 65	14 0	9 55	
	8 00	97.92	97.89	17 35	14 5	10 21	
PM	8 37	97.53	97.63	17 61	14 7	10 56	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Oissel **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Oissel	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Oissel	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.52	14 30	13 2	1 41	
	11 30	99.60	99.05	13 75	12 7	2 18	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						Entre Rouen et Oissel
	minuit	100.46	99.67	13 10	12 3	2 54	H = 9.83
	12 30	101.38	100.32	12 42	11 8	3 31	
	1 00	102.28	101.03	11 70	11 2	4 10	
	1 30	102.96	101.54	11 17	10 8	4 45	
	2 00	103.44	101.91	10 78	10 5	5 23	
	2 30	103.82	102.22	10 46	10 3	5 55	
	3 00	104.23	102.51	10 16	10 1	6 31	
	3 30	104.49	102.72	9 93	9 9	7 4	
BM	4 00	104.63	102 83	9 83	9 8	7 35	
	4 30	104 48	102.72	9 93	9 9	8 4	
	5 00	104.04	102.39	10 28	10 1	8 27	
	5 30	103.24	101.80	10 88	10 6	8 51	
	6 00	101.83	100.76	11 97	11 3	9 7	
	6 30	100.40	99.71	13 06	12 1	9 25	
	7 00	99.12	98.77	14 04	12 9	9 43	
	7 30	98.27	98.14	14 70	13 4	10 9	
	8 00	97.91	97.88	14 97	13 7	10 36	
PM	8 21	97.79	97.78	15 07	13 7	10 56	
	9 00	97.83	97.82	15 03	13 7	11 35	
	9 30	97.85	97.83	15 02	13 7	midi 6	
	10 00	97.84	97.82	15 03	13 7	0 36	
	10 30	98.02	97.96	14 89	13 6	1 7	
	11 00	98.19	98.08	14 76	13 5	1 40	
	11 30	98.69	98.45	14 38	13 2	2 11	
	midi	99.48	99.03	13 77	12 8	2 49	
	12 30	100.35	99.67	13 10	12 4	3 24	
	1 00	101.37	100.43	12 32	11 9	3 59	
	1 30	102.22	101.05	11 67	11 3	4 39	
	2 00	102.80	101.48	11 22	10 8	5 16	
	2 30	103.31	101.86	10 83	10 6	5 52	
	3 00	103.74	102.17	10 51	10 3	6 23	
	3 30	104.14	102.47	10 20	10 1	7 0	
	4 00	104.51	102.74	9 91	9 9	7 34	
BM	4 22	104.61	102.81	9 83	9 8	7 57	
	5 00	104.44	102.69	9 97	9 9	8 33	
	5 30	103.93	102.31	10 36	10 2	8 58	
	6 00	102.85	101.52	11 19	10 8	9 15	
	6 30	101.37	100.43	12 32	11 7	9 31	
	7 00	99.97	99.39	13 40	12 5	9 49	
	7 30	98.77	98 52	14 31	13 2	10 10	
	8 00	97.92	97.88	14 97	13 7	10 36	
PM	8 37	97.53	97.63	15 23	13 9	11 10	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station d'Elbeuf **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Elbeuf	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Elbeuf	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	98.14	9 68	11 4	1 58	
	11 30	99.60	98.56	9 20	10 9	2 36	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	27 oct. 1890						Entre Oissel et Elbeuf
	minuit	100.46	99.03	8 66	10 4	3 12	H = 5.68
	12 30	101.38	99.55	8 07	9 8	3 50	
	1 00	102.28	100.31	7 34	9 1	4 31	
	1 30	102.96	100.74	6 87	8 6	5 7	
	2 00	103.44	101.06	6 52	8 3	5 46	
	2 30	103.82	101.32	6 24	8 0	6 19	
	3 00	104.23	101.56	5 97	7 7	6 56	
	3 30	104.49	101.73	5 77	7 6	7 29	
BM	4 00	104.63	101.83	5 68	7 5	8 1	
	4 30	104.48	101.73	5 77	7 6	8 29	
	5 00	104.04	101.46	6 07	7 8	8 52	
	5 30	103.24	100.97	6 62	8 4	9 14	
	6 00	101.83	100.09	7 58	9 2	9 28	
	6 30	100.40	99.20	8 55	10 2	9 44	
	7 00	99.12	98.41	9 41	11 1	10 0	
	7 30	98.27	97.88	9 99	11 6	10 25	
	8 00	97.91	97.66	10 23	11 9	10 52	
PM	8 21	97.79	97.58	10 32	12 0	11 12	
	9 00	97.83	97.61	10 29	12 0	11 51	
	9 30	97.85	97.62	10 28	12 0	midi 22	
	10 00	97.84	97.62	10 28	12 0	0 52	
	10 30	98.02	97.73	10 16	11 9	1 23	
	11 00	98.19	97.83	10 05	11 7	1 56	
	11 30	98.69	98.14	9 71	11 4	2 28	
	midi	99.48	98.63	9 17	10 9	3 7	
	12 30	100.35	99.17	8 58	10 4	3 42	
	1 00	101.37	99.81	7 88	9 9	4 18	
	1 30	102.22	100.33	7 31	9 2	5 0	
	2 00	102.80	100.69	6 92	8 7	5 38	
	2 30	103.31	101.01	6 57	8 4	6 15	
	3 00	103.74	101.28	6 28	8 1	6 47	
	3 30	104.14	101.52	6 00	7 7	7 25	
	4 00	104.51	101.75	5 75	7 6	7 59	
BM	4 22	104.61	101.53	5 68	7 5	8 23	
	5 00	104.44	101.71	5 80	7 6	8 58	
	5 30	103.93	101.39	6 15	7 9	9 22	
	6 00	102.85	100.72	6 89	8 7	9 37	
	6 30	101.37	99.81	7 89	9 6	9 51	
	7 00	99.97	98.94	8 84	10 6	10 7	
	7 30	98.77	98.21	9 64	11 4	10 27	
	8 00	97.92	97.67	10 23	11 9	10 52	
PM	8 37	97.53	97.43	10 48	12 2	11 26	

Feuilles de hauteurs d'eau

Station de Poses **10m50**

	Heures de la cote au Havre	Cotes au Havre	Cotes à Poses	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Poses	OBSERVATIONS
	26 oct. 1890						
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	98.86	97.37	4 43	8 0	2 36	ω = Célérité
	11 30	99.60	97.64	4 16	7 6	3 17	
	27 oct. 1890						$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)H$
	minuit	100.46	97.95	3 85	7 1	3 55	Entre Elbeuf et Poses
	12 30	101.38	98.29	3 51	6 6	4 37	
	1 00	102.28	98.61	3 19	6 1	5 22	H = 2.34
	1 30	102.96	98.86	2 94	5 7	6 01	
	2 00	103.44	99.03	2 77	5 4	6 42	
	2 30	103.82	99.17	2 63	5 2	7 18	
	3 00	104.23	99.31	2 49	5 0	7 57	
	3 30	104.49	99.41	2 41	5 0	8 32	
BM	4 00	104.63	99.46	2 34	4 8	9 5	
	4 30	104.48	99.41	2 41	4 9	9 32	
	5 00	104.04	99.25	2 63	5 2	9 52	
	5 30	103.24	98.96	3 02	5 8	10 7	
	6 00	101.83	98.45	3 71	6 8	10 14	
	6 30	100.40	97.93	4 42	7 8	10 23	
	7 00	99.12	97.47	5 04	8 9	10 35	
	7 30	98.27	97.16	5 46	9 5	10 57	
	8 00	97.91	97.03	5 64	9 8	11 23	
PM	8 21	97.79	96.98	5 70	10 0	11 43	
	9 00	97.83	97.00	5 68	9 9	midi 22	
	9 30	97.85	97.01	5 67	9 9	0 53	
	10 00	97.84	97.00	5 67	9 9	1 23	
	10 30	98.02	97.07	5 58	9 8	1 54	
	11 00	98.19	97.13	5 50	9 6	2 28	
	11 30	98.69	97.31	5 26	9 3	3 1	
	midi	99.48	97.60	4 87	8 8	3 43	
	12 30	100.35	97.91	4 44	8 2	4 20	
	1 00	101.37	98.28	3 94	7 5	4 59	
	1 30	102.22	98.59	3 52	6 7	5 46	
	2 00	102.80	98.80	3 24	6 1	6 29	
	2 30	103.31	98.98	2 99	5 8	7 9	
	3 00	103.74	99.14	2 77	5 5	7 43	
	3 30	104.14	99.29	2 58	5 1	8 25	
	4 00	104.51	99.32	2 39	4 8	9 2	
BM	4 22	104.61	99.46	2 34	4 8	9 27	
	5 00	104.44	99.39	2 43	4 9	10 1	
	5 30	103.93	99.21	2 68	5 2	10 20	
	6 00	102.85	98.82	3 21	6 1	10 27	
	6 30	101.37	98.28	3 92	7 2	10 34	
	7 00	99.97	97.77	4 63	8 3	10 44	
	7 30	98.77	97.35	5 20	9 2	11 1	
	8 00	97.92	97.03	5 63	9 8	11 23	
PM	8 37	97.53	96.83	5 85	10 2	11 56	

TABLEAU I
10m50

Elbeuf (flot)

Tableau de cubage

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 8 h. 47	COTES à 2 h. 20	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Elbeuf.....							101.52	98.06	3.46			
		320	2.500		800.000					3.335	2.668.000	
Martot.....							101.14	97.93	3.21			
		190	16.000		7.040.000					2.775	8.436.000	
Poses.....							99.43	97.90	2.34			
											11.104.000	
									Débit fluvial.....		8.831.160	
									Débit du flot.....		2.272.840	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 8 h. 47 (101.52).
Etale de flot à 2 h. 20 (98.06).
Durée du flot : 5 h. 33 = 12.980s.
B M à 8 h. 1 (101.83).
P M à 11 h. 12 (97.58).
Cote du fond (105;50),

Profondeur moyenne 5.71 : $p = 3.98 \frac{y'}{2} =$ 1.73.
Débit du flot = 2.272.840 m³.
— par seconde = 137 m³.
Vitesse moyenne = 0.075.

Profondeur moyenne $H = p + \frac{y'}{2} = 5.71$.

Le débit du flot étant beaucoup plus petit que le débit fluvial, le flot ne pourrait pas remonter en amont d'Elbeuf. Mais il ralentirait l'écoulement du jusant et amènerait une accumulation d'eau de 2.272.840 m³ en amont d'Elbeuf.

Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot l'accroissement de volume en auront d'Elbeuf ne serait que de 2.668.090 m³ d'eau. Le débit du jusant serait alors de 455 m³ 41 par seconde à Elbeuf, au lieu de 442 m³ qui, sans la marée, se produirait comme à Martot.

Oissel (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU II
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 8 h. 7	COTES à 1 h. 27	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Oissel.....							102.66	98.03	4.63			
		290	11.500		3.335.000					4.35	14.507.250	
Elbeuf.....							101.81	97.74	4.07			
		320	2.500		800.000					3.935	3.148.000	
Martot.....							101.44	97.64	3.80			
		190	16.000		3.040.000					2.94	8.937.600	
Poses.....							99.09	97.01	2.08			
											26.592.850	
									Débit fluvial.....		8.486.400	
									Débit du flot.....		18.106.450	
									— par seconde..		943	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 8 h. 7 (102.74).
Etale de flot à 1 h. 275 (98.03).
Durée du flot : 5 h. 20 = 19.200s.
B M 7 h. 3 (102.83).
P M 10 h. 56 (97.78).
Cote du fond = 115.66. P = 10.155.
Débit du flot = 18.106.450 m³.
— par seconde 943 m³.
Débit fluvial : 442 m³.
Vitesse moyenne V = 0.321
Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du flot serait de 9.168.850 ou de 477 m³5 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.162 et la vitesse de fond de 0.133.

Oissel (jusant)

Tableau de cubage

TABLEAU II *bis*
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 27	COTES à 8 h. 38	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Oissel.....							98.03	102.61	4,50			
		290	11.500			3.335.000				4.305		14.357.175
Elbeuf.....							97.74	101.77	4.03			
		320	2.500			800.000				3.915		3.132.000
Martot.....							97.64	101.54	3.80			
		190	16.000			3.040.000				3.065		9.317.600
Poses.....							97.01	99.34	2 33			
												26.806.775
									Débit fluvial.....			11.430.120
												38.236.895

OBSERVATIONS

1° Étale de jusant à 8 h. 7 (102,74).
Etale de flot : 1.27.
2° Etale de Jusant : 8.38.
Durée du flot : 5 h. 20 = 19.200s.
Durée du jusant : 7 h. 11 = 25.200s.
Durée de la marée : 12 h, 31,
P M à 10 h. 56 (97.78).
B M à 7 h. 57 (102.81).
Cote du fond = 110.50 P = 10 m. 18.
Débit du jusant = 38.236,895 m³.
— par seconde = 1.478 m³ 6.
Vitesse moyenne : U = 0,501,
Profondeur moyenne : 15.34 ; p = 13.05 ; y = 2.29.

Dans le cas où le barrage de Martot serait maintenu, le débit du jusant serait : 28 millions 619.295 m³ et par seconde 418 m³.

La vitesse moyenne serait de 0.379.

Rouen (amont) (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU III
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 50	COTES à 1 h.	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (amont).							103.09	97.98	5.11				1° Etale de jusant à 7 h. 50 (103.09).
		300	12.000		3.600.000					4.985	17.946.000		Etale de flot à 1 h. du soir (97.98).
Oissel.....							102.79	97.93	4.86				Durée du flot 5 h, 10 en 18.600".
		290	11.500		3.335.000					4.495	14.990.825		Débit du flot 37.267.625; par seconde 2.004.
Elbeuf.....							101.78	97.65	4.13				B M à 7 h. 15 (103.25).
		320	2.500		800.000					4.005	3.204.000		P M à 10 h. 41 (97.98).
Martot.....							101.44	97.56	3.88				
		190	16.000		3.040.000					3.075	36.140.825		$p = 12.11$; $\frac{y'}{2} = 2.56$.
Poses.....							99.28	97.01	2.27		9.348.000		
											45.488.825		Profondeur moyenne ($p + \frac{y}{2} = 14.67$.
											8.221.200		Vitesse moyenne $V = 0.456$.
											37.267.625		Cote du fond : 115.20.
													Si l'on maintenait le barrage de Martot, le débit total du flot à Rouen (amont) serait réduit à 27.919.625 m³ ou à 1.501 m³ par seconde. La vitesse moyenne serait de $V = 0.341$, la vitesse au fond, de 0.281.

TABLEAU III *bis*
10m50

Tableau de cubage

Rouen (amont) (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h.	COTES à 7 h. 49	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Rouen amonf).							97.98	108.17	5.19			
		300	12.000			3.600.000				5.02		18.072.000
Oissel.....							97.93	102.78	4.85			
		290	11.500			3.335.000				4.44		14.807.400
Elbeuf.....							97.65	101.68	4.03			
		320	2.500			800.000				3.905		124.000
Martot.....							97.56	101.34	3.78			
		190	16.000			3.040.000				2.965		36.003.400
Poses.....							97.01	99.16	2.15			9.013.600
												45.017.000
									Débit fluvial.....			10.846.680
									Débit total.....			55.863.680
									— par seconde.			2.276

Vitesse V = 0.5176

OBSERVATIONS

1° Etale de flot à 1 h. (97.98).
2° Etale de jusant à 7 h. 49 (103.17)
Durée du jusant 6 h. 49 ou 24.540s.
Durée de la marée 11 h. 59 ou 43.140s.
Débit du jusant 55.863.680 m³ ou 2.276 m³ par seconde. Débit fluvial 442 m³ par seconde. Première Basse mer à (7 h. 15 (103.23). P M à 10 h. 41 (97.78). Deuxième B M à 7 h. 37 (103.22). Cote du fond (115.20) H = 14.66 ; $h = 12.11$; $\frac{y'}{2} = 2.55$. Vitesse moyenne U = 0.5176. Vitesse du fond : W = 0.4275.

Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit du jusant à Rouen (amont) serait de 46.850.080 m³ ou de 1.909 m³ par seconde moyenne serait : U = 0.434 et la vitesse de W = 0.3585.

Si la Seine était à l'étiage et débitait 80 m³ à Poses et si l'on supprimait le barrage de Mortot le débit du jusant serait de 46 millions 980.200 m³ ou 1.919 m³ par seconde, et l'on aurait U = 0.4353 et W = 0.3595. Si l'on conservait le barrage de Martot, le débit du jusant serait 37.966.600 m³ ou 1.467 m³ par seconde et l'on aurait : U = 8.3336 et W = 0.2755.

TABLEAU IV

Rouen (aval) (flot) — **Tableau de cubage** — **10m50**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 45	COTES à 0 h. 55	Différence des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Rouen (aval)...							103.06	97.98	5.08				1° Etale de jusant à 7 h. 45 (103.06).
		300	2.500		750.000					5.11	3.832.500		Etale de flot à midi 55 (97.78).
Rouen (amont).							103.10	97.96	5.14				Durée du flot 5 h. 10 ou 18.600 m³.
		300	12.000		3.600.000					5.01	18.036.000		Débit du flot 41.168.400 m³.
Oissel							102.79	97.91	4.88				— par seconde = 2.213 m³.
		290	11.500		3.335.000					4.50	15.007.500		BM à 6 h. 49 (104.22).
Elbeuf.....							101.77	97.65	4.12				PM à 10 h. 22 (97.78).
		320	2.500		800.000					3.995	3.196.000		Profondeur moyenne $\left(p + \frac{v}{2}\right) = 14.69$.
Martot.....							101.43	97.56	3.87		40.072.000		
		190	16.000		3.040.000					3.065	9.317.600		Vitesse moyenne U = 0.503 ; de fond W = 0.444.
Poses.....							99.27	97.01	2.26		49.389.600		Cote du fond (115.21).
											8.221.200		Si l'on maintenait le barrage de Martot le débit du flot serait de 3.185.080 m³ ou de 1.712 m³ par seconde. La vitesse moyenne serait de U = 0.389.
											41.168.400		Dans le cas où la Seine serait à l'étiage et ne débiterait que 80 m³ à Poses, soit 1.488.000 m³ pendant le flot, le débit du flot serait de 47.701.600 m³ et par seconde de 25.756. La vitesse moyenne serait de 0.626 et la vitesse de fond de 0.517.
													Si l'on maintenait le barrage de Martot le débit total du flot, à l'étiage du fleuve serait de 38.585.600 m³ ou de 2.074.5 m³ par seconde ; la vitesse moyenne serait de 0.504 et la vitesse de fond de 0.417.

Rouen (aval) (jusant)

Tableau de cubage

TABLEAU IV *bis*
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 0 h. 55	COTES à 8 h. 10	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Rouen (aval)...							97.98	103.04	5.06			
		300	2.500			750.000				5.085		3.813.750
Rouen (amont).							97.96	103.07	5.11			
		300	12.000			3.600.000				4.975		17.910.000
Oissel							97.91	102.75	4.84			
		290	11.500			3.335.000				4.48		14.940.800
Elbeuf.....							97.65	101.77	4.12			
		320	2.500			800.000				3.995		3.196.000
Martot.....							97.56	101.43	3.87			39.860.550
		190	16.000			3.040.000				3.045		9.256.800
Poses.....							97.01	99.23	2.22			49.117.350
			44.500									11.536.200
									Débit fluvial.....			
									Débit total Vs.....			60.653.550

OBSERVATIONS

Etale de flot : 0 h. 55.
Etale de jusant : 8 h. 10.
Durée du jusant : 7 h. 15 = 26.100 s.
Durée du flot : 5 h. 10 = 18.600 s.
Durée de la marée : 12 h. 25.
Débit du jusant : 60.653 550 m³
— par seconde : 2.323 m³.
Vitesse moyenne U = 0.5305.
Profondeur moyenne p = 14.70.
Cote du fond : 115.21.

Si l'on maintenait le barrage de Martot, le débit de jusant serait 51.396.750 m³ et par seconde 1.969 m³.

La vitesse moyenne serait de U = 0.447.

Dans le cas où la Seine serait à l'étiage et ne donnerait que 80 m³ par seconde à Poses soit 2.088.000 m³ pendant le jusant ; le débit total du jusant serait de 51.205.350 m³ ou de 1.961.9 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.477 et la vitesse de fond de 0.394.

Si le barrage de Martot était maintenu, le jusant écoulerait 41.948.550 m³ ou 1.607.07 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.492 et la vitesse de fond de 0.407.

La Bouille (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU V
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 28	COTES à 0 h. 25	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
La Bouille.....							103.13	97.95	5.18				1° Etale de jusant à 7 h. 28 (103.13).
		300	14.500		4.350.000					5.245	22.815.750		Etale de flot à midi 25 (97.95).
Rouen (aval)...							103.17	97.86	5.31				Durée du flot = 4 h. 57 ou 17.820 s.
		300	2.500		750.000					5.32	3.990.000		Débit du flot = 65.034.885 m³.
Rouen (amont).							103.18	97.85	5.33				— par seconde = 3.650 m³.
		300	12.000		3.600.000					5.16	18.576.000		BM à 6 h. 49 (103.41).
Oissel							102.81	97.82	4.99				PM à 10 h. 22 (97.78).
		290	11.500		3.335.000					4.545	15.157.575		Profondeur moyenne $\left(p + \frac{v}{2}\right) = 14.73 =$
Elbeuf							101.72	97.62	4.10				
		320	2.500		800.000					3.97	3.176.000		$\frac{v'}{2}$ 2.59.
Martot.....							101.38	97.54	3.84				
		190	16.000		3.040.000					3.025	63.715.325		Vitesse moyenne U = 0.826.
Poses.....							99.21	97.00	2.21		9.196.000		Cote du fond : 115.27.
											72.911.325		Si l'on maintenait le barrage de Martot le
											7.876.440		débit du flot serait de 55.858.885 m³ ou de
											65.034.885		313.300 par seconde. La vitesse moyenne
													serait de U = 0.709.

Duclair (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU VI
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 8	COTES à 0 h. 0	Différence des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Duclair.....	379						103.20	97.92	5.28				
		340	18.000		512.000					5.39	32.986.800		1° Etale de jusant à 7 h. 8 (103.20).
La Bouille.....	300						103.33	97.83	5.50				Etale de flot à midi (97.92).
		300	14.500		4.350.000					5.44	23.664.000		Durée du flot à 4 h. 52 = 17.520 s.
Rouen (aval)...							103.22	97.84	5.38				B M à 6 h. 21 (103.61).
		300	2.500		750.000					5.37	4.027.500		P M à 10 h. 2 (97.78).
Rouen (amont).							103.20	97.84	5.36				Débit du flot = 98.316.685 m³.
		300	12.000		3.600.000					5.13	18.468.000		— par seconde = 5.611 m³.
Oissel.....							102.73	97.83	4.90				
		290	11.500		3.335.000					4.455	14.857.425		Cote du fond = 115.35 ; $p = 12.15$ $\frac{y'}{2} = 2.64$
Elbeuf.....							101.62	97.61	4.01				
		320	2.500		800.000					3.88	3.104.000		profondeur moyenne $P = p + \frac{y}{2} = 14.79$.
Martot.....							101.28	97.53	3.75				
		190	16.000		304.000					2.945	8.952.800		Débit fluvial : 442 m³ par seconde.
Poses.....							99.13	96.99	2.14				Vitesse moyenne : U = 1 m.
											102.269.725		Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage
											7.743.840		de Martot, le débit total du flot serait de :
											94.525.885		89.363.885 m³ ou de 5.101 m³ par seconde et
									$V - q(t' - t) =$		65.329.885		a vitesse moyenne de U = 0.910.
											32.986.800		1
									Débit total		98.316.685		

TABLEAU VII

La Mailleraye (flot) — **Tableau de cubage** — **10m50**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 36	COTES à 11 h. 28	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un: Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un: Abaissement	OBSERVATIONS
La Mailleraye..	654						103.35	97.92	5.43				
		516	25.000		17.900.000					5.57	71.853.000		1° Etale dé jusant à 6 h. 36 (103.35).
Duclair.....	379						103.54	97.83	5.71				Etale de flot à 11 h. 28 (97.92).
		340	18.000		6.120.000					5.615	34.363.800		Durée du flot : 4 h. 52 = 17.520s.
La Bouille.....							103.36	97.84	5.52				B M à 5 h. 42 (103.88).
		300	14.500		4.350.000					5.40	23.490.000		P M à 9 h. 34 (97.78).
Rouen (aval)...							103.10	97.82	5.28				Débit du flot = 169.598.035 m³.
		300	2.500		750.000					5.26	3.945.000		— par seconde = 9.680 m³.
Rouen (amont).							103.06	97.82	5.24				
		300	12.000		3.600.000					4.985	17.946.000		Cote du fond = 115.44 $p = 1.209$ $\frac{v'}{2} = 2{,}715$.
Oissel.....							102.54	97.81	4.73				
		290	11.500		3.335.000					4.285	14.290.475		$P = p + \frac{1'}{2} = 14.805$,
Elbeuf.....							101.43	97.59	3.84				
		320	2.500		800.000					3.715	2.972.000		Débit fluvial = 442 m³ par seconde.
Martot.....							101.10	97.51	3.59				Vitesse moyenne U = 1 m.
		190	16.000		3.040.000					2.79	8.481.600		Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage
Poses.....							99.01	97.02	1.99	V =	139.520.035		de Martot, le débit total du flot serait de
											41.775.000		161.116.435 m³ ou de 9.196 m³ par seconde et
													la vitesse moyenne de U = 0.949.
							V — q (t' — t).....				97.745.035		
											71.853.000		
							Débit total.....				169.598.035		

TABLEAU VIII

Caudebec (flot)

Tableau de cubage

10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 30	COTES à 11 h. 23	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Caudebec.....	738						103.35	97.94	5.48				1° Etale de jusant à 6 h. 30 (103.35).
		696	6.000		4.176.000					5.485	22.947.120		Etale de flot à 11 h. 23 (97.94).
La Mailleraye..	654						103.47	97.89	5.58				Durée du flot 4 h. 53 = 17.580 s.
		516	25.000		12.900.000					5.565	72.949.500		B M à 5 h. 33 (103.95).
Duclair.....	379						103.57	97.84	5.73				P M à 9 h. 27 (97.78).
		340	18.000		6.120.000					5.62	34.394.400		Débit du flot = 192.165.260 m³.
La Bouille.....							103.34	97.83	5.51				— par seconde = 10.929 m³.
		300	14.500		4.350.000					5.38	23.403.000		
Rouen (aval)...							103.07	97.82	5.25				Cote du fond = 115.46 $p = 1.211$ $\frac{y'}{2} = 2.705$
		300	2.500		750.000					5.225	3.918.750		
Rouen (amont).							103.02	97.82	5.20				
		300	12.000		3.600.000					4.81	17.316.000		$P = p + \frac{1'}{2} = 14.815$.
Oissel							102.23	97.81	4.42				
		290	11.500		3.335.000					4.11	13.706.850		Débit fluvial = 442 m³ par seconde, total de 7.770.360.
Elbeuf.....							101.39	97.59	3.80				Vitesse moyenne : U = 1 m.
		320	2.500		800.000					3.675	2.940.000		
Martot.....							101.06	97.51	3.55				Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit total du flot serait de : 183.805.260, ou de 10.455 m³ par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.956 par seconde et la vitesse au fond de 0.789.
		190	16.000		3.040.000					2.75	8.360.000		
Poses.....							98.98	97.03	1.95				
											199.935.620		
										Débit fluvial.....	7.770.360		
										Débit du flot.....	192.165.260		

TABLEAU IX
10m50

Tableau de cubage

Quillebeuf (flot)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 7	COTES à 11 h.	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Quillebeuf.....	1.228						103.34	97.95	5.39			
		983	23.000		22.609.000					5.655	12.853.895	
Caudebec.....	738						103.75	97.83	5.92			
		696	6.000		4.176.000					5.925	24.742.800	
La Mailleraye..	654						103.76	97.83	5.93			
		516	25.000		12.900.000					5.82	75.078.000	
Duclair.....	379						103.55	97.84	5.71			
		340	18.000		6.120.000					5.55	33.966.000	
La Bouille.....							103.21	97.82	5.39			
		300	14.500		4.350.000					5.245	22.815.750	
Rouen (aval)...							102.90	97.80	5.10			
		300	2.500		750.000					5.075	3.806.250	
Rouen (amont).							102.85	97.80	5.05			
		300	12.000		3.600.000					4.795	17.262.000	
Oissel.....							102.32	97.78	4.54			
		290	11.500		3.335.000					4.07	13.573.450	
Elbeuf.....							101.23	97.63	3.60			
		320	2.500		800.000					3.47	2.696.000	
Martot.....							100.91	97.57	3.34			
		190	16.000		3.040.000					2.535	7.706.400	
Poses.....							98.88	97.15	1.73			
											201.646.650	
											7.770.360	
											193.876.290	
											321.730.184	

V — $q\,(t' - t)$.....
Débit total.....

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 6 h. 7 (103.34).
Etale de flot à 11 h. (97.95).
Durée du flot : 4 h. 53 = 17.580s.
BM à 4 h. 57 (104.20).
PM à 9 h. 1 (97.78).
Débit du flot = 321.730.185 m³.
— par seconde = 18.301 m³.

Cote du fond = 115.54 $p = 1.220$ $\frac{y'}{2} = 2.695$

$$P = p + \frac{1'}{2} = 14.895.$$

Débit fluvial = 442 m³ par seconde.
Vitesse moyenne U = 1 m.
Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit total du flot serait de 344.023.785 m³ ou de 17.863 m³ par seconde et la vitesse moyeune de U = 0.976.

Tancarville (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU X
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 5 h. 57	COTES à 10 h.56	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Tancarville....	1.382						103.42	97.97	5.45				
		1.305	6.000		7.830.000					5.56	43.534.800		1° Etale de jusant à 5 h. 57 (103.42).
Quillebeuf.....	1.228						103.60	97.93	5.67				Etale du flot à 10 h. 56 (97.97).
		983	23.000		22.609.000					5.845	132.049.605		Durée du flot : 4 h. 59 = 17.940s.
Caudebec.....	738						103.85	97.83	6.02				B M à 4 h. 48 (104.27).
		696	6.000		4.176.000					6.015	25.118.640		P M à 8 h. 54 (97.78).
La Mailleraye..	654						103.85	97.84	6.01				Débit du flot = 368.627.565 m³.
		516	25.000		12.900.000					5.845	75.400.500		— par seconde = 20.548 m³.
Duclair.....	379						103.51	97.83	5.68				
		340	18.000		6.120.000					5.50	33.660.000		Cote du fond = 115.56 $p = 12.14$ $\frac{y'}{2} = 2.725$.
La Bouille.....							103.14	97.82	5.32				
		300	14.500		4.350.000					5.175	22.511.250		$P = p + \frac{1'}{2} = 14.865$
Rouen (aval)...							102.82	97.79	5.03				
		300	2.500		750.000					5.005	3.753.750		Débit fluvial = 442 m³ par seconde.
Rouen (amont).							102.77	97.79	4.98				Vitesse moyenne U = 1 m.
		300	12.000		3.600.000					4.72	16.992.000		Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage
Oissel.....							102.24	97.78	4.46				de Martot le débit total du flot serait de
		290	11.500		3.335.000					3.98	13.273.300		361.164.365 m³ ou de 20.132 m³ par seconde
Elbeuf.....							101.15	97.65	3.50				et la vitesse moyenne de U = 0.980.
		320	2.500		800.000					3.375	2.700.000		
Martot.....							100.84	97.59	3.25				
		190	16.000		3.040.000					2.455	7.463.200		
Poses.....							98.83	97.17	1.66				
											333.022.245		
											7.929.480		
										V — q (t' — t).....	325.092.765		
										Débit total.....	368.627.565		

La Risle (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU XI
10m50

NOMS des stations	LARGEURS		DISTANCES		SURFACES horizontales en		COTES à		Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un		OBSERVATIONS
	à chaque station	Moyennes	Entre les stations	Applicables	Exhaussement	Abaissement	5 h. 51	10 h. 55			Exhaussement	Abaissement	
La Risle.....	1.602						103.35	98.02	5.33				
		1.494	8.000		11.952.000					5.475	65.437.200		1° Etale de jusant à 5 h. 51 m. (103.35).
Tancarville....	1.382						103.58	97.96	5.62				Etale de flot à 10 h, 55 (98.02).
		1.305	6.000		7.830.000					5.705	44.670.150		Durée du flot : 5 h. 4 = 18.240s.
Quillebeuf.....	1.228						103.71	97.92	5.79				BM à 4 h. 35 (104.37).
		983	23.000		22.609.000					5.915	133.732.235		PM à 8 h. 45 (97.78).
Caudebec.....	738						103.87	97.83	6.04				Débit du flot = 435.593.510 m³.
		696	6.000		4.176.000					6.04	25.181.280		— par seconde = 23.881 m³.
La Mailleraye..	654						103.86	97.84	6.02				
		516	25.000		12.900.000					5.835	75.271.500		Cote du fond = 11.559 $p = 1.224 \frac{y'}{2} = 2.665$.
Duclair.....	379						103.48	97.83	5.65				
		340	18.000		6.120.000					5.47	33.476.400		$P = p + \frac{1'}{2} = 14.905$.
La Bouille.....							103.10	97.81	5.29				
		300	14.500		4.350.000					5.135	22.337.250		Débit fluvial = 442 m³ par seconde.
Rouen (aval)...							102.77	87.79	4.98				Vitesse moyenne : U = 1 m,
		300	2.500		750.000					4.95	3.712.500		Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit total du flot serait de : 428.282.310 m³ ou de 23.480 m³ par seconde et la vitesse moyenne de U = 0.983.
Rouen (amont).							102.71	97.79	4.92				
		300	12.000		3.600.000					4.66	16.776.000		
Oissel.....							102.18	97.78	4.40				
		290	11.500		3.335.000					3.925	13.089.875		
Elbeuf.....							101.10	97.65	3.45				
		320	2.500		800.000					3.325	2.660.000		
Martot.....							100.79	97.59	3.20				
		190	16.000		3.040.800					2.405	7.311.200		
Poses,.....							98.80	97.19	1.61				
											378.218.390		
											8.062.080		
										V — q (t' — t),.....	370.156.310		
										Débit total.....	435.593.510		

La Risle (jusant)

Tableau de cubage

TABLEAU XI *bis*
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 10 h. 55	COTES à 6 h. 17	Différences des côtes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
La Risle.....	1.602						98.02	103.18	5.16				
		1.494	8.000			11.952.000				5.36		64.062.720	1° Etale de jusant à 5 h. 51 (103.35).
Tancarville....	1.382						97.96	103.52	5.56				Etale de flot à 10 h. 55 (98.02).
		1.305	6.000			7.830.000				5.63		44.082.900	2° Etale de jusant à 6 h. 17 (103.18).
Quillebœuf.....	1.228						97.92	103.62	5.70				Durée du jusant 7 h. 22 (26.520).
		983	23.000			22.609.000				5.855		132.375.695	Durée de la marée 12 h. 26 (44.760).
Caudebec.....	738						97.83	103.84	6.01				P M à 8 h. 45 (97.78).
		696	6.000			4.176.000				5.995		25.035.120	B M à 4 h. 57 (104.35).
La Mailleraye..	654						97.84	103.82	5.98				Débit du jusant 450.211.100 m³.
		516	25.000			12.900.000				5.81		74.949.000	— par seconde 16.976 m³.
Duclair.....	379						97.83	103.47	5.64				Cote du fond (115.59) ; $p = 12.41 \frac{y'}{2} = 2.58$
		340	18.000			6.120.000				5.43		33.231.600	
La Bouille.....							97.81	103.03	5.22				H = 14.99.
		300	17.000			5.100.000				5.03		25.653.000	Débit fluvial : 11.721.840 m³.
Rouen.....							97.79	102.63	4.84				Vitesse moyenne : 0.7069.
		300	12.000			3.600.000				4.585		16.506.000	Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage
Oissel.....							97.78	102.11	4.33				de Martot, le débit total du jusant serait de :
		290	11.500			3.335.000				3.855		12.856.425	443.082.300 m³ ou de 16.707 m³ par seconde ;
Elbeuf.....							97.65	101.03	3.38				la vitesse moyenne de 0.5824 et la vitesse de
		320	2.500			800.000				3.26		2.608.000	fond de 0.481.
Martot.....							97.59	100.73	3.14				
		190	16.000			3.040.000				2.345		7.128.800	
Poses.....							97.19	98.74	1.55				
												438.489.260	
										Débit fluvial.....		11.711.840	
										Débit du jusant....		450.211.100	
										— par seconde..		16.976	

TABLEAU XII

Honfleur (flot) — **Tableau de cubage** — **10m50**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 5 h.35	COTES à 10 h 50	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Honfleur.....	1.996						103.40	98.07	5.33				
		1.799	12.000		21.588.000					5.555	119.921.340		1° Etale de jusant à 5 h. 35 m. (103.40).
La Risle.....	1.602						103.77	97.99	5 78				2° Etale de flot à 10 h. 50 m. (98.07).
		1.494	8.000		11.952.000					5.855	69.978.960		Durée du flot : 5.15 = 18.900³.
Tancarville....	1.382						103.87	97.94	5.93				BM à 4 h. 16 m. (104.63).
		1.305	6.000		7.330.000					5.099	46.901.700		PM à 8 h. 32 m. (97.78).
Quillebeuf.....	1.228						103.94	97.89	6.05				Débit du flot = 561.900.640 m³.
		983	23.000		22.609.000					6.075	137.349.675		— par seconde 29.730 m³.
Caudebec.....	738						103.94	97.84	6.10				
		696	6.000		4.176.000					6.065	25.327.440		Cote du fond = 11.563 p = 1.223 $\frac{y'}{2}$ = 2.665
La Mailleraye..	654						103.87	97.84	6.03				
		516	25.000		12.900.000					5.785	74.626.500		$P = p + \frac{1'}{2} = 14.895$
Duclair.....	379						103.37	97.83	5.54				
		340	18.000		6.120.000					5.350	32.742.000		Débit fluvial = 442 m³ par seconde.
La Bouille.....							102.97	97.81	5.16				Vitesse moyenne : U = 1 m.
		300	14.500		4.350.000					5.000	21.750.000		Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage
Rouen (aval)...							102.63	97.79	4.84				de Martot, le débit total du flot serait de
		300	2.500		750.000					4.810	3.607.500		555.106.240 m³,
Rouen (amont).							102.57	97.79	4.78				Ou de 29.371 m³ par seconde.
		300	12.000		3.600.000					4.500	16.200.000		Et la vitesse moyenne de U = 0 988.
Oissel.....							102.03	97.81	4.22				
		290	11.500		3.335.000					3.755	12.522.925		
Elbeuf.....							100.97	97.68	3.29				
		320	2.500		800.000					3.165	2.532.000		
Martot.....							100.66	97.62	3.04				
		190	16.000		3.040.000					2.235	6.794400		
Poses.....							98.69	97.26	1.43				
											450.333.100		
											8.353.800		
			Débit total : 561.900.640.					V — q (t' — t).....			441.979.300		

TABLEAU XII *bis*
10m50

Tableau de cubage

Honfleur (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 10 h. 50	COTES à 6 h. 2	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Honfleur.....	1.996						98 07	103.21	5.14			
		1.799	12.000			21.588.000				5.435		117.330.780
La Risle.....	1.602						97.99	103.72	5.73			
		1.494	8.000			11.952.000				5.93		70.875.360
Tancarville....	1.382						97.94	104.07	6.13			
		1.305	6.000			7.830.000				6.08		47.606.400
Quillebeuf.....	1.228						97.89	103.92	6.03			
		983	23.000			22.609.000				6.045		136.671.405
Caudebec.....	738						97.84	102.90	6.06			
		696	6.000			4.176.000				6.045		25.245.920
La Mailleraye..	654						97.84	103.87	6.03			
		516	25.000			12.900.000				5.765		74.368.500
Duclair.....	379						97.83	103.33	5.50			
		340	18.000			6.120.000				5.295		32.405.400
La Bouille.....							97.81	102.90	5.09			
		300	17.000			5.100.000				4.90		24.990.000
Rouen.....							97.79	102.50	4.71			
		300	12.000			3.600.000				4.43		15.948.000
Oissel.....							97.81	101.96	4.15			
		290	11.500			3 335.000				3.685		12.289.475
Elbeuf.....							97.68	100.90	3.22			
		320	2.500			800.000				3.095		2.476.000
Martot.....							97.63	100.60	2.97			
		190	16.000			3.040.000				2.165		6.642.400
Poses.....							97.26	98.66	1.40			
												566.847.640
										Débit fluvial.....		11.456.640
												578.304.280
										— par seconde...		22.311

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 5 h. 35 (103.40).
Etale de flot à 10 h 50 (98.07).
2° Etale de jusant à 6 h 2 (103.21).
Durée du jusant 7 h. 12 (25.920").
Durée de la marée 12 h. 27 (44.810").
P M à 8 h. 32 (97.78)
B M à 4 h. 38 (104.48).
Débit du jusant 578.304.280 m³.
— par seconde 22.311 m³.

Cote du fond (115.63) ; $p = 12.42$ $\frac{y'}{2} = 2.57$
H = 14.99.
Débit fluvial : 11.456.640 m³.
Vitesse moyenne : 0.746.
Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot le débit total du jusant serait de : 571.661.880 m³ ou de 22.109 m³ par seconde et la vitesse moyenne de 0.615.

Le Havre (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU XIII
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 5 h.32	COTES à 10 h. 46	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Le Havre.....	2.494						103.14	98.11	5.03			
		2.245	10.000		22.450.000					5.23	117.413.500	
Honfleur.....	1.996						103.48	98.05	5.43			
		1.799	12.000		21.588.000					5.65	121.972.200	
La Risle.....	1.602						103.83	97.96	5.87			
		1.494	8.000		11.952.000					5.94	70.994.880	
Tancarville.....	1.382						103.92	97.91	6.01			
		1.305	6.000		7.830.000					6.065	47.488.950	
Quillebeuf.....	1.228						103.99	97.87	6.12			
		983	23.000		22.609.000					6.115	138.254.035	
Caudebec.....	738						103.95	97.84	6.11			
		696	6.000		4.176.000					6.07	25.348.320	
La Mailleraye..	654						103.87	97.84	6.03			
		516	25.000		12.900.000					5.775	74.497.500	
Duclair.....	379						103.34	97.82	5.52			
		340	18.000		6.120.000					5.33	32.619.600	
La Bouille.....							102.94	97.80	5.14			
		300	14.500		4.350.000					4.82	20.967.000	
Rouen (aval)...							102.28	97.78	4.50			
		300	2.500		750.000					4.445	3.333.750	
Rouen (amont).							102.17	97.78	4.39			
		300	12.000		3.600.000					4.28	15.408.000	
Oissel							102.00	97.83	4.17			
		260	11.500		3.335.000					3.725	12.422.875	
Elbeuf.....							100.95	97.67	3.28			
		320	2.500		800.000					3.15	2.520.000	
Martot.....							100.64	97.62	3.02			
		290	16.000		3.040.000					2.185	6.642.400	
Poses.....							98.67	97.32	1.35		572.469.510	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 5 h. 32 m. (103.14).
Etale de flot à 10 h. 46 m. (98.11).
2° Etale de jusant à :
Durée du flot : 5 h. 14 m. = 18.848³.
BM à 4 h. (104.63).
PM à 8 h. 21 (97.78).
Débit du flot = 681.555.730 m³.
— par seconde = 36.176 m³.

Cote du fond : 115.13 ; $p = 11.99 - \frac{y'}{2} = 2.515$

$$P = p + \frac{y'}{2} = 14.505$$

Débit fluvial = 442 m³ par seconde, total 8.327.280.
Vitesse moyenne : U = 1 m.
Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot le débit total du flot serait de 674.913.330 m³ ou de 35.823 m³ par seconde et la vitesse moyenne de U = 0 m. 990.

V — q (t — t).....	564.142.230
564' de Honfleur au Havre..	117.413.500
Total.....	681.555.730

Volume total = 681.555.730 m³.

Calcul de la largeur au Havre = 2.494.
V — q t' — t) = 564.142.230.

Le Havre (jusant)

Tableau de cubage

TABLEAU XIII *bis*
10m50

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 10 h.46	COTES à 5 h. 48	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Le Havre.....	2.494						98.11	103.28	5.17				1° Etale de jusant à 5 h. 32 (103.14).
		2.245	10.000			22.450.000				5.41		121.454.500	Etale de flot à 10 h. 46 (98.11).
Honfleur.....	1.996						98.05	103.70	5.65				2° Etale de jusant 5 h. 48 (103.28).
		1.799	12.000			21.588.000				5.825		125.750.100	Durée du jusant 7 h. 21 ou 25320s.
La Risle.....	1.602						97.96	103.96	6.00				Durée de la marée 12 h. 15 ou 44.160s.
		1 494	8.000			11.952.000				6.08		72 668.160	P M 8 h. 21 (97.78) ; B M 4 h. 22 (104.61).
Tancarville....	1.382						97.91	104.07	6.16				Débit du jusant 707.711.320 ; par seconde
		1.305	6.000			7.830.000				6.17		48.311.100	27.951.
Quillebeuf.....	1.228						97.87	104.05	6.18				
		983	23.000			22.609.000				6.12		138.367.080	Cote du fond (115.13) ; $h = 11.85$; $\frac{y'}{2} = 2.585$
Caudebec.....	738						97.84	103.90	6.06				H = 14.435.
		696	6.000			4.176.000				6.015		25.118.640	Débit fluvial 11.191.440.
La Mailleraye..	654						97.84	103.81	5.97				Vitesse moyenne U = 0.7763 de fond, 0.640.
		516	25.000			12.900.000				5.67		73.143.000	Dans le cas où l'on maintiendrait le barrage de Martot, le débit total du jusant serait de 701.433.720 m³ ou de 27.703 m³ par seconde et la vitesse moyenne de U = 0.7709.
Duclair.....	379						97.82	103.19	5.37				
		340	18.000			6.120.000				5.165		31.609.800	
La Bouille.....							97.80	102.76	4.96				
		300	17 000			5.100.000				4.76		24.276.000	
Rouen.....							97.78	102.34	4.56				
		300	12.000			3.600.000				4.265		15.354.000	
Oissel.....							97.83	101.80	3.97				
		290	11.500			3.335.000				3.54		11.805.900	
Elbeuf.....							97.67	100.78	3.11				
		320	2.500			800.000				2.98		2.384.000	
Martot.....							97.62	100.47	2.88				
		190	16.000			3.040.000				2.065		6.277.600	
Poses.....							97.32	98.60	1.28			696.519.880	
									Débit fluvial.....			11.191.440	
									Débit du jusant.....			707.711.320	
									— par seconde...			27.951	

§ 2

LOIRE MARITIME

Feuilles de hauteurs d'eau

Les cotes de hauteurs employées sur la Loire Maritime sont rapportées aux échelles de Saint-Nazaire, de Nantes (Bourse) et même de Mauves. Nous croyons préférable de les rattacher toutes au zéro de Saint-Nazaire, qui est à 2 m. 08 au-dessous du plan de comparaison adopté par M. Bourdalou pour le nivellement général de la France, à 3 m. 18 au-eessous du zéro de l'échelle de Nantes (Bourse) et à 6 m. 37 au-dessous du zéro de l'échelle de Mauves. La plupart des documents relatifs à la Loire Maritime sont rapportés au zéro de Saint-Nazaire.

Les feuilles de hauteurs d'eau ont été calculées par la propagation dans la Loire de la marée du soir du 11 août 1892. Le coefficient de cette marée est de 97, ce qui est la moyenne des coefficients des marées de vive eau. Les célérités ont été évaluées par la formule de M. Boussinesq, comme celles relatives à la Seine.

Les feuilles sont au nombre de sept. Ce sont les suivantes :

Saint-Nazaire et Paimbœuf, page 231.
La Tour de Bouée, page 232.
La Martinière, page 233.
Couëron, page 234.
Nantes (Bourse), page 235.
Bellevue, page 236.
Mauves, page 237.

L'on a évalué par interpolation les quelques cotes dont on a eu besoin à l'entrée amont du port, borne kilométrique (54 k. 5), après les travaux.

Tableaux de cubage

Les tableaux de cubage de la Loire ont été calculés, depuis Mauves jusqu'à Saint-Nazaire, pour le flot et pour le jusant. Ils ont permis d'évaluer les vitesses moyennes et de fond dans les deux cas. On a pu constater qu'avec une largeur de 300 m. et en étiage, le volume d'eau introduit en amont du port de Nantes

serait plus faible de 2.600.000 mètres cubes que celui écoulé par le jusant, mais que les courants ne pourraient pas entraîner suffisamment le sable vers la mer. Avec la même largeur de 300 m., la vitesse de fond augmenterait en temps d'étiage et pendant le flot, et diminuerait pendant le jusant. L'augmentation de débit, due à l'élargissement de la Loire de 300 à 500 entre Mauves et l'entrée amont de Nantes, donnerait une vitesse de fond qui serait suffisante entre ces deux derniers points. Cette vitesse de 0 m. 25 correspond à une largeur du lit de 512 m. de largueur, ce qui est presque exactement celle qui existe aujourd'hui. Il suffirait donc d'approfondir le lit actuel au niveau voulu, et d'entretenir sa profondeur, si c'est nécessaire, par des dragages.

Les vitesses moyennes du flot données par le tableau de la page 145 et par les tableaux de cubage, iraient en augmentant de l'amont à l'aval, mais n'atteindraient 1 m. 00 qu'entre Paimbœuf et Saint-Nazaire. Il faut toutefois tenir compte du débit de l'estuaire, de celui de la partie du lit actuel laissée au Nord de la digue droite de la Loire en aval de Nantes, du débit de la vallée de l'Erdre si on y donne accès aux marées, peut-être même du lac de Grand-Lieu relié à la Loire en amont d'Indret. Nous avons, pour le moment, supposé que la largeur du chenal de la Loire pourrait être prise, pour les calculs actuels, de 350 m. à Paimbœuf et de 400 m. à Saint-Nazaire. Ce n'est qu'au moment où l'on aura examiné à fond toutes les hypothèses et arrêté un projet réellement définitif qu'il sera possible d'arrêter la largeur à donner finalement à la Loire, à Paimbœuf, à Saint-Nazaire et probablement jusqu'à Chemoulin.

Les tableaux de cubage sont au nombre de 16 ; ce sont ceux qui suivent :

N° 1 Bellevue (flot), page 238.	N° 1 *bis* Bellevue (jusant), page 239.
« 2 Nantes B.K. 54,5 (flot), page 240.	« 2 *bis* Nantes B.K. 54,5 (jusant), page 241.
« 3 Nantes (bourse) (flot), page 242.	« 3 *bis* Nantes (bourse) (jusant), page 243.
« 4 Couëron (flot), page 244.	« 4 *bis* Couëron (jusant), page 245.
« 5 La Martinière (flot), page 246.	« 5 *bis* La Martinière (jusant), page 247.
« 6 Four de Bouée (flot), page 248.	« 6 *bis* Four de Bouée (jusant), page 249.
« 7 Paimbœuf (flot), page 250.	« 7 *bis* Paimbœuf (jusant), page 251.
« 8 St-Nazaire (flot), page 252.	« 8 *bis* St-Nazaire (jusant), page 253.

Feuilles de hauteurs d'eau

1re et 2me Stations :
St-Nazaire et Paimbeuf **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cotes à Paimbeuf	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Paimbeuf	OBSERVATIONS
	H. M.			M	M.	H. M. S.	
	11 30	0.48	0.66	0 200	10 34	11 49 20	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 45	0.38	0.56	0 100	10 27	midi 4 29	
	midi	0.31	0.49	0 030	10 22	0 19 34	
BM	12 15	0.28	0.46	0 000	10 20	0 34 37	
	12 30	0.33	0.51	0 050	10 23	0 49 33	
	12 45	0.47	0.65	0 190	10 33	1 4 21	
	1 00	0.71	0.88	0 425	10 50	1 19 3	
	1 15	0.98	1.15	0 695	10 69	1 33 42	
	1 30	1.28	1.44	0 995	10 90	1 48 21	
	1 45	1.62	1.77	1 335	11 14	2 2 57	
	2 00	1.96	2.11	1 670	11 39	2 17 34	
	2 15	2.32	2.46	2 070	11 64	2 32 11	
	2 30	2.68	2.81	2 385	11 89	2 46 49	
	2 45	3.04	3.17	2 745	12 15	3 1 28	
	3 00	3.40	3.52	3 100	12 40	3 16 7	
	3 15	3.71	3.82	3 410	12 62	3 30 51	
	3 30	4.00	4.11	3 700	12 83	3 45 35	
	3 45	4.28	4.38	3 980	13 02	4 0 21	
	4 00	4.52	4.62	4 215	13 20	4 15 9	
	4 15	4.73	4.82	4 425	13 34	4 29 59	
	4 30	4.90	4.99	4 595	13 46	4 44 51	
	4 45	5.04	5.13	4 735	13 57	4 59 45	
	5 00	5.16	5.24	4 855	13 65	5 14 39	
	5 15	5 26	5.34	4 955	13 72	5 29 34	
PM	5 30	5.32	5.40	5 010	13 76	5 44 32	
	5 45	5.32	5.40	5 010	13 78	5 59 31	
	6 00	5.28	5.36	4 970	13 75	6 14 33	
	6 15	5.21	5.25	4 905	13 70	6 29 38	
	6 30	5.11	5.19	4 805	13 63	6 44 41	
	6 45	4.98	5.07	4 675	13 54	6 59 46	
	7 00	4.87	4.96	4 565	13 46	7 14 52	
	7 15	4.73	4.82	4 425	13 36	7 29 58	
	7 30	4.55	4.65	4 245	13 24	7 45 7	
	7 45	4.34	4.44	4 035	13 08	8 0 17	
	8 00	4.12	4.22	3 820	12 92	8 15 28	
	8 15	3.88	3.99	3 580	12 76	8 30 41	
	8 30	3.61	3.72	3 310	12 56	8 45 55	
	8 45	3.33	3.45	3 035	12 37	9 1 10	
	9 00	3.05	3.18	2 755	12 17	9 16 26	
	9 15	2.75	2.88	2 455	11 96	9 31 44	
	9 30	2.43	2.57	2 140	11 73	9 47 3	
	9 45	2.14	2.28	1 850	11 52	10 2 21	
	10 00	1.82	1.97	1 530	11 30	10 17 42	
	10 15	1.53	1.69	1 245	11 10	10 33 1,5	
	10 30	1.28	1.44	0 995	10 91	10 48 19	
	10 45	1 05	1.22	0 765	10 76	11 3 36	
	11 00	0 87	1.04	0 585	10 62	11 18 49	
	11 15	0.73	0.90	0 445	10 52	11 34 0	
	11 30	0.60	0.77	0 320	10 43	11 49 10	
	11 45	0.49	0.67	0 210	10 36	min. 4 19	
	minuit	0.40	0.58	0 120	10 29	0 19 26	
	12 15	0.32	0.50	0 040	10 23	0 35 0	
	12 30	0.26	0.44	— 0 020	10 18	0 50 0	
BM	12 45	0.24	0.42	— 0 040	10 17	1 5 0	
	1 00	0.27	0.44	— 0 010	10 19	1 20 0	

Feuilles de hauteurs d'eau

3me Station :
La Tour de Bouée **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cotes à La Tour de Bouée	Profondeurs moyennes P	Celérités ω	Heures de la cote à La Tour de Bouée	OBSERVATIONS
	H. M.			M.	M.	H. M. S.	
	11 15	0.61	0.93	0 325	10 43	11 49 17	
	11 30	0.48	0.80	0 200	10 33	midi 4 35	
	11 45	0.38	0.71	0 100	10 27	0 19 49	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	midi	0.31	0.64	0 030	10 22	0 34 59	
BM	12 15	0.28	0.60	0 000	10 20	0 50 3,6	
	12 30	0.33	0.65	0 050	10 23	1 4 56	
	12 45	0.47	0.79	0 190	10 33	1 19 35	
	1 00	0.71	1.02	0 420	10 50	1 34 3	
	1 15	0.98	1.29	0 690	10 69	1 48 26	
	1 30	1.28	1.58	0 985	10 90	2 2 47	
	1 45	1.62	1.91	1 320	11 13	2 17 6	
	2 00	1.96	2.24	1 650	11 37	2 31 25	
	2 15	2.32	2.60	2 050	11 63	2 45 44	
	2 30	2.68	2.95	2 360	11 87	3 0 5	
	2 45	3.04	3.30	2 715	12 13	3 14 27	
	3 00	3.40	3.65	3 065	12 38	3 28 51	
	3 15	3.71	3.96	3 375	12 60	3 43 20	
	3 30	4.00	4.24	3 660	12 80	3 57 54	
	3 45	4.28	4.51	3 940	12 99	4 12 29	
	4 00	4.52	4.75	4 170	13 14	4 27 8	
	4 15	4.73	4.95	4 375	13 29	4 41 50	
	4 30	4.90	5.12	4 545	13 40	4 56 36	
	4 45	5.04	5.26	4 685	13 50	5 11 24	
	5 00	5.16	5.37	4 805	13 58	5 26 15	
	5 15	5.26	5.47	4 900	13 65	5 41 7	
PM	5 30	5.32	5.53	4 955	13 77	5 56 0	
	5 45	5.32	5.53	4 955	13 77	6 11	
	6 00	5.28	5.49	4 915	13 74	6 26	
	6 15	5.21	5.42	4 850	13 69	6 41	
	6 30	5.11	5.32	4 755	13 63	6 56	
	6 45	4.98	5.20	4 625	13 53	7 12	
	7 00	4.87	5.09	4 515	13 45	7 27	
	7 15	4.73	4 95	4 375	13 35	7 42	
	7 30	4.55	4.78	4 200	13 23	7 57	
	7 45	4.34	4.57	3 990	13 08	8 12	
	8 00	4.12	4.36	3 780	12 92	8 27	
	8 15	3.88	4.12	3 540	12 76	8 42	
	8 30	3.61	3.86	3 275	12 56	8 59	
	8 45	3.33	3.58	3 005	11 37	9 14	
	9 00	3.05	3.31	2 725	12 10	9 29	
	9 15	2.75	3.02	2 430	12 95	9 44	
	9 30	2.43	2.70	2 115	11 72	10 00	
	9 45	2.14	2.42	1 830	11 52	10 15	
	10 00	1.82	2.11	1 515	11 29	10 31	
	10 15	1.53	1.82	1 230	11 08	10 46	
	10 30	1.28	1.58	0 985	10 91	11 2	
	10 45	1.05	1.35	0 755	10 74	11 17	
	11 00	0.87	1.18	0 580	10 62	11 32	
	11 15	0.73	1.04	0 440	10 51	11 47	
	11 30	0.60	0.91	0 315	10 42	min. 2	
	11 45	0.49	0.81	0 210	10 35	0 18	
	minuit	0.40	0.72	0 120	10 28	0 33	
	12 15	0.32	0.64	0 004	10 22	0 49	
	12 30	0.26	0.58	— 0 020	10 18	1 4	
BM	12 45	0.24	0.56	— 0 040	10 17	1 19	
	1 00	0.27	0.58	— 0 010	10 19	1 34	

Feuilles de hauteurs d'eau

4me Station :
La Martinière

10m60

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cote à La Martinière	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à la Martinière	OBSERVATIONS
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	11 00	0.75	1.22	0 435	10 511	11 54	
	11 15	0.61	1.11	0 320	10 428	midi 9	
	11 30	0.48	0.98	0 195	10 338	0 24	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 45	0.38	0.89	0 100	10 269	0 40	
	midi	0.31	0.82	0 030	10 219	0 56	
BM	12 15	0.28	0.79	0 000	10 197	1 11	H = 10.60
	12 30	0.33	0.84	0 050	10 233	1 26	
	12 45	0.47	0.97	0 185	10 330	1 40	H = Profondeur moyenne au-dessous de la basse-mer entre la Tour de Bouée et la Martinière.
	1 00	0.71	1.20	0 415	10 496	1 53	
	1 15	0.98	1.46	0 680	10 688	2 8	
	1 30	1.28	1.75	0 970	10 897	2 23	
	1 45	1.62	2.08	1 300	11 135	2 36	
	2 00	1.96	2.41	1 630	11 373	2 51	
	2 15	2.32	2.79	2 020	11 655	3 5	
	2 30	2.68	3.10	2 330	11 878	3 18	
	2 45	3.04	3.45	2 680	12 131	3 33	
	3 00	3.40	3.80	3 030	12 383	3 48	
	3 15	3.71	4.09	3 330	12 599	4 1	
	3 30	4.00	4.37	3 610	12 802	4 15	
	3 45	4.28	4.65	3 890	13 004	4 30	
	4 00	4.52	4.87	4 115	13 166	4 45	
	4 15	4.73	5.07	4 315	13 310	4 59	
	4 30	4.90	5.24	4 485	13 433	5 14	
	4 45	5.04	5.37	4 620	13 530	5 28	
	5 00	5.16	5.50	4 745	13 620	5 43	
	5 15	5.26	5.59	4 835	13 685	5 58	
PM	5 30	5.32	5.65	4 895	13 729	6 13	
	5 45	5.32	5.65	4 895	13 729	6 28	
	6 00	5.28	5.61	4 855	13 700	6 43	
	6 15	5.21	5.54	4 785	13 649	6 58	
	6 30	5.11	5.44	4 690	13 581	7 13	
	6 45	4.98	5.32	4 565	13 491	7 29	
	7 00	4.87	5.22	4 460	13 415	7 44	
	7 15	4.73	5.08	4 320	13 314	7 59	
	7 30	4.55	4.91	4 150	13 191	8 15	
	7 45	4.34	4.70	3 940	13 040	8 30	
	8 00	4.12	4.49	3 730	12 888	8 45	
	8 15	3.88	4.26	3 495	12 719	9 0	
	8 30	3.61	4.00	3 235	12 531	9 16	
	8 45	3.33	3.73	2 965	12 336	9 33	
	9 00	3.05	3.46	2 960	12 138	9 48	
	9 15	2.75	3.17	2 400	11 929	10 3	
	9 30	2.43	2.86	2 085	11 701	10 19	
	9 45	2.14	2.58	1 805	11 499	10 35	
	10 00	1.82	2.28	1 500	11 279	10 51	
	10 15	1.53	1.99	1 210	11 070	11 06	
	10 30	1.28	1.75	0 970	10 897	11 23	
	10 45	1.05	1.53	0 745	10 734	11 38	
	11 00	0.87	1.36	0 575	10 612	11 53	
	11 15	0.73	1.22	0 435	10 511	min. 8	
	11 30	0.60	1.10	0 310	10 421	0 23	
	11 45	0.49	0.99	0 210	10 349	0 39	
	minuit	0.40	0.91	0 120	10 284	0 55	
	12 15	0.32	0.83	0 040	10 226	1 11	
	12 30	0.26	0.77	— 0 020	10 183	1 26	
BM	12 45	0.24	0.75	— 0 040	10 168	1 41	
	1 00	0.27	0.78	— 0 010	10 190	1 56	
	1 15	0.38	0.89	0 100	10 269	2 10	
	1 30	0.60	1.10	0 310	10 421	2 23	
	1 45	0.89	1.38	0 595	10 626	2 38	
	2 00	1.18	1.66	0 875	10 828	2 51	
	2 15	1.51	1.98	1 195	11 059	3 6	
	2 30	1.87	2.32	1 545	11 312	3 20	

Feuilles de hauteurs d'eau

5me Station : Couëron — **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cote à St-Nazaire	Cotes à Couëron	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Couëron	OBSERVATIONS
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	10 45	0.88	1.43	0 580	10 615	11 45	
	11 00	0.73	1.28	0 430	10 507	midi 5	
	11 15	0.61	1.17	0 320	10 428	0 15	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	11 30	0.48	1.04	0 190	10 334	0 30	
	11 45	0.38	0.95	0 100	10 269	0 47	
	midi	0.31	0.88	0 030	10 219	1 3	H = 10.60
BM	12 15	0.28	0.85	0 000	10 197	1 18	
	12 30	8.33	0.90	0 050	10 233	1 33	H = profondeur moyenne au-dessous de la basse-mer, entre La Martinière et Couëron.
	12 45	0.47	1.03	0 180	10 327	1 46	
	1 00	0.71	1.26	0 410	10 493	1 59	
	1 15	0.98	1.52	0 670	10 680	2 14	
	1 30	1.28	1.81	0 960	10 890	2 29	
	1 45	1.62	2.14	1 290	11 128	2 42	
	2 00	1.92	2.46	1 615	11 362	2 57	
	2 15	2.32	2.85	2 000	11 640	3 11	
	2 30	2.68	3.15	2 305	11 860	3 24	
	2 45	3.04	3.50	2 675	12 112	3 39	
	3 00	3.40	3.85	3 005	12 365	3 54	
	3 15	3.71	4.14	3 295	12 574	4 7	
	3 30	4.00	4.42	3 575	12 776	4 21	
	3 45	4.28	4.69	3 850	12 975	4 35	
	4 00	4.52	4.92	4 075	13 137	4 50	
	4 15	4.73	5.12	4 275	13 281	5 4	
	4 30	4.90	5.28	4 440	13 400	5 19	
	4 45	5.04	5.42	4 575	13 498	5 33	
	5 00	5.16	5.53	4 695	13 584	5 48	
	5 15	5.26	5.63	4 790	13 653	6 3	
PM	5 30	5.32	5.69	4 850	13 696	6 18	
	5 45	5.32	5.69	4 850	13 896	6 33	
	6 00	5.28	5.65	4 810	13 667	6 48	
	6 15	5.21	5.58	4 740	13 617	7 3	
	6 30	5.11	5.48	4 640	13 545	7 18	
	6 45	4.98	5.36	4 520	13 458	7 34	
	7 00	4.87	5.25	4 415	13 382	7 49	
	7 15	4.73	5.12	4 280	13 285	8 4	
	7 30	4.55	4.95	4 110	13 162	8 20	
	7 45	4.34	4.75	3 905	13 014	8 35	
	8 00	4.12	4.54	3 695	12 863	8 50	
	8 15	3.88	4.31	3 465	12 697	9 5	
	8 30	3.61	4.05	3 405	12 509	9 22	
	8 45	3.33	3.78	2 935	12 315	9 38	
	9 00	3.05	3.51	2 665	12 120	9 54	
	9 15	2.75	3.22	2 375	11 910	10 9	
	9 30	2.43	2.91	2 065	11 687	10 25	
	9 45	2.14	2.64	1 790	11 488	10 41	
	10 00	1.82	2.33	1 485	11 268	10 57	
	10 15	1.53	2.05	1 200	11 063	11 12	
	10 30	1.28	1.81	0 960	10 890	11 29	
	10 45	1.05	1.59	0 740	10 731	11 44	
	11 00	0.87	1.41	0 565	10 605	11 59	
	11 15	0 73	1.28	0 430	10 507	min. 14	
	11 30	0.60	1.16	0 310	10 421	0 29	
	11 45	0.49	1.05	0 200	10 341	0 45	
	minuit	0.40	0.97	0 120	10 284	1 1	
	12 15	0.32	0.89	— 0 040	10 226	1 17	
BM	12 30	0.26	0.83	— 0 020	10 183	1 33	
	12 45	0.24	0.81	— 0 040	10 168	1 48	
	1 00	0.27	0.84	0 010	10 190	2 3	
	1 15	0.38	0.95	0 100	10 269	2 17	
	1 30	0.60	1.16	0 310	10 421	2 29	
	1 45	0.89	1.44	0 590	10 623	2 43	
	2 00	1.18	1.71	0 865	10 821	2 57	
	2 15	1.51	2.03	0 185	11 052	3 12	

Feuilles de hauteurs d'eau

6me Station : Nantes **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cotes à Nantes	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Nantes	OBSERVATIONS
	H. M.			M.	M.	H. M.	
	10 30	1.05	1.77	0 737	10 727	11 50	
	10 45	0.88	1.61	0 575	10 612	midi 05	
	11 00	0.73	1.47	0 430	10 507	0 20	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right.$
	11 15	0.61	1.35	0 315	10 424	0 35	
	11 30	0.48	1.23	0 190	10 334	0 51	
	11 45	0.38	1.13	0 095	10 266	1 8	H = 10.60
	midi	0.31	1.07	0 030	10 219	1 24	
BM	12 15	0.28	1.04	0 000	10 197	1 39	H = profondeur moyenne au-dessous de la basse-mer entre Couëron et Nantes.
	12 30	0.33	1.09	0 050	10 233	1 54	
	12 45	0.47	1.22	0 180	10 327	2 7	
	1 00	0.71	1.45	0 410	10 493	2 20	
	1 15	0.98	1.70	0 665	10 677	2 34	
	1 30	1.28	1.99	0 955	10 886	2 49	
	1 45	1.62	2.31	1 280	11 120	3 2	
	2 00	1.96	2.63	1 600	11 351	3 16	
	2 15	2.32	3.01	1 985	11 629	3 30	
	2 30	2.68	3.32	1 290	11 849	3 43	
	2 45	3.04	3.66	2 635	12 098	3 57	
	3 00	3.40	4.00	2 980	12 347	4 12	
	3 15	3.71	4.29	3 270	12 556	4 25	
	3 30	4.00	4.56	3 345	12 755	4 39	
	3 45	4.28	4.83	3 815	12 949	4 52	
	4 00	4.52	5.07	4 050	13 119	5 7	
	4 15	4.73	5.26	4 245	13 260	5 21	
	4 30	4.90	5.42	4 405	13 375	5 36	
	4 45	5.04	5.55	4 545	13 476	5 50	
	5 00	5.16	5.67	4 655	13 555	6 5	
	5 15	5.26	5.77	4 755	13 628	7 20	
PM	5 30	5.32	5.82	4 810	13 667	6 34	
	5 45	5.32	5.82	4 810	13 667	6 49	
	6 00	5.28	5.78	4 770	13 638	7 5	
	6 15	5.21	5.72	4 705	13 592	7 20	
	6 30	5.11	5.62	4 605	13 519	7 35	
	6 45	4.98	5.49	4 480	13 429	7 51	
	7 00	4.87	5.39	4 375	13 353	8 6	
	7 15	4.73	5.26	4 245	13 260	8 21	
	7 30	4.55	5.09	4 075	13 137	8 37	
	7 45	4.34	4.88	3 870	12 989	8 52	
	8 00	4.12	4.68	3 665	12 841	9 7	
	8 15	3.88	4.45	3 435	12 675	9 23	
	8 30	3.61	4.19	3 175	12 488	9 40	
	8 45	3.33	3.93	2 910	12 276	9 56	
	9 00	3.05	3 66	2 640	12 102	10 12	
	9 15	2.75	3.38	2 355	11 896	10 27	
	9 30	2.43	3.08	2 050	11 676	10 44	
	9 45	2.14	2.80	1 775	11 478	11 0	
	10 00	1.82	2.50	1 470	11 258	11 16	
	10 15	1.53	2.23	1 195	11 059	11 32	
	10 30	1.28	1.99	0 955	10 886	11 49	
	10 45	1.05	1.77	0 735	10 727	min. 4	
	11 00	0.87	1.60	0 560	10 601	0 19	
	11 15	0.73	1.47	0 430	10 507	0 34	
	11 30	0.60	1.34	0 305	10 417	0 50	
	11 45	0.49	1.24	0 200	10 341	1 6	
	minuit	0.40	1.15	0 115	10 280	1 22	
	12 15	0.32	1.08	0 040	10 226	1 38	
	12 30	0.26	1.02	— 0 020	10 183	1 54	
BM	12 45	0.24	1.00	— 0 040	10 168	2 9	
	1 00	0.27	1.03	— 0 010	10 190	2 24	
	1 15	0.38	1.13	0 095	10 266	2 38	
	1 30	0.60	1.34	0 305	10 417	2 50	
	1 45	0.89	1.62	0 585	10 619	3 3	
	2 00	1.18	1.89	0 855	10 814	3 17	

Feuilles de hauteurs d'eau

7me Station : Bellevue **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cote à Bellevue	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Bellevue	OBSERVATIONS
	H M.			M.	M.	H. M.	
	10 15	1.26	2.57	0 870	9 872	11 49	
	10 30	1.05	2.39	0 680	9 719	midi 4	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$
	10 45	1.88	2.25	0 530	9 599	0 19	
	11 00	1.73	2.13	0 400	9 495	0 34	
	11 15	0.61	2.03	0 290	9 407	0 49	H = 8.58
	11 30	0.48	1.92	0 175	9 314	1 5	
	11 45	0.38	1.84	0 895	9 242	1 22	
	midi	0.31	1.78	0 025	9 194	1 38	H = profondeur
BM	12 15	0.28	1.76	0 000	9 174	1 53	moyenne au-dessous de
	12 30	0.33	1.80	0 045	9 210	2 8	la basse-mer entre Nan-
	12 45	0.47	1.92	0 170	9 310	2 21	tes et Bellevue.
	1 00	0.71	2.11	0 380	9 479	2 34	
	1 15	0.98	2.34	0 620	9 671	2 48	
	1 30	1.28	2.58	0 885	9 884	3 2	
	1 45	1.62	2.86	1 185	10 124	3 15	
	2 00	1.96	3.14	1 485	10 365	3 29	
	2 15	2.32	3.47	1 840	10 650	3 42	
	2 30	2.68	3.73	2 125	10 878	3 55	
	2 45	3.04	4.02	2 440	11 131	4 9	
	3 00	3.40	4.32	2 760	11 387	4 23	
	3 15	3.71	4.58	3 035	11 608	4 36	
	3 30	4.00	4.82	3 290	11 812	4 50	
	3 45	4.28	5.04	3 535	12 009	5 3	
	4 00	4.52	5.24	3 755	12 185	5 18	
	4 15	4.73	5.42	3 940	12 334	5 32	
	4 30	4.90	5.55	4 085	12 450	5 46	
	4 45	5.04	5.67	4 210	12 550	6 00	
	5 00	5.16	5.78	4 325	12 642	6 15	
	5 15	5.26	5.87	4 410	12 710	6 30	
PM	5 30	5.32	5.90	4 460	12 750	6 44	
	5 45	5.32	5.90	4 460	12 750	6 59	
	6 00	5.28	5.87	4 425	12 722	7 15	
	6 15	5.21	5.81	4 365	12 674	7 30	
	6 30	5.11	5.72	4 270	12 598	7 45	
	6 45	4.98	5.62	4 155	12 506	8 1	
	7 00	4.87	5.53	4 060	12 430	8 17	
	7 15	4.73	5.42	3 940	12 334	8 32	
	7 30	4.55	5.26	3 775	12 201	8 48	
	7 45	4.34	5.09	3 585	12 049	9 3	
	8 00	4.12	4.91	3 395	11 896	9 18	
	8 15	3.88	4.72	3 185	11 728	9 34	
	8 30	3.61	4.49	2 940	11 532	9 50	
	8 45	3.33	4.26	2 695	11 335	10 7	
	9 00	3.05	4.03	2 445	11 135	10 24	
	9 15	2.75	3.79	2 185	10 926	10 39	
	9 30	2.43	3.53	1 905	10 702	10 56	
	9 45	2.14	3.29	1 645	10 493	11 13	
	10 00	1.82	3.03	1 365	10 269	11 29	
	10 15	1.53	2.79	1 110	10 064	11 45	
	10 30	1.28	2.58	0 885	9 884	12 2	
	10 45	1.05	2.39	0 680	9 719	12 18	
	11 00	0.87	2.25	0 525	9 595	12 33	
	11 15	0.73	2.13	0 400	9 495	12 48	
	11 30	0.60	2.02	0 280	9 398	1 4	
	11 45	0.49	1.93	0 185	9 322	1 20	
	minuit	0.40	1.86	0 105	9 258	1 36	
	12 15	0.32	1.79	0 035	9 202	1 52	
	12 30	0.26	1.74	— 0 020	9 158	2 8	
BM	12 45	0.24	1.73	— 0 035	9 146	2 23	
	1 00	0.27	1.75	— 0 010	9 166	2 38	
	1 15	0.38	1.84	0 085	9 242	2 52	
	1 30	0.60	2.02	0 280	9 399	3 4	
	1 45	0.89	2.26	0 540	9 607	3 16	

Feuilles de hauteurs d'eau

8me Station : Mauves **10m60**

	Heures de la cote à St-Nazaire	Cotes à St-Nazaire	Cotes à Mauves	Profondeurs moyennes P	Célérités ω	Heures de la cote à Mauves	OBSERVATIONS
	H, M,			M.	M.	H. M.	
	9 45	1.76	5.11	0 785	7 105	11 42	
	10 00	1.51	5.05	0 650	6 944	11 57	
	10 15	1.26	4.99	0 520	6 789	midi 12	$\omega = \sqrt{gH}\left(1 + \frac{3h'}{4H}\right)$
	10 30	1.05	4.94	0 405	6 652	0 27	
	10 45	0.88	4.90	0 315	6 545	0 43	$H = 3.88$
	11 00	0.73	4.87	0 240	6 455	0 59	
	11 15	0.61	4.84	0 175	6 378	1 14	
	11 30	0.48	4.81	0 105	6 294	1 30	H = profondeur moyenne au-dessous de la basse-mer de Bellevue à Mauves.
	11 45	0.38	4.78	0 050	6 229	1 47	
	midi	0.31	4.77	0 015	6 187	2 4	
	12 15	0.28	4.76	0 000	6 169	2 19	
	12 30	0.33	4.77	0 025	6 199	2 33	
BM	12 45	0.47	4.80	0 100	6 288	2 46	
	1 00	0.71	4.86	0 225	6 437	2 59	
	1 15	0.98	4.93	0 375	6 616	3 12	
	1 30	1.28	5.00	0 530	6 801	3 25	
	1 45	1.62	5.08	0 710	7 016	3 38	
	2 00	1.96	5.16	0 890	7 230	3 51	
	2 15	2.32	5.25	1 100	7 481	4 3	
	2 30	2.68	5.33	1 270	7 683	4 16	
	2 45	3.04	5.41	1 455	7 904	4 29	
	3 00	3.40	5.50	1 630	8 113	4 42	
	3 15	3.71	5.57	1 815	8 334	4 55	
	3 30	4.00	5.64	1 970	8 518	5 8	
	3 45	4.28	5.70	2 110	8 685	5 21	
	4 00	4.52	5.76	2 240	8 840	5 36	
	4 15	4.73	5.81	2 355	8 977	5 50	
	4 30	4.90	5.85	2 440	9 079	6 3	
	4 45	5.04	5.88	2 515	9 168	6 17	
	5 00	5.16	5.91	2 585	9 252	6 32	
	5 15	5.26	5.94	2 635	9 311	6 47	
PM	5 30	5 32	5.95	2 665	9 347	7 1	
	5 45	5.32	5.95	2 665	9 347	7 16	
	6 00	5.28	5.94	2 645	9 323	7 32	
	6 15	5.21	5.93	2 610	9 281	7 47	
	6 30	5.11	5.90	2 550	9 210	8 2	
	6 45	4.98	5.87	2 485	9 132	8 18	
	7 00	4.87	5.84	2 425	9 061	8 34	
	7 15	4.73	5.81	2 355	8 977	8 50	
	7 30	4.55	5.77	2 255	8 858	9 6	
	7 45	4.34	5.72	2 145	8 727	9 21	
	8 00	4.12	5.67	2 030	8 590	9 36	
	8 15	3.88	5.61	1 905	8 441	9 53	
	8 30	3.61	5.55	1 760	8 268	10 9	
	8 45	3.33	5.48	1 610	8 089	10 26	
	9 00	3.05	5.41	1 460	7 910	10 43	
	9 15	2.75	5.34	1 305	7 725	10 59	
	9 30	2.43	5.27	1 140	7 528	11 17	
	9 45	2.14	5.20	0 985	7 344	11 35	
	10 00	1.82	5.12	0 815	7 141	11 51	
	10 15	1.53	5.06	0 665	6 962	min. 8	
	10 30	1.28	5.00	0 530	6 801	0 25	
	10 45	1.05	4.94	0 385	6 628	0 42	
	11 00	0.87	4.89	0 310	6 539	0 57	
	11 15	0.73	4.87	0 240	6 455	1 13	
	11 30	0.60	4.84	0 170	6 372	1 29	
	11 45	0.49	4.81	0 110	6 300	1 45	
	minuit	0.40	4.79	0 065	6 246	2 1	
	12 15	0.32	4.77	0 020	6 193	2 18	
	12 30	0.26	4.76	— 0 010	6 157	2 33	
BM	12 45	0.24	4.75	— 0 020	6 145	2 49	
	1 00	0.27	4.76	— 0 005	6 163	3 4	
	1 15	0.38	4.78	0 050	6 229	3 17	
	1 30	0.60	4.84	0 170	6 372	3 29	

Bellevue (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU I
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 2 h.12	COTES à 7 h. 20	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Bellevue.....	300						1.84	5.85	4.01			
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.60	7.410.000	
Mauves.....	300						4.76	5.95	1.19			
											7.410.000	
							Débit fluvial.....				14.968.800	
							Excédent du débit de la Loire sur celui du flot.				7.558.800	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 2 h. 12 (1.84).
Etale de flot à 7 h. 20 (5.85).
2° Etale de jusant à 2 h. 47 (1.81).
BM à 1 h. 53 (1.76) ; P M à 6 h. 44 (5.90) ,
2 BM à 2 h. 23 (1.73).
Durée du flot 5 h. 8 ou 18.480 s.
Durée du jusant 7 h. 27 ou 26.820 s.
Durée de la marée 12 h. 35 ou 45.300 s.
Débit moyen de la Loire 810 m³ par seconde.
Cote du fond (— 4.80).

$p = 4.80 + 1.84 = 6.64$; $\frac{y'}{2} = 2.005$; $H = 8.645$.

Excédent du débit fluvial 7.558.800 ; par seconde de 409 m. 02. Cet excédent continue à couler vers l'aval et sa vitesse moyenne est de 0.158. Le flot n'aurait donc pour effet que de diminuer la vitesse du jusant en retenant 7.410.000 mètres cubes en amont de Bellevue. Le reste du débit fluvial ne produirait qu'une vitesse moyenne de 0.158 et une vitesse de fond de 0 m. 146 qui n'entraînerait à la mer que du sable très fin.

Si la Loire était à l'étiage et ne débitait que 100 m³ par seconde, son débit serait de 1.848.000 m³ tandis que le flot donnerait (5.562.000) mètres cubes ou 300 m³ 97 par seconde. La vitesse moyenne du flot serait de 0.176 et la vitesse de fond de 0.095. Elle serait trop faible pour mettre le sable en mouvement. Celui-ci commencerait à être entraîné par une vitesse de fond de 0.189 correspondant à un débit de 596 m³ correspondant à une hauteur de 0 m. $\frac{2}{3}$ à l'échelle de Mauves.

TABLEAU I *bis*
10m60

Tableau de cubage

Bellevue (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 20	COTES à 2 h. 47	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Bellevue.....	300						5.85	1.81	4.04			
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.62		7.467.000
Mauves.....	300						5.95	4.75	1.20			
												7.467.000
									Débit fluvial.....			21.724.000
									Débit du jusant.....			29.191.200

OBSERVATIONS

Etale de flot à 7 h. 20 (5.85).
2° Etale de jusant à 2 h. 47 (1.81).
P M à 6 h. 44 (5.90) ; 2° B M à 2 h. 23 (1.73).
Durée du jusant 7 h. 27 ou 26.820 s.
Débit moyen de la Loire 810 m³
Débit du jusant 29.191.200 ; par seconde 1088.40.
Cote du fond (— 4.80).
$p = 4.80 + 5.85 = 10.85 ; \frac{y'}{2} = 2.02 ; H = 8.63.$

La débit de 1.088. 40 du jusant par seconde correspond à une vitesse moyenne de 0 m. 420 et à une vitesse de fond de 0.344. Cette vitesse est suffisante pour entraîner du sable de la grosseur d'une fève de marais.

Si la Loire était à l'étiage et ne débitait que 103 m³ par seconde ou 2.682.000 m³, le débit total du jusant serait de 10.149.000 m³ ou de 378 m³ 41 par seconde. Pour une largeur de 300 m. ce chiffre correspond à une vitesse moyenne de 0.146 et à une vitesse de fond de 0 m. 12. Cette dernière vitesse ne peut entraîner d'après la table de Genieys que du sable gros comme un grain d'anis.

En résumé, le sable ne serait pas remonté vers l'amont par le flot ; au jusant il ne serait pas entraîné vers l'aval en étiage, mais il le serait par les eaux moyennes débitant 810 m³ par seconde, un débit de 631.37 par seconde produisant une vitesse de fond de 0.20 suffirait à l'emporter vers l'aval.

Nantes B K. 54 k. 5 (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU II
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 56	COTES à 7 h. 4	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Nantes BK 54 k.5	300						1.27	5.79	4.52				1° Etale de jusant à 1 h. 56 s. (1.27). Etale de flot à 7 h. 4 s. (5.79). 2° Etale de jusant à 2 h. 33 (1.25).
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.32	7.776.000		B M à 1 h. 42 (1.14) ; P M à 6 h. 36 (5.83). 2° B M à minuit 22 (1.10).
Bellevue.....	300						1.77	5.89	4.12				Durée du flot 5 h. 8 ou 18.480 s. Durée du jusant 7 h. 26 ou 26.760 s.
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.65	7.552.500		Débit de la Loire 810 m³ par seconde. Cote du fond (— 9.46) ;
Mauves.....	300						4.77	5.95	1.18				$p = 9.46 + 1\ 27 = 10.73$; $\frac{y'}{2} = 2.26$; H = 12.99.
											15.328.500		
										Débit fluvial.....	14.968.800		Débit du flot 359.700 ; par seconde 19 m³ 464.
										Débit du flot.....	359.700		La vitesse moyenne du flot à l'entrée amont du port de Nantes serait presque nulle U = (0.005). Le débit moyen de la Loire suffirait pour remplir le fleuve en amont de ce point, mais la vitesse serait encore positive. Le flot aurait en moyenne pour effet d'accumuler au-dessus de Nantes tout le débit de la Loire pendant le flot, et d'y ajouter 359.700 m³. Si la Loire était à l'étiage et si son débit n'était que de 100 m³ par seconde, le débit du flot serait de 13.480.500 m³, ou de 729 m³ 46 par seconde : la vitesse moyenne du flot de 0.187 et la vitesse de fond de 0.153. Le courant du flot serait donc trop faible pour remonter le sable vers l'amont.

TABLEAU II *bis*

10m60

Tableau de cubage

Nantes BK. 54 k. 5 (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 4	COTES à 2 h. 33	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Nantes BK 54 k.5	300						5.79	1.25	2.27			
		300	6.000	6.000		1.800.000				3.21		5.778.000
Bellevue.....	300						5.89	1.74	4.15			
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.67		7.709.500
Mauves.....	300						5.95	4.76	1.19			
												13.487.500
											Débit de la Loire	21.675.600
											Débit du jusant.....	35.162.100

OBSERVATIONS

Etale de flot à 7 h. 4 s. (5.79).
2° Etale de jusant à 2 h. 33 (1.25).
P M à 6 h. 36 (5.83) ; 2° B M à 2 h. 12 (1.10).
Durée du flot 5 h. 8 m. ou 18.480 s.
Durée du jusant 7 h. 26 m. ou 26.760 s.
Durée de la marée 12 h. 34 m. ou 45 m. 240 s.
Débit de la Loire 810 m³ par seconde ; total 21.675.600.
Cote du fond (— 9.46).
$p = 9.46 + 1.25 = 10.71$; $\frac{y'}{2} = 2.27$; $H = 12.98$.
Débit du jusant 35.162.100 ; par seconde 1.313 m³ 98.
Le débit de 1313.98 correspond à une vitesse moyenne de 0 m. 337 et à une vitesse de fond de 0 m. 275. Cette dernière vitesse entraînerait du gros sable jaune d'après la table de M. Genieys. En eaux moyennes le jusant emporterait donc le sable de la Loire vers la mer.
Si la Loire était à l'étiage et si son débit n'était que de 100 m³ par seconde, le débit du jusant ne serait que de 16.163.500 ou de 604 m³ 02 par seconde ce qui correspond à une vitesse moyenne de 0.155 par seconde et à une vitesse de fond de 0.129, à l'étiage le jusant n'entraînerait que du sable fin. Pour emporter à la mer du sable de la grosseur d'un pois au plus il faudrait une vitesse de fond de 0.189 qui correspondrait à une vitesse moyenne de 0.229 et à un débit de 823 m³ 85 par seconde. Ce débit donnerait une hauteur d'eau de 1 m.29 au-dessus du zéro de l'échelle de Mauves.

TABLEAU III
10m60

Tableau de cubage

Nantes (Bourse) (flot)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 54	COTES à 7 h. 3	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Nantes (bourse).	300						1.09	5.78	4.69			
		300	1.900	1.900	570.000					4.625	2.636.250	
Nantes BK 54.5.	300						1.25	5.81	4.56			
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.345	7.821.000	
Bellevue.....	300						1.76	5.89	4.13			
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.65	7.552.500	
Mauves.....	300						4.78	5.95	4.17			
											18.009.750	
							Débit fluvial.....				15.017.400	
							Débit du flot.....				2.992.350	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 1 h. 54 (1.25).
Etale de flot à 7 h. 3 (5.78).
2° Etale de jusant à 2 h. 29 (1.07).
B M à 1 h. 39 (1.04). P M à 6 h. 34 (5.82).
2° B M à 2 h. 9 (1.00).
Durée du flot 5 h. 9 ou 18.540 s.
Durée du jusant 7 h. 26 m. ou 26.760 s.
Débit de la Loire 810 m³ par seconde. Débit total 15.017.400.
Cote du fond (— 9.56).

$p = 9.56 + 1.09 = 10.65$, $\frac{y'}{2} = 2.345$; H = 12 m. 995.

Débit du flot 2.992 350 ou par seconde 161.40 vitesse moyenne 0 04, vitesse du fond 0,0329.

En eaux moyennes de la Loire, le débit par seconde du flot serait de 161 m³ 40 et la vitesse moyenne 0.041, la situation serait la même qu'à l'entrée amont du port de Nantes, à la borne 54 K. 5.

Si la Loire était à l'étiage et si son débit n'était que de 100 m³ par seconde le débit du flot serait de 16.155.750 m³ ou de 871 m³ 38 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.224 et celle de fond de 0.185. La table de Genieys indique que du gravier de la Seine gros comme un pois au plus peut être entraîné par une vitesse de fond de 0.189 par seconde. Le flot pourrait donc entraîner une certaine quantité de sable vers l'amont.

TABLEAU III *bis*

Nantes (Bourse) (jusant)

Tableau de cubage

10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 7 h. 3	COTES à 2 h. 29	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Nantes (bourse).	300						5.78	1.07	4.71				2° Etale de flot à 7 h. 3 (5.78). 2° Etale de jusant à 2 h. 29 (1.07). P M à 6 h. 34 (5.82) ; 2° B M à 2 h. 9 (1.00). Durée du jusant 7 h. 26 ou 26.760 s. Durée de la marée 12 h. 35 ou 45.300 s. Débit de la Loire 810 m³ par seconde. Cote du fond (— 9.56). $p = 9.56 + 0.07 = 10.63$; $\frac{v'}{2} = 2.355$; H = 12. 985. Débit du jusant 39.789.750 ; par seconde 1487.17, vitesse moyenne 0.382 vitesse, de fond 0.315. En eaux moyennes de la Loire, le débit par seconde du jusant serait de 1492 m³ 24 et la vitesse moyenne de 0.383 ; la vitesse de fond de 0.316. Le jusant entraînerait donc le sable de la Loire vers la mer. Si la Loire était à l'étiage le débit du jusant serait de 20.790.150 m³ ou de 782 m³ 24 par seconde. La vitesse moyenne du jusant serait de 0.2008. La vitesse de fond de 0.1656. Le jusant entraînerait le sable vers la mer en eaux moyennes, mais n'en emporterait que du très fin en étiage.
		300	1.900	1.900		570.000				4.645		2.647.650	
Nantes BK 54...	300						5.81	1.23	4.58				
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.365		7.857.000	
Bellevue.....	300						5.89	1.74	4.15				
		300	9.500	6.000		2.850.000				2.67		7.609.500	
Mauves.....	300						5.95	4.74	1.19				
												18.114.150	
										Débit fluvial.....		21.675.600	
										Débit du jusant.....		39.789.750	

Couéron (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU IV
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 36	COTES à 6 h. 46	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Couéron.....	300						0.93	5.66	4.73			
		300	12.160	12.160	3.648.000					4.75	17.328.000	
Nantes (bourse).	300						1.05	5.82	4.77			
		300	1.900	1.900	570.000					4.69	2.673.300	
Nantes BK 54.5.	300						1.23	5.84	4.61			
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.36	7.848.000	
Bellevue.....	300						1.79	5.90	4.11			
		300	9.500		2.850.000					2.625	7.481.250	
Mauves.....	300			9.500			4.80	5.94	1.14			
											35.330.550	
							Débit fluvial.....				15.066.000	
							Débit du flot.....				20.264.550	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 1 h. 36 (0.93).
Etale de flot à 6 h. 46 (5.66).
2° Etale de jusant à 2 h. 7 (0.87).
B M à 1 h. 18 (0.85) ; P M à 6 h. 18 (5.69) ; 2° B M à 2 h. 3 (0.84).
Durée du flot 5 h. 10 ou 18.600 s.
Durée du jusant 7 h. 21 ou 26.460 s.
Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
Cote du fond (— 9.74).

$p = 9.74 + 0.93 = 10.67$; $\frac{y'}{2} = 2.365$; $H = 13.035$.

Débit du flot 20.264.550 ; par seconde 1089,49. Vitesse moyenne 0.2786 ; vitesse de fond 0.228.

La vitesse de 0.228 serait suffisante pour que le gros sable jaune soit emporté vers l'amont.

En temps d'étiage, la Loire ne débite que 100 m³ par seconde. Dans ce cas le débit total du flot serait de 33.470 550 ou de 1.679.38 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.460 et la vitesse de fond de 0.380.

Le sable de la grosseur d'une fève de marée serait remonté vers l'amont par le flot.

TABLEAU IV *bis*

Couéron (jusant)

Tableau de cubage

10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 46	COTES à 2 h. 7	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Couéron.....	300						5.66	0.87	4.79			
		300	12.160	12.160		3.648.000				4.805		17.528.640
Nantes (bourse).	300						5.82	1.00	4.82			
		300	1.900	1.900		570.000				4.73		2.696.100
Nantes B K 54.5.	300						5.84	1.18	4.66			
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.41		7.938.000
Bellevue.....	300						5.90	1.74	4.16			
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.66		7.581.000
Mauves.....	300						5.94	4.78	1.16			
												35.743.740
								Débit de la Loire.....				21.432.600
								Débit total du jusant.....				57.176.340

OBSERVATIONS

Etale de flot à 6 h. 46 (5.66).
2° Etale de jusant à 2 h. 7 (0.87).
P M à 6 h. 18 (569) : 2° B M à 2 h. 3 (0.84).
Durée du jusant 7 h. 26 ou 26.460 s.
Cote du fond (— 9.74).

$p = 974 + 0.87 = 10.61$; $\frac{y'}{2} = 2.395$; H = 1.3005.

Débit de la Loire 810 m³ par seconde.

Débit du jusant 57.176.340 m³ ou par seconde 2160 m³ 86.

Le débit de 2160 m³ 86 correspond à une vitesse moyenne de 0.554 et à une vitesse de fond de 0.457. Le sable de la Loire serait largement entraîné vers la mer.

Dans le cas où la Loire serait à l'étiage et n'écoulerait que 100 m³ par seconde le débit du jusant serait de 38.389.740 ou de 1450.87 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.372 et la vitesse de fond de 0.306. Celle-ci suffirait pour mettre le sable en mouvement vers la mer.

La Martinière (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU V
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 36	COTES à 6 h. 46	Différence des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
La Martinière..	300						0.93	5.60	4.67				1° Etale de jusant à 1 h. 36 (0.93). Etale de flot à 6 h. 46 (5.60).
		300	4.500	4.500	1.350.000					4.70	6.345.000		
Couéron.....	300						0.93	5.66	4.73				2° Etale de jusant à 1 h. 56 (0.78).
		300	12.160	12.160	3.648.000					4.75	17.328.000		BM à 1 h. 11 (0.79) : PM à 6 h. 13 (5.65) ; 2° BM à 1 h. 41 (0.75).
Nantes (bourse).	300						1.05	5.82	4.77				Durée du flot 5 h. 10 ou 18.600 s.
		300	1.900	1.900	570.000					4.69	2.673.300		Durée du jusant 7 h. 10 ou 25.800 s
Nantes B K 54.5.	300						1.23	5.84	4.61				Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.36	7.848.000		Cote du fond (— 9.81).
Bellevue.....	300						1.79	5.90	4.11				
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.625	7.481.250		$p = 9.81 + 0.93 = 10.74 ; \frac{y'}{2} = 2.335 ; H = 13.075.$
Mauves.....	300						4.80	5.94	1.14				
							Débit de la Loire				41.675.550 20.898.000		Débit du flot 20.777.550, par seconde 1406.37. La vitesse moyenne serait de 0 m. 358 et la vitesse de fond de 0.300.
							Débit total du flot.....				20.777.550		Si la Loire était à l'étiage et n'écoulait que 100 m³ par seconde, le débit du flot serait de 39.815.550 m³ ou de 2.140 m³ 62 par seconde. La vitesse moyenne de flot serait de 0.549 et la vitesse de fond de 0.453.

La Martinière (jusant)

Tableau de cubage

TABLEAU V *bis*
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 46	COTES à 1 h. 56	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
La Martinière..	300						5.60	0.78	4.82				Etale de flot à 6 h. 46 (5.60).
		300	4.500	4.500		1.350.000				4.825		6.513.750	2° Etale de jusant 1 h. 56 (0.78).
Couéron.....	300						5.66	0.83	4.83				PM à 6 h. 13 (5.65) ; 2° BM à 1 h. 41 (0.75).
		300	12.160	12.160		3.648.000				4.815		17.565.120	Durée du jusant 7 h. 10 ou 25.800 s.
Nantes (bourse).	300						5.82	1.02	4.80				Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
		300	1.900	1.900		570.000				4.72		2.690.400	Cote du fond (— 9.81).
Nantes BK 54.5.	300						5.84	1.20	4.64				
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.38		7.084.000	$p = 9.81 + 0.78 = 10.59$; $\frac{v'}{2} = 2.41$; H =
Bellevue.	300						5.90	1.78	4.12				13 m. 00.
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.63		7.495.500	Débit du jusant 62.246.270 m³ ; par seconde
Mauves.....	300						5.94	4.80	1.14				2.412.50.
												41.348.270	La vitesse moyenne correspondante est de
										Débit fluvial.....		20.898.000	0.619 et la vitesse de fond de 0 m. 510.
										Débit total du jusant.		62.246.270	Si la Loire était à l'étiage le débit du jusant serait de 43.928.270 m³, le débit par seconde de 1.702.65, la vitesse moyenne de 0 m. 437 et la vitesse de fond de 0.360.

TABLEAU VI

Tour de Bouée (flot) — **10m60**

Tableau de cubage

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 20	COTES à 6 h. 40	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
Tour de Bouée.	300						0.79	5.42	4.63			
		300	11.950	11.950	3.585.000					4.715	16.903.275	
La Martinière..	300						0.82	5.62	4.80			
		300	4.500	4.500	1.350.000					4.805	6.486.750	
Couéron.....	300						0.86	5.67	4.81			
		300	12.160	12.160	3.648.000					4.775	17.419.200	
Nantes (bourse).	300						1.08	5.82	4.74			
		300	1.900	1.900	570.000					4.655	2.653.350	
Nantes BK 54.5.	300						1.27	5.84	4.57			
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.355	7.839.000	
Bellevue.....	300						1.85	5.89	4.04			
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.57	7.324.500	
Mauves.....	300						1.83	5.93	1.10			
											58.626.075	
									Débit fluvial.....		15.552.000	
									Débit de flot.....		43.074.075	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à 1 h. 20 (0.79).
Etale de flot à 6 h. 40 (5.42).
2° Etale de flot à 1 h. 50 (0.72).
B M à Midi 50 (0.60) ; P M à 5 h. 56 (5.53) ; 2° B M à 1 h. 19 (0.56).
Durée du flot 5 h. 20 ou 19.200 s.
Durée du jusant 7 h. 10 ou 25.800 s. ; de la marée 12 h. 30 ou 45.000 s.
Débit de la Loire 810 m³.
Cote du fond (— 10.00).

$p = 10 + 0.79 = 10.79 \quad \frac{y'}{2} = 2\ 315 ; H = 13.105.$

Le débit du flot, en eaux moyennes, serait de 43.074.075 m³ ou de 2.243.47 par seconde. La vitesse moyenne qui correspond à ce débit est de 0.571 et la vitesse de fond de 0.460.

Si la Loire était à l'étiage et débitait 100 m³ par seconde, le débit du flot serait de 56.706.075 ou de 2.933.44 par seconde. La vitesse moyenne qui correspondrait à ce débit serait de 0.751 et celle de fond de 0.620.

TABLEAU VI *bis*

Tour de Bouée (jusant) — **Tableau de cubage** — **10m60**

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 40	COTES à 1 h. 50	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Tour de Bouée.	300						5.42	0.72	4.70				Etale de flot à 6 h. 40 (5.42).
		300	11.950	11.950		3.585.000				4.775		17.118.375	2° Etale de jusant à 1 h. 50 (0.72).
La Martinière..	300						5.62	0.77	4.85				P M à 5 h. 56 (5.53); 2° B M à 1 h. 19 (0.56).
		300	4.500	4.500		1.350.000				4.855		6.554.250	Durée du jusant 7 h. 20 ou 25.800 s. ; de la
Couéron.....	300						5.67	0.81	4.86				marée 12 h. 30 ou 45.000 s.
		300	12.160	12.160		3.648.000				4.82		17.583.360	Cote du fond (— 10.00)
Nantes (bourse).	300						5.82	1.04	4.78				
		300	1.900	1.900		570.000				4.70		2.679.000	$p = 10.00 + 0.72 = 10.72$; $\frac{v'}{2} = 2.35$; H =
Nantes B K 54.5.	300						5.84	1.22	4.62				13.07.
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.355		7.839.000	Le débit du jusant, en eaux moyennes, serait
Bellevue.....	300						5.89	1.80	4.09				de 80.110.485 ou de 3.105.06 par seconde. Ce
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.61		7.438.500	débit correspond à une vitesse moyenne de
Mauves.....	300						5.93	4.80	1.13				0.792 par seconde et à une vitesse de fond de
												59.212.485	0 653.
									Débit fluvial.....			20.898.000	Si la Loire était à l'étiage et débitait 100 m³
									Débit du jusant ...			80.110.485	par seconde, le débit du jusant serait de
													61.792.485 ou de 2.395 m³50 par seconde. La
													vitesse moyenne serait de 0.611 et la vitesse
													de fond de 0.504.

Paimbœuf (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU VII
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 1 h. 6	COTES à 6 h. 26	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Paimbœuf.....	300						0.68	5.27	4.59				1° Etale de jusant 1 h. 6 s. (0.68).
		300	9.450	9.450	2.835.000					5.16	14.628.600		Etale de flot 6 h. 26 (5.27).
Tour de Bouée.	300						0.66	5.49	4.83				2° Etale de jusant à 1 h. 34 (0.55).
		300	11.950	11.950	3.585.000					4.84	17.351.400		B M midi 35 m. (0.46).
La Martinière..	300						0.80	5.65	4.85				P M à 5 h. 45 (5.40) ;
		300	4.500	4.500	1.350.000					4.835	6.527.250		2° B M à 1 h. 5 m. (0.42).
Couéron.....	300						0.87	5.69	4.82				Durée du flot à Paimbœuf 5 h. 20 m. ou
		300	12.160	12.160	3.648.000					4.73	17.255.040		19 200 s.
Nantes (bourse).	300						1.15	5.79	4.64				Durée du jusant 7 h. 5 m. ou 25.500 s.
		300	1.900	1.900	570.000					4.555	2.596.350		Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
Nantes BK 5.45.	300						1.33	5.80	4.47				Cote du fond (— 10.14).
		300	6.000	6.000	1.800.000					4.195	7.551.000		$p = 10.14 + 0.68$; $\frac{y'}{2} = 2.295$; H= 13.115
Bellevue.....	300						1.91	5.83	3.92				= 10.82
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.48	7.068.000		V = 58.349.040 m³ ($y = 4.83$; $y' = 4.59$;
Mauves.....	300						4.86	5.90	1.04				$\frac{y'}{2} = 2.795$; H = 13.115.
											72.977.640		
							Débit fluvial.....				15.532.000		Le débit total du flot est de 57.425.640 m³ ou
							Débit total du flot....				57.425.640		de 2.990 m³89 par seconde, ce débit correspond
													à une vitesse moyenne de 0.760 et à une vitesse
													de fond de 0.627.
													Si la Loire était à l'étiage et débitait 100 m³
													par seconde le débit total du flot serait de
													71.057.640 ou de 3.700.92 par seconde.
													La vitesse moyenne correspondante serait
													de 0.941 et la vitesse de fond 0.776.

TABLEAU VII *bis*

Paimbœuf (jusant)

Tableau de cubage

10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 26	COTES à 1 h. 34	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
Paimbœuf.....	300						5.27	0.55	4.72				Etale de flot à 6 h. 26 (5.27).
		300	9.450	9.450		2.835.000				4.815		13.650.525	2° Etale de jusant à 1 h. 34 (0.55).
Tour de Bouée.	300						5.49	0.58	4.91				P M à 5 h. 30 (5.52) ; 2° B M à minuit 45 (0.24).
		300	11.950	11.950		3.585.000				4.90		17.566.800	Durée du jusant 7 h. 5 m. ou 25.500 s.
La Martinière..	300						5.65	0.76	4.89				Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
		300	4.500	4.500		1.350.000				4.875		6.581.250	Cote du fond (— 10.32).
Couéron.....	300						5.69	0.83	4.86				
		300	12.160	12.160		3.648.000				4.775		17.419.200	$p = 10.32 + 0.55 = 10.87$; $\frac{v'}{2} = 2.36$; H =
Nantes (bourse).	300						5.79	1.10	4.69				13.23.
		300	1.900	1.900		570.000				4.60		2.622.000	Le débit total du jusant à Paimbœuf, en eaux
Nantes BK 54.5.	300						5.80	1.29	4.51				moyennes serait de 83.305.525 m³ ou de 3.266.88
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.235		7.623.000	par seconde. Ce chiffre correspond à une vi-
Bellevue.....	300						5.83	1.87	3.96				tesse moyenne de 0 m.823 et à une vitesse de
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.515		7.167.750	fond de 0 m. 679.
Mauves.....	300						5.90	4.83	1.07				Si la Loire est à l'étiage est n'écoule que 100
												62.650.525	m³ d'eau par seconde, le débit du jusant à
								Débit fluvial.....				20.655.000	Paimbœuf se réduit à 65.200.525 m³ et par se-
								Débit total du jusant				83.305.525	conde à 2.556.90. La vitesse moyenne corres-
													pondante est de 0.644 et la vitesse de fond de
													0.531.

St-Nazaire (flot)

Tableau de cubage

TABLEAU VIII
10m60

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 0 h. 49	COTES à 6 h. 13	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement
St-Nazaire.....	400						0.50	5.22	4.72			
		350	12.000	12.000	4.200.000					4.78	20.076.000	
Paimbœuf.....	300						0.52	5.36	4.84			
		300	9.450	9.450	2.835.000					4.88	13.834.000	
Tour de Bouée.	300						0.60	5.52	4.92			
		300	11.950	11.950	3.585.000					4.86	17.423.100	
La Martinière..	300						0.85	5.65	4.80			
		300	4.500	4.500	1.350.000					4.765	6.432.750	
Couéron.....	300						0.94	5.67	4.73			
		300	12.160	12.160	3.648.000					4.625	16.872.000	
Nantes (bourse).	300						1.24	5.72	4.48			
		300	1.900	1.900	570.000					4.39	2.902.300	
Nantes BK 54.5.	300						1.43	5.73	4.30			
		300	6.000	6.000	1.800.000					3.97	7.146.000	
Bellevue.....	300						2.03	5.77	3.64			
		300	9.500	9.500	2.850.000					2.31	6.583.000	
Mauves.....	300						4.89	5.87	0.98			
											91.269.950	
										Débit fluvial.....	15.746.400	
											75.523.550	

OBSERVATIONS

1° Etale de jusant à midi 49 (0.50).
Etale de flot 6 h. 13 (5.22).
2° Etale de jusant 1 h. 18 (0.42).
B M à midi 15 (0.28). P M à 5 h. 30 (5.52).
2° B M à minuit 45 (0.24).
Durée du flot à St Nazaire 5 h. 24 ou 19.440 s.
Durée du jusant 7 h. 5 ou 25.500 s.
Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
Cote du fond (10.32).

$p = 10.32 + 0.50 = 10.82$; $\frac{y'}{2} = 2.36$; H = 13.18 ; $y = 4.84$.

La marche des sables vers l'aval étant assurée par une vitesse moyenne do 0 75 qui correspond à une vitesse de fond de 0.618, il a paru utile de se contenter de cette vitesse et d'élargir la rivière en lui conservant d'ailleurs sa profondeur. La formule a permis de calculer cet élargissement qui serait de 91 m. 79 de Paimbœuf à St Nazaire. La largeur théorique serait donc de 391.79 à St Nazaire. Nous avons adopté le chiffre de 400 m. qui n'en diffère que de 8 m. 21.

Le débit total de 75.523.550 donne 3884 m³ 95 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.840 et la vitesse de fond de 0.701.

En étiage, le débit total du flot serait de 89.325.950 m³ ou de 4.594 m³ 95 par seconde. La vitesse moyenne serait de 0.996 et la vitesse de fond de 0.822.

TABLEAU VIII *bis*

10m60

Tableau de cubage

St-Nazaire (jusant)

NOMS des stations	LARGEURS à chaque station	LARGEURS Moyennes	DISTANCES Entre les stations	DISTANCES Applicables	SURFACES horizontales en Exhaussement	SURFACES horizontales en Abaissement	COTES à 6 h. 13	COTES à 1 h. 18	Différences des cotes	Moyennes des différences	VOLUMES D'EAU correspondant à un Exhaussement	VOLUMES D'EAU correspondant à un Abaissement	OBSERVATIONS
St-Nazaire.....	400						5.22	0.42	4.80				Etale de flot à 6 h. 13 (5.22).
		350	12.000	12.000		4.200.000				4.86		20.412.000	2° Etale de jusant à 1 h. 18 (0.42).
Paimbœuf.....	300						5.36	0.44	4.92				P M à 5 h. 30 (5.52). 2° B M à minuit 45 (0.24).
		300	9.450	9.450		2.835.000				4.94		14.004.900	Durée du jusant 7 h. 5 m. ou 25 500 s.
Tour de Bouée.	300						5.52	0.56	4.96				Débit de la Loire 810 m³ par seconde.
		300	11.950	11.950		3.585.000				4.905		17.584.425	Cote du fond — 10.32.
La Martinière..	300						5.65	0.80	4.85				
		300	4.500	4.500		1.350.000				4.815		6.500.250	$p = 10.32 + 0.42 = 10.74$; $\frac{y'}{2} = 2.40$; H =
Couéron.....	300						5.67	0.89	4.78				13.14.
		300	12.160	12.160		3.648.000				4.665		17.017.920	
Nantes (bourse).	300						5.72	1.17	4.55				Le débit total du jusant à St-Nazaire serait
		300	1.900	1.900		570.000				4.46		2.542.200	de 113.050.695 m³ et le débit par seconde serait
Nantes B K 54.5.	300						5.73	1.36	4.37				de 4.433.60. Ce chiffre indique une vitesse mo-
		300	6.000	6.000		1.800.000				4.10		7.380.000	yenne de 0.963 et une vitesse de fond de
Bellevue.....	300						5.77	1.94	3.83				0.795.
		300	9.500	9.500		2.850.000				2.42		6.954.000	Si la Loire était à l'étiage et si elle écoulait
Mauves.....	300						5.87	4.86	1.01				100 m³ par seconde, le débit total du jusant
												92.395.695	serait de 94.945.695 m³ et le débit par seconde
									Débit fluvial.....			20.655.000	de 3.723.36. La vitesse moyenne serait de 0.809
									Débit total du jusant.			113.050.695	et la vitesse de fond de 0.668.

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

CHAPITRE PREMIER

Formules nécessaires à l'étude des rivières à marée . . 1

Premières formules, p. 1. — Etales de jusant, p. 4. — Etales de flot, p. 5. — Evaluation des volumes d'eau introduits par la marée, ou débitées par le jusant, p. 7. — Remplissage et dégagement du lit d'un fleuve pendant les marées, p. 9. — Courbes locales et profils en long momentanés, p. 10. — Tableaux de cubage, p. 13. — Recherche des profondeurs, p. 14. — Détermination des vitesses moyennes, p. 17. — La Gironde, p. 18. — La Loire, p 20. — Formules de l'hydraulique fluviale. Nouvelle formule de M. Bazin, p. 21. — Tableau des valeurs relatives des vitesses au fond, à la surface et moyennes, p. 24. — Propagation des ondes en mer, p. 26.

CHAPITRE II

Détermination du régime futur d'un cours d'eau maritime 30

CHAPITRE III

Etude de l'embouchure des rivières 36

Cordons de sable littoraux, p. 37. — Entrée de la Seine, p. 38. — L'Odet, p. 41. — Régime d'une embouchure en plage de sable, p. 42. Tracé d'une embouchure, p. 44. — Dragages, p. 45. — Formation des dunes, p. 45. — Prolongement du chenal vers le large, p. 46. — La Foyle, p. 46. — Estuaires à Goulet, p. 48. — Le Rio grande do Sul, p. 50. — La Mersey, p. 51. — Baie de Lorient, p. 53. — Conquêtes de terrains sur les estuaires. Exemple de la Slaney, p. 55.

CHAPITRE IV

La Seine maritime 58

Banc des Meules, p. 59. — Régime maritime de la Manche et de l'embouchure de la Seine, p. 60. — Conséquences de ce régime, p. 69.

— Propagation de la marée dans la Seine, p. 70. — Ensablement de l'estuaire jusqu'à La Mailleraye, p. 71. — Croquis du profil en long de la Seine, p. 72. — Pleines et basses mers de vive eau, p. 74. — Courbes locales, p. 76. — Mascaret, p. 77. — Retard des étales de jusant sur les basses mers en cas de Mascaret, p. 83. — Retard des étales de jusant sur les basses mers, p. 84 — Pénétration télescopique de la marée, p. 84. — Le Mascaret et le cas des eaux profondes, p. 86. — Cas des profondeurs de 10m,50, en aval de Caudebec seulement, p. 87. — Pleines et basses mers, p. 89. — Cubages, p. 89. — Etude avec des fonds de 3m.20 en contrebas du zéro des cartes marines, 89. — Tableaux de cubage entre Poses et La Bouille, p. 90. — Formation de la tourbe dans la vallée de la Seine, p. 100. — Etude avec des profondeurs de 10m,50 au-dessous de la basse mer de vive eau au Havre, p. 101. — Port de Rouen, p. 104. — Basse mer à Rouen, p. 106. — Nouveau lit de la Seine, p. 106. — La Seine maritime avec des fonds de 10m,50, p. 107. — Estuaire, p. 113. — Régime de l'embouchure de la Seine après les travaux, p, 118. — De l'évaluation des travaux, p. 120. — Objections tirées des travaux faits jusqu'ici, p. 122. — Projet de 1859, p. 125.— Nouvelles études, p. 126. — Aménagement de l'embouchure de la Seine, p. 127. — Nouveau projet, p. 128. — Conclusions, p. 131. — Période de transition, p. 132.

CHAPITRE V

La Loire Maritime. 134

La Loire, p. 134. — Projet de M. Lechalas, p. 138. — Barrage de Mauves. Son importance, p. 140. — Nouvelles études, p. 141. — Calcul des courbes locales, p. 142. — Pleines et basses mer, p. 143. — Propagation de la marée dans la Loire et tableaux de cubage, p. 145. Hauteurs des crues, p. 146. — Débit du bras de Pirmil, à Nantes, p. 148. — Action des marées sur la Loire durant les crues, p. 150. — Section de Mauves à Nantes, p. 151. — Eaux moyennes de jusant, p. 153. - Etiage, p. 153. — Excédants de largeur du lit actuel, p. 154. — Nouveau lit en aval de Nantes, p. 156. — Feuilles de hauteur d'eau et tableaux de cubage, p. . 229

CHAPITRE VI

Feuilles de hauteurs d'eau et tableaux de cubage. . . 161

§ 1er. *Seine Maritime* 163

Feuilles de hauteurs d'eau, p. 163.— Tableaux de cubage, p. 164.— *Profondeurs de* (3 *m.* 20) au-dessous du zéro des cartes marines, p. 167.

— Feuilles de hauteur d'eau et tableaux de cubage, p. 167. — Etude des tableaux de cubage entre Poses et La Bouille avec fonds de (3 m. 20), p. 168. — Feuilles de hauteur d'eau à (3 m. 20), p. 174 à 185. — Tableaux de cubages et croquis à (3 m. 20), p. 186 à 195. — *Profondeurs de* (10 *m.* 50) au-dessous des basses mers de vive eau au Havre p. 196. — Feuilles de hauteur d'eau à (10 m. 50) p. 198 à 209. — Tableaux de cubage à 10 m. 50) p. 210 à 228.

§ 2. *Loire maritime* 229

Feuilles de hauteurs d'eau, p. 229. — Tableaux de cubage, p. 229. — Feuilles de hauteurs d'eau, p. de 231 à 237. — Tableaux de cubage, p de 238 à 253.

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE, L. BARNÉOUD & Cie.

ERRATA

Page 6, ligne 11 ; *au lieu du* 26 août, *lisez du* 23 août.

Page 15, figure ; *ajoutez* fig. 10.

Page 33, ligne 7, formule (37) ; *au lieu de* $\left(1 + \frac{3h}{H}\right)$, *lisez* $\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$.

Page 33, ligne 25, formule ; *au lieu de* $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\rho}$, *lisez* $\frac{d^2h}{ds^2} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dh}{ds}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\rho}$.

Page 66, ligne 13 ; *au lieu de* à une minute près, *lisez* à quatre minutes près.

Page 79, ligne 35 ; *au lieu de* 17″ 18′, *lisez* 17′ 18″.

Page 92, ligne 35 ; *au lieu de* atteindrait 4.615.084 m³, *lisez* serait plus considérable.

Page 93, ligne 22 ; *au lieu de* 42.814 160 et de 2.889, *lisez* 41.236.260 et 2.781 m³ 63.

Page 95, ligne 24 ; *au lieu de* de la grosseur d'une fève de marais, *lisez* de la grosseur d'un pois.

Pages 104, ligne 11 ; 110, ligne 16 et 115, ligne 10 ; *au lieu de* page 107, *lisez* page 108.

Page 113, ligne 8 ; après les mots de la basse mer voisine, *lisez* un renvoi indiquant au bas de la page les mots : Voir l'Atlas, pl. VII.

Page 151, ligne 31 ; *au lieu de* surfaces B et S, *lisez* surfaces *s* et S.

Page 152, ligne 5 ; *au lieu de* la quantité d'eau dont on aura diminué, *lisez* la quantité d'eau dont aura diminué.

Page 158, ligne 3 ; *au lieu de* 10 m. 50, *lisez* 10 m. 60.

Page 190. Tableau de cubage. Observations 12e ligne, vitesse moyenne du flot ; *au lieu de* 0,046, *lisez* 0,646.

Page 191. Tableau de cubage. Observations, dernière ligne ; *au lieu de* 0,502 et 0,415, *lisez* 0,783 et 0,643.

Page 192. Tableau de cubage. Observations, dernière ligne ; *au lieu de* 0,820, *lisez* 0,850.

Page 165, ligne 7 ; *au lieu de* calcul des largeurs accessoires de chaque section, *lisez* calcul des largeurs de chaque section.

RECHERCHES

SUR LES

RIVIÈRES A MARÉE

ATLAS

TABLE DES PLANCHES

SEINE MARITIME

1 Extrait de la carte de France, Seine maritime.
2 Profil en long de la Seine maritime de Rouen au Havre.
3 Extrait de la carte hydrographique de la Seine levée en 1834.
4 Propagation du mascaret dans la Seine maritime.
5 Courbes locales de la marée de vive-eau du 10 septembre 1885, de Honfleur à Rou
6 Plan du nouveau bras de la Seine, à Rouen.
7 Coupe géologique de la Vallée de la Seine, au Flac.
8 Plan de l'embouchure de la Seine en 1896.
9 Courbes locales des hauteurs d'eau sur la Seine, avec des fonds de 3 m. 20.
10 Courbes locales des hauteurs d'eau sur la Seine, avec des fonds de 10 m. 50.

LOIRE MARITIME

11 Extrait de la carte de France, Loire maritime.
12 Profil en long de la Loire maritime en aval de Mauves.
13 Courbes locales de hauteur d'eau sur la Loire améliorée.

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE, L. BARNÉOUD & Cie.

PL.I

EXTRAIT DE LA CARTE DE FRANCE – "LA SEINE MARITIME"

PROFIL DU CHENAL DE LA SEINE DE LA MER A ROUEN

PL. II

Indication des parties endiguées: Rive droite / Rive gauche

digues submersibles — digues h^tes

Coup de mer du 11 Novembre 1870 (la Seine était à 0m20 au dessus de l'étiage) (93,87)

Pleine-mer de vive eau ordinaire (97,965)

Pleine-mer de morte eau ordinaire (99,665)

Niveau moyen de la Mediterranée (101,525)

Basse-mer de morte eau ordinaire (103,165)

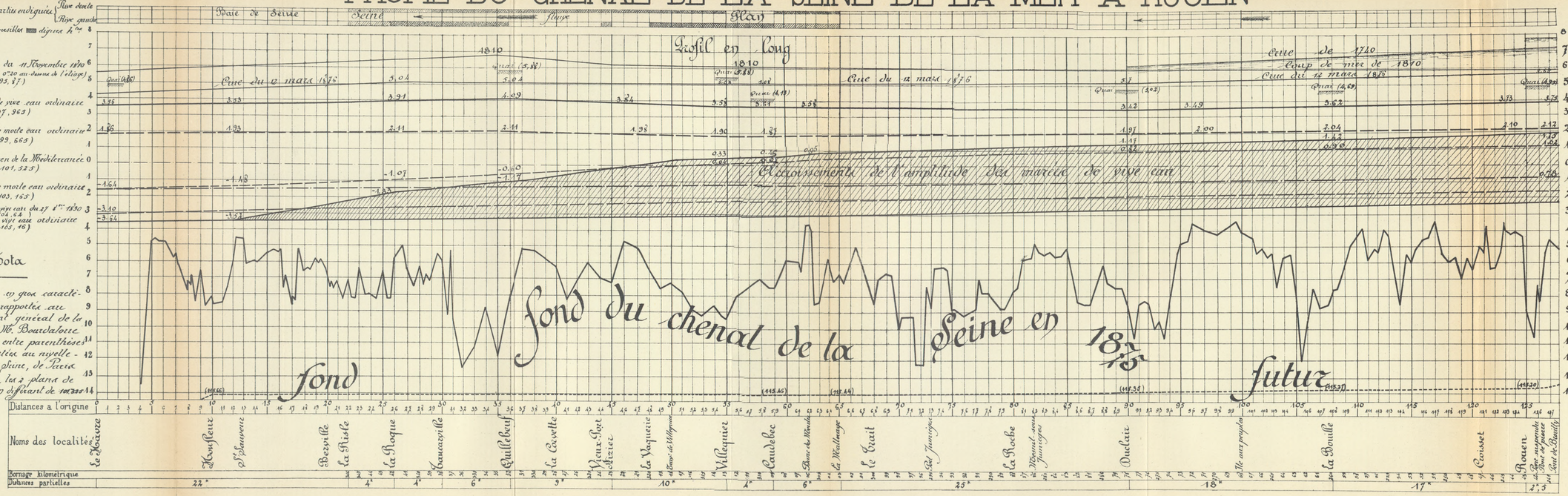
Basse-mer de vive eau du 27 8bre 1890 (104,62)

Basse-mer de vive eau ordinaire (105,16)

Nota

1° Les chiffres en gros caractère, sont rapportés au nivellement général de la France de M. Bourdaloue.

2° Les cotes entre parenthèses sont rapportées au nivellement de la Seine, de Paris au Havre, les 2 plans de comparaison différant de 1m335

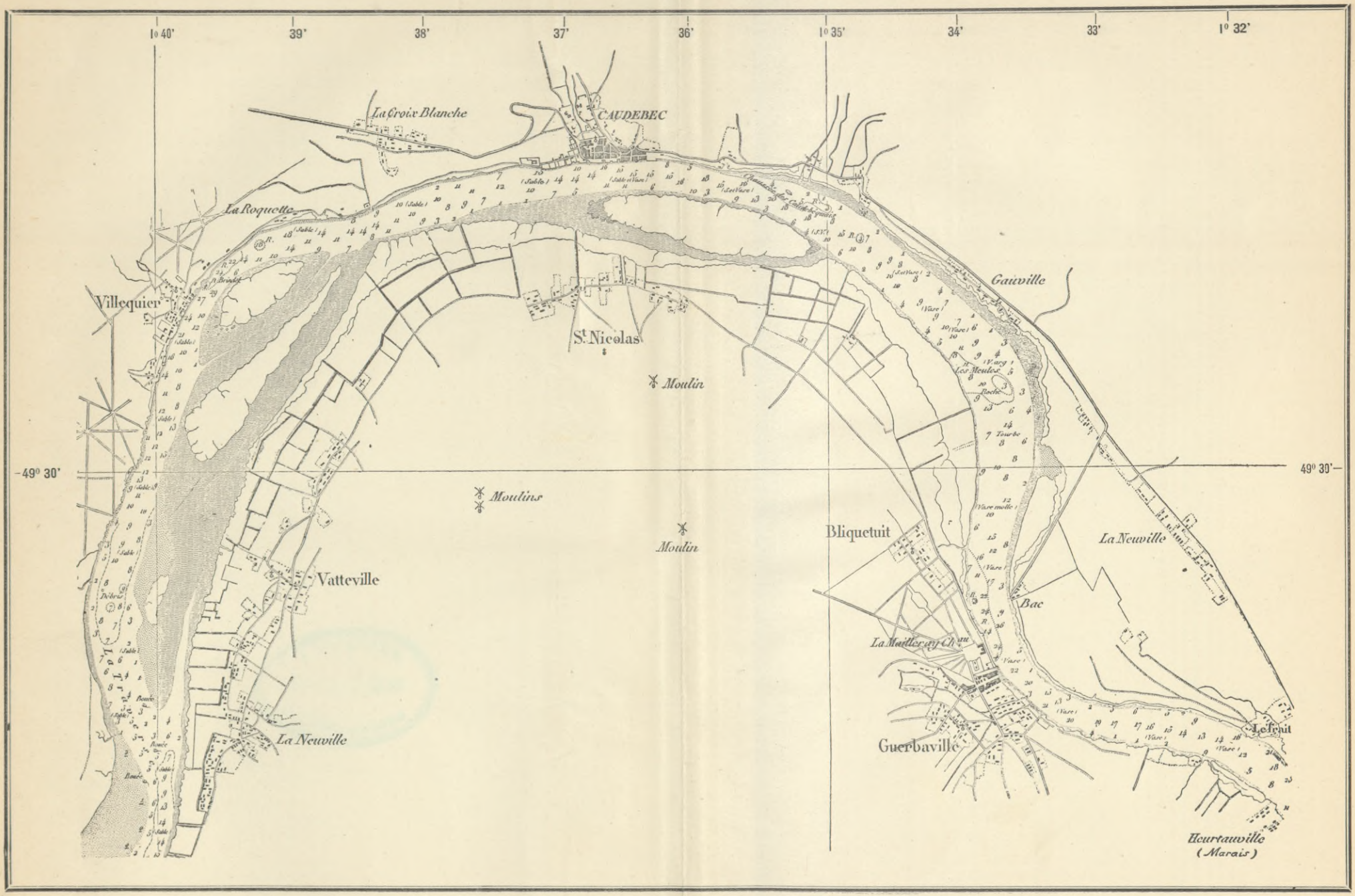


Echelles

des bases: 0m,005 p. kil. ($\frac{1}{200.000}$)

des hauteurs: 0m,00714 p^r mètre

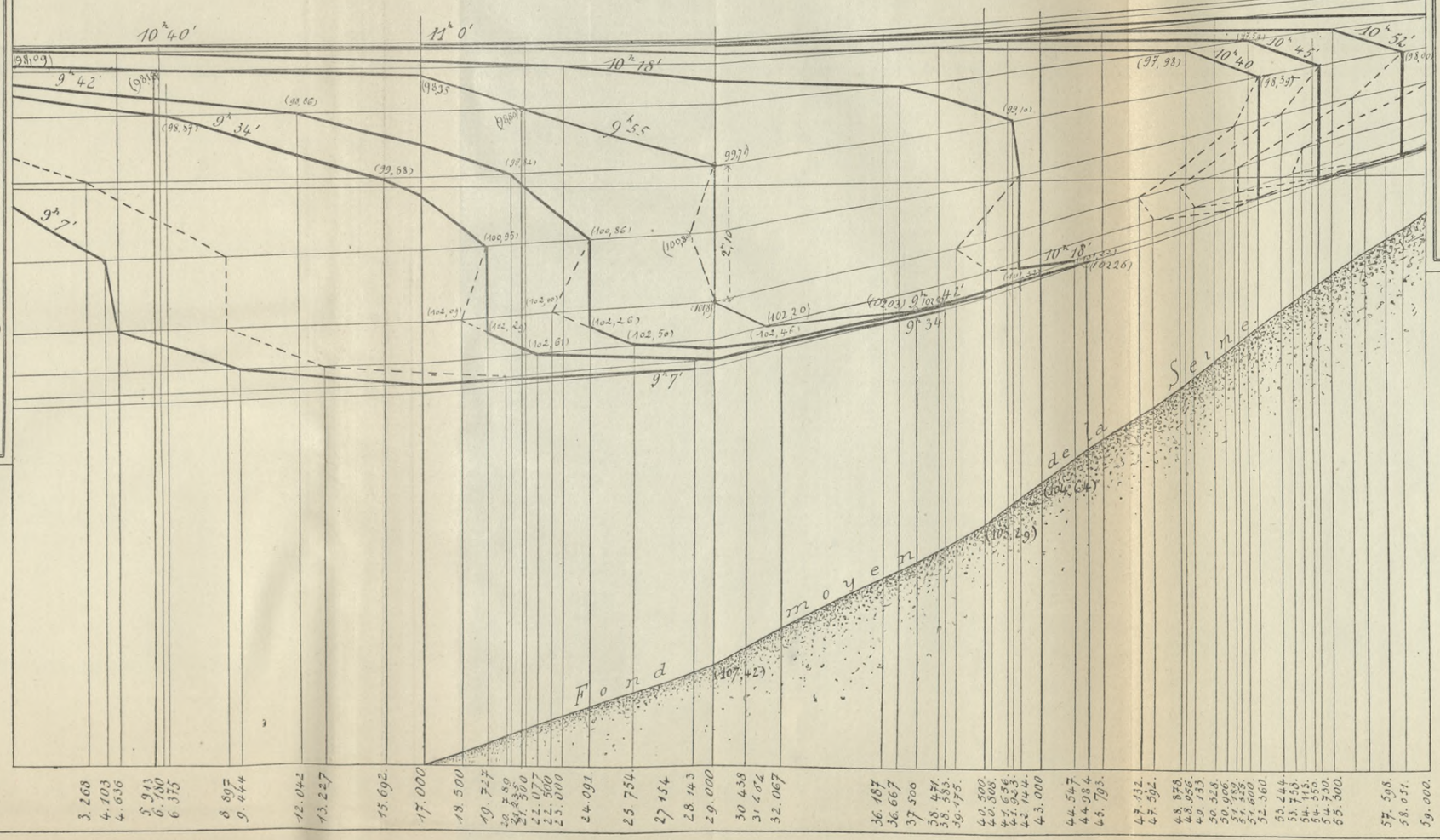
PL. III. EXTRAIT DE LA CARTE HYDROGRAPHIQUE DE LA SEINE LEVÉE EN 1834



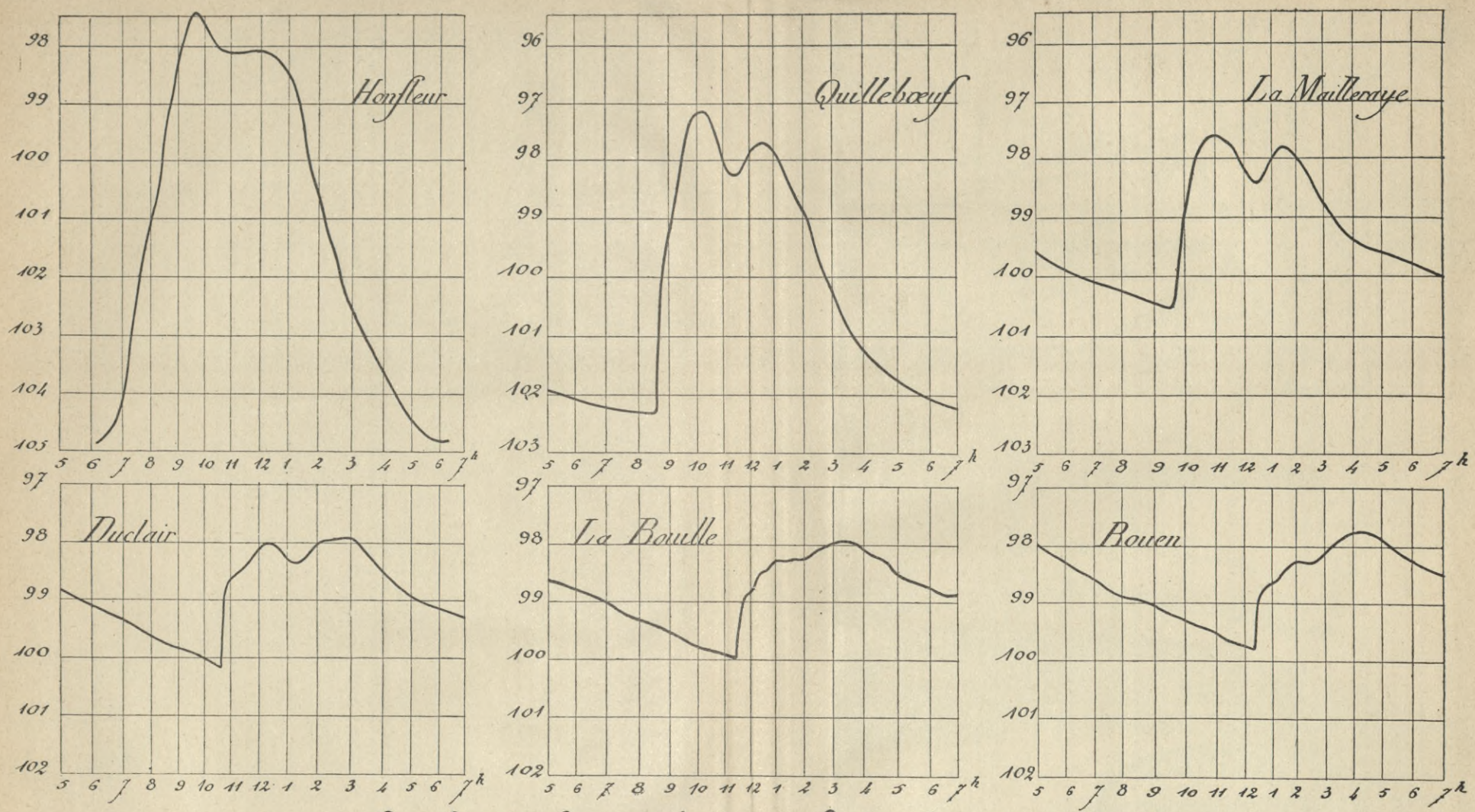
— Formule : $\omega = \sqrt{3}H\left(1 + \frac{3h}{4H}\right)$ — PROPAGATION DE LA MARÉE DANS LA SECTION COMPRISE ENTRE LA BOUILLE ET POSES —— PROFONDEUR : 3m,20 . en contrebas du zero des Cartes marines.

Heure au Havre	ROUEN Cotes	ROUEN Heures	OISSEL Cotes	OISSEL Heures	ELBEUF Cotes	ELBEUF Heures
8h21 (PM)	(97.78)	10h 54'	(97,78)	11h 10'	(97,58)	11h 26'
8h –	(97.88)	10h 34'	(97,58)	10h 50'	(97,66)	11h 6'
7h 30'	(98.17)	10h 10'	(98,14)	10h 26'	(97,88)	10h 43'
7h –	(98.85)	9h 49'	(98,77)	10h 6'	(98,41)	10h 24'
6h 30'	(99.57)	9h 36'	(99,71)	9h 55'	(99,20)	10h 15'
6h –	(101,00)	9h 34'	(100,76)	9h 51'	(100,09)	10h 14'
5h 30'	(102,13)	9h 31'	(101,81)	9h 55'	(100,96)	10h 21'
5h –	(102,76)	9h 23'	(102,40)	9h 49'	(101,46)	10h 17
4h 30'	(103,11)	9h 7'	(102,72)	9h 34'	(101,78)	10h 4
4h (BM)	(103,23)	8h 41'	(102,85)	9h 9'	(101,85)	9h 39'

LIGNES TRAJECTOIRES Heure au HÂVRE	Heure à La BOUILLE	Côtes à La BOUILLE
8h 21' (PM)	10h 32'	(97,78)
8h	10h 12'	(97,89)
7h 30'	9h 47'	(98,18)
7h –	9h 25'	(98,88)
6h 30'	9h 10'	(99,93) [Côte : 100]
6h –	9h 0'	(101,11)
5h 30'	8h 58'	(102,27)
5h –	8h 47'	(102,93)
4h 30'	8h 30'	(103,29)
4h (BM)	8h 3'	(103,41)



LIGNES TRAJECTOIRES Heure à POSES	Heure à POSES	Côtes au HÂVRE
(96,98)	11h 57'	8h 21'
(97,03)	11h 37'	8h –
(97,16)	11h 15'	7h 30'
(97,47)	10h 59'	7h –
(97,93)	10h 54'	6h 30'
(98,45)	10h 59'	6h –
(98,96)	11h 14'	5h 30
(99,25)	11h 17'	5h –
(99,41)	11h 8'	4h 30'
(99,46)	10h 45'	4h (BM)
[Côte : 100]		
(100,46)		



Courbes de la marée du 10 Septembre 1885 (Coef. 109)

Nota

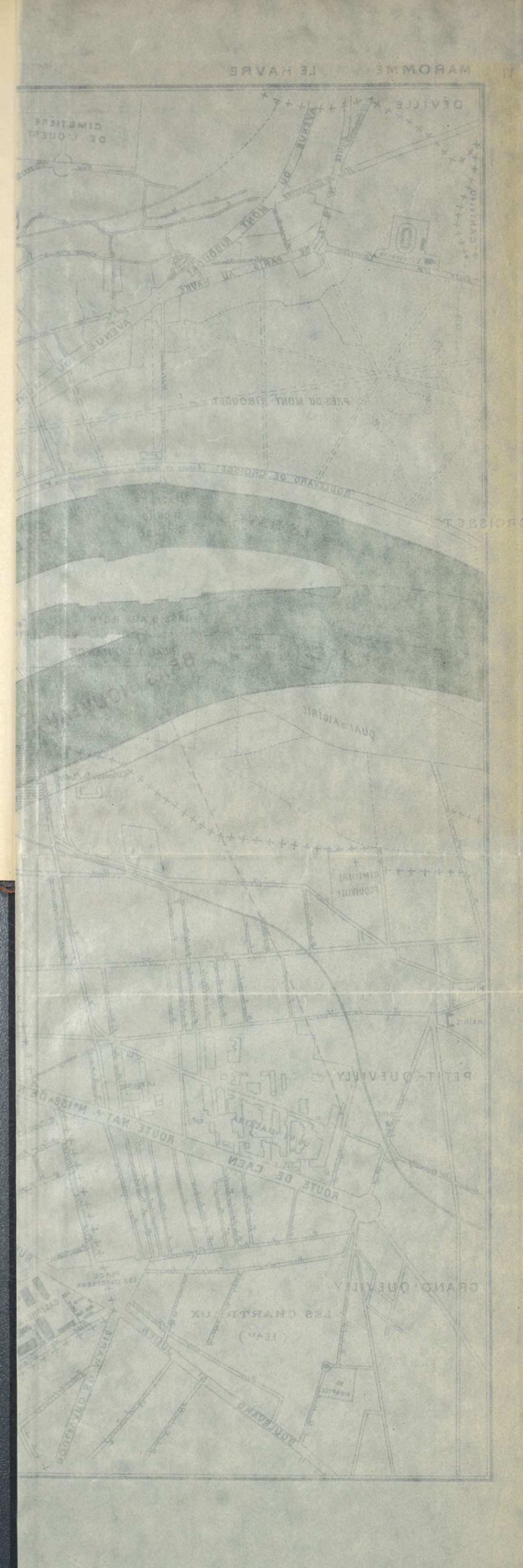
Ces courbes sont rapportées au nivellement de la Seine

Cotes de la Seine aux échelles { de Vernon 1m50 ; de Mantes 1m26

Echelles

Longueurs : 0m,005 par heure

Hauteurs : 0m,01 par mètre



MAROMME — LE HAVRE — MONT ST AIGNAN — BOIS-GUILLAUME

Imp. J. Lecerf. Rouen

ROUEN

1901

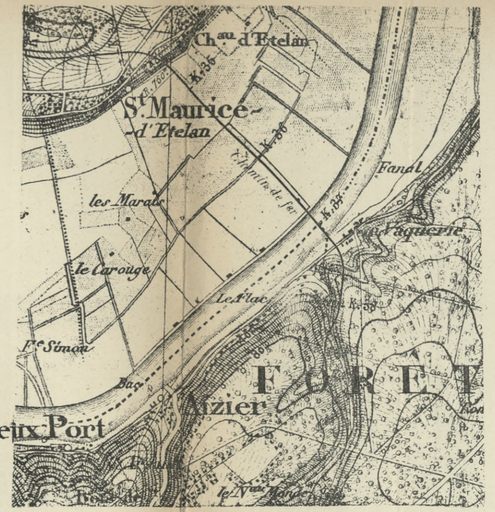
Plan hydrographique et monumental

de la Seine-Inférieure

Taille par Louis LANGLOIS, Diplômé

80, rue Lafayette, Rouen

Propriété réservée.



Plan du chemin de fer.

Coupe Géologique de la Vallée de la Seine sur la Seine sur la ligne de St Maurice d'Etelan à la Vaquerie.

Echelles

Longueurs $\frac{1}{5000}$

Hauteurs $\frac{1}{500}$

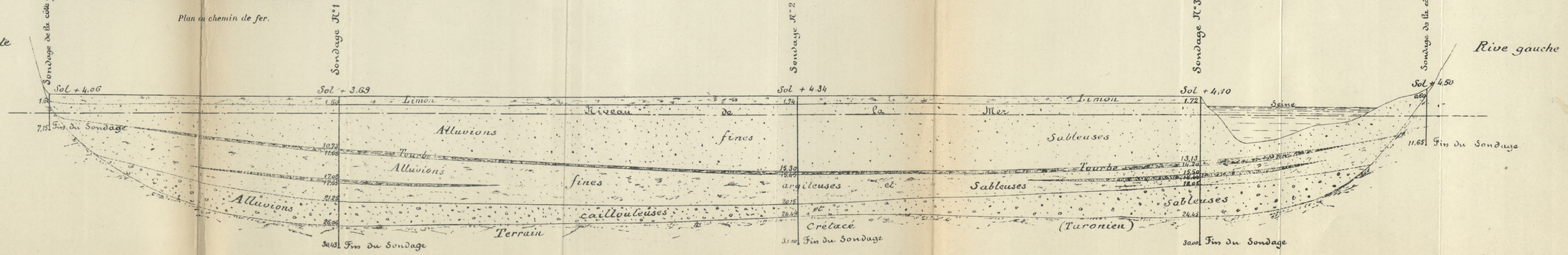
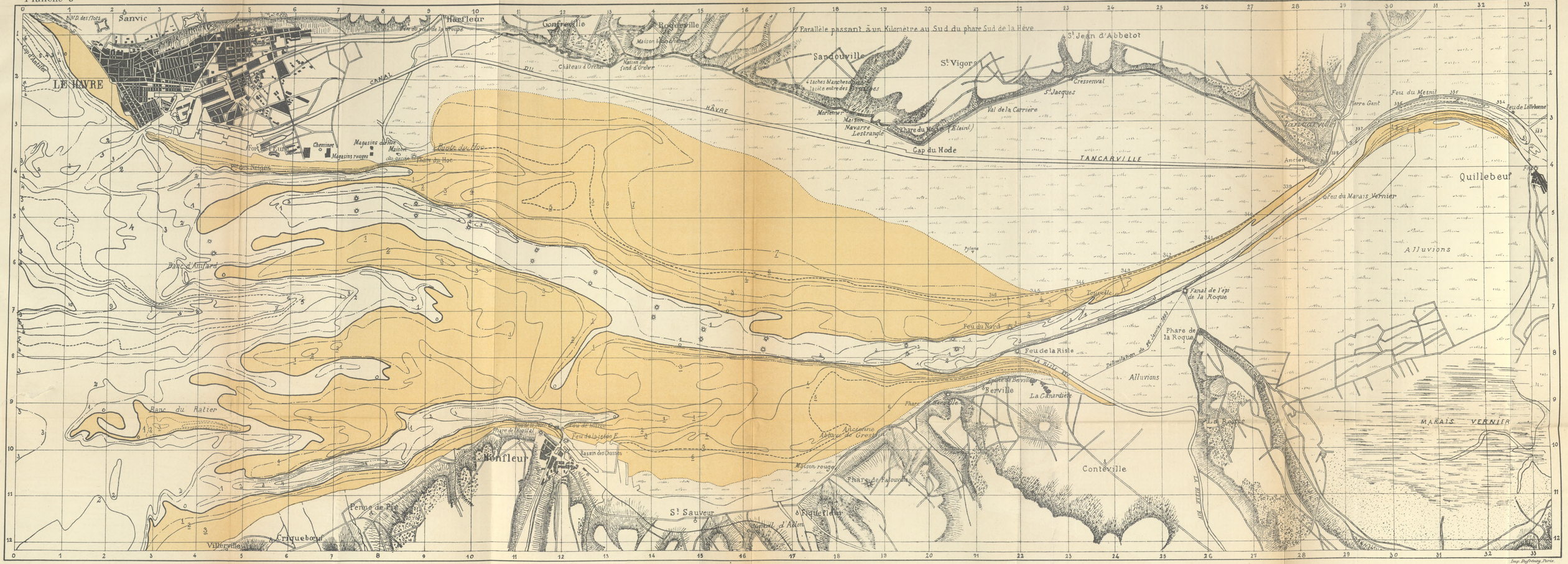


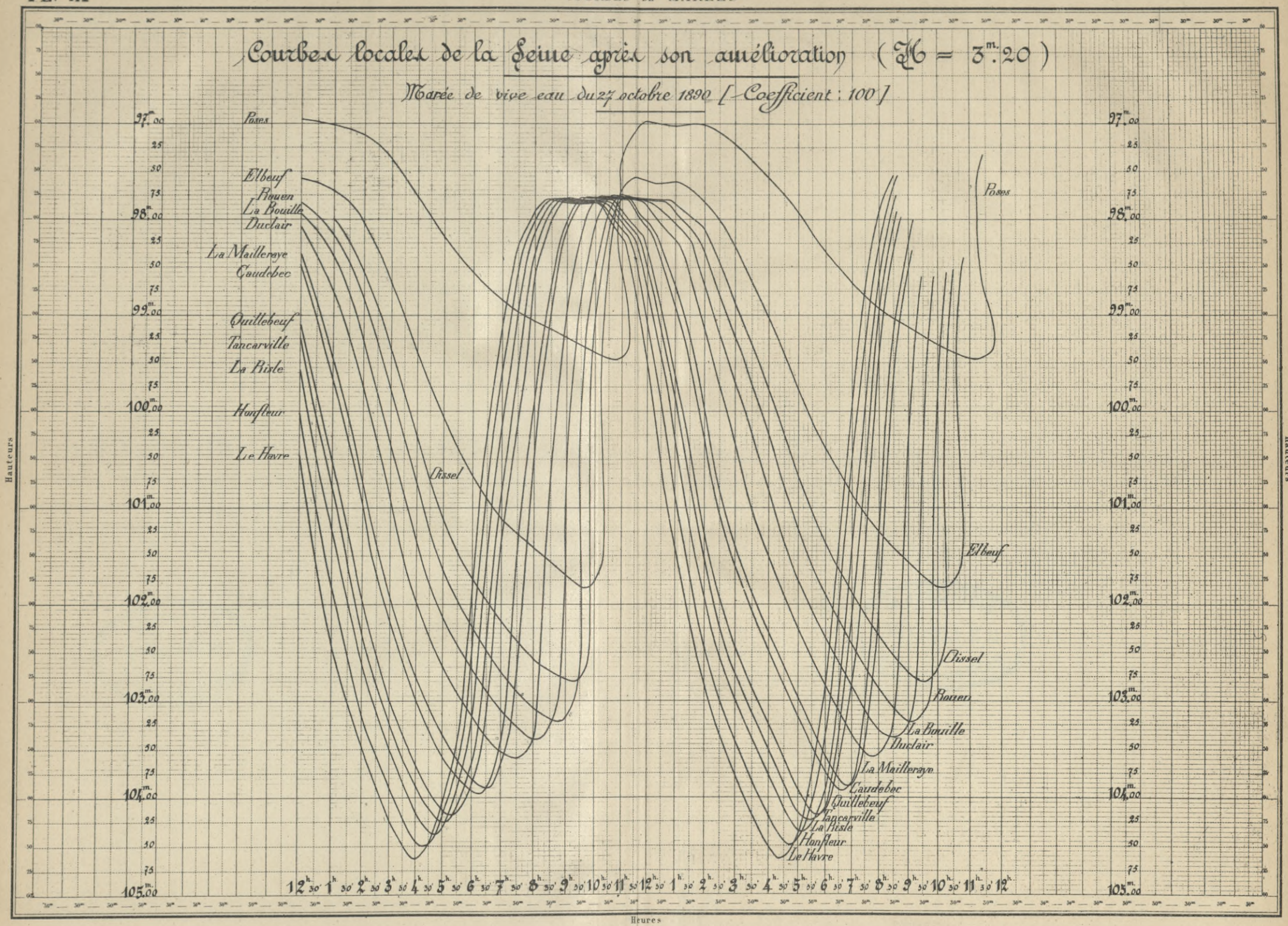
Planche 8

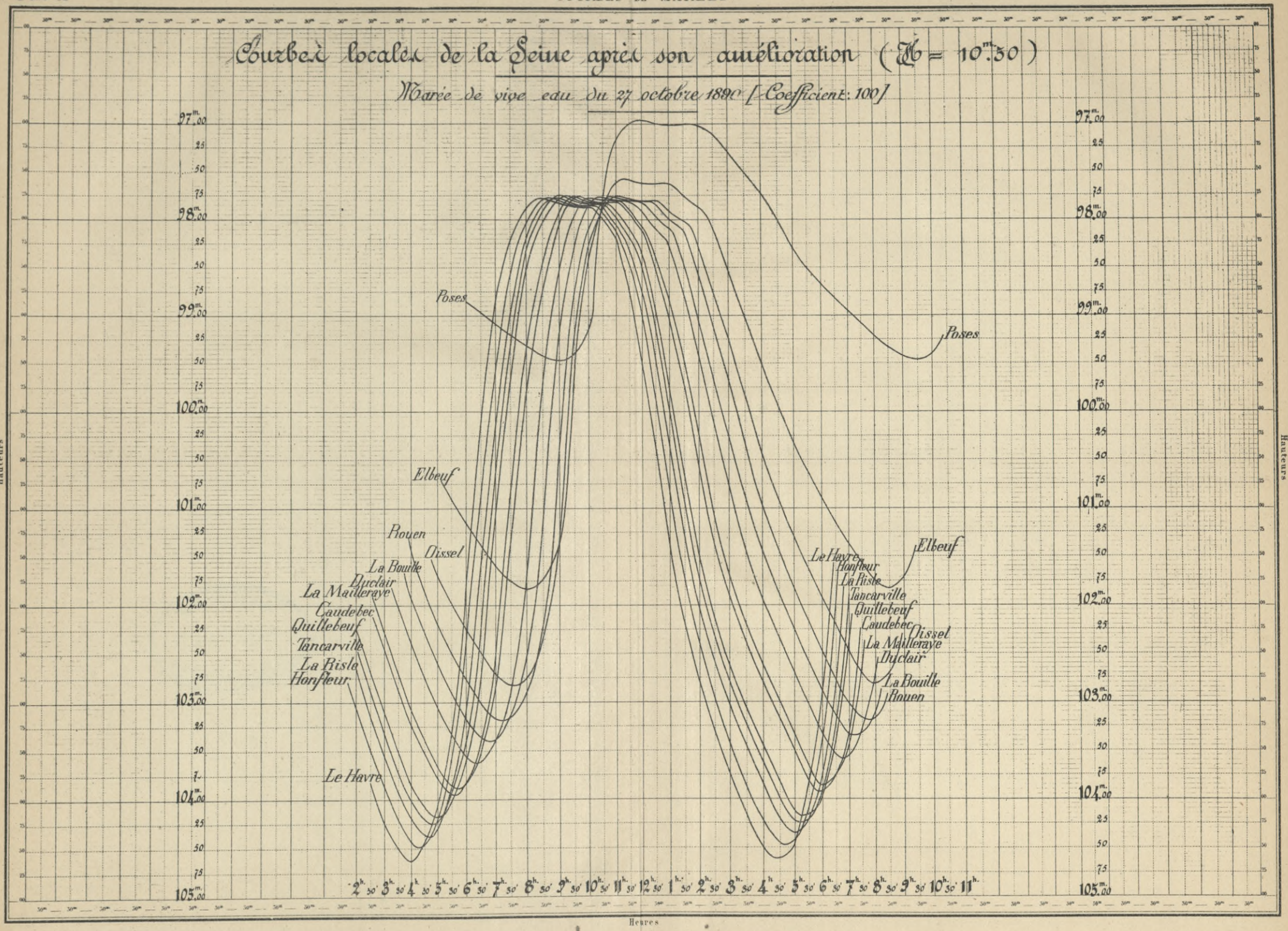
SEINE MARITIME _ PLAN DE L'EMBOUCHURE EN JUILLET 1898



Imp. Dufrénoy, Paris.

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna

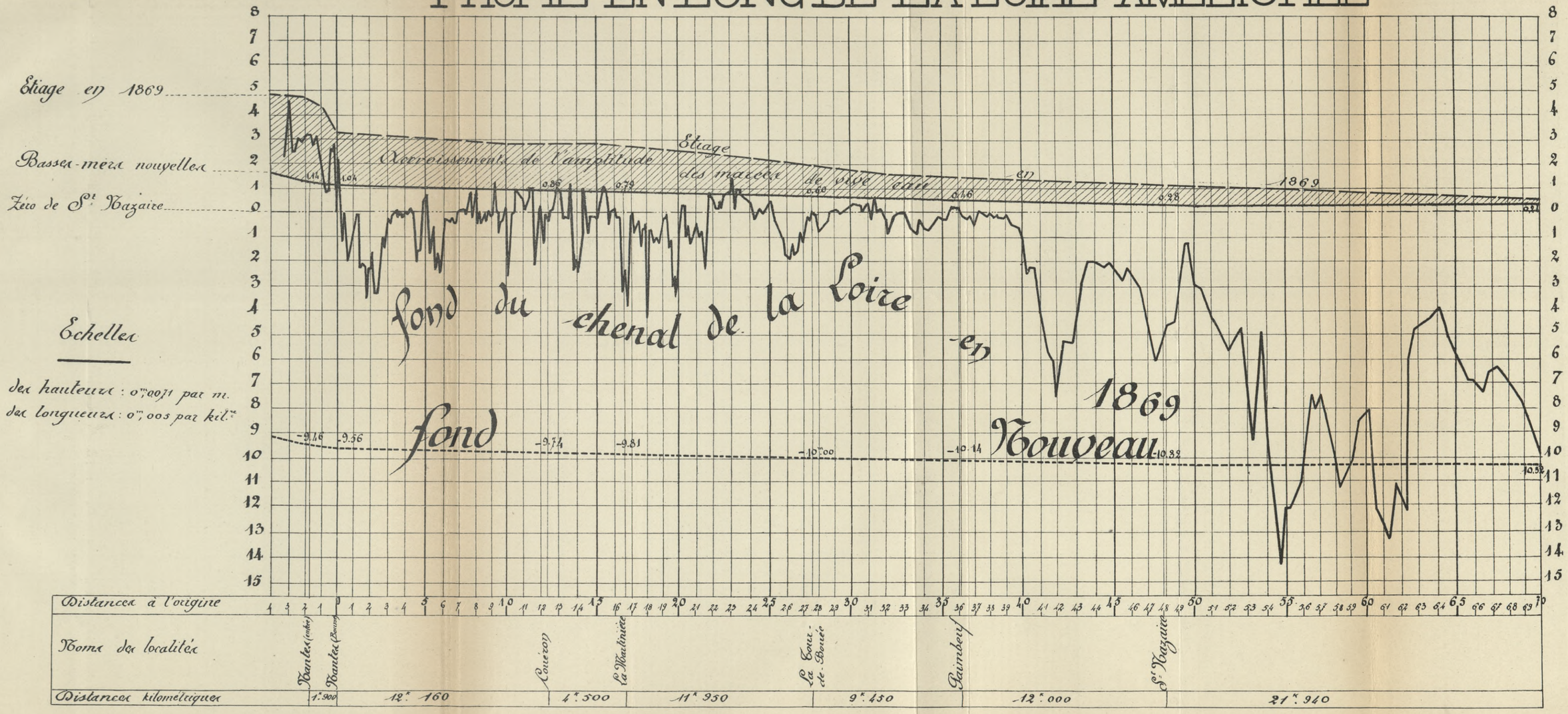

Courbes locales de la Seine après son amélioration (M = 3m.20)
Marée de vive eau du 27 octobre 1890 [Coefficient : 100]
Poses
Elbeuf
Rouen
La Bouille
Duclair
La Mailleraye
Caudebec
Quillebeuf
Tancarville
La Risle
Honfleur
Le Havre
Oissel
Hauteurs
Heures

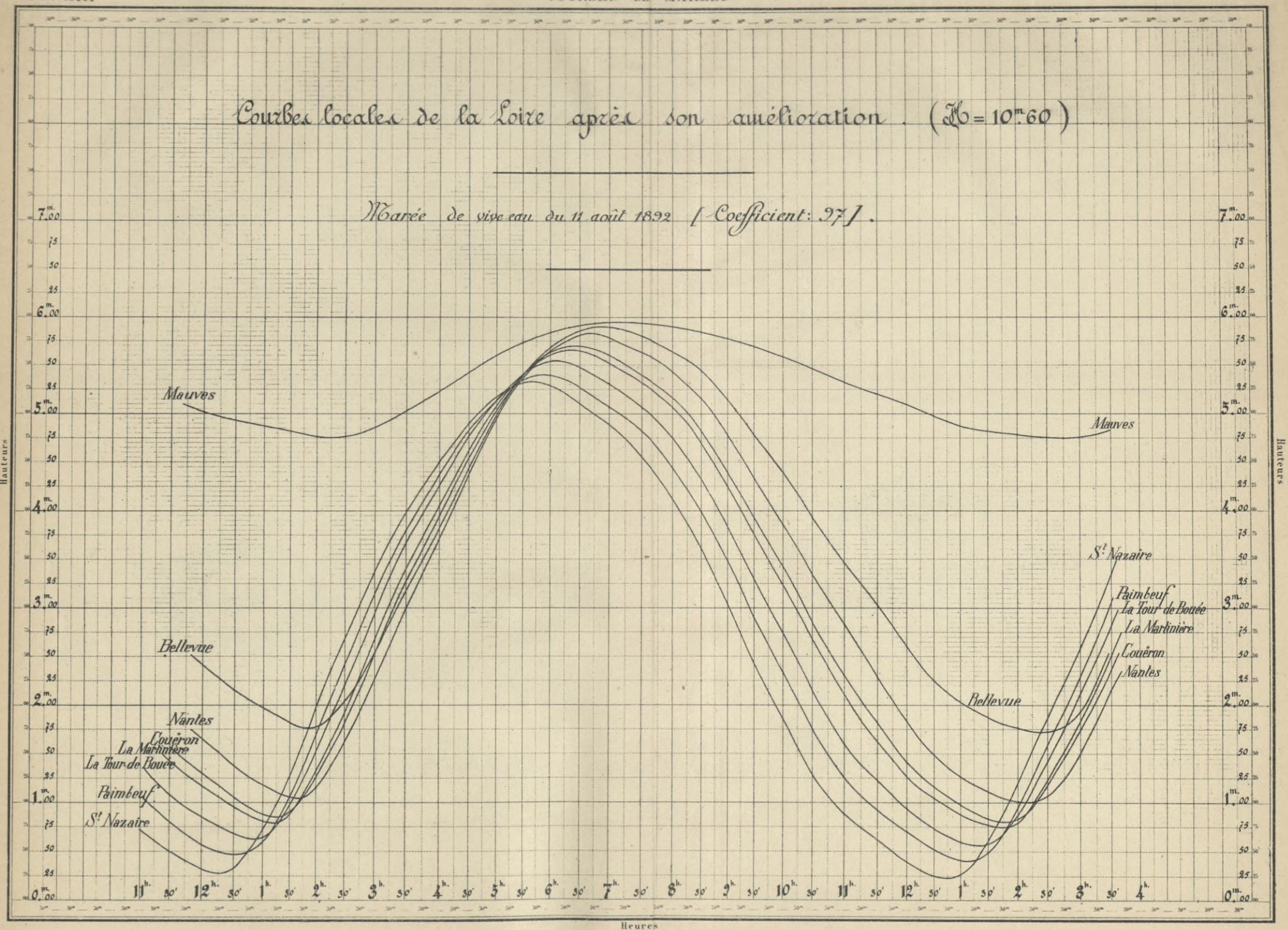

Courbes locales de la Seine après son amélioration (M = 10m.50)
Marée de vive eau du 27 octobre 1890 [Coefficient: 100]
Hauteurs
Heures
97m.00
98m.00
99m.00
100m.00
101m.00
102m.00
103m.00
104m.00
105m.00
2h. 30' 3h. 30' 4h. 30' 5h. 30' 6h. 30' 7h. 30' 8h. 30' 9h. 30' 10h. 30' 11h. 30' 12h. 30' 1h. 30' 2h. 30' 3h. 30' 4h. 30' 5h. 30' 6h. 30' 7h. 30' 8h. 30' 9h. 30' 10h. 30' 11h.
Poses
Elbeuf
Rouen
Oissel
La Bouille
Duclair
La Maillerayé
Caudebec
Quillebeuf
Tancarville
La Bisle
Honfleur
Le Havre

EXTRAIT DE LA CARTE DE FRANCE — "LA LOIRE MARITIME"

Pl. XII

PROFIL EN LONG DE LA LOIRE AMÉLIORÉE




Courbes locales de la Loire après son amélioration. (H = 10m.60)
Marée de vive eau du 11 août 1892 [Coefficient: 97].
Mauves
Bellevue
Nantes
Couëron
La Martinière
La Tour de Bouée
Paimbeuf
St Nazaire
Hauteurs
Heures
7m.00
6m.00
5m.00
4m.00
3m.00
2m.00
1m.00
0m.00
11h. 30' 12h. 30' 1h. 30' 2h. 30' 3h. 30' 4h. 30' 5h. 30' 6h. 30' 7h. 30' 8h. 30' 9h. 30' 10h. 30' 11h. 30' 12h. 30' 1h. 30' 2h. 30' 3h. 30' 4h.