

HYDROGRAPHIE.

DES

9
COURANTS DE MARÉE

DANS L'ESCAUT,

PAR

M. A. STESSLS,

LIEUTENANT DE VAISSEAU DE 1^{re} CLASSE, ETC.

BRUXELLES

IMPRIMERIE DE B.-J. VAN DOOREN, CHAUSSÉE DE WAVRE, 23.

1868

~~10 197 cc~~

HYDROGRAPHIE.

DES

9

COURANTS DE MARÉE

DANS L'ESCAUT,

PAR

M. A. STESSLS, L.

LIEUTENANT DE VAISSEAU DE 1^{re} CLASSE, ETC.



BRUXELLES

IMPRIMERIE DE B.-J. VAN DOOREN, CHAUSSÉE DE WAVRE, 25.

1868



EXTRAIT DES ANNALES DES TRAVAUX PUBLICS DE BELGIQUE, T. XXV.

HYDROGRAPHIE.

DES

COURANTS DE MARÉE DANS L'ESCAUT.

Une carte hydrographique ne représente jamais l'état des eaux à un instant donné; elle établit la position d'une des limites atteintes par la surface liquide dans ses mouvements d'ondulation.

Quand il s'agit d'une partie de côtes, on donne ordinairement les profondeurs, sous les plus basses mers, des vives-eaux aux différents points; l'amplitude de la vague-marée étant très-variable suivant les obstacles qui s'opposent à sa marche, il s'en suit que la surface de comparaison qui sert à établir les sondages est une surface très-irrégulière dont tous les points ont des altitudes différentes.

On éviterait en partie la cause de ces irrégularités en prenant pour surface de comparaison, celle qui passerait par le niveau moyen des différents points.

Toutefois, sur des fonds réguliers, avec une vague-marée unique, si l'on parvient à éliminer l'influence des vents, toutes choses qui se présentent rarement réunies, la surface qui nous occupe oscille encore de chaque côté d'une

position moyenne, suivant les variations de la pression atmosphérique. M. Daussy, dans les *Annales maritimes* de 1837, a montré que la correction, que la cote du niveau moyen doit subir dans ces circonstances, peut être représentée par

$$+ 15 \text{ (haut. barom. — } 0^m,76\text{)}.$$

Sur nos côtes, le niveau moyen s'élève quelquefois de plus de deux mètres par les vents de l'Ouest au N O, et il s'abaisse, mais d'une moindre quantité, par les vents du S E à l'Est. Il est facile de se rendre compte de cet effet, en remarquant quels sont les vents qui soufflent le plus directement vers l'embouchure de l'Escaut.

Il serait donc très-difficile, pour une étude exacte du régime des eaux sur la partie d'une côte, même assez restreinte, de retrouver des points de comparaison fixes, en dehors de ceux qui proviennent d'un nivellement.

Dans une rivière à marées, les difficultés sont plus grandes encore : la forme de l'onde peut assez bien, en mer, être représentée d'après la théorie de Laplace, par l'équation :

$$y = m \sin \text{ vers } 360^\circ \frac{t}{T},$$

dans laquelle y représente la hauteur de la marée à l'instant t , compté à partir de l'instant de la marée basse précédente ; m est la moitié de l'amplitude de la marée trouvée au moyen de l'unité de hauteur du lieu, T l'intervalle de temps entre deux marées basses consécutives ; mais cette forme n'est plus exacte dans une rivière.

Sans nous occuper des différentes modifications que M. Chazallon a fait subir à cette formule primitive (*Mémoire publié par l'Institut de France, le 7 mars 1842*), pour

tenir compte des ondulations d'une période plus courte que le demi-jour lunaire, et qui existent, en même temps que celle dont nous venons d'examiner l'équation; remarquons que la courbe qu'elle représente est symétrique des deux côtés de l'ordonnée du point culminant et que, par suite, la durée du flux et celle du reflux sont supposées égales.

Dans une rivière, il n'y a que la partie de la courbe des marées relative à la marée montante qui corresponde encore à une onde maritime, l'autre partie est presque en ligne droite sur la majeure partie de son parcours (1); elle indiquerait que le jusant conserve à peu près la même intensité pendant la marée descendante. D'un jour à un autre les diagrammes des hauteurs de la marée varient beaucoup, ainsi que les durées du flot et du jusant, ces variations dépendent des ondes précédentes, suivant qu'elles font partie d'une série d'ondes croissantes ou décroissantes; à cet égard des séries d'observations bien faites sont très-intéressantes à étudier.

Pour se rendre facilement compte des diverses circonstances du mouvement des eaux, j'ai joint à ce travail un diagramme moyen des vitesses de la marée prises pendant une lunaison, à Anvers, le mois de juillet dernier. Ce diagramme montre aussi que le courant suit une loi toute autre pendant le flot que pendant le jusant.

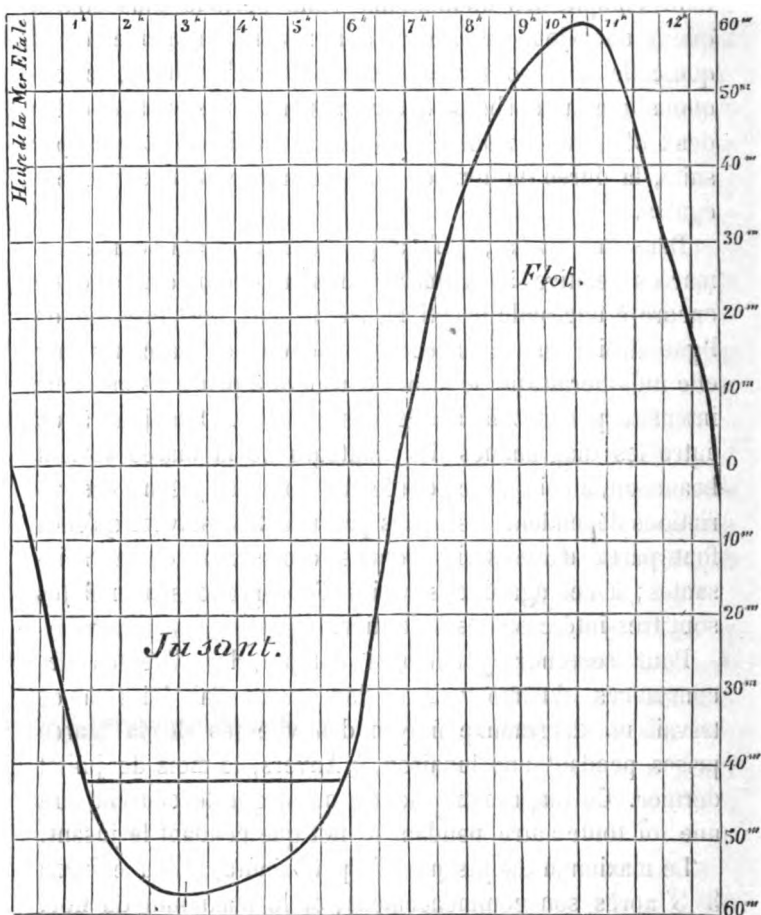
Le maximum du jusant, 57^m par minute, a lieu environ 3^h 3' après son commencement; et le maximum du flot, 58^m,5 par minute, a lieu 3^h 33' après son commencement.

La durée du flot a été de 5^h 42';

Celle du jusant de 6^h 42'.

La vitesse moyenne du jusant a été de 41^m,5; elle a eu

(1) Voir les cartes de l'Escaut publiées par le gouvernement belge ou le t. XXI des *Annales des travaux publics*.



lieu 1^h 22' après mer étale de flot et 1^h avant l'étale de jusant.

La vitesse moyenne du flot a été de 38^m,5; elle a lieu 4^h 17' après mer étale de jusant et à peu près le même temps, avant l'étale de flot.

La cote du niveau moyen dans les différents points d'une rivière est très-variable; elle change encore dans le même

lieu avec l'accumulation des eaux supérieures pendant une suite de marées croissantes ou après une série de pluies qui ont augmenté le débit des eaux supérieures.

La cote moyenne des marées basses est peut-être l'élément le moins variable parmi tous ceux qui doivent être pris en considération dans l'étude d'un fleuve; mais elle subit encore des changements d'après les vents, aussi le meilleur terme de comparaison paraît devoir être une surface horizontale établie par un nivellement.

Il ne faut pas oublier que, lorsque tous les points du lit sont rapportés à cette surface horizontale, le dessin ne représente pas l'état du fleuve à un moment donné.

Pour avoir cet état, il est indispensable que la carte hydrographique soit accompagnée d'une étude du mouvement des eaux dans les différents lieux, cette étude seule permet de retrouver, à un instant donné, l'état de la surface liquide (1).

Dans un travail qui a été publié dans les *Annales*, t. XXI, p. 341, j'ai montré comment on obtient la pente moyenne des eaux d'un fleuve à un instant donné, par une disposition particulière des diagrammes de la marée; je vais maintenant m'occuper de la représentation des courants de marée dans l'Escaut, mais auparavant il sera nécessaire de rappeler comment la pente s'obtient directement.

Supposons que l'on ait divisé une feuille de papier par des lignes horizontales et des lignes verticales équidistantes, de telle manière que les ordonnées représentent les cotes des eaux et les abscisses, les temps écoulés. Que l'on place sur ce tableau les observations de la marée faites

(1) En nommant h la hauteur de la marée solaire et h' celle de la marée lunaire, Laplace a trouvé pour Brest que $\frac{h'}{h} = 2,6457$; à Londres, M. Whewell a trouvé que cette valeur était 2,9884; j'estime, d'après mes observations, qu'elle est d'environ 3,0074, à Anvers.

de demi-heure en demi-heure sur tous le parcours du fleuve, et que l'on joigne par une courbe tous les points de la même station.

Il est facile de voir que le tableau ainsi disposé donnera les pentes à un instant donné, ainsi que les différences d'établissement entre les différents points.

Cependant, ce tableau ne donnerait que l'état des eaux à un jour donné ; pour avoir la variation des pentes à un point de vue général, il faut remplacer les diagrammes relatifs à ce jour, par ceux qui correspondent à un état moyen du fleuve. Cette opération pourra aisément se faire, en employant les chiffres donnés dans ma description hydrographique de l'Escaut, et en prenant, pour différence entre les abscisses des points culminants des diagrammes, les différences entre ce que j'ai nommé établissements moyens. C'est ainsi que la pl. 14 du t. XXI des *Annales* a été obtenue.

L'étude de la marée, à un jour donné, se trouvera par la comparaison des cotes observées pour ce jour avec celles des diagrammes moyens.

A cet égard, il sera nécessaire d'établir pour les différents lieux la forme moyenne des diagrammes, lors des vives-eaux et lors des mortes-eaux ; je tâcherai de donner bientôt une étude dans ce sens ; mais, avant de rechercher les moyens d'apprécier les variations du régime dans la succession des temps, je crois qu'il faut rechercher les variations dans les différents lieux pour un même temps ; et afin d'avoir des données qui puissent servir de base à d'autres recherches, il ne faudra pas étudier le régime à un jour déterminé, il faudra faire porter cette étude sur la situation moyenne déduite d'un grand nombre d'observations.

C'est ce que je vais tâcher de faire pour les courants de marée ; ces courants se distinguent en courants de marée montante au flot et courants de marée descendante ou jusant.

En suivant les dénominations dont s'est servi M. Keller,

qui s'est beaucoup occupé du problème des marées en mer et dans les fleuves, je nommerai étale de flot le moment où le flot cesse et étale de jusant celui où le jusant cesse. Ces époques sont caractérisées sur notre littoral, par des courants transversaux ; mais ceux-ci ne se manifestent pas dans les rivières.

Les courants dont je vais m'occuper actuellement sont ceux que l'on observe à la surface, au-dessus du thalweg ou dans son voisinage.

A l'emplacement de l'ancien feu du Paardemarkt, l'étale de flot n'a pas lieu lors de la marée haute, j'ai fait voir qu'en cet endroit le flot se maintient jusqu'à 2^h 16' après mer haute (*Annales*, t. XXV, p. 39) ; il en est à peu près de même du jusant.

A Flessingue, le flot continue encore 50' après marée haute ; c'est-à-dire que ce qui sera appelé établissement de l'étale est en cet endroit 54' + 50' = 1^h 44' ; c'est l'heure de la fin du flot lors des syzygies.

La différence entre l'établissement de l'étale et l'établissement du port va en diminuant à mesure que l'on remonte le fleuve ; à Anvers elle n'est plus que de 15' environ.

A la fin du jusant, celui-ci continue encore à se faire sentir après que la marée a commencé à monter ; mais la différence entre l'heure de son étale et celle de la basse mer est beaucoup plus faible que pour le flot ; à Flessingue elle est encore d'environ 30', mais elle diminue rapidement en remontant le fleuve.

En dehors des instants où le courant cesse en un lieu déterminé, le moment le plus curieux à connaître est celui où le courant a le plus d'intensité. C'est alors que l'on peut supposer que les alluvions sont entraînées sur le fond avec le plus d'énergie.

Les phénomènes dus au jeu des marées dans les grands fleuves sont si compliqués, qu'on ne peut pas tirer des inductions sur leur régime, au moyen des formules appliquées

sur les rivières en général ; aussi serait-il très-intéressant de connaître comment se comportent les courants sous-marins, pendant les différentes heures de la marée.

Sur les rivières à courant continu, nous avons des données sur la variation de la vitesse en descendant de la surface jusqu'au fond ; dans les fleuves à marée, nous savons qu'il existe des contre-courants, mais ils ont été peu étudiés jusqu'aujourd'hui.

Comme point de départ, une étude des courants de surface, au-dessus du thalweg de la passe navigable, telle que je la présente actuellement, sera, je l'espère, très-utile pour la connaissance du régime, ainsi que pour la solution de plusieurs problèmes de navigation, trop souvent laissée au hasard.

Il ne faudra pas confondre dans l'exposition des courants, la différence entre l'heure de l'étalement et celle de la marée haute, avec ce que l'on appelle communément la durée de l'étalement.

La durée de l'étalement est le temps pendant lequel le niveau de l'eau varie d'une manière peu sensible. Près de marée haute, la durée de l'étalement va en augmentant, en remontant le fleuve ; elle est la plus grande à la limite des marées, et dans les points intermédiaires elle dépend généralement de l'amplitude.

Pour représenter l'état des courants de marée dans l'Escaut à un instant déterminé, nous supposerons le fleuve développé le long de son thalweg ; nous établirons alors des verticales de cinq en cinq milles ; puis nous les couperons par des horizontales placées d'heure en heure.

De cette manière, la trajectoire d'un point de la surface du fleuve sera représentée par la courbe qui réunirait sa position dans les différents lieux et aux différentes heures successives, pendant lesquelles il a été observé.

En suivant ici le système employé par M. Keller, dans son

exposition des courants de la Manche et de la mer d'Allemagne, je placerai sur chacune des verticales les points de la côte, au moyen de leur établissement du port, c'est-à-dire de l'heure de la marée haute lors des syzygies, et je reprendrai la position que ces mêmes points occuperaient 12^h 24' après, ou un demi-jour lunaire; de cette manière les distances entre les lignes horaires représenteront des heures solaires.

Le courant de flot ou de jusant cessant à peu près en même temps, sur tous les points d'une ligne normale au thalweg, le régime d'une ligne pareille sera donné sur une des verticales du tableau.

Je tracerai ensuite la ligne qui joint tous les points de l'étales de flot et de jusant; le tableau sera ainsi divisé en bandes de flot et de jusant.

A un moment donné représenté par une horizontale, on pourra donc immédiatement trouver jusqu'où s'étend le flot et le jusant; nous allons voir maintenant comment l'on se rendra compte de son intensité.

Supposons que l'on forme séparément, pour chaque point du fleuve, et pour les vitesses moyennes du courant aux différentes heures, un tableau dont les abscisses seraient les espaces horaires, et les ordonnées verticales les vitesses du courant en nœuds et demi-nœuds (1). Si tous les points ayant une différence de vitesse d'un demi-nœud sont projetés sur l'axe des X, l'on pourra porter ces projections sur le premier tableau, joindre par une ligne ceux qui ont le même indice, et l'on aura ainsi une représentation exacte du régime des courants dans le fleuve et les moyens de résoudre plusieurs problèmes très-intéressants.

Des observations, plus nombreuses que celles que j'ai actuellement recueillies, permettront de tracer le tableau

(1) 1 nœud fait 30^m,8 par minute,
ou 0^m,501 par seconde

des courants avec plus de précision ; mais il est déjà possible de rechercher la solution des différentes questions.

Ainsi :

1° En supposant que le plus grand curage ait lieu lorsque le courant de surface est le plus grand, on peut se demander quelles sont les surfaces immergées en amont d'un point, où cette vitesse se fait remarquer, et rechercher si toutes les parties supérieures sont également nécessaires ?

2° On peut rechercher aux différents points quel est le gain du jusant sur le flot après une marée ; comme la force du courant qui agit efficacement pour transporter les alluvions vers la mer, dépend de cette différence, il est intéressant de la construire à différents points.

3° On peut encore se demander à quelle heure il faut partir d'un des ports de la rivière, pour passer au-dessus des hauts fonds en conservant le plus longtemps le courant favorable.

Ces problèmes sont d'une solution facile, au moyen du tableau qui vient d'être construit ; cependant, pour les premières questions, il faut se garder de tirer des conclusions d'une manière absolue, tant que les courants de fond ne seront pas mieux connus, et tant qu'une étude complète des variations des courants, suivant l'âge de la lune et la direction des vents, n'aura pas été faite. Malheureusement ces observations exigent le concours de plusieurs observateurs intelligents.

Il faut remarquer aussi que les vitesses capables de déplacer les sables légers du fond doivent dépasser $0^m,16$ par seconde, ce qui suppose une vitesse de surface d'un demi-nœud environ ; aussi, dans les supputations relatives à la marche des alluvions, il ne faudra prendre que les parties des trajectoires comprises entre les courbes d'un demi-nœud.

Les alluvions qui se trouvent en plus grande quantité dans la partie inférieure de l'Escaut, sont des sables légers très-mobiles. Pendant les tempêtes du large, en mer, sur la côte de Flandre, les vagues agitent la couche liquide jusqu'à une grande profondeur; ainsi, sur les bancs qui sont encore recouverts de 4 mètres, on voit alors la crête de la lame se couvrir d'écume et se briser avec violence; les bancs qui sont recouverts de 6 à 7 mètres d'eau produisent aussi des brisants pendant les tempêtes du NO. Quiconque a vu la couleur de la mer après un coup de vent, peut juger des sables qu'elle tient alors en suspension; le jeu des marées les porte dans les rivières, où les eaux trouvant un abri les abandonnent, surtout pendant les étales de flot.

Les sables une fois déposés dans le lit du fleuve ne peuvent en sortir que par les courants de jusant; les premiers jusants qui suivent la tempête en contiennent encore en suspension; mais les suivants n'agissent plus que par la vitesse qu'ils impriment aux sables du fond.

En regardant la surface des bancs découverte à marée basse, il est facile de voir, aux rides qui la couvrent, que les sables sont entraînés sur le fond; il serait même possible, en prenant la mesure des sillons, en examinant leur direction générale et leur forme, de reconnaître l'action des courants. Mais dans les circonstances ordinaires la marche des sables sur le fond est très-lente, surtout lorsqu'on la considère en dehors des causes accidentelles qui, modifiant momentanément le régime, déplacent la direction du mouvement et permettent aux alluvions, non de gagner l'embouchure du fleuve dont elles sont généralement trop éloignées, mais de se cantonner sur les plages et dans les fausses passes.

Ces circonstances sont la succession des marées variables d'intensité pendant une même lunaison et aussi les jusants résultants d'une tempête qui accumule des eaux sur la côte.

A ces causes, il faut joindre les crues produites par les saisons pluvieuses et plus encore le charriage des glaces. Cette dernière cause est très-efficace pour détruire les bancs peu recouverts à marée basse ; les glaçons qui les heurtent les désagrègent aisément et en rejettent les sables dans les endroits voisins offrant plus de profondeur et, par suite, des courants plus intenses pour les mouvoir.

Les glaces ont encore un autre effet : elles s'accumulent dans les angles où, lors du régime ordinaire, il se formait des remous ; après un certain temps, elles sont assez nombreuses pour former comme des épis flottants ; elles réagissent alors sur les courants qui, à leur tour, attaquent les bancs ; c'est surtout près des courbes que cet effet se remarque.

En résumé, c'est le jeu variable des marées qui agit sur la forme du lit creusé dans un sol mobile, et ensuite la forme du lit réagit à son tour sur l'action des marées.

Dans un canal régulier et droit, qui offrirait les mêmes variations de vitesse que l'on observe dans un fleuve à marée, l'ensablement du lit devrait encore se produire. Car, partout où l'eau perd de sa vitesse les alluvions doivent se déposer, et, dans un canal tel que nous le supposons, la vitesse doit nécessairement diminuer régulièrement de la surface au fond et du thalweg aux bords.

L'ensablement se produira donc symétriquement des deux côtés du plan longitudinal qui passe par le thalweg, quels que soient d'ailleurs les changements dans la vitesse ; pourvu que le thalweg lui-même ne se déplace pas, et cela ne pourrait arriver que si le fond réagissait d'une manière variable de chaque côté sur l'eau en mouvement.

Dans un canal étroit, où les filets d'eau se meuvent parallèlement, l'ensablement peut être régulier ; mais, dans une rivière, ces filets réagissent l'un sur l'autre et forment des tournants ; cet effet se remarque surtout près des bords ; aussi, malgré la direction rectiligne du canal, le thalweg prend-il une direction serpentante variable avec la vitesse.

Dans la nature, en dehors de la forme irrégulière des sections, une foule d'autres causes viennent rendre le parcours sinueux, le thalweg y est toujours jeté d'une rive à l'autre; il n'est pas le même pour le flot que pour le jusant, et il varie encore d'heure en heure pour chacun de ces courants, suivant les variations dans la pente des eaux.

Certainement, de grandes irrégularités sont nuisibles pour la bonne conservation d'une rivière; mais est-il nécessaire de s'attacher beaucoup à la régularité de toutes les parties d'un fleuve? En un mot, quelles sont les parties qui doivent être régulières et quelles sont celles dont il est actuellement indifférent de changer la forme?

Pour étudier cette question, comme les modifications du thalweg sont produites surtout par les coudes, par les avancées, par les retrécissements et par les plages dans les grands élargissements, il faut étudier dans leur ensemble chacun de ces objets, d'autant plus que les travaux que l'on pourrait construire pour améliorer certaines parties du fleuve seraient de nature à créer momentanément de nouvelles causes d'attérissements.

Le tableau qui est joint à ce travail pourra servir utilement dans la discussion de ces questions, dont je tâcherai bientôt d'établir les éléments. A cet effet, j'ai cru devoir représenter dans la partie inférieure de la pl. XIII, l'état de la surface des eaux de l'Escaut, depuis la mer jusqu'à Gand, lors de la marée haute et de la marée basse à Flessingue, ainsi que lorsqu'il est mer étale de flot ou de jusant dans le même endroit. De plus, j'ai indiqué les profondeurs les plus faibles des barres telles qu'elles se présentaient au commencement de cette année.

Pour bien se rendre compte de l'emploi du tableau, cherchons à quelle heure un bâtiment à vapeur, filant 10 nœuds et tirant 6^m,5 d'eau, doit partir d'Anvers afin d'être assuré de passer sur les barres comprises entre Bath et Terneuzen, et de profiter le plus longtemps du courant de jusant.

Comme une approximation est suffisante, nous prendrons 2 nœuds pour la vitesse moyenne du jusant, ce qui donnera une vitesse de 12 nœuds au navire.

Cette vitesse se construit sur le tableau en prenant $AB = 12$ milles et en élevant BC , AC représentera alors la direction de la route du bâtiment relativement aux lignes du tableau.

En tirant une parallèle à cette direction, de manière qu'elle reste comprise dans le jusant, l'on voit : qu'il faut partir à marée haute, que la traversée sera de $3^h 40'$, qu'à l'arrivée à Flessingue il ne sera pas encore étale de jusant, et que le bâtiment pourra continuer sa route sans perdre le courant favorable.

Le navire arrivera à Bath $3^h 30'$ et à Neuzen 1^h avant marée basse, il pourra donc aisément franchir les passes.

Si le bâtiment ne filait que 4 nœuds, en partant à mer étale d'Anvers, il est facile de voir qu'il rencontrerait le flot en D , à 3 milles en aval de Hansweert, après $4^h 30'$ de traversée.

A partir de cet endroit, comme le bâtiment ne fera plus que 2 nœuds en moyenne contre le courant, il ne rencontrera le jusant qu'en E , à 4 milles en aval de Terneuzen, après $5^h 20'$ de traversée.

C'est alors que le jusant le reprendra de nouveau pour le conduire à Flessingue, où il arrivera $1^h 30'$ plus tard et environ 3^h après marée haute.

La traversée totale aura été de :

$$4^h 40' + 5^h 20' + 1^h 30' = 11^h 30'$$

Nous savons qu'il ne reste que $4^m,9$ à marée basse, dans certains endroits de la passe de Bath : voyons à quelle heure il faut partir de Flessingue pour arriver à Bath, une heure avant marée haute, avec un navire filant 8 nœuds ; on sera assuré de trouver alors au moins 8^m d'eau sur la barre.

Une heure avant marée haute, à Bath, correspond au point *H* du tableau; en prenant 2 nœuds pour la vitesse moyenne du flot, on aura une vitesse de 10 nœuds sur le fond, et la direction du chemin du navire sera *H F* sur le tableau. Le point *F* sera donc le point de départ de Flessingue, il correspondra à environ 2^h avant marée haute en ce point, et la traversée sera de 3^h 15' environ.

Ce qui vient d'être dit doit suffire pour faire comprendre la construction et l'emploi du tableau, nous en verrons bientôt d'autres applications.

Anvers, le 20 avril 1868

