LA

MARÉE DANS L'ESCAUT

DES INÉGALITÉS SEMI-MENSUELLES

RELATIVES AUX HEURES ET AUX HAUTEURS

NOTE

DE

M. ROCHET

Ingénieur en chef Directeur du Service hydrographique.

Pl. VI.

En 1876, le service hydrographique installa des maréographes à Anvers, Tamise et Termonde; il fit également annoter par un observateur les marées de jour à Liefkenshoek. Les observations recueillies ont permis de rechercher les facteurs les plus importants du phénomène de la marée dans ces endroits, c'est-à-dire l'heure et la hauteur des marées. Nous avons consigné dans ce qui suit le résultat de dix-neuf années d'observations; nous nous sommes tenu à ce terme qui comprend un cycle complet des positions que la lune peut occuper. Pour toute cette période, nous avons classé les marées suivant les passages de notre satellite aux méridiens respectifs des stations précitées; entre 0 et 1 heure, 1 et 2 heures, etc., jusqu'au passage entre 11 et 12 heures. Ce classement nous a permis de construire, pour chaque localité, 1° une courbe des retards de la haute mer sur les instants des passages, 2° une

courbe analogue concernant les basses mers, 3° une courbe des amplitudes des marées rapportées à ces mêmes passages.

Nous aurions pu multiplier le nombre des points de ces courbes en opérant le classement par passages lunaires plus rapprochés, soit de demi en demi-heure par exemple; mais, vu la régularité des diagrammes locaux, nous avons pensé que le premier groupement suffisait.

La planche ci-annexée reproduit les diagrammes dont nous venons de parler et nous les avons complétés par le tracé du lieu géométrique des amplitudes correspondant aux différents passages, dans le tronçon du fleuve limité par les postes extrêmes d'observation. Il sera dit un mot, à la fin de cette note, des particularités que présentent ces lieux géométriques.

Pour la clarté du présent exposé, il n'est pas inutile de définir quelques expressions qui ne sont pas d'un usage courant, que nous avons employées à diverses reprises dans le cours de ce travail et que d'autres auteurs ont, du reste, produites avant nous.

Nous appellerons *heure lunaire de la marée*, le retard de celle-ci sur les instants du passage le plus proche de la lune au méridien. Ce retard varie chaque jour dans une demi-lunaison et le retard moyen est ce que Laplace nomme l'heure fondamentale. L'excès tantôt positif, tantôt négatif, du retard de la marée un jour quelconque sur l'heure fondamentale constitue l'inégalité semi-mensuelle ce jour-là. L'heure fondamentale est donc l'heure lunaire de la marée, dégagée de l'inégalité semi-mensuelle. Elle représente le retard d'une marée de syzygie ou de quadrature, parce que dans ces deux phases lunaires l'inégalité est nulle. La courbe des retards est identique à celle des inégalités ; l'origine des ordonnées seule a changé.

L'âge de la marée dans un port, est l'intervalle de temps qui sépare la cause qui produit la marée, de sa manifestation dans le port considéré. Il s'obtient par le temps qui s'écoule entre l'époque de la syzygie ou de la quadrature et le moment de la vive ou morte eau. L'âge de la marée varie avec l'inégalité semi-mensuelle.

Courbes des inégalités semi-mensuelles horaires. — Les courbes numérotées de 1 à 4 sur la planche ci-jointe, sont l'expression graphique de la loi de variation des inégalités semi-mensuelles horaires, ou bien des retards de la marée sur les

instants des passages de la lune aux méridiens des ports susvisés. Elle fournissent chaque jour, l'heure approchée de la haute mer, si l'on ajoute à l'heure du passage lunaire le retard de la marée qui y correspond ; ou encore, si l'on additionne cette heure à l'heure fondamentale augmentée ou diminuée de l'inégalité suivant que celle-ci est positive ou négative.

Ainsi à Anvers, quand l'heure du passage au méridien de cette ville est 6, l'heure moyenne de la marée sera :
6 + 2.42 = 6 + 3.32 — 0.40 = 8 h. 42 ou du matin ou du soir, selon que le passage a eu lieu au matin ou dans l'après-midi.

De Liefkenshoek à Termonde, elles assignent les valeurs suivantes aux heures fondamentales : 2 h. 57, 3 h. 22, 4 h. 08 et 5 h. 18. Les courbes montrent que ces heures fondamentales correspondent aux passages lunaires suivants : 1 h. 52, 1 h. 45, 1 h. 45, 2 h. 02, et 7 h. 58, 7 h. 52, 7 h. 52, 7 h. 56. Les jours de vives ou de mortes eaux, la lune passe aux méridiens de Liefkenshoek, d'Anvers, de Tamise et de Termonde à 1 h. 52, 1 h. 45, 1 h. 45, 2 h. 02 ou à 7 h. 58, 7 h. 52, 7 h. 52 et 7 h. 56. En ce moment, l'âge de la lune, compté à partir de la syzygie, est représenté par 2 j. 24, 2 j. 10, 2 j. 10 et 2 j. 40 ; compté à partir de la quadrature par 2 j. 36, 2 j. 24, 2 j. 24, 2 j. 32. De ces valeurs, on déduit l'âge de la marée en y ajoutant les heures fondamentales converties en fractions de jour.

On pourrait donc définir l'âge de la marée : c'est l'âge de la lune au moment du passage méridien, compté à partir de la syzygie ou de la quadrature, augmenté de l'heure fondamentale du port réduite en fraction de jour. Compté à partir de la syzygie, l'âge fut trouvé égal à 2 j. 36 à Liefkenshoek, 2 j. 24 à Anvers, 2 j. 27 à Tamise et 2 j. 62 à Termonde; compté à partir de la quatradure, l'âge de la marée fut respectivement trouvé égal à 2 j. 48, 2 j. 38, 2 j. 41 et 2 j. 54. Ces valeurs suscitent deux remarques : 1° la différence d'âge dans des ports si rapprochés ; 2° la différence entre l'âge de la marée de syzygie et celle de quadrature.

L'âge de la marée à Liefkenshoek dépasserait l'âge de la marée à Anvers de 0 j. 12. Cette anomalie peut provenir de ce qu'on n'a pas pu considérer les marées de nuit. L'âge de la marée à Termonde semble également être représenté par une valeur trop forte. Cependant, des savants anglais, tel Whewel, ont constaté des faits semblables à celui-ci.

En ce qui concerne la seconde remarque, nous dirons que

Laplace, en calculant les marées de Brest, a trouvé des valeurs différentes pour l'âge de la marée de syzygie et de quadrature.

La vive eau se produit en moyenne à Liefkenshoek à 4 h. 49, à Anvers à 5 h. 07, à Tamise à 5 h. 53 et à Termonde à 7 h. 20; la morte eau respectivement à 10 h. 55, 11 h. 14, 12 heures et 13 h. 14.

Il ne faut pas confondre la marée de vive eau avec celle qui se produit quand la lune passe au méridien à midi ou à minuit. Le retard d'une telle marée, indiqué sur les diagrammes, prend le nom particulier d'Établissement vulgaire du port. C'est un élément important de la marée dans un port; il entre dans la résolution du problème de l'heure.

M. Germain, hydrographe français, donne dans son *Traité d'hydrographie*, une formule pour trouver l'heure de la marée dans un port, un jour quelconque. La voici : $H = E + h + C$; dans cette formule H représente l'heure cherchée, h l'heure du passage lunaire au méridien du port, C la correction positive ou négative, fonction de la parallaxe lunaire et de l'heure du passage; cette correction est donnée par des tables *ad hoc*.

Courbes des retards des marées basses. — Les courbes numérotées 5 à 8 établissent aussi la loi de la variation des retards des marées basses qui suivent les hautes mers, dans le classement que nous avons fait, sur les heures des passages lunaires. Elles fournissent l'heure approchée de la basse mer un jour quelconque. Ce jour-là, les diagrammes précédents donnent l'heure de la haute mer qui précède; il est donc possible d'obtenir, dans chacune des localités précitées, la durée du perdant de la marée ou de la descente des eaux. Puisque le phénomène de la marée est périodique, que cette période est 12 h. 25, nous avons facilement la durée du montant ou du gagnant de la marée.

Avec l'aide de ces derniers diagrammes et des similaires relatifs à la haute mer, nous pouvons déterminer la vitesse de propagation de la basse mer et de la marée haute, et la variation de cette vitesse suivant les heures des passages de la lune.

Courbes des amplitudes ou des inégalités semi-mensuelles relatives aux hauteurs — Ainsi que l'heure, la hauteur de la marée dans un port, varie avec l'âge de la lune. Les courbes numérotées de 9 à 12 indiquent graphiquement la loi de la variation de son amplitude. Elles fournissent, dans chacun des ports considérés, la hauteur approchée de l'intumescence de

la marée un jour quelconque. Elles nous font connaître aussi l'unité de hauteur de la marée à Liefkenshoek, Anvers, Tamise et Termonde. Celle-ci se définit par la demi-amplitude de la marée de syzygie. On déduit des diagrammes que la marée de syzygie marne de Liefkenshoek à Termonde de $4^m.94$, de $4^m.64$, de $4^m.30$ et de $2^m.80$. Les unités de hauteur sont: $2^m.47$, $2^m.32$, $2^m.15$ et $1^m.40$. En quadrature, les dénivellations deviennent $3^m.92$, $3^m.77$, $3^m.64$ et $2^m.51$.

Nous nous résumerons en disant que les tracés graphiques ci-joints donnent, avec une approximation suffisant aux besoins de la navigation, les éléments de la marée à Liefkenshoek, Anvers, Tamise et Termonde; que de plus ils permettent de déterminer la vitesse de propagation de la crête de l'intumescence de la marée et de la tête de flot. Nous pouvons les traduire en tableaux dont l'argument sera l'heure du passage de la lune au méridien et qui donneront l'heure de la haute et de la basse mer chaque jour, l'heure fondamentale du port, l'âge de la marée, la durée du gagnant et du perdant de la marée et l'unité de hauteur qui de son côté, permet de calculer la hauteur de la marée au moyen de coefficients qu'on appelle centièmes de la marée, etc.

Lieux géométriques des amplitudes, correspondant aux différents passages lunaires. — Depuis Tamise, la marée de syzygie se retrouve à Termonde, affaissée de $1^m.50$; celle de quadrature de $1^m.13$. Cet affaissement n'est respectivement que de $0^m.34$ et $0^m.13$ d'Anvers à Tamise. Ces chiffres sont suggestifs au point de vue du perdant de l'onde marée dans le parcours de cette onde de Tamise à Termonde. Les lieux géométriques ci-joints révèlent suffisamment cette situation anormale. Elle indique la mauvaise ordonnance du lit du fleuve entre Tamise et Termonde. Il est à supposer qu'on provoquerait un appel de flot en supprimant les obstacles qui contrarient le développement de l'onde marée dans cette partie du fleuve. Bien qu'entre Anvers et Tamise le Ruppel absorbe un plus grand volume d'eau de flot que la Durme, moins importante, le volume de l'intumescence des marées se conserve mieux dans la section Anvers-Tamise que dans celle Tamise-Termonde. On ne peut donc pas arguer de l'existence de la Durme pour rendre compte de l'affaissement des marées dans cette dernière localité.

TABLEAUX RÉCAPITULATIFS.

I. Liefkenshoek.

Heure fondamentale, 2 h. 57. Age de la marée, 2 j. 36.
Unité de hauteur, $2^{m}.47$. Établissement du port = 3 h. 26.

Passages ☾	Heures de		Durée du		Amplitude de la marée.
	marées hautes.	marées basses suivantes.	perdant.	gagnant.	
H. min.	H. min.	H. min.	H. min.	H. min.	Mètres.
0.30	3.50	10.29	6.39	5.46	4.93
1.30	4.34	11.15	6 41	5.44	4.94
2.30	5.18	11.59	6.41	5.44	4.93
3.30	6.06	12.45	6.39	5.46	4.77
4.30	7.00	1.29	6.29	5.56	4.61
5.30	7.49	2.16	6.27	5.58	4.37
6.30	8.47	3.27	6.30	5.55	4.11
7.30	10.05	4.30	6.25	6.00	3.95
8.30	11.39	6.09	6.30	5.55	4.07
9.30	1.02	7.35	6.33	5.52	4.28
10.30	2.07	8.43	6.36	5.49	4.63
11.30	3.02	9.40	6.38	5.45	4.82

II. Anvers.

Heure fondamentale, 3 h. 22. Age de la marée, 2 j. 24.
Unité de hauteur, 2 h. 32. Établissement du port = 3 h. 49.

Passages ☾	Heures de		Durée du		Amplitude de la marée.
	marées hautes.	marées basses suivantes.	perdant.	gagnant.	
H. min.	H. min.	H. min.	H min.	H min	Mètres
0.30	4.02	11.15	7.13	5.12	4.62
1.30	4.56	12.02	7.06	5.19	4.64
2.30	5.40	12.42	7.02	5.23	4.62
3.30	6.28	1.28	7.00	5.25	4.52
4.30	7.16	2.13	6.57	5.28	4.36
5.30	8.10	3.00	6.50	5.35	4.11
6.30	9.14	4.05	6.51	5.34	3.88
7.30	10.38	5.31	6.53	5.32	3.77
8.30	12.13	7.12	6.59	5.26	3.92
9.30	1.35	8.27	6.52	5.33	4.19
10.30	2.35	9.32	6.57	5.28	4.39
11.30	3.27	10.28	7.01	5.24	4.52

III. Tamise.

Heure fondamentale, 4 h. 08. Age de la marée, 2 j. 27.
Unité de hauteur, $2^{m}.15$. Établissement du port = 4 h. 36.

Passages ☾	Heures de		Durée du		Amplitude de la marée.
	marées hautes.	marées basses suivantes.	perdant.	gagnant.	
H. min.	H. min.	H min	H. min	H. min.	Mètres.
0.30	4.58	12.18	7.20	5.05	4.29
1.30	5.42	1.01	7.19	5.06	4.30
2.30	6.26	1.44	7.18	5.07	4.27
3.30	7.14	2.31	7.17	5.08	4.22
4.30	8.03	3.16	7.13	5.12	4.07
5.30	8.56	4.05	7.09	5.16	3.92
6.30	9.58	5.06	7.08	5.17	3.73
7.30	11.25	6.34	7.09	5.16	3.64
8.30	1.01	8.14	7.13	5.12	3.76
9.30	2.19	9.33	7.14	5.11	3.98
10.30	3.21	10.37	7.16	5.09	4.13
11.30	4.13	11.28	7.15	5.10	4.24

IV. Termonde.

Heure fondamentale, 5 h. 18. Age de la marée, 2 j. 62.
Unité de hauteur, $1^{m}.39$. Établissement du port = 5 h. 48.

Passages ☾	Heures de		Durée du		Amplitude de la marée.
	marées hautes.	marées basses suivantes.	perdant.	gagnant.	
H. min.	H min.	H. min.	H. min.	H. min.	Mètres
0.30	6.12	1.50	7.38	4.47	2.77
1.30	6.56	2.35	7.39	4.46	2.78
2.30	7.41	3.18	7.37	4.48	2.78
3.30	8.20	4.04	7.44	4.41	2.74
4.30	9.12	4.51	7.39	4.46	2.69
5.30	10.04	5.41	7.37	4.48	2.62
6.30	11.06	6.44	7.38	4.47	2.54
7.30	12.30	8.17	7.47	4.38	2.51
8.30	2.06	9.50	7.44	4.41	2.57
9.30	3.27	11.10	7.43	4.42	2.63
10.30	4.30	12.12	7.42	4.43	2.71
11.30	5.24	1.02	7.38	4.47	2.75