

LE PHÉNOMÈNE DES MARÉES

Louis CAMPION

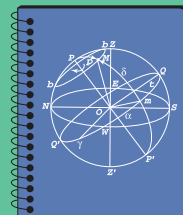
Ce fascicule présente le phénomène des marées qui sont des mouvements oscillatoires périodiques du niveau de la mer, causés principalement par l'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil. L'auteur retrace l'histoire de la compréhension des marées, des théories antiques à celles de Newton et Laplace, et détaille les principes physiques sous-jacents aux forces génératrices de marée. Sont fournis des définitions clés, des méthodes de calcul pour les hauteurs et heures de marée et des illustrations de l'impact économique et pratique des marées sur la navigation et les activités portuaires.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

X,00 €

Société Scientifique d'Éducation Populaire agricole Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san-fr.com - E-mail : san@san-fr.com



N° 11

LE PHENOMENE DES MAREES

Louis CAMPION



Les Cahiers de la SAN

LE PHÉNOMÈNE DES MARÉES

Louis CAMPION

Capitaine au long cours

Édition 2011

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

LE PHÉNOMÈNE DES MARÉES

La marée est un mouvement oscillatoire périodique du niveau de la mer.

Toutes les 12 h 25 min nous remarquons une montée, une étale, une descente et une autre étale. Le rapport avec le mouvement de la Lune est si évident qu'il avait été remarqué dès l'antiquité.

Cependant le phénomène resta inexpliqué tant que la théorie de la gravitation ne fut pas connu.

La marée est due à l'attraction qu'exercent sur les masses fluides de notre globe les masses de la Lune et du Soleil. L'étude de ce phénomène dépend donc de la mécanique céleste et de la mécanique des fluides.

L'énergie dépensée en frottement sur le fond des mers et dans les détroits par les masses océaniques mises en mouvement par la marée est prise au dépend de la rotation de la Terre qui ralentit de 0,00164 seconde par siècle. Il y a 400 millions d'années la Terre tournait sur elle-même en 21 heures environ.

Historique

Pour PLATON la marée est due à la Terre qui respire, pour ARISTOTE elle est due au vent.

Les grecs et les romains, en général, se sont peu intéressés aux marées quasi inexistantes en Méditerranée.

Pour GALILÉE et pour KEPLER les marées sont occasionnées par la rotation de la Terre.

Pour NEWTON le phénomène est une conséquence de la loi de la gravitation universelle, et il en bâtit toute une théorie, celle de la *marée statique*.

BERNOULLI en 1740 met au point la première méthode pratique de prévision des marées.

LAPLACE dans sa *Mécanique céleste* donne une explication dynamique, c'est la somme de mouvements partiels agissant séparément.

La théorie de LAPLACE avait au moins le mérite de permettre la prévision des marées avec une certaine précision.

En fait le phénomène est très complexe car :

- les mouvements de la Lune sont eux-mêmes très complexes,
- la configuration de la Terre n'est pas simple : masse et dessin des continents et des bassins océaniques, profondeurs et tailles différentes des mers, frottements, inertie des masses d'eau, force de Coriolis etc.

On a toutefois de nos jours le moyen d'établir des tables de marée précises, plutôt basées sur l'extrapolation de situations déjà rencontrées, à la suite de très nombreuses observations et enregistrements, que sur un calcul mathématique déterminé.

On donne l'ordre de reprendre le chargement, ce qui a pour effet de faire le bateau s'enfoncer dans l'eau; mais ça n'a plus d'importance puisque le niveau de la mer remonte.

À pleine mer, le navire plein, on appareille chargé et avec suffisamment d'eau pour naviguer.

Voilà des problèmes auxquels donne lieu la marée sur nos côtes, et je n'ai encore pas fait tout le tour du problème. La marée a beaucoup d'importance pour les gens de mer !

Contraintes de chargement dues à la marée :

Il existe à Honfleur sur la Seine, un dépôt pétrolier appelé *Miroline*.

Des pétroliers de moyenne importance (type ÉRIKA) viennent y décharger certains produits et en charger d'autres.

L'appontement du dépôt est accessible aux pétroliers chargés lors de la marée haute, mais à marée basse, le tirant d'eau est limité et un navire chargé s'échoue à coup sûr.

Il faut donc dès l'instant où il a accosté à marée haute que le navire décharge le plus vite possible afin de s'alléger et d'être plus haut sur l'eau au moment où arrive la basse mer.

Les anglais appellent cette situation : *pumping against the tide* ! (pompage contre la marée).

Ici encore ce n'est pas l'homme qui commande ! Tout ce qu'il peut faire est de souhaiter que ses pompes ne tombent pas en panne au début du déchargement.

La situation inverse se présente également à Miroline :

Un navire vide arrive à quai à marée haute et il doit charger une certaine quantité de produit.

La mer baisse, le navire se charge : deux actions agissant dans le même sens qui rapprochent le fond de la quille du fond de la rivière.

Dans ces conditions il arrivera un moment où le navire va toucher le fond !

Il faut calculer quel sera la profondeur à quai à marée basse pour ne pas surcharger outre mesure le navire.

Quand le navire est enfoncé de cette profondeur, on arrête toutes les opérations et l'on attend que la basse mer arrive, une basse mer que l'on pourra encaisser sans danger si nos calculs sont corrects.

On surveille les pieux de l'appontement, et à l'heure prévue on voit le niveau de l'eau dans la rivière qui remonte d'un, puis deux millimètres indiquant que la renverse a eu lieu (en rivière la renverse se fait très rapidement et est facile à apprécier !).

Théorie

Nous avons vu ce qui provoque le phénomène des marées : c'est l'attraction conjuguée de la Lune et du Soleil sur les masses fluides de notre planète.

Nous allons considérer tout d'abord le cas de l'un d'entre eux, la Lune par exemple, pour ensuite l'étendre aux deux astres réunis.

La relation fondamentale de la dynamique, bien connue, est :

$$F = m\gamma$$

La loi de la Gravitation Universelle nous dit : *deux corps exercent l'un sur l'autre une force d'attraction proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance*. Ça se traduit comme ceci :

$$F = k \cdot m m' / d^2$$

où k est une constante (celle de la Gravitation Universelle que nous ignorerons par la suite et qui vaut : $6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$), m et m' sont les masses respectives des deux corps, d est la distance qui les sépare.

Dans le cas de deux corps, la Lune de masse M et une particule élémentaire de masse unitaire $m = 1$, on aura :

$$F = k \cdot M / d^2$$

Procédant à l'égalité des deux relations en faisant : $F = F$ on obtient alors :

$$\gamma = k \cdot M / d^2$$

Si on prend pour d la distance du centre de la Lune au centre de la Terre, l'accélération provoquée par la Lune sur une masse unitaire située au centre de la Terre sera :

$$\gamma_c = k.M/d^2$$

(nous confondrons accélération et attraction par la suite)

Prenons deux points, **P1** et **P2** à la surface de la Terre, **P1** ayant la Lune au zénith et **P2** diamétralement opposé à **P1**. **r** est le rayon de la Terre (Fig. 1).

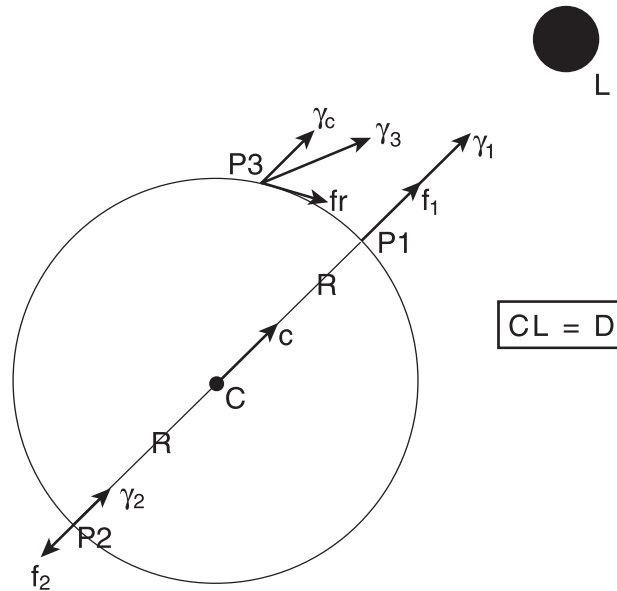


Fig. 1

L'attraction exercée par la Lune en chacun de ces points sur une masse unitaire sera :

$$\gamma_1 = k.M/(d - r)^2 \quad \text{et} \quad \gamma_2 = k.M/(d + r)^2$$

Or la marée provoquée en **P1** ou **P2** par la Lune n'est pas due à l'attraction de la Lune sur **P1** ou **P2** mais à la différence des attractions exercées par la Lune sur le centre de la Terre et sur le point **P** considéré.

D'où :

$$f_1 = \gamma_1 - \gamma_c \quad \text{et} \quad f_2 = \gamma_2 - \gamma_c$$

Prenons le cas de Rouen.

Rouen sur la Seine est bien plus éloigné de la mer que ne l'est Nantes, le fleuve fait des méandres et le trajet s'en trouve allongé d'autant.

De plus, le port de Rouen s'allonge sur les bords de la Seine bien plus que Nantes sur la Loire.

Pour raisons de sécurité la vitesse des navires doit être fortement réduite dans le port de Rouen (un peu plus vite qu'un homme au pas !).

Tout cela fait que les navires ont du mal à parcourir le trajet Mer - Rouen ou Rouen - Mer en une seule marée. Principalement si le navire est fortement chargé et selon l'importance de la marée.

Rouen est un port exportateur de blé (il arrive par péniches depuis toute la Brie et la Bauce).

Des navires emportent des dizaines de milliers de tonnes de blé, il sont chargés à bloc !

Lorsqu'ils appareillent de Rouen, à marée haute, ils ne peuvent pas naviguer à grande vitesse à cause des règlements portuaires.

Poussés par le courant descendant ils tournent et virent dans les méandres du fleuve, et savent qu'ils ne pourront jamais atteindre la mer avant que le chenal ne se vide.

Angoisse !

Le cas est prévu, ils tentent d'arriver à Saint Wandrille où la rivière a été draguée tout particulièrement et où des coffres d'amarrage sont prévus pour de tels cas.

Les navires chargés bien amarrés par l'avant et l'arrière pour les empêcher de se mettre en travers dans le chenal, encaissent passifs une basse mer, et lorsque l'eau revient pour leur permettre de repartir vers le large, ils appareillent en toute sécurité.

C'est la marée qui a ici encore réglé les activités des hommes.

Ils sont arrivés alors qu'il n'y avait pas assez d'eau dans le fleuve, et compte tenu de leur importance, un pilote local viendra les chercher pour les faire entrer les uns après les autres.

De la mer à Nantes il n'y a pas trop de trajet. Un navire mettra environ quatre heures pour remonter.

Compte tenu de l'importance de la marée, (de son coefficient à bien connaître donc !) il y aura plus ou moins d'eau, pendant plus ou moins longtemps pour pouvoir naviguer dans le fleuve.

En appareillant un certain temps (calculé) avant la pleine mer, le navire aura de l'eau pour franchir le seuil et entrer en toute sécurité dans le chenal.

La mer monte encore ! Il profitera donc d'une fin de flot qui va le pousser et le faire avancer sans avoir recours à toute la puissance de sa machine : économie de combustible !

Selon le cas, le calcul du pilote, l'importance du navire, le coefficient de marée, la puissance des machines, le bateau arrivera à Nantes à la pleine mer de Nantes (qui a lieu après celle de Saint-Nazaire). Il pourra donc évoluer dans le port, manœuvrer sans contraintes et accoster à marée haute.

Tout cela a été fait en tenant compte des astreintes dues à la marée.

Ce n'est pas l'homme qui a décidé, ce sont les éléments.

Un capitaine de navire ne dit pas : « Mon chargement va se terminer à 18 h 00, je serai prêt à partir à 18 h 30, donc le départ aura lieu à 18 h 30 ».

Il consulte l'annuaire des marées du port où il se trouve et voit que la pleine mer suivante a lieu à 23 heures. Il sera obligé d'attendre 23 heures pour appareiller. (Et de payer des heures de nuit à son équipage !)

À Nantes le trajet n'est pas trop long et l'on peut facilement mener les opérations de sortie comme d'entrée en une phase de marée haute. Il y a des ports où cela n'est pas toujours possible !

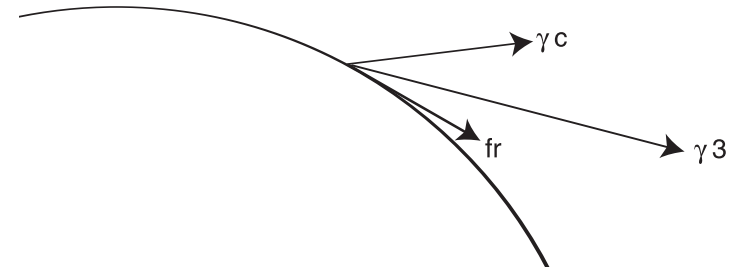


Fig. 2

$$f_1 = k.M.(1/(d-r)^2 - 1/d^2) = 2.k.M.r / d^3$$

$$f_2 = k.M.(1/(d+r)^2 - 1/d^2) = 2.k.M.r / d^3$$

Notons qu'en *P2* la force est négative et donc opposée à la force en *P1*.

Cette force s'appelle : **Force génératrice de la marée.**

C'est ce que l'on donne comme explication à la forme d'ellipsoïde de la masse fluide.

En tout autre point du globe n'ayant pas la Lune au zénith, la force d'attraction de cet astre n'est plus verticale et parallèle à γ_c , d'où une résultante fr , différence des vecteurs γ_3 et γ_c (Fig. 1 en P10 et Fig. 2).

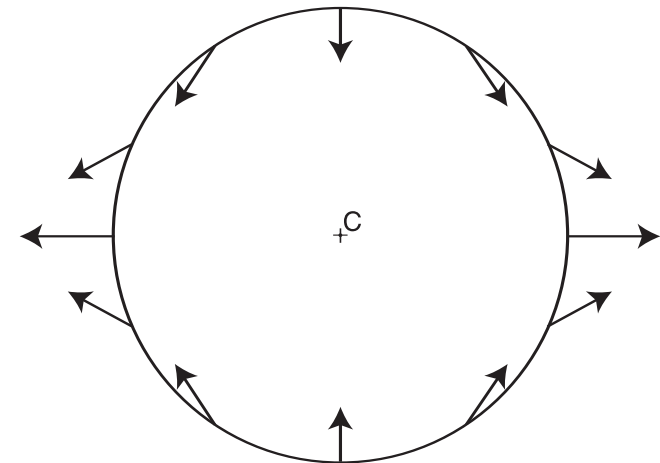


Fig. 3

La *force génératrice* est parfois dirigée vers l'extérieur, parfois vers l'intérieur du globe (Fig. 3).

Décomposant la force génératrice en composantes horizontale et verticale on obtient : f_h et f_v (Fig. 4).

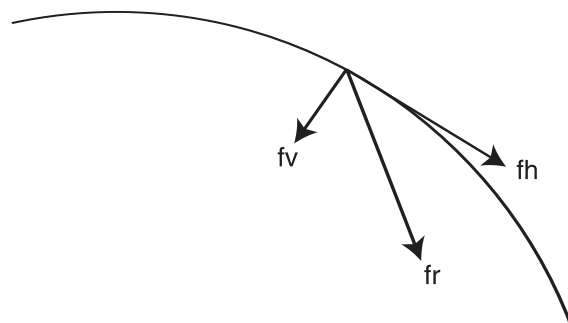


Fig. 4

La force verticale n'a aucun effet sinon d'alourdir ou d'alléger la molécule d'eau. Seule, la force horizontale agit et provoque un déplacement des molécules de proche en proche.

Nous venons de voir comment l'attraction de la Lune pouvait provoquer une déformation de la masse fluide de la Terre⁽¹⁾.

Si nous restons dans le cadre de la gravitation où l'attraction est proportionnelle à la masse et inversement proportionnelle au *carré* de la distance : $F = m.m'/d^2$, comme la masse du Soleil est 27,1 millions de fois celle de la Lune et sa distance à la Terre, 389 fois celle de la Lune à la Terre, on aurait en supposant :

$$\text{Masse de la Lune} = 1 \text{ et distance Terre/Lune} = 1$$

$$27,1 \times 1.000.000 / 389^2 = 179$$

L'influence du Soleil serait dans ces conditions 179 fois plus forte que celle de la Lune !

Or l'on sait par expérience qu'il n'en est rien, c'est l'influence lunaire qui domine.

Importance économique de la marée

La marée a beaucoup plus d'importance qu'on le croit en général sur les activités humaines.

Toutes les populations qui vivent de la mer, populations côtières et « gens de mer » vivent au rythme de la marée :

- Pêche à pied, passage du Gois, étude biologique de la zone de balancement des marées (faune et flore), pêche côtière.
- Production d'énergie : moulins à marée qui fonctionnaient le long des côtes bretonnes, usines marémotrices, courants périodiques qui aident ou contrarient la navigation.
- Économie portuaire et commerciale : importance d'un port, remontée d'un chenal. Contraintes d'horaires, de tirants d'eau, etc.

À cet effet, et pour conclure je vais relater quelques événements régis par la marée, et dont j'ai été acteur !

Les ports comme Nantes, Bordeaux ou Rouen sont accessibles aux navires d'une certaine importance grâce à la marée qui remplit leurs estuaires et leur cours inférieur.

La marée permet aux navires d'y accéder, d'y manœuvrer car la pleine mer remplit la rivière; mais à basse mer ces navires sont irrémédiablement bloqués à quai car le peu d'eau dont ils disposent ne leur permet pas d'évoluer pour rejoindre la mer.

Chaque port de rivière a un certain nombre de postes à quai, dragués régulièrement qui permet aux gros navires d'encaisser à l'arrêt amarré à quai, une basse mer sans s'échouer ni souffrir de dommage.

Ceci implique des contraintes d'horaire ; car on ne peut pas remonter la rivière, ni la descendre à l'heure que l'on veut : il faut attendre la marée !

Quand, depuis le remblai de La Baule vous apercevez des navires immobiles au large, à l'embouchure de la Loire, ce sont des navires mouillés (ancrés) en attente de marée.

On pourrait donc dresser la table suivante que nous garderions dans la poche pour aller pêcher la crevette ou nous promener sur un petit bateau :

Flux			Reflux	
Heure	Hauteur		Heure	Hauteur
11:00	0,60 m		17:00	5,55 m
12:00	1,01 m	1 x 0,41 m	18:00	5,14 m
13:00	1,84 m	2 x 0,41 m	19:00	4,31 m
14:00	3,08 m	3 x 0,41 m	20:00	3,07 m
15:00	4,32 m	3 x 0,41 m	21:00	1,83 m
16:00	5,14 m	2 x 0,41 m	22:00	1,01 m
17:00	5,55 m	1 x 0,41 m	23:00	0,60 m

Tous ces calculs ne sont pas rigoureusement exacts et varient légèrement en fonction de nombreux éléments; mais pour les besoins du touriste avisé, du pêcheur à pied ou du plaisancier, ils sont largement suffisants.

Pourquoi ?

Parce que comme on l'a trouvé tout à l'heure, la force génératrice de la marée est proportionnelle à la masse de l'astre perturbateur (comme en gravitation) mais inversement proportionnelle au *cube* de la distance.

Il faut donc diviser encore une fois par 389 :

$$179 / 389 = 0,46$$

En effet, l'influence du Soleil égale les 46% de celle de la Lune, ou encore la Lune attire la marée 2,17 fois plus que le Soleil (c'est la même chose).

Donc l'effet de la Lune est prépondérant et c'est pour cela que nous disons chez nous que pour l'heure, la marée suit la Lune. C'est d'ailleurs cela qui a permis aux anciens de remarquer son influence sur les marées.

Le Soleil intervient quant à l'importance de la marée, car les positions relatives de la Terre, du Soleil et de la Lune ne cessant de se modifier, parfois Lune et Soleil conjuguent leurs efforts, parfois leurs actions se contrarient.

Quelque définitions

Lorsque le Soleil, la Lune et la Terre sont alignés il y a *syzygie*.

Si lors de la syzygie nous avons l'alignement *Soleil - Lune - Terre* il y a *conjonction*, si c'est l'alignement *Soleil - Terre - Lune* il y a *opposition*.

Ces positions correspondent à des *grandes marées* dites marées de *vive-eau*.

Lorsque Soleil et Lune vus de la Terre sont à 90° l'un de l'autre (premier quartier et dernier quartier) il y a *quadrature*. Ceci correspond à des marées de *morte-eau*.

Le Soleil, la Terre et la Lune sont rarement exactement alignés (sauf quand il y a éclipse !), les trois astres n'évoluent pas dans le même plan.

L'expression de ces variations de positions et de distances des trois corps célestes est le *coefficient de la marée* : « *C* », donnée astronomique prévisible relative à chaque marée.

Le coefficient est le même sur toute la Terre pour une marée donnée. Il varie selon les positions du Soleil et de la Lune, de *C = 20* à *C = 120*.

C = 20 correspond aux marées de morte-eau les plus faibles où la variation du niveau de la mer est très peu sensible (quelques décimètres).

C = 120 correspond aux plus grandes marées possibles.

Le coefficient de référence est *C = 100* qui correspond à une marée de *syzygie équinoxiale moyenne*, c'est à dire lorsque le Soleil et la Lune en alignement avec la Terre sont dans le plan de l'équateur et à leur moyenne distance de la Terre.

Pour les calculs de hauteur d'eau on divise le coefficient par 100, le résultat est appelé : *centième de la marée* (on prend 1 pour 100, 0,92 pour 92 etc.).

La marée étant un mouvement oscillatoire, le niveau de la mer oscille donc autour d'une position moyenne dite *niveau*

Hauteurs d'eau d'heure en heure (règle des douzièmes)

On prend un annuaire des marées sérieux qui donne les hauteurs d'eau des *BM* et des *PM*. On trouve l'*amplitude* en faisant :

$$\text{Hauteur PM} - \text{Hauteur BM}$$

et on divise le résultat par 12.

On va considérer les variations du niveau de l'eau comme suit :

pendant la

1^{ère} heure après l'étale : variation 1/12 de l'amplitude

2^e heure après l'étale : variation 2/12 de l'amplitude

3^e heure après l'étale : variation 3/12 de l'amplitude

4^e heure après l'étale : variation 3/12 de l'amplitude

5^e heure après l'étale : variation 2/12 de l'amplitude

6^e heure après l'étale : variation 1/12 de l'amplitude

TOTAL 12/12

Avec ces éléments on peut connaître la hauteur d'eau (approchée) d'heure en heure.

Exemple :

Un endroit quelconque le long de la côte :

<i>Heure BM</i>	<i>11 h 12</i>	<i>Hauteur d'eau</i>	<i>0,60 m</i>
<i>Heure PM</i>	<i>16 h 54</i>	<i>Hauteur d'eau</i>	<i>5,55 m</i>
		<i>Amplitude</i>	<i>4,95 m</i>

Le douzième de l'amplitude :

$$4,95 / 12 = 0,4125 \text{ m (arrondi à } 0,41 \text{ m)}$$

On considère l'heure moyenne de marée soit 1 heure, qui diffère peu du sixième de la montée qui ici vaut 57 minutes [(16 h 54 min – 11 h 12 min) / 6 = 5 h 42 / 6 = 0 h 57 min].

Avec ce résultat on obtient l'heure de la pleine mer (PM) sur nos côtes ce 22 juillet 2010 :

Retard sur midi	(11 j. x 0,8 h) =	8 h, 8
Établissement		3 h,7
Heure d'été		2 h
Heure légale après 12h le 22 juillet 2010		14 h, 5

La *PM* aura lieu à **2 h 30 min le 23 juillet au matin.**

moyen : « *Nm* » variable avec chaque port.

Le Croisic :	Nm = 3,20 m
St Nazaire :	Nm = 2,94 m
Pornic :	Nm = 2,85 m

Dans l'ordre se succèdent les phases suivantes d'une marée : *étale de basse mer* (*BM* sur les annuaires), flux ou marée montante, *étale de pleine mer* (*PM* sur les annuaires), *reflux* ou marée descendante puis de nouveau étale de *BM* etc.

La différence de niveau entre *BM* et *PM* se nomme *amplitude* ou *marnage*.

Ne pas confondre les mouvements de la mer avec les courants qu'ils occasionnent le long des côtes, dans les estuaires et les baies :

- La marée montante (ou flux) provoque le courant de flot ou *flot*.
- La marée descendante (ou reflux) provoque le courant de jusant ou *jusant*.

Hauteur de la marée

Les observations ont montré que le niveau d'une pleine mer (*PM*) au-dessus du niveau moyen lors de l'étale était égal un jour donné, dans un port donné à :

$$C \times U$$

produit du coefficient de la marée ce jour-là par une constante propre à ce port. Il en est de même pour l'étale de basse mer (*BM*) qui se situe sous le *Nm* à une distance verticale égale à *CU*

Cette constante « *U* » se nomme l'unité de hauteur du port considéré, elle varie selon les ports.

Alors que le coefficient est une donnée astronomique, l'unité de hauteur est une donnée géographique.

Pour toute marée, nous aurons donc :

- Hauteur *PM* = *Nm* + *CU* et
- Hauteur *BM* = *Nm* - *CU*

d'où : *amplitude* = *PM* - *BM* = 2 *CU*

Prenons un exemple :

Port de *A* : *Nm* = 3,00 m *U* = 2,50 m

lors d'une marée de coefficient 80 nous pourrions trouver :

Hauteur PM = 3,00 + (0,80 × 2,50) = 5,00 m

Hauteur BM = 3,00 - (0,80 × 2,50) = 1,00 m

Amplitude = *PM* - *BM* = 5,00 - 1,00 = 4,00 m

ou bien : 2 × *CU* = 2 × (0,80 × 2,50) = 4,00 m

Nous verrons plus loin la méthode pratique pour trouver les hauteurs d'eau intermédiaires d'heure en heure.†

Voilà donc un petit aperçu en ce qui concerne la hauteur de la marée; mais pour les heures qu'en est-il ?

Il y a une table qui donne l'épacte en fonction du nombre d'or, nous la fournissons plus loin.

Pour trouver l'épacte par le calcul on procède comme suit :

Il faut diminuer le nombre d'or d'une unité, puis multipliant ce résultat par 11 et divisant le produit par 30, le reste de cette division diminué d'une unité, sera l'épacte.

Reprenons 2010, dont le nombre d'or (*NO*) est 16

L'épacte sera : (16 - 1) × 11 = 165

Que nous divisons par 30 et nous avons un quotient de 5 que l'on ne considère pas, et un reste de 15 qui diminué d'une unité = 14, c'est l'épacte.

Âge de la Lune :

Connaissant l'épacte d'une année, on trouvera l'âge de la Lune pour un jour donné au moyen de la règle suivante :

On ajoutera l'épacte, le nombre de mois écoulés depuis mars inclusivement jusqu'au mois proposé aussi inclusivement, et le quantième du mois. Si la somme est au-dessous de 30, elle sera l'âge de la Lune ; si la somme excède 30, on en retranchera 30 ou 29, selon que le mois proposé aura 31 ou 30 jours, et on aura l'âge de la Lune.

Exemple :

Quel sera l'âge de la Lune le 22 juillet 2010 ?

Épacte14

Mois depuis mars 5

Quantième22

—————
Somme41

Âge de la Lune11 jours (41 - 30 car mois de 31 jours)

Extrait d'un bon calendrier où l'on fait figurer les renseignements nécessaires au calcul des marées, mais surtout à celui de la date de Pâques

On pourra contrôler que le Nombre d'Or et l'Épacte pour l'année 2000 concordent avec ceux que je vous ai fait calculer par ailleurs.

Le calcul de la date de Pâques s'appelle le comput.

27	D	Honorine _____	☾
28	L	Romain _____	09
29	M	Auguste _____	
COMPUT 2000			
Epacte 24, Lettres dominicales BA			
Cycle solaire 21, Nombre d'or 6			
Indiction romaine 8			

À part sa lecture sur un calendrier moderne comment fait-on pour le trouver ?

Le nombre d'or (NO) est le reste de la division par 19 de l'année augmentée d'une unité.

Prenons un exemple : Trouver le NO de l'année 2010

J'ajoute 1 et j'obtiens 2011 que je divise par 19 et j'ai comme quotient (qu'on laisse tomber) 105 et comme reste qui m'intéresse 16.

Le nombre d'or pour 2010 est : **16**

L'élément suivant pour traquer la Lune est l'*épacte*.

L'épacte est l'âge de la Lune au 1^{er} janvier, diminué d'une unité.

Heure de la marée

Nous avons dit que la marée de vive-eau correspondait à une *syzygie* : *nouvelle Lune (NL)* ou *pleine Lune (PL)* et la marée de morte-eau à une *quadrature* : *premier quartier (PQ)* ou *dernier quartier (DQ)*.

Une grande marée a lieu sur nos côtes environ 36 heures après la nouvelle Lune ou la pleine Lune. Il y en a donc deux par mois (lunaire).

Ce retard de la grande marée sur le phénomène (NL ou PL) qui la provoque est dû à l'inertie des masses fluides concernées.

Ce retard de l'effet sur la cause s'appelle l'*âge de la marée*.

En plus de ce retard de quelques dizaines d'heures lors de chaque syzygie, on constate également tous les jours un autre petit retard de la pleine mer sur le passage de la Lune au méridien.

La pleine mer ne se produit pas lorsque la Lune passe au dessus d'un port, mais a lieu quelques heures plus tard. Ce retard est dû à la conformation des bassins et des côtes il est variable selon les ports.

Il se nomme : l'*établissement du port*.

On peut donc en gros écrire :

Heure PM =
Heure passage Lune au méridien + Établissement du port

Il faudrait pour plus de précision y ajouter une correction de longitude (heure locale/heure fuseau), tenir compte du décalage horaire saisonnier (été/hiver) et d'une correction de période variable selon l'époque ou la saison.

Néanmoins pour avoir une idée à une demi-heure ou une heure près, de celle de la pleine mer dans un port, il suffit de connaître l'heure du passage méridien de la Lune le jour considéré, et l'établissement du port.

Voici une façon de procéder, très ancienne, utilisée par les marins, pilotes, pratiques, pêcheurs et autres usagers avant la

mise au point et la publication des *Tables des marées*.

L'heure du passage de la Lune au méridien est liée à sa phase (à son âge). Il faut donc chercher l'âge de la Lune le jour considéré. (Nous verrons plus loin comment on peut trouver cet âge !).

Le jour de la nouvelle Lune (âge = 0) la Lune passe au méridien en même temps que le Soleil (puisque'elle est entre nous et le Soleil !) c'est à dire à midi, on ne la voit pas.

Tous les jours elle va prendre du retard sur le Soleil du fait de son propre mouvement autour de la Terre.

Au bout de 7 jours elle sera dans son premier quartier, elle passera au méridien à 18 h, six heures en retard sur le Soleil.

Lors de la pleine Lune, 15 jours plus tard elle aura perdu 12 heures sur le Soleil et passera au méridien à minuit.

Puis à 6 heures du matin lors de son dernier quartier, et le cycle recommence.

En trente jours elle aura perdu 24 heures sur le Soleil, ce qui fait un retard journalier de :

$$24 \text{ h} / 30 \text{ j} = 0\text{h},8 \text{ (48 minutes)}$$

Comme le jour de la nouvelle Lune où son âge est zéro, elle passe au méridien en même temps que le Soleil, soit midi, pour savoir à quelle heure elle passera au méridien un jour quelconque de la lunaison, il suffit de multiplier son âge par 0 h,8.

Exemple : La nouvelle Lune est le 12 novembre, à quelle heure passera-t-elle au méridien le 21 novembre ?

$$\text{Âge de la Lune} = 21 - 12 = 9 \text{ jours}$$

$$\text{Passage méridien} : 9 \times 0 \text{ h},8 = 7 \text{ h},2$$

Midi + 7 h,2 (7 h 12 min) = 19 h 12 min solaire, soit + 1h (heure d'hiver) = 20 h 12 min le 21 novembre.

Pour Saint-Nazaire et toute la façade atlantique de la France, l'établissement du port est de 3 h, 75 (3 h 45 min)

D'où :

$$\text{Heure PM} = 20 \text{ h } 12 \text{ min} + 3 \text{ h } 45 \text{ min} = 0 \text{ h } 00 \text{ min le } 22/11$$

Ce procédé n'a pas la précision d'un *Annuaire des marées*, mais il permet quand même d'avoir une idée sur l'état de la mer sur nos côtes.

Il se peut que l'on n'ait pas de calendrier à sa disposition pour calculer l'âge de la Lune.

Qu'à cela ne tienne, car on peut toujours trouver cet élément par le calcul.

Âge de la Lune par le calcul

Voici un moyen astucieux, pour connaître l'âge de la Lune, et partant, l'heure de la pleine mer un jour quelconque.

Au V^e siècle avant notre ère, un astronome grec nommé Méton, avait trouvé dans tout ce chaos qu'étaient **lunaison** = **29,53 jours**, **année solaire** = **365,24 jours** une relation curieuse :

$$19 \text{ années de } 365,24 \text{ jours} = 6939,56 \text{ jours}$$

$$235 \text{ lunaisons de } 29,53 \text{ jours} = 6939,55 \text{ jours}$$

Ce qui voulait dire que toutes les 235 lunaisons ou tous les 19 ans le Soleil et la Lune se retrouvaient « **en phase** ».

Le 6 janvier 2000 avait lieu une nouvelle Lune (NL), exactement 19 ans plus tard, le 6 janvier 2019 aura lieu une autre nouvelle Lune (la 235^{ème} du cycle).

La répétition de ce phénomène s'appelle le **cycle de Méton**.

Il parut si merveilleux aux grecs de l'époque, que l'on puisse déterminer dans l'avenir une situation lunaire, l'âge de la Lune, par référence à une situation passée 19 ans auparavant, qu'ils érigèrent à Athènes un monument sur lequel figurait en **lettres d'or**, l'ordre de l'année dans le cycle de Méton.

Ce nombre gravé en lettres d'or s'appela, (et s'appelle toujours encore !) le **nombre d'or**.

Il figure toujours au bas de la case réservée au mois de février sur les bons calendriers (là où l'on trouve de plus en plus de nos jours la date des vacances scolaires ! La honte !).