Université de Lille
IREM
Stéfan Renner - octobre 2020

Marées océaniques et astronomie

1 Introduction

Le phénomène de marée est une conséquence de l'attraction gravitationnelle qui varie avec la distance. La théorie de la gravitation de Newton permet de donner une explication satisfaisante de ce mécanisme. Sur Terre, les marées océaniques résultent de l'effet exercé par la Lune et le Soleil sur les océans.

Si la Lune ne tombe pas sur la Terre, bien qu'elle soit attirée, c'est parce qu'étant en orbite autour de la Terre, la Lune est soumise à une force centrifuge qui la repousse et équilibre l'attraction terrestre. Il s'agit de la même force centrifuge que celle qui vous projette vers l'extérieur d'un manège en rotation.

De la même manière, la Terre est à la fois attirée vers la Lune et repoussée. Chaque point de la surface océanique est ainsi soumis à deux forces opposées (attraction gravitationnelle et force centrifuge) qui s'ajoutent pour générer une force dite de marée.

2 Définition de la force de marée

L'intensité de l'attraction gravitationnelle est variable car elle dépend de la distance à l'astre : plus un point de la Terre est proche de la Lune (ou du Soleil), plus l'attraction est forte.

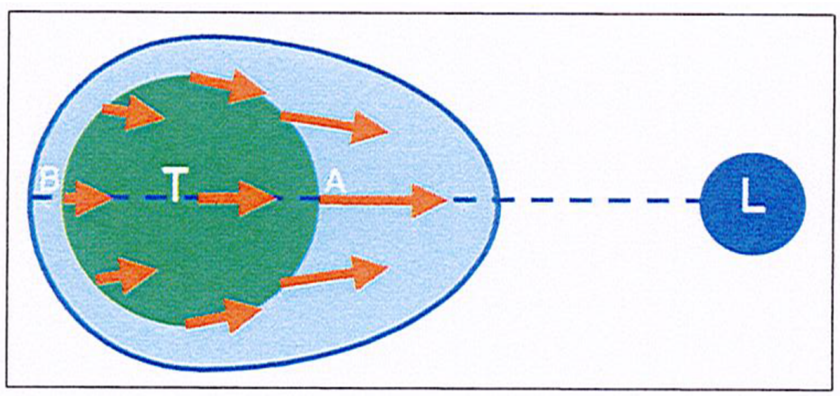

Figure 1 – Force d'attraction gravitationnelle exercée par la Lune en différents points de le Terre. Cette force est plus importante au point A qu'au point B.

Soumis à l'interaction gravitationnelle, les deux corps tournent autour de leur barycentre commun (en 27,32 jours).

Dans le référentiel terrestre, la Terre est donc soumise à une force centrifuge qui équilibre l'attraction lunaire.

Nous pouvons démontrer (cf. Annexe B) mais admettons ici que l'intensité de la force centrifuge est constante sur la Terre, et est égale à la force de gravitation exercée au centre de la Terre.

Tout élément de la surface des océans est ainsi soumis à deux forces opposées, attraction gravitationnelle d'une part, force centrifuge d'autre part. L'addition de ces deux forces constitue la force génératrice des marées.

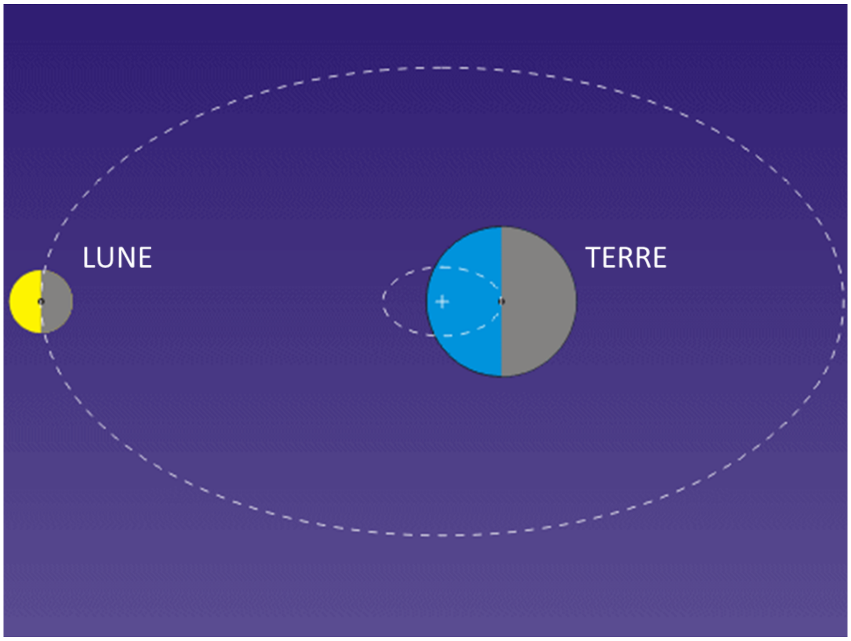

FIGURE 2 –

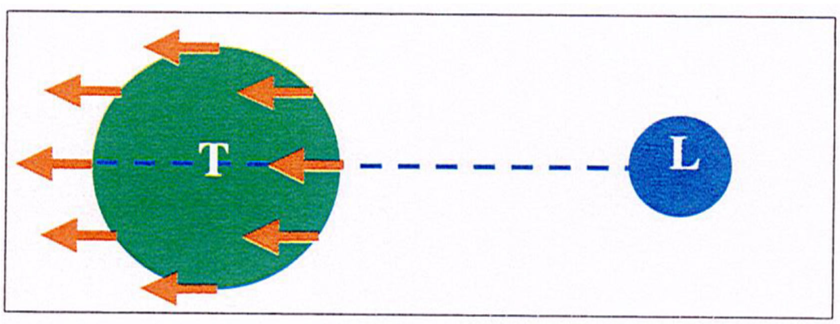

FIGURE 3 – Force centrifuge dans le référentiel lié à la Terre. Cette force est identique en chaque point. Elle est d'intensité égale, de même direction et de sens opposé à la force de gravitation exercée par la Lune au centre de la Terre.

3 Un premier rythme de deux marées par jour : les pleines mers et basses mers

Question 1. D'après la définition donnée dans la section précédente, tracer qualitativement la force d'attraction due à la Lune, la force centrifuge et la force de marée résultante aux points A, B, C, D sur la figure de la Terre représentée ci-dessous.

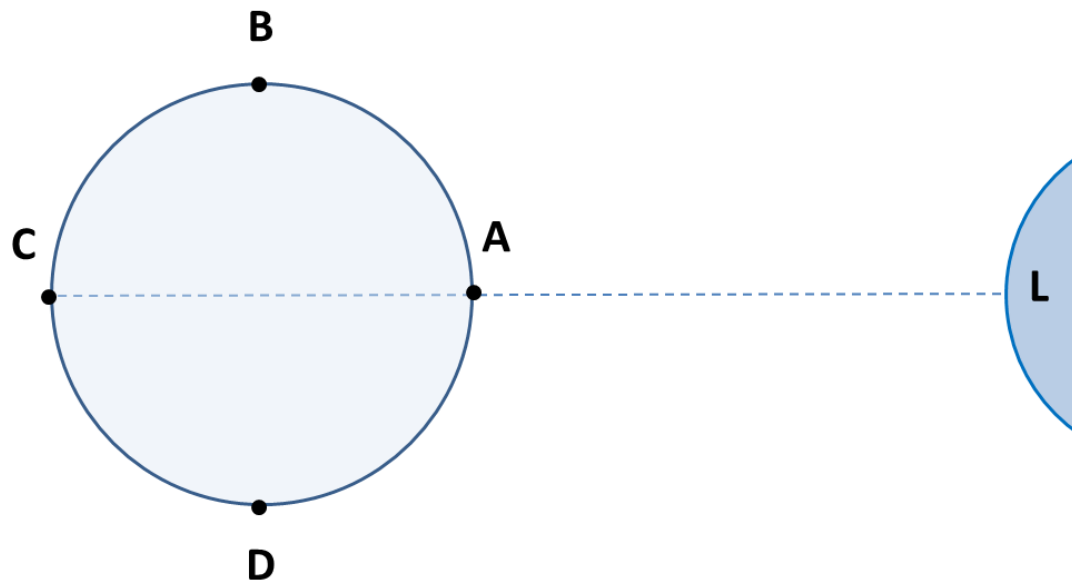

FIGURE 4 – Schéma de la Terre. Pour représenter les forces, on suppose que la Lune est sur la droite (AC) et du côté du point A.

Question 2. Sachant que la Terre tourne sur elle-même, en déduire pourquoi *deux* marées hautes (et deux marées basses) se produisent chaque jour en un lieu donné, comme le montre le tableau des horaires de marée ci-dessous.

Lundi 2 mars 2020			
	Heure	Hauteur	Coefficient
BM	05:36	3.94	---
PM	11:05	9.49	46
BM	18:02	4.19	---
PM	23:28	9.27	41

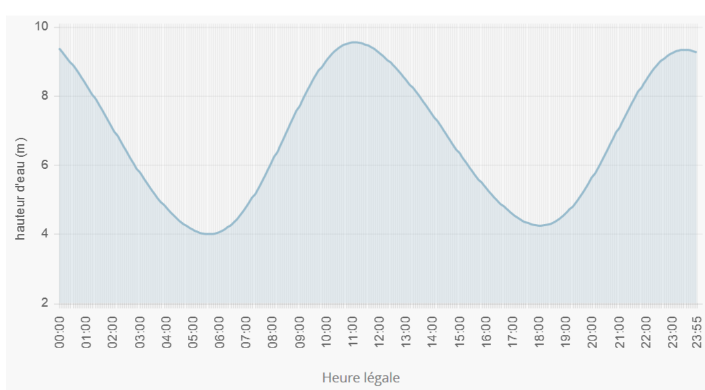

FIGURE 5 – Horaires des marées le 2 mars 2020 à Saint-Malo.

Lorsque nous écrivons « deux marées par jour », qu'entendons-nous par jour ? On distingue : (1) le jour solaire, qui correspond à la durée entre deux passages consécutifs du Soleil dans une direction fixée par l'observateur (24 heures en moyenne), et (2) le jour stellaire, qui est la durée entre deux passages consécutifs d'une étoile dans une même direction, c'est-à-dire la période de rotation de la Terre mesurée dans le référentiel géocentrique (23 heures 56 minutes et 4 secondes).

Question 3. Faire un schéma permettant de comprendre cette différence. On représentera la Terre en orbite autour du Soleil et on indiquera la direction d'une étoile, supposée à l'infini.

4 Un décalage quotidien de +50 min des heures de marée

Question 4. Sachant que la période de rotation de la Terre est de 23 heures 56 minutes et 4 secondes, et que la période de révolution de la Lune autour de la Terre est de $27,32$ jours, expliquer pourquoi l'horaire de la marée se décale de 50 minutes environ chaque jour, comme l'atteste la figure 6.

Lundi 2 mars 2020				Mardi 3 mars 2020			
	Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient
BM	05:36	3.94	---	BM	06:21	4.51	---
PM	11:05	9.49	46	PM	11:54	8.82	37
BM	18:02	4.18	---	BM	18:56	4.73	---
PM	23:28	9.27	42	---	--:--	---	---

FIGURE 6 – Horaires des marées les 2 et 3 mars 2020 à Saint-Malo. Par exemple, la première pleine mer a lieu à 11:05 puis à 11:54 le lendemain, soit un intervalle de 24 heures et 50 minutes environ.

5 Construction de Proctor

La construction géométrique de Proctor (astronome anglais, 1837-1888) permet d'obtenir une expression simple de la force de marée.

On se place en un point M quelconque (de masse m) de la surface terrestre. Avec les notations de la figure 7 ci-dessous, la force de marée s'écrit :

$$\mathbf{f_m} = G m_A m \Big[\frac{\mathbf{v}}{\Delta^2} - \frac{\mathbf{u}}{r^2}\Big], \tag{1}$$

où G est la constante universelle de la gravitation et m_A la masse de l'astre A (la Lune ou le Soleil).

Question 5. Sur la figure 8, placer le point B sur le segment $[TA]$, intersection du cercle de centre A et de rayon Δ avec la droite (AT).

Placer C sur le segment $[AM]$ tel que (BC) soit parallèle à (TM).

Appliquer le théorème de Thalès aux triangles ABC et ATM pour en déduire que $AC = \Delta^2/r$.

De même placer D sur le segment $[TA]$ tel que $AD = AC$, puis E sur le segment $[AM]$ tel que (DE) soit parallèle à (TM).

Appliquer le théorème de Thalès à ADE et ATM pour en déduire que $AE = \Delta^3/r^2$.

Placer F sur le segment $[TA]$ tel que $AF = AE = \Delta^3/r^2$.

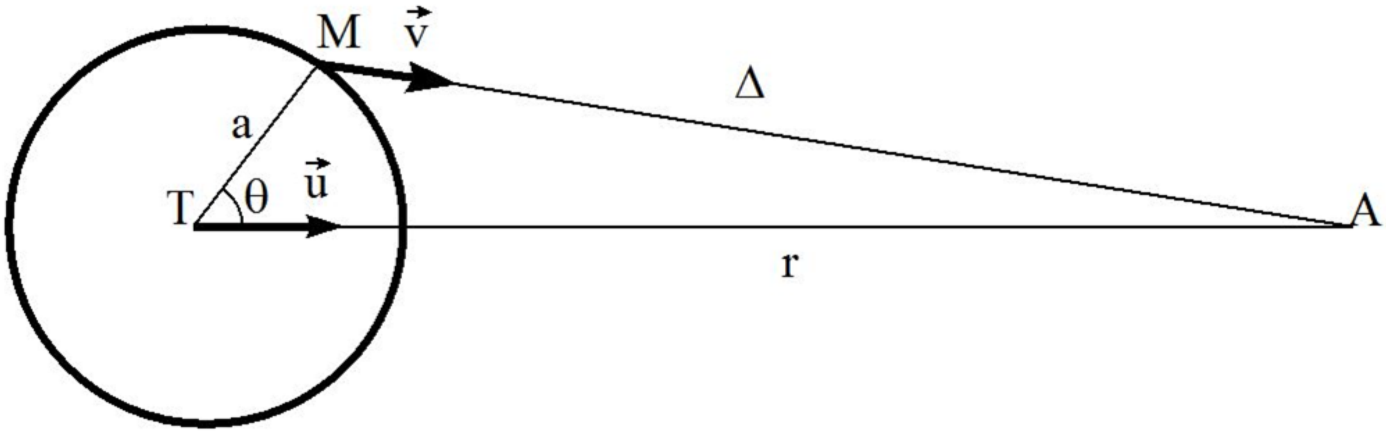

FIGURE 7 – Force de marée exercée au point M par un astre A. Le point M est à une distance a du centre T de la Terre. On note par ailleurs $r = TA$, $\Delta = MA$, $\mathbf{u}$ le vecteur $\mathbf{TA}/TA$, $\mathbf{v} = \mathbf{MA}/MA$, et θ l'angle entre les vecteurs $\mathbf{TA}$ et $\mathbf{TM}$.

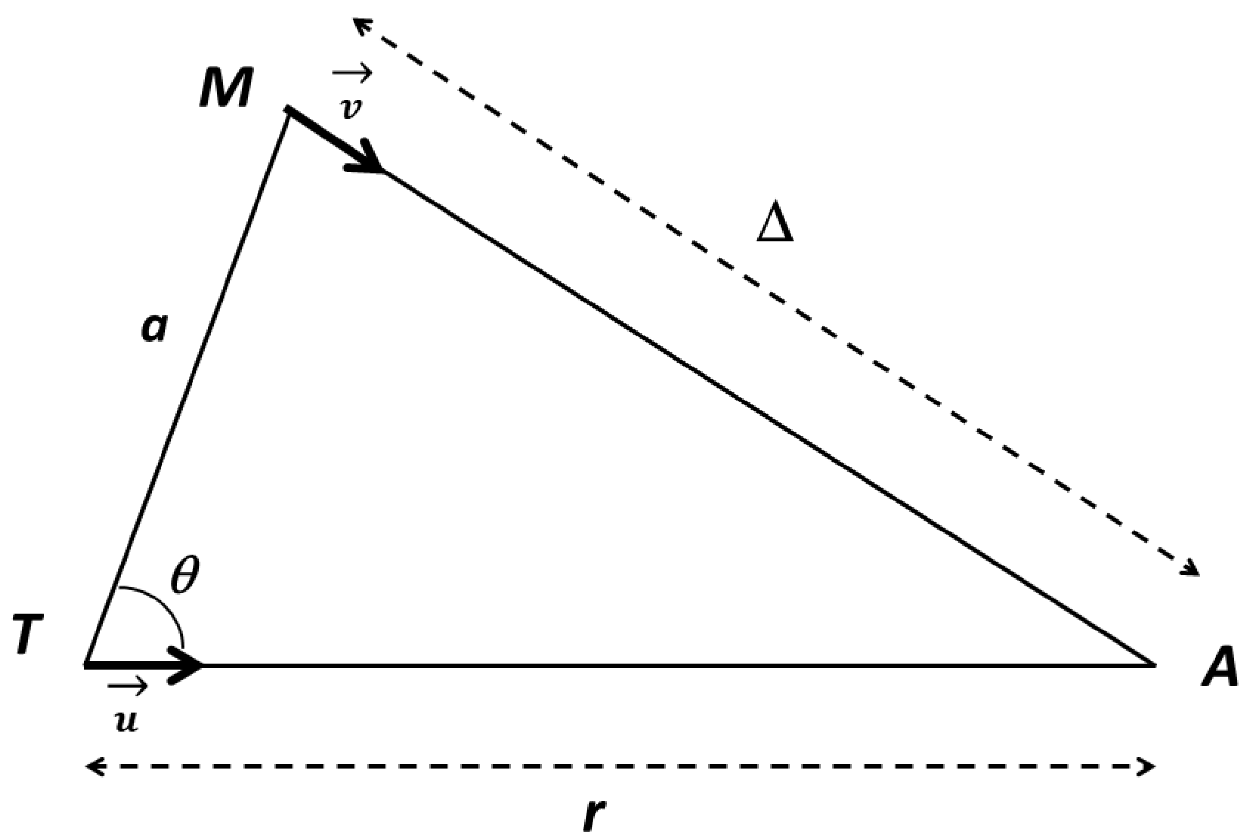

FIGURE 8 – Construction de Proctor.

Question 6. Puisque $\mathbf{MF} = \mathbf{AF} - \mathbf{AM}$, en déduire que la force de marée s'écrit simplement :

$$\mathbf{f_m} = G m_A m \frac{\mathbf{MF}}{\Delta^3}. \tag{2}$$

Question 7. Pour un astre A supposé à l'infini, les arcs de cercle tracés figure 8 deviennent des segments de droite égaux et perpendiculaires à la direction de l'astre. Refaire la construction précédente sur la figure 9, puis en déduire que la distance du centre de la terre T au point F est $TF = 3a\cos\theta$.

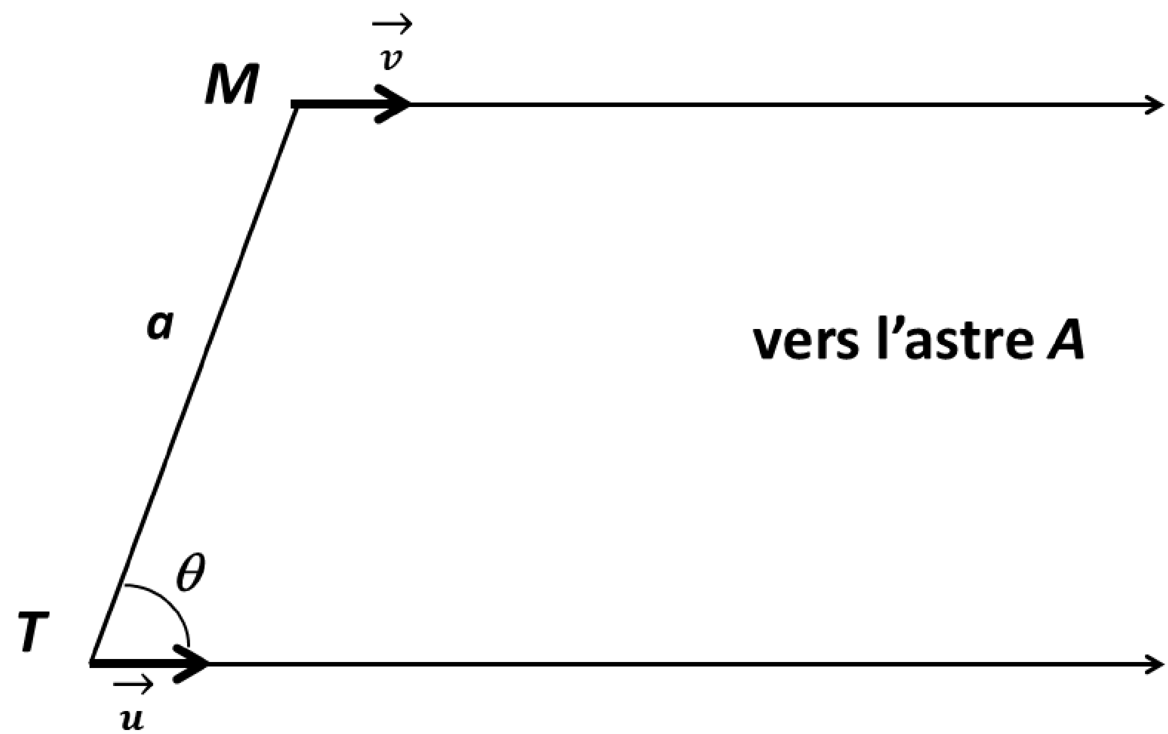

Figure 9 – Construction de Proctor avec astre A à l'infini.

Question 8. Appliquer le théorème de Pythagore généralisé dans le triangle MTF, et en déduire l'expression de l'intensité de la force de marée :

$$f_m = ||\mathbf{f_m}|| = G m_A m \frac{a}{\Delta^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}. \tag{3}$$

Avec l'approximation $\Delta \sim r$ et en notant $g = Gm_T/a^2$ l'accélération de la pesanteur terrestre (avec m_T désignant la masse de la Terre), nous obtenons :

$$f_m = mg\frac{m_A}{m_T}\left(\frac{a}{r}\right)^3\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}. \tag{4}$$

Cette relation permet de remarquer que la force de marée exercée par la Lune est environ deux fois plus importante que celle exercée par le Soleil.

Question 9. Vérifier (sans calculatrice !) l'affirmation précédente à l'aide des données suivantes : masse de la Lune rapportée à celle de la Terre $m_L/m_T = 10^{-2}$, masse du Soleil $m_S/m_T = 3 \times 10^5$, rayon de la Terre $a = 6400$ km, distance Terre-Lune $r_L = 384000$ km, distance Terre-Soleil $r_S = 1,5 \times 10^8$ km.

6 Un second rythme de deux grandes marées par mois : les vives-eaux

Les vives-eaux correspondent à des marées d'amplitude supérieure à la moyenne, avec un coefficient de marée (cf. Annexe) supérieur à 70, par opposition aux mortes-eaux qui sont les marées d'amplitude inférieure à la moyenne.

Les vives-eaux se produisent deux fois par mois, cf. figure 10.

Question 10. Faire un schéma représentant le Soleil, la Terre, l'orbite de la Lune, et qui met en évidence les différentes phases observées de la Lune (en particulier la nouvelle Lune, le premier quartier, la pleine Lune et le dernier quartier).

Question 11. La période de révolution de la Terre autour du Soleil est de 365,25 jours, et celle de la Lune autour de la Terre est de 27,32 jours. En déduire la valeur de la lunaison, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui sépare deux phases identiques de la Lune consécutives.

Question 12. D'après les deux questions précédentes, expliquer l'apparition des vives-eaux deux fois par mois.

7 Un troisième rythme de deux très grandes marées par an : les marées d'équinoxe

Les marées de vive-eau les plus fortes ont lieu tous les six mois, à proximité de chaque équinoxe (20 mars et 22 septembre en 2020). Le phénomène se manifeste donc principalement en mars et en septembre.

Par exemple à Saint-Malo en 2020, les coefficients de marée seront de 117 le mercredi 11 mars et de 113 le samedi 19 septembre.

Il s'agit donc ici de comprendre pourquoi l'effet du Soleil devient maximal aux équinoxes, c'est-à-dire lorsque sa déclinaison δ est nulle.

Question 13. Dans le triangle sphérique PAM (cf. figure 11), écrire $\cos\theta$ en fonction de la latitude L et des coordonnées horaires de l'astre (angle horaire H et déclinaison δ).

Question 14. En utilisant l'expression (4) de la force de marée, montrer que la marée semi-diurne (c'est-à-dire le terme de période ~ 12 heures) est d'amplitude maximale pour un observateur situé à l'équateur et au moment du passage de l'astre à l'équateur. Conclure.

Annexes

A. Calcul de la force de marée

C'est dans le repère terrestre que se manifeste le phénomène des marées. C'est donc par rapport à lui qu'il convient de calculer le mouvement des particules sous l'action des forces qui leur sont appliquées.

On considère un élément M de la surface océanique terrestre, de masse m, soumis à l'attraction gravitationnelle d'un astre A (la Lune ou le Soleil).

Soit $\mathcal{R}$ un référentiel absolu, galiléen, de centre O arbitraire (par exemple le barycentre du système Terre-Lune) et $\mathcal{R}'$ le référentiel relatif, mobile, lié à la Terre de centre O' le centre de la Terre.

Juin 2020			
01 L	Justin	57	62
02 M	Blandine	67	73
03 M	Kévin	78	83
04 J	Clotilde	87	91
05 V	Igor	93	95
06 S	Norbert	95	95
07 D	Gilbert	94	91
08 L	Médard	88	84
09 M	Diane	80	74
10 M	Landry	69	64
11 J	Barnabé	59	
12 V	Guy	53	49
13 S	Antoine de P.	45	42
14 D	Elisée	40	39
15 L	Germaine	39	41
16 M	J-F Régis	43	46
17 M	Hervé	50	53
18 J	Léonce	57	61
19 V	Romuald	64	67
20 S	Silvère	70	73
21 D	Eté	75	77
22 L	Alban	79	80
23 M	Audrey	80	80
24 M	Jean-Baptiste	79	78
25 J	Prosper	76	74
26 V	Anthelme	72	69
27 S	Fernand	66	
28 D	Irénée	63	61
29 L	Pierre; Paul	60	59
30 M	Martial	59	60

Juillet 2020			
01 M	Thierry	62	65
02 J	Martinien	68	71
03 V	Thomas	75	78
04 S	Florent	80	83
05 D	Antoine	84	85
06 L	Mariette	85	85
07 M	Raoul	84	82
08 M	Thibault	80	77
09 J	Amandine	74	70
10 V	Ulrich	66	61
11 S	Benoît	57	
12 D	Olivier	53	49
13 L	Henri; Joël	45	42
14 M	**Fête Nationale**	39	38
15 M	Donald	37	38
16 J	ND du M. Carm	40	43
17 V	Charlotte	47	51
18 S	Frédéric	56	61
19 D	Arsène	65	70
20 L	Marina	74	78
21 M	Victor	82	85
22 M	Marie-Madelein	87	89
23 J	Brigitte	90	90
24 V	Christine	90	88
25 S	Jacques	85	82
26 D	Anne; Joachin	78	
27 L	Nathalie	73	68
28 M	Samson	64	60
29 M	Marthe	56	54
30 J	Juliette	53	54
31 V	Ignace de L.	57	60

FIGURE 10 – Calendrier des coefficients de marée pour les mois de juin et juillet 2020 à Saint-Malo.

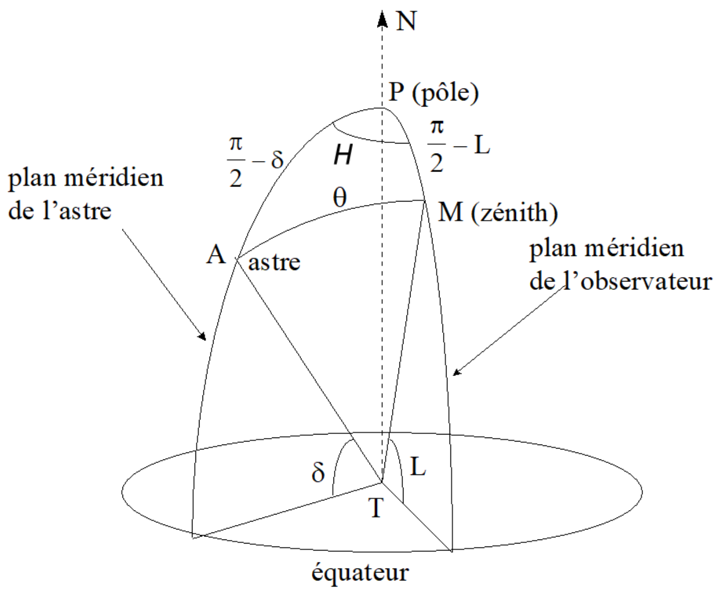

FIGURE 11 – Triangle sphérique PAM. L'observateur est au point M, sur une sphère unité de centre T le centre de la Terre. Le vecteur **TM** indique la direction du zénith, et le plan méridien de l'observateur est le plan contenant les pôles (P pôle nord, P' pôle sud non représenté sur la figure) et le zénith. La latitude L de l'observateur est l'angle que fait la direction du zénith avec le plan de l'équateur. La direction de l'astre observé coupe la sphère en A. Le plan méridien de l'astre est le plan passant par P, P' et A. La déclinaison δ est l'angle entre la direction de l'astre et le plan de l'équateur. L'angle entre le plan méridien de l'observateur et le plan méridien de l'astre est l'angle horaire H (compté positivement vers l'ouest). L'arc de grand cercle θ est l'angle entre les vecteurs **TA** et **TM**, cf. figure 7.

La loi de composition des accélérations s'écrit :

$$\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}} = \mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}'} + \mathbf{a_e}(M) + \mathbf{a_C}(M), \tag{5}$$

où $\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}} = \Big(\dfrac{d^2\mathbf{OM}}{dt^2}\Big)_{\mathcal{R}}$ est l'accélération absolue du point M dans le référentiel $\mathcal{R}$, $\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}'} = \Big(\dfrac{d^2\mathbf{O'M}}{dt^2}\Big)_{\mathcal{R}'}$ est l'accélération relative du point M dans le référentiel $\mathcal{R}'$, $\mathbf{a_e}(M)$ est l'accélération d'entraînement (c'est-à-dire l'accélération qu'aurait M dans $\mathcal{R}$ s'il était fixe dans $\mathcal{R}'$), et $\mathbf{a_C}(M)$ est l'accélération de Coriolis.

On note $\mathbf{\Omega}$ le vecteur rotation terrestre, supposé constant. Ce vecteur est parallèle à l'axe de rotation de la Terre, orienté vers le nord, d'intensité $\Omega = 2\pi/T$ où $T = 86164$ s est la période de rotation de la Terre. Alors :

$$\mathbf{a_C}(M) = 2\mathbf{\Omega} \wedge \Big(\frac{d\mathbf{O'M}}{dt}\Big)_{\mathcal{R}'}, \tag{6}$$

$$\mathbf{a_e}(M) = \Big(\frac{d^2\mathbf{OO'}}{dt^2}\Big)_{\mathcal{R}} + \mathbf{\Omega} \wedge (\mathbf{\Omega} \wedge \mathbf{O'M}) + \frac{d\mathbf{\Omega}}{dt} \wedge \mathbf{O'M}, \tag{7}$$

où $\Big(\dfrac{d\mathbf{O'M}}{dt}\Big)_{\mathcal{R}'} = \mathbf{v}(M)_{/\mathcal{R}'}$ est appelé la vitesse relative du point M, définie dans le référentiel mobile $\mathcal{R}'$, et $\Big(\dfrac{d^2\mathbf{OO'}}{dt^2}\Big)_{\mathcal{R}} = \mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}}$ est l'accélération du centre de la Terre O' dans le référentiel absolu $\mathcal{R}$.

Ici puisque $\mathbf{\Omega}$ est constant, $\dfrac{d\mathbf{\Omega}}{dt} \wedge \mathbf{O'M} = \mathbf{0}$. D'autre part, $\mathbf{\Omega} \wedge (\mathbf{\Omega} \wedge \mathbf{O'M}) = \Omega^2 R_\oplus \cos L \mathbf{e_c}$ est l'accélération centrifuge due à la rotation de la Terre, où $R_\oplus$ est le rayon équatorial de la Terre, L la latitude du point M, et $\mathbf{e_c}$ le vecteur unitaire passant par M perpendiculaire à l'axe de rotation et orienté vers l'extérieur de la Terre. Ainsi l'accélération d'entraînement s'exprime plus simplement :

$$\mathbf{a_e}(M) = \mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}} + \Omega^2 R_\oplus \cos L \mathbf{e_c}. \tag{8}$$

L'accélération dans le repère terrestre est donc :

$$\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}'} = \mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}} - \mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}} - \Omega^2 R_\oplus \cos L \mathbf{e_c} - 2\mathbf{\Omega} \wedge \mathbf{v}(M)_{/\mathcal{R}'}. \tag{9}$$

L'accélération absolue $\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}}$ est la somme des accélérations dues aux forces extérieures appliquées à la masse m située au point M :

$$\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}} = \mathbf{a_g^A}(M)_{/\mathcal{R}} + \mathbf{a_g^T}(M)_{/\mathcal{R}} + \mathbf{a_{ph}}(M)_{/\mathcal{R}} + \mathbf{a_{fr}}(M)_{/\mathcal{R}}, \tag{10}$$

avec $\mathbf{a_g^A}$ l'accélération due à la force d'attraction gravitationnelle exercée par l'astre A, $\mathbf{a_g^T}$ celle due à l'attraction de la Terre, $\mathbf{a_{ph}}$ l'accélération due à la force de pression hydrostatique (pression qui résulte du propre poids d'un liquide en équilibre), $\mathbf{a_{fr}}$ due aux forces de frottement.

Le vecteur $\mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}}$ est l'accélération due à la seule force appliquée au centre O' de la terre, à savoir la force d'attraction gravitationnelle exercée en ce point par l'astre A. Le terme $-\mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}}$ représente ainsi l'accélération centrifuge due au mouvement de la Terre autour du barycentre du système.

Finalement :

$$\begin{aligned}\mathbf{a}(M)_{/\mathcal{R}'} = \mathbf{a_g^A}(M)_{/\mathcal{R}} - \mathbf{a}(O')_{/\mathcal{R}} + \mathbf{a_g^T}(M)_{/\mathcal{R}} - \Omega^2 R_\oplus \cos L \mathbf{e_c} + \mathbf{a_{ph}}(M)_{/\mathcal{R}} + \\ \mathbf{a_{fr}}(M)_{/\mathcal{R}} - 2\mathbf{\Omega} \wedge \mathbf{v}(M)_{/\mathcal{R}'}.\end{aligned} \tag{11}$$

Le terme en rouge est l'accélération de marée au point M, égale à la différence des attractions gravitationnelles exercées par l'astre A en ce point et au centre de la terre (ou de manière équivalente égale à la somme de l'attraction gravitationnelle exercée par l'astre et de la force centrifuge due au mouvement orbital de la Terre).

Dans l'expression ci-dessus, l'accélération due à la force de pression hydrostatique ($\mathbf{a_{ph}}(M)_{/\mathcal{R}}$) équilibre donc la pesanteur ordinaire au point M ($\mathbf{a_g^T}(M)_{/\mathcal{R}} - \Omega^2 R_\oplus \cos L\mathbf{e_c}$). Par ailleurs, on note que pour une particule au repos les forces de frottement et la vitesse sont nulles, donc $\mathbf{a_{fr}}(M)_{/\mathcal{R}} = \mathbf{0}$ et $\mathbf{v}(M)_{/\mathcal{R}'} = \mathbf{0}$.

B. La force centrifuge est constante sur Terre

Considérons un satellite de masse m_S (la Lune) en orbite circulaire de rayon r autour d'une planète de masse m_P (la Terre).

Dans un repère galiléen, la planète est soumise à une force $+F\frac{\mathbf{r}}{r}$ et le satellite à la force $-F\frac{\mathbf{r}}{r}$, où $F = G\frac{m_P m_S}{r^2}$ est l'intensité de la force gravitationnelle agissant sur les deux masses (considérées ponctuelles).

Dans un tel mouvement, le centre de masse C_1 (cf. figure 12) du système a une accélération nulle et les deux corps sont en fait en orbite circulaire par rapport à ce centre de masse, avec des rayons orbitaux r_S et r_P tels que :

$$\frac{r_S}{r_P} = \frac{m_P}{m_S}, \tag{12}$$

$$r_S + r_P = r. \tag{13}$$

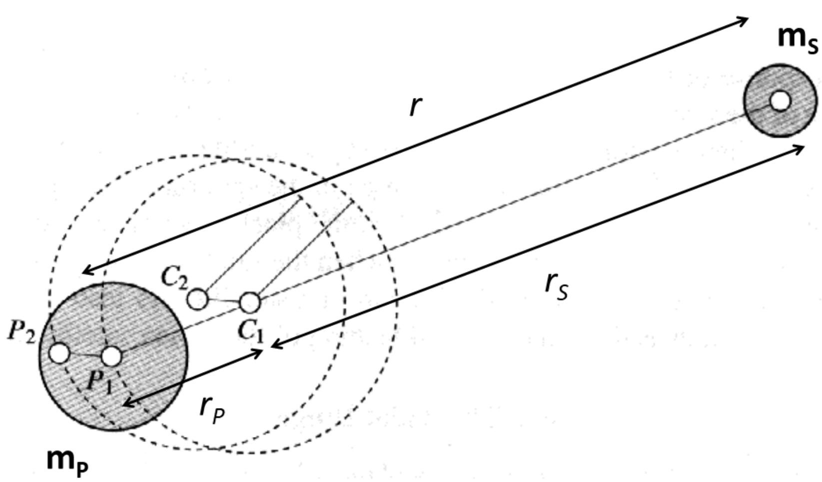

FIGURE 12 – Orbites circulaires autour du centre de masse C_1 d'une planète de masse m_P et d'un satellite de masse m_S.

Ainsi le centre de la Terre décrit en 27,32 jours (période orbitale de la Lune) un petit cercle de 4652 km de rayon autour du barycentre Terre-Lune.

D'après la figure 12, le mouvement du centre de la Terre (P_1) par rapport au centre de masse du système Terre-Lune (C_1) est donc un cercle de rayon r_P.

Le mouvement de tout autre point P_2 de la Terre est alors un cercle de même rayon r_P mais de centre C_2 différent, déplacé par rapport à C_1 de manière identique à l'écart entre P_2 et P_1.

Décrivant des cercles de même rayon, tous les points de la Terre sont donc soumis à la même force centrifuge dans le repère terrestre, qui est égale en intensité à la force de gravitation F exercée en P_1.

On note ici que la rotation de la planète sur elle-même n'est pas à prendre en compte dans le raisonnement ci-dessus : la rotation terrestre va modifier légèrement l'intensité de la pesanteur en un lieu donné (cf. Annexe C), mais n'intervient pas du tout dans le phénomène de marée (cf. Annexe A équation 11).

C. Intensité de la pesanteur

Si la Terre est supposée immobile, chaque point de masse m de la surface terrestre est soumis à une force de pesanteur d'intensité :

$$P = mg, \tag{14}$$

avec

$$g = \frac{GM_\oplus}{R_\oplus^2} \simeq 9.81 \text{ m.s}^{-2}. \tag{15}$$

Le terme g est l'accélération de la pesanteur terrestre, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}{-2}$ est la constante universelle de gravitation, $M_\oplus = 5.97 \times 10^{24}$ kg est la masse de la Terre, et $R_\oplus = 6378$ km son rayon.

Cette force étant identique en tout point et dirigée vers le centre de la Terre, la Terre a ainsi la forme d'une sphère parfaite.

Cependant la rotation de la Terre sur elle-même entraîne une légère modification de l'intensité de la pesanteur, dépendante du lieu.

Cette modification consiste à ajouter à l'accélération de la pesanteur un terme centrifuge, dirigé perpendiculairement à l'axe des pôles et d'intensité $(2\pi/T)^2 d$, avec $T = 86164$ s la période de rotation de la Terre, et d la distance entre le point considéré et l'axe de rotation de la Terre.

La correction, nulle aux pôles, atteint 0.034 m.s^{-2} sur l'équateur ($d = 6378$ km).

La figure d'équilibre de la Terre est alors celle d'un ellipsoïde légèrement aplati aux pôles.

D. Le coefficient de marée (*Source : Wikipédia*)

En France, l'ampleur de la marée par rapport à sa valeur moyenne est indiquée par le coefficient de la marée, exprimé en centièmes, qui prend une valeur comprise entre 20 et 120. Ce coefficient correspond au rapport, à Brest, du marnage semi-diurne (c'est-à-dire la différence de hauteur d'eau mesurée entre les niveaux d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives) divisé par la valeur moyenne du marnage pour les marées de vive-eau d'équinoxe (c'est-à-dire les plus grandes marées). Il est défini par le service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM).

Il peut aussi être défini à partir de la hauteur d'eau de la pleine mer :

$$C = \frac{H_h - H_b}{U} \times 100, \tag{16}$$

avec H_h la hauteur d'eau de la pleine mer, H_b la hauteur d'eau de la basse mer suivant la marée haute, et U la valeur moyenne du marnage propre à la localité (à Brest, 6,10 m).

En France, les coefficients de marée sont calculés pour le port de Brest et considérés comme identiques sur les côtes atlantiques et de la Manche car l'onde de marée qui les atteint n'est que faiblement perturbée. Cela constitue néanmoins une approximation. L'unité de hauteur est la valeur moyenne de l'amplitude des plus grandes marées, c'est-à-dire les marées de vives-eaux équinoxiales. Elle vaut 6,10 m à Brest.

Une marée de coefficient supérieur à 70 est qualifiée de marée de vives-eaux. Une marée de coefficient inférieur à 70 est qualifiée de marée de mortes-eaux. Une marée de coefficient 95 est une marée de vives-eaux moyennes. Une marée de coefficient 45 est une marée de mortes-eaux moyennes.

Bibliographie

1. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) : www.shom.fr
2. « Tout savoir sur les marées », Odile Guérin, Editions Ouest-France