
DM 4

Mécanique

À rendre le Jeudi 3 décembre

Problème I : Attraction gravitationnelle

 (CCP)

On considère dans ce problème que la Terre possède une répartition de masse à symétrie sphérique, de centre O , de masse M_T , et de rayon R_T . On pourra donc considérer que le champ gravitationnel créé par la Terre en un point M , extérieur à la Terre, est identique à celui créé par une masse ponctuelle M_T située en O .

1. Préliminaires

On se place en un point M de l'espace, situé à l'extérieur de la Terre, à une distance r ($> R_T$) du centre O . On note G la constante de gravitation universelle.

(a) Donner l'expression de la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}(M)$ que la Terre exerce sur une masse m située en M . On exprimera cette force en fonction de G , M_T , m , r et d'un vecteur unitaire à préciser.

(b) On appelle champ gravitationnel, le vecteur $\vec{G}(M)$ défini par $\vec{G}(M) = \frac{\vec{F}(M)}{m}$. Donner son expression et le représenter sur un schéma.

2. Satellite en mouvement autour de la Terre

On étudie le mouvement autour de la Terre d'un satellite S de masse m , placé dans le champ gravitationnel terrestre. On néglige tout frottement.

(a) On se place dans le référentiel géocentrique, considéré comme galiléen, qui a pour origine O et dont les trois axes pointent vers trois étoiles "fixes".

Donner l'expression de la force \vec{f} à laquelle le satellite est soumis de la part de la Terre. Déterminer également la force \vec{f}' à laquelle la Terre est soumise de la part du satellite. Justifier.

(b) Montrer que le mouvement du satellite S est nécessairement plan. Sachant qu'à l'instant $t = 0$, le satellite se trouve au point M_0 et possède une vitesse \vec{v}_0 , préciser le plan dans lequel se fait le mouvement.

Dans la suite de cette partie, on étudiera un **mouvement circulaire** de rayon r et d'altitude h autour de la Terre ($r = R_T + h$) et on utilisera les coordonnées cylindriques.

(c) Rappeler les expressions générales des vecteurs position, vitesse et accélération en coordonnées cylindriques.

Les simplifier dans le cas du mouvement circulaire étudié.

(d) En appliquant le principe fondamental de la dynamique, montrer que le module v de la vitesse du satellite, en mouvement circulaire, est nécessairement constant au cours du mouvement, et déterminer son expression en fonction de G , M_T et r .

(e) Déterminer l'expression de la période T du mouvement de rotation de S autour de la Terre en fonction de v et r puis en fonction de G , M_T et r . En déduire la troisième loi de Képler.

- (f) Indiquer une méthode pour déterminer la masse de la Terre.
Donner sans justification l'ordre de grandeur de la masse de la Terre.
- (g) Un autre satellite S' , de masse m' , en orbite circulaire autour de la Terre a une trajectoire de rayon r' égal au rayon r de la trajectoire de S . Les deux satellites tournent dans le même plan. S et S' risquent-ils de se heurter au cours de leur mouvement? On justifiera la réponse apportée.

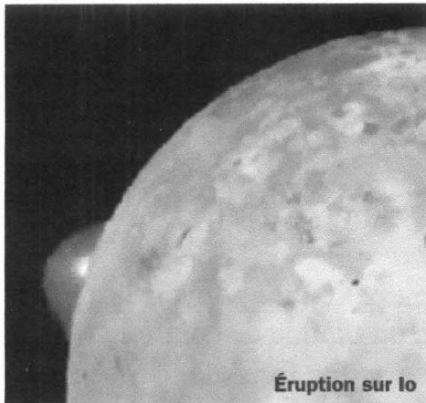
3. Étude énergétique

On ne se limitera pas dans cette partie au seul mouvement circulaire, mais on se placera dans le cas d'un **mouvement quelconque** du satellite autour de la Terre.

- (a) Montrer que la force à laquelle est soumise le satellite de la part de la Terre est conservative, et donner l'expression de l'énergie potentielle dont elle dérive sous la forme $E_p = -\frac{\alpha}{r}$, avec $\alpha > 0$. On prendra par convention une énergie potentielle nulle à l'infini.
Exprimer α en fonction des données du problème.
- (b) Montrer que la grandeur $C = r^2\dot{\theta}$ est une constante du mouvement.
- (c) Déterminer l'expression de l'énergie mécanique E_m du satellite S en fonction de m , r , \dot{r} , $\dot{\theta}$ et α .
En déduire l'expression de l'énergie potentielle effective du satellite en fonction de m , C , r et α .
Donner l'allure de la représentation graphique de l'énergie potentielle effective en fonction de r . En exploitant cette courbe, indiquer, en fonction de la valeur de l'énergie mécanique, le type de trajectoire suivie par le satellite, et préciser dans chaque cas s'il s'agit d'un état lié ou d'un état de diffusion.
- (d) Déterminer l'énergie mécanique E_{mc} associée à une trajectoire circulaire de rayon r_c , en fonction de r_c , G , M_T et m .
Déterminer l'expression de la première vitesse cosmique v_1 , vitesse du satellite sur une orbite basse de rayon R_T autour de la Terre en fonction de G , R_T et M_T .
- (e) Déterminer l'expression de la deuxième vitesse cosmique v_2 , après l'avoir définie. (On l'appelle également vitesse de libération).

Approche documentaire : les marées

Cette approche documentaire est constituée de quatre documents : le document 1 est une introduction au phénomène des marées, le document 2 présente le modèle statique des marées, les deux autres constituent des annexes. Les questions sont regroupées à la fin.



Document 1 : Les forces de marée

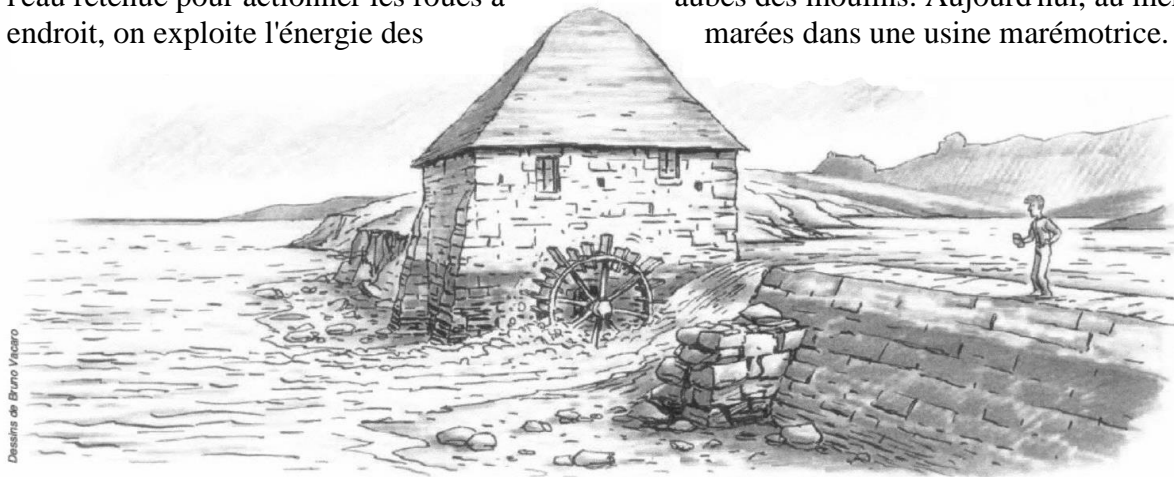
JEAN-MICHEL COURTY • ÉDOUARD KIERLIK

Extrait de POUR LA SCIENCE n°295 mai 2002

Les forces mises en jeu par les effets de marée peuvent déchiqueter les objets célestes.

En ces jours de grande marée, la mer entame deux fois par jour les dunes qui bordent la magnifique baie de Somme. Cette rare violence nous étonne, mais nous sommes familiers du retour régulier du flot qui résulte des effets conjugués de la Lune et du Soleil. Il n'est pas facile d'expliquer pourquoi ces marées se produisent deux fois par jour, et l'évaluation de la puissance mise en jeu par les frottements des marées est encore moins intuitive. Capables de déplacer l'eau des océans, les effets de marée ont ralenti la Lune jusqu'à la rendre impassible ; ils créent aussi des volcans à la surface de l'un des satellites de Jupiter et ont désintégré une comète en 1992 ...

Au XII^e siècle déjà, la marée était exploitée comme source d'énergie : des moulins à marée tournaient dans l'estuaire de la Rance, non loin du Mont Saint-Michel. Fermées par de petits barrages, des criques étaient remplies lorsque la marée montait. À marée basse, on libérait l'eau retenue pour actionner les roues à aubes des moulins. Aujourd'hui, au même endroit, on exploite l'énergie des marées dans une usine marémotrice.

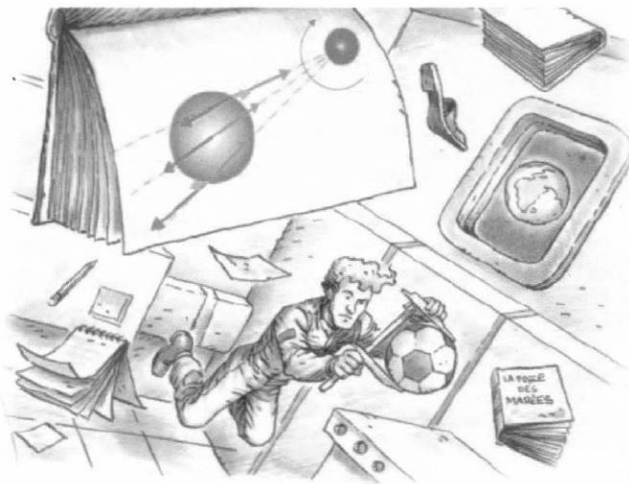


L'énergie des marées est exploitée depuis longtemps en France, ici, l'ancien moulin du Birlot sur l'île de Bréhat en Bretagne Nord.

Un barrage ferme l'estuaire : l'eau qui le traverse lors du flux et du reflux actionne 24 groupes générateurs de 10 mégawatts. L'électricité produite équivaut à la production d'une centrale thermique qui consommerait 100 tonnes de charbon à l'heure.

Impressionnante, cette énergie n'est qu'une infime partie de l'énergie mise en jeu par la marée, qui, deux fois par jour, met les eaux de tous les océans en mouvement ! En s'écoulant, ces eaux frottent au fond et sur les côtes, dissipant de l'énergie sous forme de chaleur. Quelle est la source de toute cette énergie ?

Pour le savoir, il faut d'abord saisir quelles forces provoquent les effets de marée. Observons



Les forces de marée transforment une sphère en orbite en un ellipsoïde. Ainsi, la Terre déforme la Lune et la Lune déforme la Terre.

pour cela un spationaute flottant librement au centre de la cabine de la station spatiale internationale, en orbite circulaire à 407 kilomètres d'altitude autour de la Terre.

Tout comme le vaisseau, il subit l'attraction gravitationnelle de la planète.

L'accélération imprimée par la gravité ne dépend pas de la masse du corps accéléré.

Le vaisseau et l'astronaute parcourent pour cette raison des trajectoires identiques avec la même vitesse, et ils sont immobiles l'un par rapport à l'autre.

Le spationaute a l'impression d'être en impesanteur alors qu'en réalité, il subit simultanément deux forces qui se compensent : la gravité et la force d'inertie. Tandis que la gravité est dirigée vers le centre de la Terre, la force d'inertie est centrifuge.

EFFETS DE MARÉE

Précisons toutefois que les deux forces ne se compensent exactement que si le spationaute est au centre de gravité du vaisseau. Sinon, il subit des forces résiduelles. S'il se place entre le centre de masse du vaisseau et la Terre, il subit une attraction gravitationnelle plus forte que lorsqu'il est au centre de gravité du vaisseau : cette dernière l'emporte sur la force d'inertie et il est attiré vers la Terre. S'il se place entre le centre de gravité du vaisseau et les étoiles, il dérive vers les étoiles. Nous voyons que la différence des forces en présence engendre de petites forces résiduelles, nommées forces de marée.

Les mêmes forces de marée tendent à transformer un ballon de football en un ballon de rugby dont le grand axe est orienté vers la Terre. Toutefois, cette déformation ne devient perceptible que si le ballon atteint la taille de la ... Lune. Notre satellite est déformé de quelques mètres par l'attraction terrestre de part et d'autre de l'axe Terre-Lune. L'existence de ces « bourrelets » n'est accompagnée d'aucun échange d'énergie, car ils sont statiques.

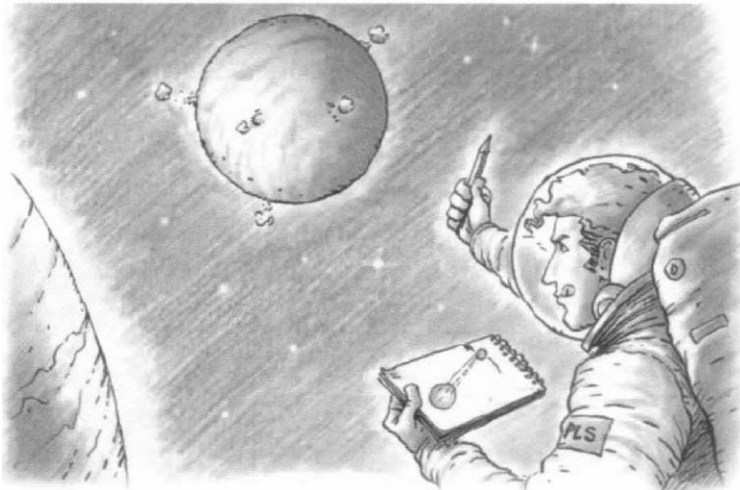
Pour quelle raison ? En même temps qu'il parcourt son orbite, notre satellite tourne lentement sur lui-même, de façon à nous présenter toujours la même face. Cette synchronisation résulte de l'effet ralentisseur qu'a eu la marée de Terre sur la Lune. Quand le compagnon de la Terre tournait plus vite, l'axe Terre-Lune et avec lui la déformation due à l'attraction terrestre se déplaçaient, engendrant des frictions entre roches ; les frottements qui accompagnaient alors cette déformation coûtaient de l'énergie, et ils ont freiné la rotation lunaire, jusqu'à ce que la lune tourne assez lentement pour que nous présenter toujours la même face.

LA TERRE RALENTIT

Quelques dizaines de millions d'années ont suffi pour que la vitesse de rotation de la Lune et sa vitesse orbitale s'accordent. En revanche, on estime à dix milliards d'années le temps nécessaire pour que la Terre achève son ralentissement. Les 4,5 milliards d'années de vie commune entre la Terre et la Lune n'ont donc pas suffi pour que notre planète présente toujours la même face à la lune. L'origine de l'énergie des marées est claire à présent : elle est prélevée sur l'énergie de rotation de la Terre autour d'elle-même.

La Lune agit sur les fluides qui baignent notre planète, les océans et l'atmosphère. Elle crée deux bourrelets liquides à la surface des mers, situés de part et d'autre de la Terre. L'amplitude de cette marée océanique est faible : environ un mètre au centre des océans. Toutefois, les deux bourrelets liquides tendent à s'aligner avec l'axe Terre-Lune qui est mobile. Le passage, toutes les 12 heures, d'un bourrelet à la poursuite de l'axe Terre-Lune se traduit sur nos côtes par d'importantes variations du niveau de la mer et l'apparition de courants.

L'amplitude du phénomène serait toujours la même si seule la Lune était en cause. L'influence du Soleil, mais aussi la forme des côtes et des bassins océaniques, notamment, expliquent que l'amplitude des marées varie selon le lieu et tout au long de l'année. Les mesures astronomiques confirment que le jour terrestre s'allonge d'environ deux millièmes de seconde par siècle, car la dissipation par les frottements dus aux effets de marée ralentit la rotation de la Terre.



Io, l'une des lunes de Jupiter, subit d'intenses forces de marée. Les frottements qu'elles créent engendrent une forte activité volcanique.

peu de conséquences si cette déformation ne variait dans le temps, parce que l'orbite de Io est elliptique : la distance du satellite à sa planète change, ce qui modifie d'une centaine de mètres l'amplitude de la déformation. En outre Io accomplit une révolution complète en moins de 2 jours, alors que la Lune tourne autour de la Terre en 28 jours.

Au final, les frictions qui résultent de cette « flexion » périodique des roches de Io dissipent une puissance considérable, de 10^{12} à 10^{14} watts, soit au moins autant de chaleur à chaque seconde au sein de Io que la radioactivité le fait au sein de la Terre, pour un volume 50 fois moins grand que celui de notre planète... Toute cette chaleur dissipée au sein du satellite engendre une différence de température considérable entre la surface froide et les couches internes. La température qui règne au centre de Io atteindrait 10000 degrés, ce qui suffirait à fondre la roche et à créer sur Io une activité volcanique beaucoup plus intense que sur la Terre : des volcans géants poussent sur la surface du satellite. Ils répandent des océans de lave et expulsent des jets d'oxyde de soufre dans l'espace.

Les forces de marée peuvent être si importantes qu'il arrive qu'elles brisent un corps céleste : quand la différence entre les forces d'attraction de la planète entre deux points extrêmes du satellite est supérieure à la force de cohésion de la roche du satellite. Cette désintégration en vol se produit quand un corps fragile - une comète, par exemple - passe trop près d'une planète géante. Ce fut le cas de Shoemaker-Levy 9 en juillet 1992. Alors qu'elle frôlait Jupiter, cette comète fut brisée en quelque 21 fragments dont le plus gros mesurait deux kilomètres de diamètre. Ces fragments se dispersèrent le long de la trajectoire cométaire et entrèrent en collision avec Jupiter en juillet 1994. Les astronomes suivirent avec délectation ce spectacle cosmique dû aux effets de marée.

Cet allongement de la journée est important sur de longues périodes : ainsi le jour durait 22 heures il y a 350 millions d'années.

La dissipation d'énergie due aux marées a des conséquences très importantes pour Io. Ce satellite de Jupiter a pratiquement la même masse, le même diamètre et le même rayon orbital que notre Lune. Comme elle, il présente aussi toujours la même face à sa planète, mais différence notable, Io subit l'attraction d'une planète géante. Trois cent fois plus massive que la Terre, Jupiter déforme Io de plus de 300 mètres, ce qui aurait

Document 2 : Modèle statique des marées

Extrait du cours de G.Rouillet dispensé en master 2^{ème} année ENSTA Bretagne
http://stockage.univ-brest.fr/~rouillet/documents/cours_maree_2012.pdf

La marée est un phénomène tout à la fois familier et fascinant. Son fonctionnement est relativement simple à comprendre dans les grandes lignes, ce que nous nous attacherons à montrer dans cette partie. Cependant en y regardant de plus près l'on se rendra compte que les choses sont en réalité plus compliquées

L'histoire scientifique commence avec Newton qui donne une explication rationnelle du rôle des astres à l'aide de sa théorie de la gravitation. Une fois cette question résolue est apparue la question de la réponse dynamique des océans. Le cadre a été posé par Laplace à la fin du XVIII^e siècle mais il fallut attendre le début du XX^e pour commencer à voir apparaître les premières cartes régionales de la marée. L'histoire continue avec le rôle de la dissipation dans le phénomène, cette question ne sera que réellement résolue qu'il y a une dizaine d'années avec l'avènement des satellites altimétriques. Nous nous contenterons de la théorie statique des marées, qui ne tient pas compte notamment de la présence des continents.

La marée est un concentré de processus physiques, c'est un phénomène qui relève avant tout de l'océanographie mais qui a des relations avec l'astronomie, la planétologie, la géophysique interne, la mécanique des fluides, la physique des ondes. C'est un vaste sujet qui apparaît de plus en plus complexe au fur et à mesure qu'on cherche à le comprendre.

Théorie du Bourrelet

Le phénomène de marée est dû aux forces gravitationnelles exercées par la Lune et le Soleil sur la Terre. Ces forces déforment la surface des océans pour créer deux bourrelets.

Les forces de marées sont fondamentalement un résidu d'interaction gravitationnelle, il s'agit de la différence entre deux termes. L'un des termes est la force d'interaction entre une parcelle de fluide de masse m et l'astre (Lune, Soleil). Le second terme est directement lié à l'attraction moyenne exercée par l'astre au centre de la Terre. La première force est intuitive, la seconde l'est moins.

Considérons dans un premier temps, et pour simplifier, le système isolé constitué de la Terre et de la Lune. Le système étant isolé, son centre de masse C se déplace selon un mouvement rectiligne uniforme dans l'espace intersidéral et constitue un référentiel galiléen.

Dans ce référentiel, la Terre n'est soumise qu'à la seule force d'attraction de la lune qui équilibre l'accélération centripète de sorte que la seconde loi de Newton s'y écrit :

$$M_T \vec{a}(T/R_C) = GM_T M_L \frac{\vec{TL}}{TL^3}$$

Si on raisonne cette fois dans le référentiel géocentrique ($R_{géo}$) d'origine T et en translation par rapport à (R_C), le centre de la Terre y est en équilibre mais soumise à une seconde « force », la force d'inertie d'entraînement. On peut ainsi écrire dans ce référentiel :

$$\vec{0} = GM_T M_L \frac{\vec{TL}}{TL^3} - M_T \vec{a}_e \quad \text{avec} \quad \vec{a}_e = \vec{a}(T/R_C) = GM_L \frac{\vec{TL}}{TL^3}$$

Ainsi, en s'intéressant à une parcelle de masse m placée en un point M à la surface de la Terre, la 2^{ème} loi de Newton appliquée dans le référentiel géocentrique donne :

$$m \vec{a}(M/R_{géo}) = \sum \vec{F}_{terre} + GmM_L \frac{\vec{ML}}{ML^3} - m \vec{a}_e$$

où $\sum \vec{F}_{terre}$ représente l'ensemble des forces « terrestres » appliquées à la parcelle.

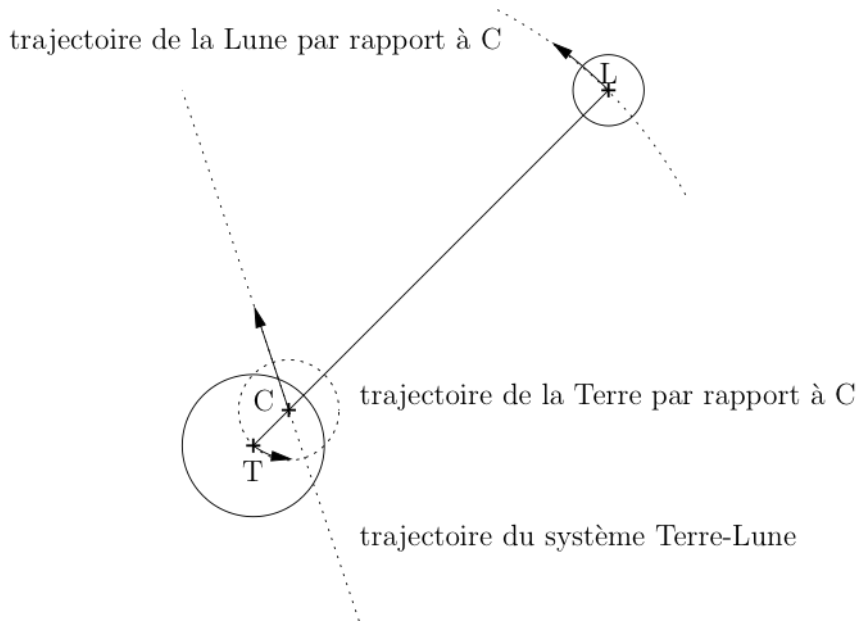
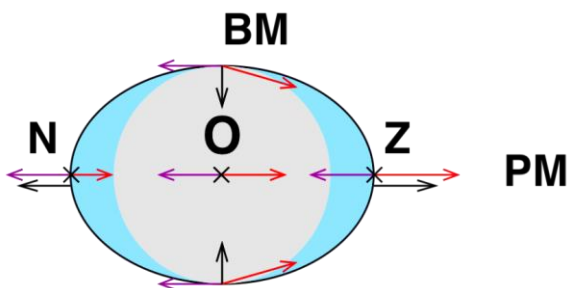


Figure 1 : Le point C, barycentre du système isolé {Terre, Lune}, se déplace selon un mouvement rectiligne uniforme. La Terre et la Lune tournent par rapport à ce point, de sorte que le référentiel géocentrique ne constitue pas un référentiel galiléen.

Il apparaît donc un terme différentiel, appelé force de marée, tel que :

$$\vec{F}_{\text{marée/Lune}} = GmM_L \left(\frac{\vec{ML}}{ML^3} - \frac{\vec{TL}}{TL^3} \right)$$

Cette force, appliquée à toute parcelle constituant la Terre, tend à la déformer et créer deux bourrelets au niveau des extrêmes, c'est à dire au Zénith (Z) et au Nadir (N) sur le schéma ci-dessous.



BM : Basse Mer et PM : Pleine Mer

Figure 2 : L'attraction différentielle gravitationnelle de la Lune sur la Terre crée des forces de marée (flèche noire). Il s'agit du résidu entre l'attraction en un point (flèche rouge) et l'attraction moyenne s'exerçant au centre de la terre (flèche violette).

Le cycle de vives-eaux et mortes-eaux

Le système {Terre, Lune} n'est en pratique pas isolé et subit l'action du Soleil autour duquel il gravite. La conséquence est l'apparition d'un terme de marée dû à l'attraction gravitationnelle solaire et dont l'expression est analogue à celui associé à l'attraction lunaire :

$$\vec{F}_{\text{marée/Soleil}} = GmM_S \left(\frac{\vec{MS}}{MS^3} - \frac{\vec{TS}}{TS^3} \right)$$

Le phénomène de marée est donc la conjonction de deux influences, lunaire et solaire, et se traduit par des amplitudes variables selon les positions relatives de ces deux astres par rapport à la Terre. Un des phénomènes bien connu est le cycle de vives-eaux / mortes-eaux. Lorsque les deux astres sont alignés, les effets se renforcent et on assiste à de grandes marées, lorsque les astres sont en quadrature, les effets se compensent et les marées sont de faible amplitude.

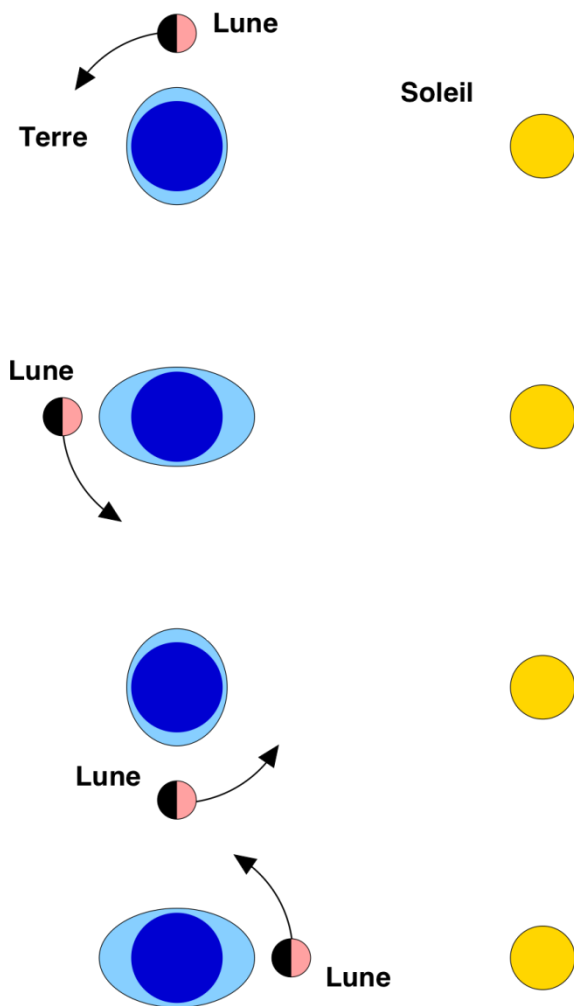


Figure 3 : le cycle de vives-eaux / mortes-eaux vient de la superposition des effets de la lune et du soleil

Classification des marées

Du fait de la rotation propre de la Terre, les bourrelets tournent autour de la Terre en 24h ce qui correspond localement à deux cycles de marée par jour.

Cependant, la marée possède aussi une composante diurne, faible à Brest, mais en fait prédominante dans certaines régions du globe (en Indonésie par exemple figure 5). L'origine de cette composante diurne vient du fait que les astres ne sont pas dans le plan équatorial et par conséquent le bourrelet n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre (Figure 4).

En réalité, la situation est bien plus complexe et de nombreux autres facteurs, dynamiques, géographiques, de relief influent localement sur la nature et l'amplitude des marées, si bien que si certains lieux révèlent des marées à caractère semi-diurne ou à caractère diurne, d'autres sont mixtes (entre les deux situations). Il existe même des lieux où la marée est nulle, appelés points amphidromiques.

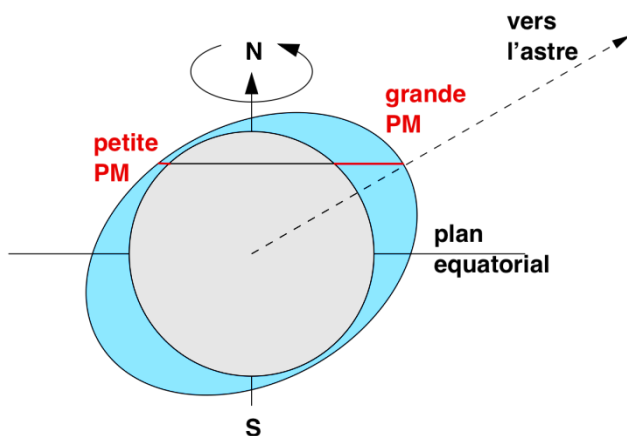
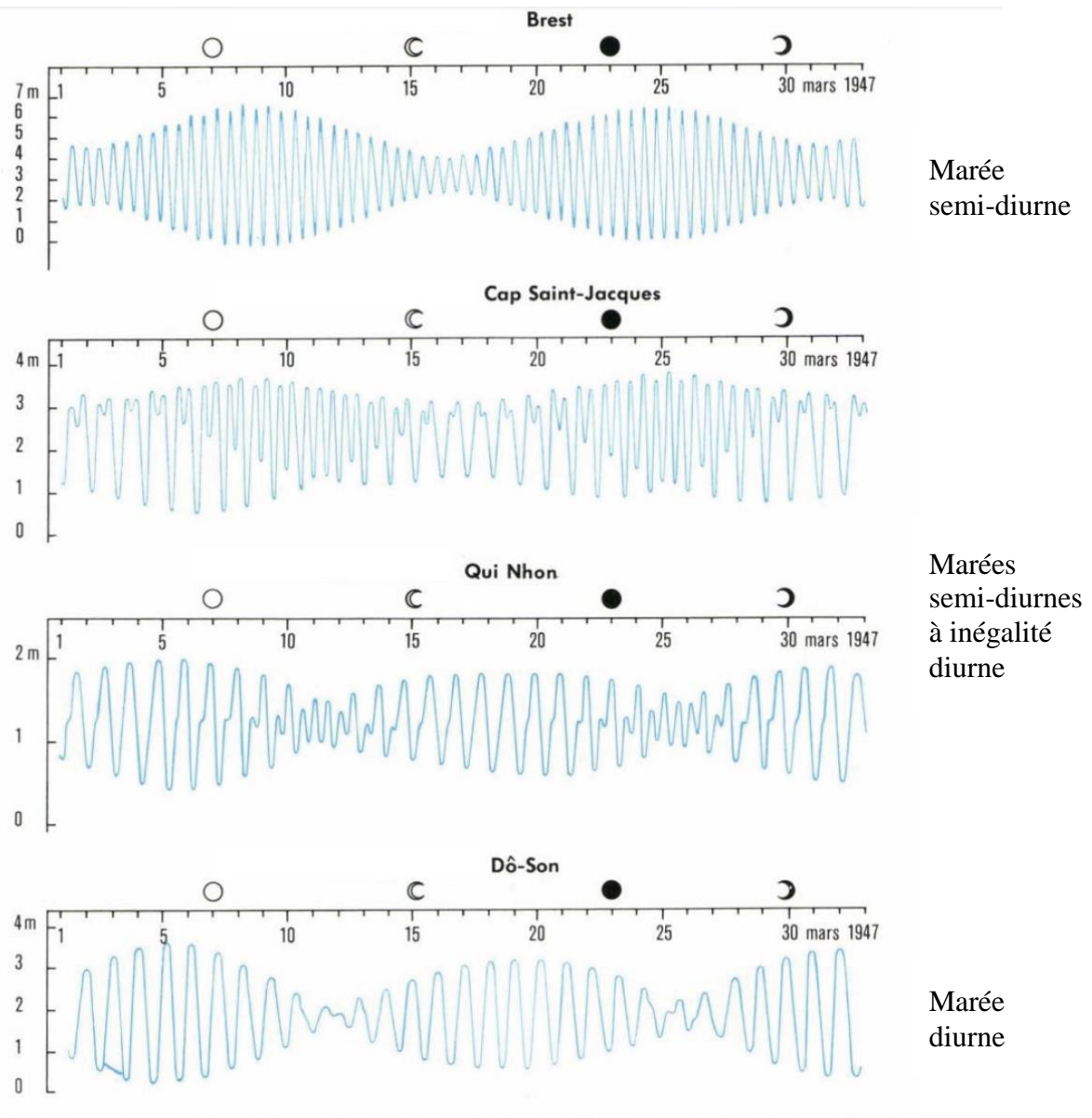


Figure 4 : la composante diurne de la marée est due à la déclinaison des astres, c'est-à-dire l'angle qu'ils font par rapport au plan équatorial (PM : Pleine Marée)



Marée
semi-diurne

Marées
semi-diurnes
à inégalité
diurne

Marée
diurne

Figure 5 : *différents types de marée selon la localisation*

Annexe 1 : caractéristiques orbitales

	Distance moyenne au soleil (en u.a.)	Période sidérale (en années terrestres)	Masse (en masse terrestre)	Excentricité	Inclinaison sur l'écliptique (en degrés)
Mercure	0,387	0,241	0,055	0,2056	7,00
Venus	0,723	0,615	0,815	0,0068	3,39
Terre	1	1,00	1	0,0167	-
Mars	1,52	1,88	0,107	0,0934	1,85
Jupiter	5,20	11,9	318	0,0483	1,31
Saturne	9,54	29,5	95,2	0,0560	2,48
Uranus	19,2	84,1	14,6	0,0461	0,81
Neptune	30,1	165	17,2	0,0100	1,77

Tableau 1 : caractéristiques orbitales des planètes

Diamètre (en km)	Masse (en 10^{20} kg)	Distance moyenne à la Terre (en 10^3 km)	Période de révolution sidérale (en jours)	Distance à la Terre à l'apogée (en km)	Distance à la Terre au périogée (en km)
3 474	734,8	384,4	27,32	405 696	363 104

Tableau 2 : caractéristiques orbitales de la Lune

Masse du Soleil : $M_S = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg
 Diamètre du soleil : $D_T = 1,393 \cdot 10^6$ km
 Masse de la Terre : $M_T = 5,974 \cdot 10^{24}$ kg
 Diamètre de la Terre : $D_T = 1,274 \cdot 10^4$ km
 Diamètre de Saturne : $D_{Sat} = 116 \cdot 10^3$ km
 Unité Astronomique : $1 \text{ u.a.} = 149,6 \cdot 10^6$ km
 Constante de Gravitation : $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Annexe 2 : horaires des marées à Brest (Mai 2014)

MÉTÉOCONSULT MARINE

Marées
Mai 2014 - Heures Locales

Brest 48°20'N - 04°29'O											
Jeu 01	BM	01h12	1.10m	Coeff. 94	Sam 17	BM	01h30	1.05m	Coeff. 96		
	PM	07h08	6.95m			PM	07h29	6.95m			
	BM	13h28	1.30m			BM	13h50	1.20m			
Ven 02	PM	19h23	6.90m	Coeff. 91	Dim 18	PM	19h50	7.05m	Coeff. 94		
	BM	01h50	1.30m			BM	02h15	1.10m			
	PM	07h44	6.70m			PM	08h15	6.80m			
Sam 03	BM	14h04	1.55m	Coeff. 86	Lun 19	BM	14h36	1.40m	Coeff. 91		
	PM	19h57	6.70m			PM	20h37	6.85m			
	BM	02h28	1.60m			BM	03h03	1.30m			
Dim 04	PM	08h20	6.40m	Coeff. 77	Mar 20	PM	09h04	6.55m	Coeff. 83		
	BM	14h41	1.85m			BM	15h26	1.65m			
	PM	20h33	6.40m			PM	21h30	6.60m			
Lun 05	BM	03h06	1.95m	Coeff. 71	Mer 21	BM	03h56	1.60m	Coeff. 78		
	PM	08h58	6.05m			PM	09h59	6.25m			
	BM	15h19	2.20m			BM	16h21	1.95m			
Mar 06	PM	21h11	6.05m	Coeff. 66	Jeu 22	PM	22h29	6.30m	Coeff. 73		
	BM	03h47	2.30m			BM	04h55	1.85m			
	PM	09h39	5.70m			PM	11h01	5.95m			
Mer 07	BM	16h00	2.55m	Coeff. 54	Ven 23	BM	17h25	2.25m	Coeff. 64		
	PM	21h55	5.70m			PM	23h35	6.05m			
	BM	04h33	2.60m			BM	06h01	2.10m			
Jeu 08	PM	10h29	5.35m	Coeff. 44	Sam 24	PM	12h12	5.80m	Coeff. 59		
	BM	16h50	2.85m			BM	18h37	2.35m			
	PM	22h51	5.40m			PM	00h47	6.00m			
Mer 09	BM	05h29	2.85m	Coeff. 37	Dim 25	BM	07h12	2.15m	Coeff. 59		
	PM	11h34	5.15m			PM	13h27	5.80m			
	BM	17h53	3.05m			BM	19h50	2.25m			
Jeu 10	PM	00h02	5.25m	Coeff. 36	Lun 26	PM	01h58	6.05m	Coeff. 60		
	BM	06h36	2.95m			BM	08h21	2.05m			
	PM	12h48	5.15m			PM	14h35	6.00m			
Ven 11	BM	19h05	3.00m	Coeff. 36	Mar 27	BM	20h56	2.05m	Coeff. 65		
	PM	01h16	5.30m			PM	03h01	6.25m			
	BM	07h46	2.80m			BM	09h24	1.85m			
Sam 12	PM	13h57	5.35m	Coeff. 38	Jeu 29	PM	15h34	6.25m	Coeff. 69		
	BM	20h13	2.80m			BM	21h54	1.80m			
	PM	02h20	5.50m			PM	03h57	6.45m			
Dim 13	BM	08h47	2.55m	Coeff. 46	Ven 30	BM	10h18	1.65m	Coeff. 76		
	PM	14h55	5.65m			PM	16h24	6.50m			
	BM	21h10	2.45m			BM	22h45	1.55m			
Lun 14	PM	03h14	5.85m	Coeff. 52	Sam 31	PM	04h45	6.60m	Coeff. 79		
	BM	09h38	2.20m			BM	11h06	1.55m			
	PM	15h43	6.00m			PM	17h08	6.70m			
Mer 15	BM	21h58	2.10m	Coeff. 57	Dim 16	BM	23h31	1.45m	Coeff. 82		
	PM	04h01	6.15m			PM	05h29	6.65m			
	BM	10h23	1.90m			BM	11h49	1.45m			
Jeu 16	PM	16h25	6.40m	Coeff. 74	Lun 17	PM	17h49	6.80m	Coeff. 86		
	BM	22h42	1.75m			BM	00h13	1.40m			
	PM	04h44	6.50m			PM	06h09	6.70m			
Sam 17	BM	11h05	1.60m	Coeff. 79	Mer 18	BM	12h28	1.50m	Coeff. 87		
	PM	17h06	6.70m			PM	18h26	6.80m			
	BM	23h24	1.45m			BM	00h52	1.40m			
Dim 18	PM	05h25	6.75m	Coeff. 88	Jeu 19	PM	06h47	6.65m	Coeff. 85		
	BM	11h46	1.35m			BM	13h05	1.55m			
	PM	17h45	6.95m			PM	19h01	6.75m			
Lun 19	BM	00h05	1.20m	Coeff. 91	Sam 20	BM	01h29	1.50m	Coeff. 84		
	PM	06h05	6.95m			PM	07h23	6.50m			
	BM	12h26	1.20m			BM	13h41	1.65m			
Mer 20	PM	18h25	7.10m	Coeff. 96	Dim 21	PM	19h36	6.60m	Coeff. 81		
	BM	00h47	1.05m			Lun 22	Mer 22	Jeu 23		Ven 24	Sam 25
	PM	06h46	7.00m								
BM	13h07	1.15m	Coeff. 97	Jeu 24	Ven 25						
PM	19h06	7.15m									

© SHOM

Analyse des documents

Suite à la lecture et l'analyse des documents, vous devrez répondre aux questions suivantes : Les questions 1, 2, 3, 6, 8, 9, 12, 13 et 15 sont obligatoires (demandez de l'aide si besoin). Les questions les plus difficiles sont les questions 7 et 11.

1. Où se situe le centre de masse du système {Terre – Lune} ? A.N.
2. Evaluer le rapport des forces d'attraction exercées sur la Terre par la Lune et par le Soleil. Commenter
3. En se plaçant par exemple au Zénith, évaluer le rapport des termes différentiels exercés sur la Terre par la Lune et par le Soleil. Commenter.
4. Calculer la valeur numérique de la force de marée exercée sur l'astronaute du document 1.
5. Pourquoi ne tient-on compte que des influences de la Lune et du Soleil sur la Terre en termes de marées ?
6. Sur la figure 2 du document 2, la pleine mer est représentée de manière symétrique au zénith (Z) et au nadir (N). Pouvez-vous le justifier ?
7. Sur la figure 4 du document 2, faire apparaître la trajectoire d'un point M de latitude élevée (il faut que la somme de la latitude et de la déclinaison soit supérieure à 90°), ainsi que sa position à chaque haute mer et basse mer. Montrer qu'il peut exister des marées diurnes (une marée haute et une marée basse par jour). Attention, l'axe de rotation est vertical. Recommencer avec un point M de latitude de latitude assez faible ; montrer qu'il peut exister des marées semi-diurnes à inégalité diurne.
8. Sur le calendrier 2 pleines lunes sont séparées de 29 ou 30 jours, pour une moyenne de 29,5 jours. Or le tableau 2 de l'annexe 1 donne 27,32 jours de période de révolution. Expliquer.
9. L'annexe 3 regroupe les horaires des différentes marées à Brest en mai 2014. Quelle est la durée moyenne observée entre deux pleines mers (PM) ? Comment justifier que cette durée ne soit pas de 12h dans le cas des marées semi diurnes ?
10. Depuis la Terre, on observe toujours la même face de la Lune. Justifier qualitativement le rôle des effets de marées sur le synchronisme de la rotation propre de la Lune.
11. En fait, on peut voir du même point de la Terre et au fil des phases de la Lune environ 59% de sa surface, principalement à «gauche» et à «droite». Ce sont les librations longitudinales. L'expliquer.
12. Reproduire la figure 3 du document 2, et indiquer à quelle phase correspond chaque schéma. Indiquer également si on peut voir cette phase le jour, la nuit, le matin ou le soir.
13. La Lune s'éloigne de la Terre à raison de 3,78 cm par an. En quoi cela peut-il être dû aux effets de marée ?
14. En supposant que Io a les mêmes caractéristiques que la Lune, déterminer sa période de révolution autour de Jupiter.
15. A partir du tableau 1 de l'annexe 1, tracer $\ln(T)$ en fonction de $\ln(a)$ pour les différentes planètes, T représentant la période sidérale et a le rayon orbital moyen. Peut-on y placer la lune ? Commenter l'allure de la courbe.
16. Les anneaux de Jupiter sont constitués de débris de tailles de plus en plus petites à mesure que l'anneau est proche de la planète. Commenter.