

Cette approche documentaire est constituée de cinq documents, deux documents principaux décrivant le fonctionnement statique et simplifié des marées océaniques, les trois autres constituant des annexes.

DOCUMENT PRINCIPAL 1 : MODÈLE STATIQUE DES MARÉES

Extrait du cours de G.Rouillet dispensé en master 2ème année ENSTA Bretagne

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-là ne sera que réellement résolue qu'il y a une dizaine d'années avec l'avènement des satellites altimétriques. Aujourd'hui la recherche porte sur la marée interne et son rôle dans la circulation thermohaline. 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 comme indiqué figure (1). 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.

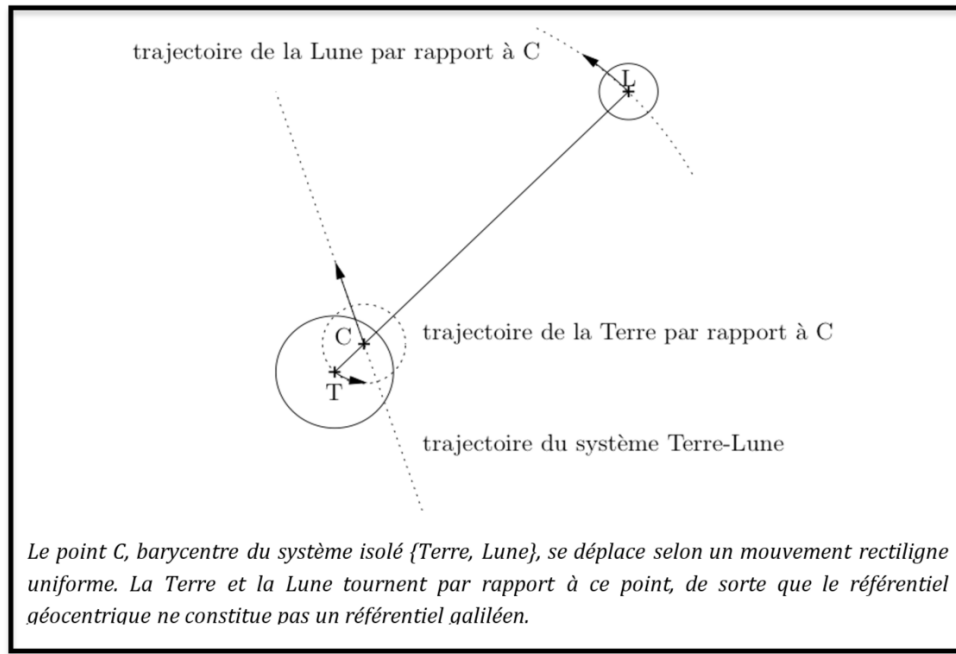


FIGURE 1 – Le système isolé Terre-Lune

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 :

$$M_T \vec{a}(M)_{R_C} = G M_T M_L \frac{\vec{T}L}{(TL)^3}$$

Si on raisonne cette fois dans le référentiel géocentrique (R_{geo}) 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 :

$$\vec{0} = G M_T M_L \frac{\vec{T}L}{(TL)^3} - M_T \vec{a}_e$$

Avec :

$$\vec{a}_e = \vec{a}(T)_{R_C} = G M_L \frac{\vec{T}L}{(TL)^3}$$

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

$$m \vec{a}(M)_{R_{geo}} = \sum \vec{F}_{terre} + G m M_L \frac{\vec{M}L}{(ML)^3} - m \vec{a}_e$$

où $\sum \vec{F}_{terre}$ représente l'ensemble des forces « terrestres » appliquées à la parcelle. Il apparaît donc un terme différentiel, appelé force de marée, tel que :

$$\vec{F}_{marees/lune} = G m M_L \left(\frac{\vec{M}L}{(ML)^3} - \frac{\vec{T}L}{(TL)^3} \right)$$

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) comme indiqué figure (2).

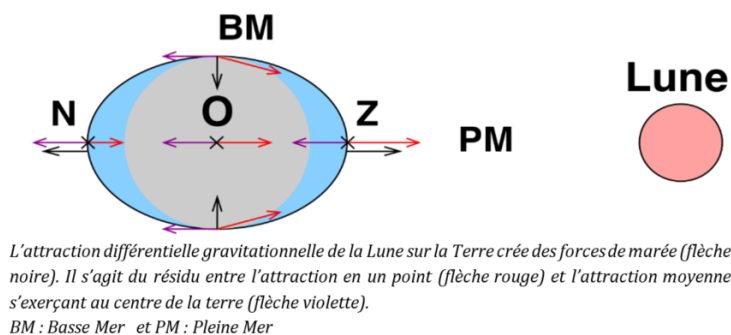


FIGURE 2 – Bourrelets océaniques

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 :

$$\vec{F}_{\text{mares/soleil}} = GmM_s \left(\frac{\vec{MS}}{(MS)^3} - \frac{\vec{TS}}{(TS)^3} \right)$$

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 comme indiqué figure (3).

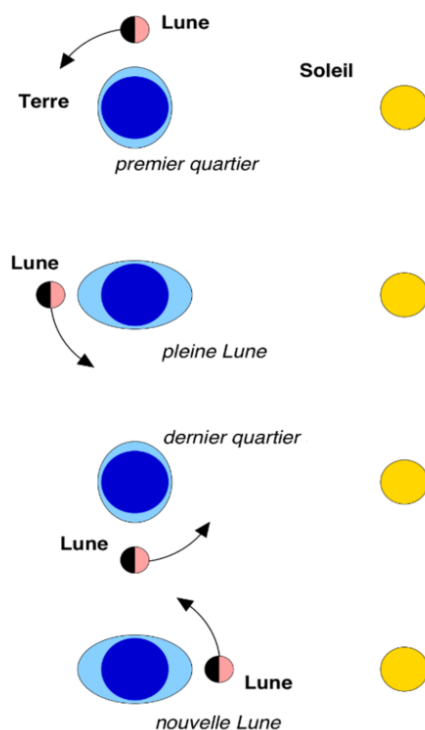


FIGURE 3 – Mortes eaux et vives eaux

DOCUMENT PRINCIPAL 2 : Effets des marées

Marée crustale

Comme tous les corps du Système solaire, la Terre n'est pas rigide : elle est constituée d'un noyau de fer liquide, avec une graine solide au centre, et d'un manteau surmonté d'une pellicule superficielle cassante, la croûte. Enfin au-dessus, il y a les océans et l'atmosphère. Sous l'effet de l'attraction de la Lune, la Terre se déforme périodiquement. Si les marées dans les océans sont des phénomènes visibles, on sait moins que la Terre se déforme, elle aussi, dans son ensemble, au même rythme que les océans. À l'équateur, l'amplitude des déformations périodiques du sol atteint 30 centimètres.

Modification des vitesses de rotation

En examinant les dates des éclipses de Lune dans l'Antiquité et les observations faites au *XVII^e* siècle, l'astronome anglais Edmond Halley émit l'idée, en 1695, que le mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre ne devait pas être uniforme : en effet, les éclipses apparaissaient à des instants légèrement décalés par rapport à ceux prévus par la théorie. C'est Emmanuel Kant, un demi-siècle plus tard, qui imagina que les marées devaient produire des frottements internes et donc dissiper de l'énergie. Kant concluait que la Terre devait être freinée progressivement dans son mouvement de rotation sur elle-même.

Les marées se manifestent avec un certain retard par rapport à leur cause, le passage de la Lune ; ce retard est d'environ dix minutes pour les "marées solides" et atteint parfois plusieurs heures pour les marées océaniques. Considérons la figure (4) : Au point A, par exemple, la marée haute a lieu alors que la Lune est déjà passée depuis quelques minutes par le plan méridien. Les bourrelets de marée sont entraînés par la Terre dans sa rotation d'Ouest en Est. Or, la Lune exerce sur ces bourrelets des forces (en A et B) qui engendrent un couple de rappel qui tend à freiner la Terre dans sa rotation. Les déformations causées par les marées s'accompagnent, en effet, de frottements dans les océans et entre les différentes couches du manteau terrestre.

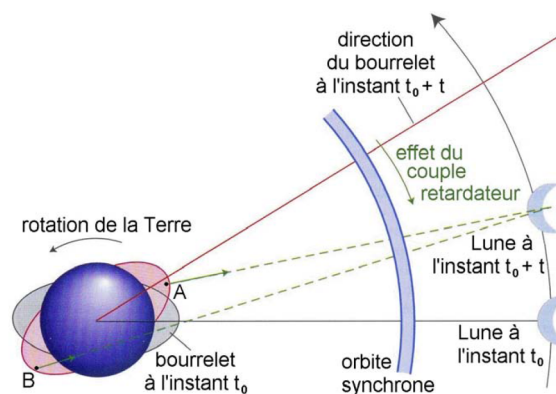


FIGURE 4 – Illustration du retard des marées

En raison des frottements, une partie de l'énergie associée aux déformations se dissipe en chaleur. Cette énergie dissipée diminue l'énergie cinétique de rotation de la Terre qui, par suite, ralentit progressivement : la durée du jour augmente de deux millièmes de seconde par siècle. Il semble que ce ralentissement n'ait pas toujours été constant comme indiqué figure (5).

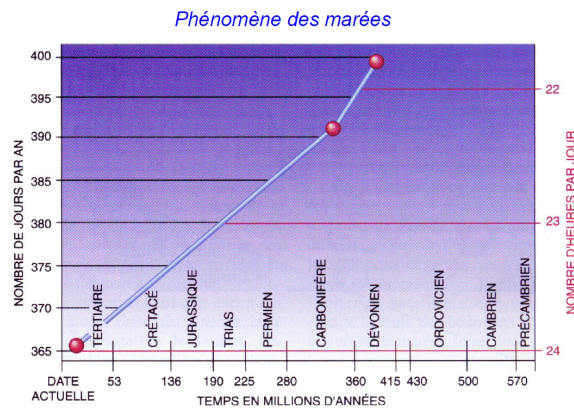


FIGURE 5 – Evolution de la durée du jour

Deux lois régissent les phénomènes mécaniques : la conservation de l'énergie et la conservation du moment cinétique. Le moment cinétique d'un corps en rotation est égal au produit de sa masse par la vitesse en chaque point du corps et par la distance de ce point à l'axe de rotation. On peut considérer en première approximation que le système Terre-Lune est isolé dans l'espace. Son moment cinétique total, c'est-à-dire la somme du moment cinétique orbital et du moment cinétique de rotation, se conserve : la diminution du moment cinétique de rotation de la Terre due aux marées est alors compensée par une augmentation simultanée du moment cinétique orbital de la Lune autour de la Terre. Ceci se traduit par une augmentation graduelle de la distance Terre-Lune, d'environ trois centimètres par an actuellement, et par une diminution de la vitesse orbitale de la Lune qui résulte, en raison de la troisième loi de Kepler, de l'augmentation de la distance Terre-Lune. Il est possible de remonter très loin dans le passé grâce à certains organismes marins qui ont la propriété de croître en formant des anneaux concentriques, de telle sorte qu'on dispose de repères pour les jours et les saisons. Ainsi les coraux fossiles âgés de plusieurs centaines de millions d'années comptaient, pendant un cycle annuel, un nombre d'anneaux de croissance diurnes nettement supérieur à 365. Puisque l'on pense que le rythme biologique de ces organismes simples n'a pas varié depuis cette époque, on en conclut que le nombre de jours dans l'année était plus grand dans le passé qu'il ne l'est aujourd'hui. La durée de l'année n'ayant pas varié (cette hypothèse se justifie), on doit conclure que c'est la durée du jour qui a changé : il y a 350 millions d'années, l'année comptait 400 jours et le jour durait 22 heures. Il y a également une variation du nombre de mois lunaires (période de révolution de la Lune autour de la Terre) dans l'année, compatible avec le fait que la Lune était, dans le passé, plus proche de la Terre. La quantité d'énergie dissipée par les marées océaniques dépend de la profondeur des océans, de la forme des continents et de leur répartition sur le Globe. Or, les continents actuels avaient un tout autre emplacement dans le passé et ils étaient rassemblés en un continent unique, il y a 250 millions d'années. Cette configuration groupée donne lieu à une bien plus faible dissipation d'énergie, ce qui suggère que l'énergie dissipée dans le phénomène de marées a beaucoup varié au cours de l'histoire du système Terre-Lune.

Généralisation du phénomène

Synchronisme

Orbite synchrone

Nous avons vu que le ralentissement de la rotation de la Terre entraîne, par conservation du moment cinétique total, une augmentation régulière de la distance Terre-Lune. Le phénomène est tout à fait général. Considérons un satellite en orbite synchrone autour d'une planète, c'est-à-dire un satellite qui effectue

un tour autour de la planète tandis que la planète effectue exactement un tour sur elle-même, dans ce cas, le satellite se situe toujours au-dessus du même méridien de la planète comme indiqué figure (6).

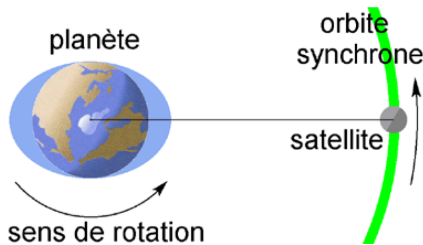


FIGURE 6 – Orbite synchrone d'un satellite

Sur la planète le bourrelet de marées est orienté dans la direction Planète-Satellite et au cours du mouvement de rotation de la planète aucun couple n'apparaît, cette situation particulière confère au système une grande stabilité. Pour la Terre, cette orbite synchrone se situe à 36 000 km de la surface, c'est là qu'on place certains satellites de télécommunication. La Lune, qui se situe au-delà de cette orbite synchrone est donc condamnée à s'éloigner indéfiniment de la Terre ! À chaque planète est associée une orbite synchrone où la vitesse de révolution d'un satellite sur cette orbite est égale à la vitesse de rotation de la planète sur elle-même. L'orbite actuelle de Phobos est située en deçà de l'orbite synchrone pour Mars. De ce fait, Phobos a une vitesse orbitale plus importante que la rotation de Mars sur elle-même. Dans ce cas, le renflement de marée créé par Phobos sur Mars est en retard sur le mouvement du satellite : il s'ensuit que, contrairement au cas de la Lune, une partie du moment cinétique orbital de Phobos est utilisée pour accélérer la rotation de Mars sur elle-même ; le mouvement de Phobos est accéléré et, selon la troisième loi de Kepler, le rayon de son orbite diminue. En fait, tous les satellites en deçà de l'orbite synchrone (comme Phobos) tendent, par le phénomène de marées, à tomber sur la planète principale, et tous les satellites au-delà de l'orbite synchrone (comme la Lune) à s'en éloigner. Si l'orbite du satellite est excentrique, l'effet des marées créé par le satellite sur la planète est maximum au voisinage du périastre, donc à l'intérieur de l'orbite synchrone, et ainsi, en moyenne, on aura le même effet que si toute l'orbite était située à l'intérieur de l'orbite synchrone : diminution progressive du rayon de l'orbite, accompagnée d'une diminution de l'excentricité. Il s'agit finalement d'un mécanisme qui régularise les orbites. Phobos, le plus proche des satellites de Mars, a une orbite très excentrique et se rapproche de la surface de la planète à la vitesse d'environ quatre centimètres par an. Dans moins de 30 millions d'années, Phobos devrait finir sa vie et s'écraser sur Mars. Pour un corps comme Triton, dont la révolution s'effectue autour de Neptune en sens rétrograde (en sens inverse de la rotation de Neptune sur elle-même), une fin analogue est attendue, mais cela demandera plus longtemps.

Rotation synchrone

Nous avons considéré les effets des marées sur la rotation de la Terre et sur la distance Terre-Lune, mais l'influence de la Terre sur la Lune a des effets plus importants encore

En considérant un objet situé en un point M , à la surface de la Lune, et sous la seule influence du couple Terre-Lune : le terme d'accélération dû à la Terre est :

$$\delta \vec{a}(M)_{\text{terre}} = \vec{G}_T(M) - \vec{G}_T(L)$$

où $\vec{G}_T$ est le champ de gravitation créé par la terre et où L est le centre de la Lune. La valeur maximale de la grandeur de ce terme se produit pour un point M_1 situé à la surface de la Lune sur l'axe Terre-Lune

et face à la Terre, et s'écrit :

$$\delta a(M_1)_{terre} = G_T(M_1) - G_T(L) = KM_T \left(\frac{1}{(D - R_L)^2} - \frac{1}{D^2} \right)$$

En développant le terme entre crochets, on trouve

$$\delta a(M_1)_{terre} = 2KM_T \frac{R_L}{D^3} = 2g_{L0} \frac{M_T R_L^3}{M_L D^3}$$

Où g_{L0} désigne la valeur du champ de pesanteur lunaire à la surface de la Lune.

Avec $R_L = 2.0 \times 10^6$ m et $D = 3.84 \times 10^8$ m et $M_T = 6 \times 10^{24}$ kg et $M_L = 7.34 \times 10^{22}$ kg

On trouve : $\delta a(M_1)_{Terre} = 2.3 \times 10^{-5} \times g_{L0}$

Rappelons que le terme de marées dû à la Lune sur la Terre est : $\delta a(M_1)_{Lune} = 10^{-7} \times g_0$ où g_0 est le champ de pesanteur terrestre.

Les effets de marées à la surface de la Lune sous l'influence de la Terre sont donc 100 fois plus importants ! Les déformations causées par les marées sur les différentes couches qui forment le satellite provoquent des frottements qui dissipent de l'énergie. La rotation du satellite est donc freinée jusqu'à ce que sa rotation sur lui-même se synchronise avec sa rotation autour de la planète : le satellite présente alors toujours la même face à la planète et le bourrelet de marées ne subit plus de couple tendant à rétablir l'alignement comme indiqué figure (7).

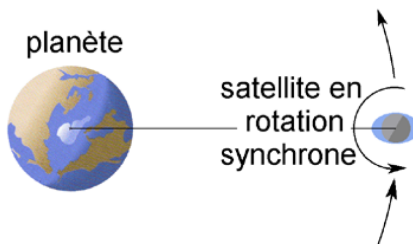


FIGURE 7 – Rotation synchrone

C'est le cas de la Lune qui s'est très rapidement mise en rotation synchrone peu après sa formation quand les différentes couches qui la composaient étaient encore fluides. En fait, tous les satellites "telluriques" des planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) sont en rotation synchrone à cause des effets de marées très importants qu'engendrent les planètes sur leurs satellites (à l'exception d'Hypérion, satellite de Saturne dont la rotation est perturbée par la présence d'un autre satellite, Titan). Io, satellite de Jupiter est perturbé par deux autres satellites : Europe et Ganymède. En conséquence, son mouvement autour de Jupiter est en moyenne circulaire, mais son orbite est quelquefois légèrement excentrique. Cette très faible excentricité a pour conséquence une légère variation de la distance de Jupiter à Io. Comme les effets de marées de l'énorme Jupiter sur Io sont considérables, leur intensité varie notablement avec la distance de Jupiter au satellite. Cette variation change la taille des bourrelets d'Io dus aux effets de marées. Io est donc soumis à une perturbation d'intensité variable de la part de Jupiter. Il en résulte des forces de frottement de grande intensité au sein du satellite et donc un échauffement important. Le seul moyen d'évacuer toute la chaleur ainsi produite est la présence d'un volcanisme actif. Les effets de marées de Jupiter et les perturbations d'Europe et de Ganymède sont donc responsables d'un volcanisme actif sur Io. Si les satellites des planètes ont eu leur rotation freinée par les effets de marées, les planètes, en tant que satellites du Soleil, auraient dû en principe subir le même sort. Le Soleil contribue aussi à ce freinage de la rotation de la Terre pour environ 25 que le synchronisme soit atteint, le Soleil sera sans doute devenu une géante rouge qui aura, soit absorbé, soit grillé la Terre.

Questions

1. Où se situe le centre de masse C du système Terre-Lune ? On exprimera la distance TC et on procèdera à une application numérique.
2. Évaluer le rapport des forces d'attraction exercées sur la Terre par la Lune et par le Soleil. Faire une application numérique. 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. Faire une application numérique. Commenter.
4. Pourquoi ne tient-on compte que des influences de la Lune et du Soleil sur la Terre en termes de marées ? Une réponse quantitative est attendue.
5. Sur la figure 2, la pleine mer est représentée de manière symétrique au Zénith Z et au Nadir N . Retrouvez ce résultat par le calcul.
6. Temps entre deux marées.
 - (a) D'après le modèle développé dans le paragraphe « Marée crustale », quelle est durée entre deux pleines mers ?
 - (b) L'annexe 3 regroupe les horaires des différentes marées à Brest en Mai 2014. Quelle est la durée moyenne entre deux pleines mers ? Commenter.
 - (c) Justifier, en vous appuyant sur le paragraphe « Modification des vitesses de rotation », et à l'aide d'un approche théorique que la durée entre deux pleines mers n'est pas de 12h mais d'environ 12h13.
7. Expliquez le rôle des marées sur le mouvement du système Planète-Satellite suivant que l'orbite du satellite supposée circulaire a un rayon supérieur ou inférieur au rayon de l'orbite stationnaire. En particulier, on mettra en évidence l'augmentation (ou la diminution) de la vitesse de rotation propre de la planète en fonction du rayon de l'orbite du satellite. Citez un exemple de chaque cas.
8. Dans le cas du système Terre Lune, la Lune s'éloigne de la Terre. Expliquer, par le calcul, comment relier ce fait aux effets de marée étudié précédemment. On supposera le système Planète - Satellite isolé et la masse du satellite très inférieure à celle de la planète. Qu'en est-il du système Mars - Phobos ?
9. Depuis la Terre, on observe toujours la même face de la lune. Justifier qualitativement le rôle des effets de marée sur le synchronisme de la rotation propre de la Lune. Pourquoi ces mêmes effets n'ont-ils pas conduits (encore...) au synchronisme de la rotation propre de la Terre ? Dans combien de temps cette synchronisation devrait-elle se produire ? commenter.
10. Phénomène d'éclipse.
 - (a) Expliquer, à l'aide d'un schéma, ce qu'est une éclipse totale du soleil.
 - (b) La Lune s'éloigne de la Terre à raison de 3,78cm par an. En supposant que ce rythme reste constant, dans combien d'années ne pourra-t-on plus observer d'éclipses totales du Soleil depuis la Terre ?
11. A l'aide du tableau 1 de l'annexe 1, tracez $\ln(T)$ en fonction de $\ln(a)$, T représentant la période sidérale et a le rayon orbital moyen. Commenter l'allure de la courbe. Peut-on y placer la Lune ?

ANNEXE 1 : Caractéristiques orbitales

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					

FIGURE 8

On rappelle les caractéristiques d'une trajectoire elliptique :

- ✗ Allure de la trajectoire (avec Ω le centre de la conique, $F = O$ l'un des foyers correspondant au centre attracteur, A l'apogée et P le périégée) :

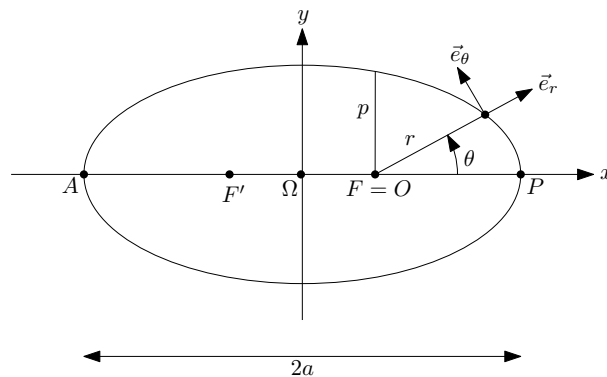


FIGURE 9 – Trajectoire elliptique

- ✗ Equation polaire de la trajectoire :

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

où e est l'excentricité de l'ellipse et p est son paramètre.

Diamètre (en km)	Masse (en 10^{20} kg)	Distance moyenne à la Terre (en 10^3 km)	Période de révolution sidérale (en jours)	Excentricité	Inclinaison sur l'écliptique (en degrés)
3474	734,8	384,4	27,32	0,055	5,145
Tableau 2 : caractéristiques orbitales de la Lune					

FIGURE 10

- ✗ Masse du soleil : $M_S = 1.989 \times 10^{30}$ kg
- ✗ Diamètre du soleil : $D_S = 1.393 \times 10^6$ km
- ✗ Masse de la terre : $M_T = 5.674 \times 10^{24}$ kg
- ✗ Diamètre de la terre : $D_T = 1.274 \times 10^4$ km
- ✗ Unité astronomique : $1u.a. = 149.6 \times 10^6$ km
- ✗ Constante de gravitation : $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

ANNEXE 2 : Théorème de Koenig

Soit un solide (Σ) , de masse M , de centre d'inertie G dont on étudie le mouvement dans un référentiel R . Alors, le moment cinétique de (Σ) calculé en un point A dans le référentiel R vaut :

$$\vec{L}_{A,R} = \vec{L}^* + A\vec{G} \wedge M\vec{V}_{G,R}$$

Où $\vec{L}^*$ est le moment cinétique de (Σ) dans le référentiel barycentrique.

ANNEXE 3 : Horaires des marées à Brest

MÉTÉOCONSULT MARINE				Marées Mai 2014 - Heures Locales			
Brest 48°20'N - 04°29'O							
Jeu 01	BM	01h12	1.10m	Sam 17	BM	01h30	1.05m
	PM	07h08	6.95m		PM	07h29	6.95m
	BM	13h28	1.30m		BM	13h50	1.20m
	PM	19h23	6.90m		PM	19h50	7.05m
Ven 02	BM	01h50	1.30m	Dim 18	BM	02h15	1.10m
	PM	07h44	6.70m		PM	08h15	6.80m
	BM	14h04	1.55m		BM	14h36	1.40m
	PM	19h57	6.70m		PM	20h37	6.85m
Sam 03	BM	02h28	1.60m	Lun 19	BM	03h03	1.30m
	PM	08h20	6.40m		PM	09h04	6.55m
	BM	14h41	1.85m		BM	15h26	1.65m
	PM	20h33	6.40m		PM	21h30	6.60m
Dim 04	BM	03h06	1.95m	Mar 20	BM	03h56	1.60m
	PM	08h58	6.05m		PM	09h59	6.25m
	BM	15h19	2.20m		BM	16h21	1.95m
	PM	21h11	6.05m		PM	22h29	6.30m
Lun 05	BM	03h47	2.30m	Mer 21	BM	04h55	1.85m
	PM	09h39	5.70m		PM	11h01	5.95m
	BM	16h00	2.55m		BM	17h25	2.25m
	PM	21h55	5.70m		PM	23h35	6.05m
Mar 06	BM	04h33	2.60m	Jeu 22	BM	06h01	2.10m
	PM	10h29	5.35m		PM	12h12	5.80m
	BM	16h50	2.85m		BM	18h37	2.35m
	PM	22h51	5.40m		PM	00h47	6.00m
Mer 07	BM	05h29	2.85m	Ven 23	BM	07h12	2.15m
	PM	11h34	5.15m		PM	13h27	5.80m
	BM	17h53	3.05m		BM	19h50	2.25m
	PM	00h02	5.25m		PM	01h58	6.05m
Jeu 08	BM	06h36	2.95m	Sam 24	BM	08h21	2.05m
	PM	12h48	5.15m		PM	14h35	6.00m
	BM	19h05	3.00m		BM	20h56	2.05m
	PM	01h16	5.30m		PM	03h01	6.25m
Ven 09	BM	07h46	2.80m	Dim 25	BM	09h24	1.85m
	PM	13h57	5.35m		PM	15h34	6.25m
	BM	20h13	2.80m		BM	21h54	1.80m
	PM	02h20	5.50m		PM	03h57	6.45m
Sam 10	BM	08h47	2.55m	Lun 26	BM	10h18	1.65m
	PM	14h55	5.65m		PM	16h24	6.50m
	BM	21h10	2.45m		BM	22h45	1.55m
	PM	03h14	5.85m		PM	04h45	6.60m
Dim 11	BM	09h38	2.20m	Mar 27	BM	11h06	1.55m
	PM	15h43	6.00m		PM	17h08	6.70m
	BM	21h58	2.10m		BM	23h31	1.45m
	PM	04h01	6.15m		PM	05h29	6.65m
Lun 12	BM	10h23	1.90m	Mer 28	BM	11h49	1.45m
	PM	16h25	6.40m		PM	17h49	6.80m
	BM	22h42	1.75m		BM	00h13	1.40m
	PM	04h44	6.50m		PM	06h09	6.70m
Mar 13	BM	11h05	1.60m	Jeu 29	BM	12h28	1.50m
	PM	17h06	6.70m		PM	18h26	6.80m
	BM	23h24	1.45m		BM	00h52	1.40m
	PM	05h25	6.75m		PM	06h47	6.65m
Mer 14	BM	11h46	1.35m	Ven 30	BM	13h05	1.55m
	PM	17h45	6.95m		PM	19h01	6.75m
	BM	00h05	1.20m		BM	01h29	1.50m
	PM	06h05	6.95m		PM	07h23	6.50m
Jeu 15	BM	12h26	1.20m	Sam 31	BM	13h41	1.65m
	PM	18h25	7.10m		PM	19h36	6.60m
	BM	00h47	1.05m				
	PM	06h46	7.00m				
Ven 16	BM	13h07	1.15m				
	PM	19h06	7.15m				

FIGURE 11