

Le système Terre-Lune

La Terre et la Lune forment une paire peu commune dans notre système solaire. En effet, si on fait exception de Pluton, seule notre planète est accompagnée d'un satellite naturel aussi imposant compte tenu de sa propre taille. La Lune est donc la cause de phénomènes remarquables tant dans le ciel (phases et éclipses) qu'à la surface de la Terre (marées).

	Visible: 15%	17:40 21 Jan 2002
	Age: 4j 2h 24m	
	Distance: 405232 km	22:51 28 Jan 2002
	Apogee: 13:03 21 Dec 404632 km	13:42 04 Fev 2002
	Perigee: 07:13 02 Jan 365586 km	07:42 12 Fev 2002
La lune le 15:54:40 17 Jan 2002		



[Continuer](#)

Objectifs du chapitre 9

- Expliquer l'origine des phases de la lune
- Savoir reconnaître et décrire les différents types d'éclipse
- Expliquer le phénomène des marées



Cliquez pour imprimer

Yannick Dupont
V2.0, été 2001

Caractéristiques du système

Les caractéristiques physiques et orbitales des deux objets sont présentées aux Tableaux 9.1 et 9.2 .

Table 9.1: Caractéristiques physiques du système Terre-Lune

	Rayon équatorial (km)	Rayon équatorial (Terre =1)	Masse (kg)	Masse (Terre =1)	Période de rotation
Terre	6400	1	5.98×10^{24}	1	23h 56min
Lune	1740	0.272	7.35×10^{22}	0.0123	27.32 jours

Table 9.2: Caractéristiques orbitales du système Terre-Lune

Paramètre	Valeur
Période sidérale	27.32 jours
Période synodique	29.53 jours
Demi grand axe	384,400 km
Excentricité	0.055

La période synodique correspond à l'intervalle de temps entre deux phases lunaires identiques consécutives (e.g. deux nouvelles lunes). Cette période n'est pas égale à la période sidérale, une révolution complète autour de la Terre par rapport aux étoiles, car pendant que la Lune tourne autour de la Terre, cette dernière tourne aussi autour du Soleil comme l'illustre la **Figure 9.1**. La Lune, après une révolution complète, doit donc poursuivre sa trajectoire pendant environ $2 \frac{1}{6}$ jours pour revenir à la même position par rapport au Soleil et à la Terre.

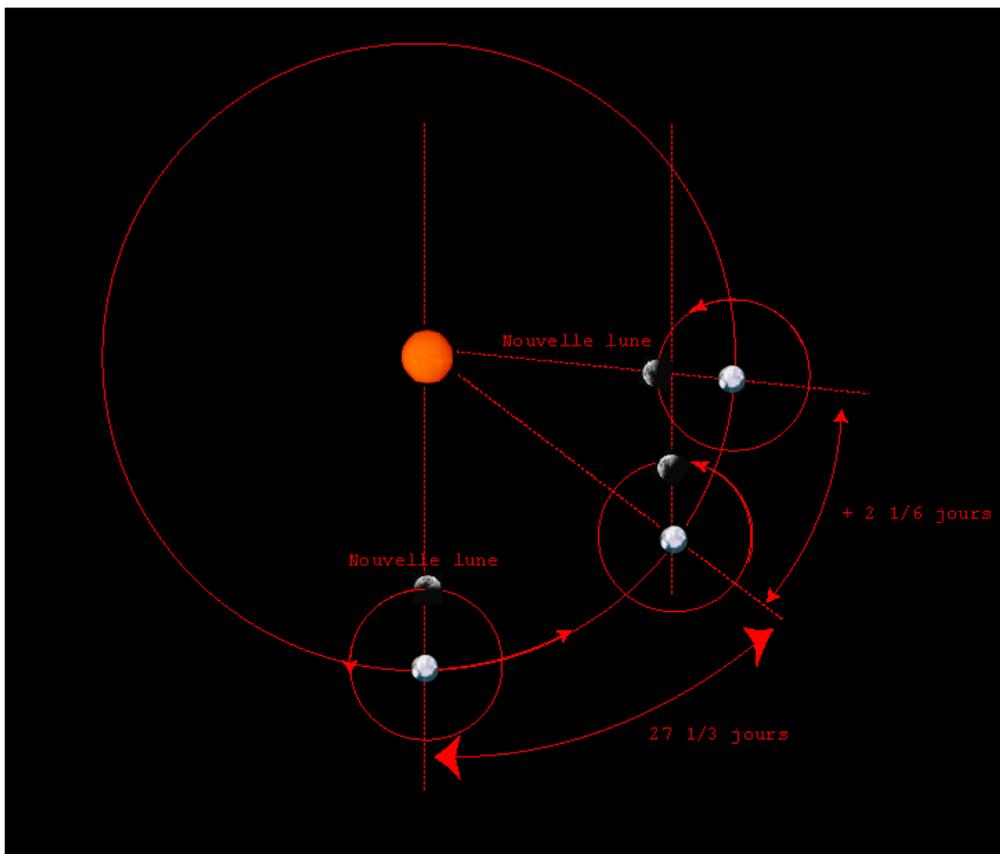


Figure 9.1: La période sidérale et la période synodique de la Lune

On remarque aussi que la période de rotation de la Lune sur elle-même est *exactement* égale à sa période de révolution autour de la Terre, soit 27.32 jours. Ceci a pour conséquence que la Lune présente *toujours* la même face pour un observateur terrestre. De la Terre on ne peut cartographier que 50% de la surface lunaire. En fait, à cause d'un phénomène appelé **libration lunaire** on peut, au cours d'une période synodique complète, observer jusqu'à 59% de la surface de la Lune. Il existe donc ce qu'on appelle *une face cachée de la Lune* qui n'est observable qu'au moyen de sondes spatiales qui font le tour de notre compagne.

Le cycle des phases lunaires

Au fil des nuits, la Lune nous présente un aspect qui change de façon régulière. Graduellement, on observe un mince croissant à l'ouest après le coucher du Soleil, qui devient le premier quartier, la pleine lune, le dernier quartier, et finalement, à l'est avant le lever du Soleil, un mince croissant. Le cycle complet dure 29.53 jours (une période synodique). Comme le démontre la **Figure 9.2**, les phases lunaires sont causées par le mouvement orbital de celle-ci autour de la Terre; l'angle entre le Soleil, la Terre et la Lune change tout au long du cycle.

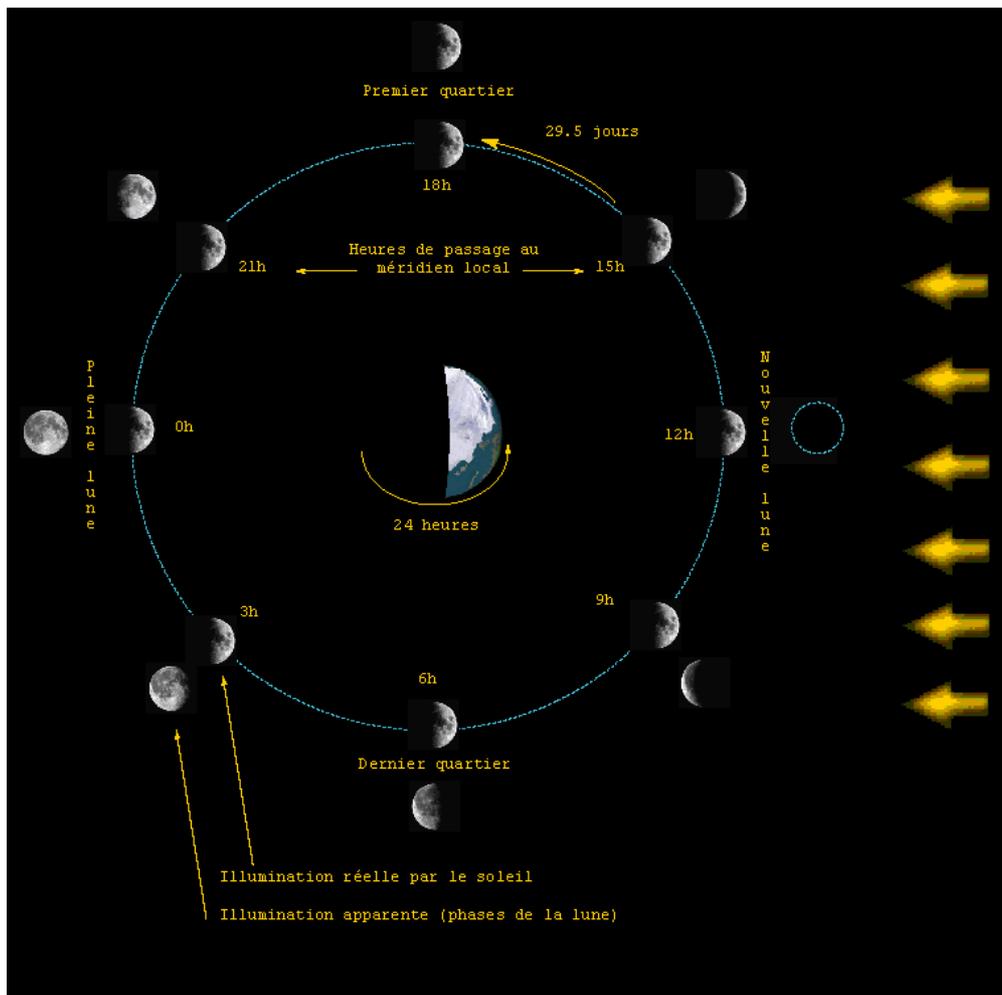


Figure 9.2: [Le cycle des phases de la Lune](#)

En tout temps, il y a exactement la moitié de la Lune (et de la Terre) qui est illuminée par le Soleil, seul l'angle sous lequel on aperçoit la Lune par rapport au Soleil change. Puisque la Terre tourne sur elle-même en 24 heures, un observateur voit la Lune passer à son méridien local à une heure donnée qui dépend de la phase lunaire. Le lendemain, le passage de la Lune au méridien se fait plus tard puisque la Lune a poursuivi sa trajectoire autour de la Terre; la partie éclairée, visible de la Terre, a aussi changé. La **Figure 9.2** donne l'heure approximative du passage de la Lune au méridien du lieu pour une phase donnée. On peut utiliser cette valeur pour estimer l'heure du lever et du coucher de la Lune au cours du cycle des phases. Ainsi autour de la période de pleine lune (une à deux journées avant et après la pleine lune), la Lune se lève au début de la nuit et se couche au lever du jour; la Lune nous éclaire donc toute la nuit. A l'opposé, près de la nouvelle lune, celle-ci se lève avec le Soleil et se couche au début de la nuit; durant cette période du cycle, la Lune n'est pas visible au cours de la nuit et le fond du ciel est plus *noir*. La Lune peut donc être visible en plein jour!



Animation 9.1: [Le cycle des phases lunaires \(2.3 Mo\)](#)

Les éclipses

Les éclipses sont probablement un des phénomènes astronomiques les plus spectaculaires. De tout temps elles ont intrigué les humains. Nos ancêtres étaient généralement terrifiés par une éclipse de Soleil. On croyait souvent qu'une créature maléfique *avalait* le Soleil, et que seul un sacrifice pouvait la forcer à le régurgiter! L'explication de ce phénomène est évidemment beaucoup plus prosaïque.

L'éclipse de Soleil

La [Figure 9.2](#) montre que lors de la nouvelle lune, lorsque la Lune est *exactement* entre nous et le Soleil, la trajectoire des rayons de ce dernier est bloquée et il y a donc éclipse de Soleil. Il est remarquable de constater que le diamètre angulaire de la Lune est quasi-identique à celui du Soleil, d'où la possibilité d'éclipses. Evidemment le **cône d'ombre** de la Lune est assez petit (environ 200 km de diamètre projeté sur la surface de la Terre), et il ne couvre qu'une petite partie de la surface terrestre; il faut donc être situé au bon endroit pour observer une **éclipse totale** du Soleil. Telle qu'illustrée à la [Figure 9.3](#), il y a une région plus vaste, la **pénombre**, où le Soleil est *partiellement* éclipsé. Le cône d'ombre (et de pénombre) *se déplace* à la surface de la Terre à cause de la rotation de celle-ci et de la révolution de la Lune.

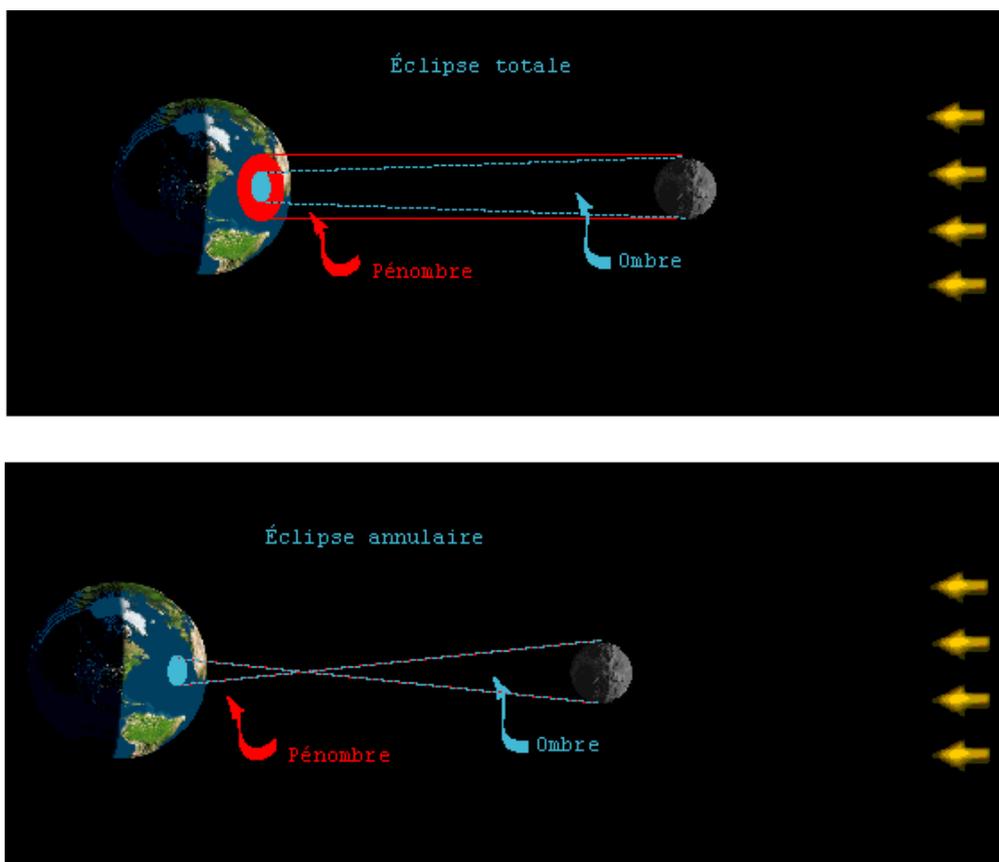


Figure 9.3: Éclipse solaire totale et annulaire



[Animation 9.2: Éclipse totale de Soleil vue de la Terre \(1.7 Mo\)](#)



[Animation 9.3: Éclipse totale de Soleil vue de la Lune \(27.9 Mo\)](#)



[Vidéo 9.1: Éclipse solaire partielle \(0.2 Mo\)](#)



[Vidéo 9.2: Éclipse solaire totale \(0.9 Mo\)](#)

La [Figure 9.3](#) montre aussi un cas particulier d'éclipse solaire: l'éclipse annulaire. Ce phénomène plus rare se produit lorsque la nouvelle lune coïncide avec son éloignement maximum de la Terre le long de son orbite elliptique. Le diamètre angulaire de la Lune est alors plus petit que celui du Soleil et donc la Lune ne peut le cacher totalement; il reste un anneau de lumière autour de l'ombre de la Lune.

L'éclipse de Lune

Le phénomène inverse, l'éclipse lunaire, se produit généralement un demi cycle avant et/ou après une éclipse solaire. Durant la phase de la pleine lune, la Lune est exactement opposée au Soleil par rapport à la Terre, et se trouve dans le cône d'ombre de celle-ci. La [Figure 9.4](#) présente cette configuration.

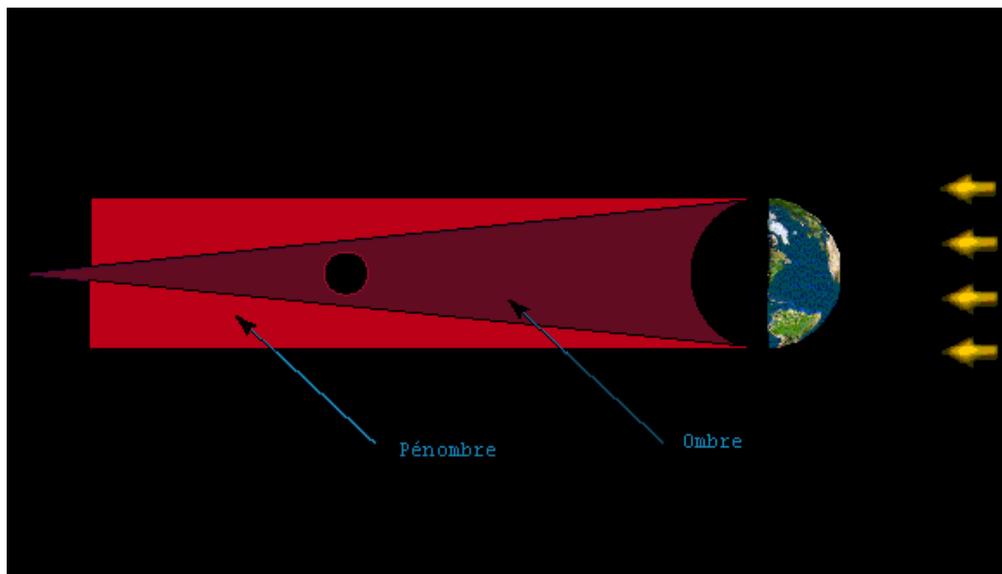


Figure 9.4: Éclipse lunaire totale

Comme on peut le constater, ce type d'éclipse est plus fréquent car le cône d'ombre de la Terre est plus grand. De plus, il est plus facile à observer de n'importe quel point du globe situé du côté de la nuit. Contrairement à la phase de totalité d'une éclipse solaire, au cours d'une éclipse totale de la Lune, cette dernière ne *disparaît* jamais complètement mais devient plutôt de couleur rouge sombre. Cet effet est causé par la présence de l'atmosphère terrestre qui réfracte la lumière rouge du Soleil à l'intérieur du cône d'ombre de la Terre.



Animation 9.4: Éclipse totale de Lune (0.9 Mo)

Les saisons d'éclipses

La **Figure 9.2** suggère que les éclipses de Soleil et de Lune devraient se répéter à toutes les périodes synodiques, lorsqu'il y a une nouvelle lune ou une pleine lune. Evidemment, nous savons que ce n'est pas le cas; les éclipses sont des phénomènes relativement rares. Pour qu'une éclipse ait lieu, il faut que la Lune soit *exactement entre* la Terre et le Soleil, ou *exactement derrière* la Terre par rapport au Soleil. Cette situation ne se produit pas à tous les mois car le plan orbital de la Lune autour de la Terre n'est pas *confondu* avec celui de la Terre autour du Soleil. Comme le démontre la **Figure 9.5**, les deux plans sont inclinés de 5° l'un par rapport à l'autre. L'intersection entre les deux se nomme la **ligne des noeuds**.

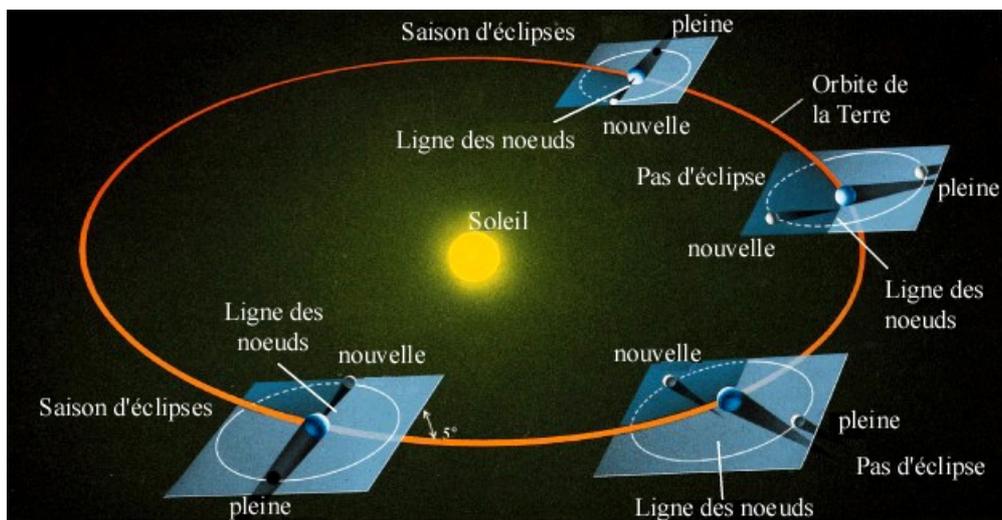


Figure 9.5: Les saisons d'éclipses

Il est donc possible d'avoir une nouvelle lune sans pour autant avoir une éclipse de Soleil, car le cône d'ombre de la Lune passe au dessus de la Terre (ou en dessous 6 mois plus tard). Il en va de même pour la pleine lune alors que l'ombre de la Terre passe au dessus de la Lune (ou en dessous 6 mois plus tard). C'est seulement lorsque les trois astres (Soleil, Terre et Lune) sont dans le prolongement de la ligne des noeuds qu'il se produit une éclipse solaire à la nouvelle lune, et une éclipse lunaire à la pleine lune. Cette situation se produit deux fois par année, c'est la **saison des éclipses**.

Le plan orbital lunaire subit un lent mouvement de précession semblable à celui de l'axe de rotation de la Terre. La période de ce cycle, le **Saros**, dure 18.6 ans. Ce mouvement entraîne un changement de l'orientation de la ligne des noeuds. Les deux saisons d'éclipses ne se répètent donc pas à la même période de l'année au fil des ans, mais *avancent* d'environ 20 jours annuellement.

Pour en savoir plus:

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>

Les marées

Tous les habitants des régions côtières sont familiers avec le cycle régulier des marées. Généralement, on observe deux marées hautes et deux marées basses quotidiennes dont la hauteur varie en fonction de la période de l'année et de l'emplacement à la surface de la Terre. Les marées suivent des cycles quotidien, mensuel et annuel qui trahissent l'origine astronomique de ce phénomène. Les marées sont le résultat direct de l'influence gravitationnelle de la Lune et du Soleil sur les océans de notre planète.

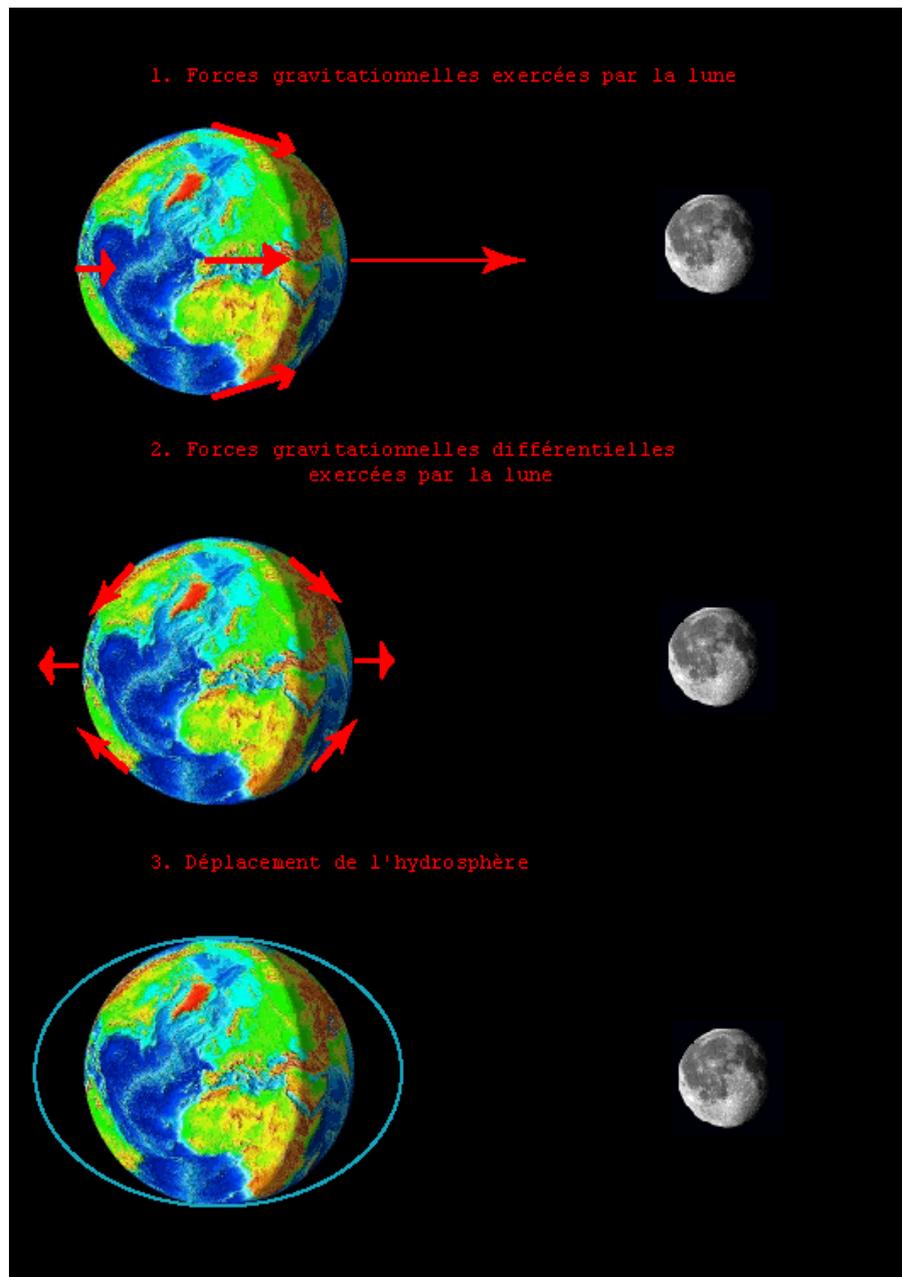


Figure 9.6: Le phénomène des marées lunaires

Pour comprendre ce phénomène, examinons une situation simple où seule la Terre et la Lune interagissent et où la surface terrestre est uniformément recouverte d'eau. La partie supérieure de la **Figure 9.6** illustre la grandeur et la direction de la force gravitationnelle exercée par la Lune en divers points de la Terre. Comme nous l'avons vu précédemment, la force gravitationnelle dépend de la distance entre les deux masses. La région de la Terre faisant face à la Lune subit donc un déplacement plus grand que son centre et sa surface opposée, car elle est située plus près de la Lune (ceci est représenté par la longueur des flèches). Si on élimine la force *moyenne* provoquée au centre de la Terre, on obtient alors la grandeur et la direction de la **force gravitationnelle différentielle** que la Lune exerce sur la Terre (partie centrale de la **Figure 9.6**). La croûte terrestre est assez rigide et ne se déforme presque pas sous l'action de ces forces différentielles, par contre les océans peuvent se déplacer et suivre la direction imposée par celles-ci. On observe donc un déplacement net de l'hydrosphère *vers et à l'opposé* de la Lune comme le montre la partie inférieure de la **Figure 9.6**.

L'alternance des marées hautes et basses quotidiennes est causée par la rotation de

la Terre sur elle-même. Chaque marée haute est suivie d'une marée basse environ six heures plus tard. Ce n'est pas exactement six heures car il faut aussi tenir compte du fait que la Lune tourne autour de la Terre avec une période de 27.3 jours. La hauteur des marées varie aussi à cause de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre comme le montre la **Figure 9.7**.

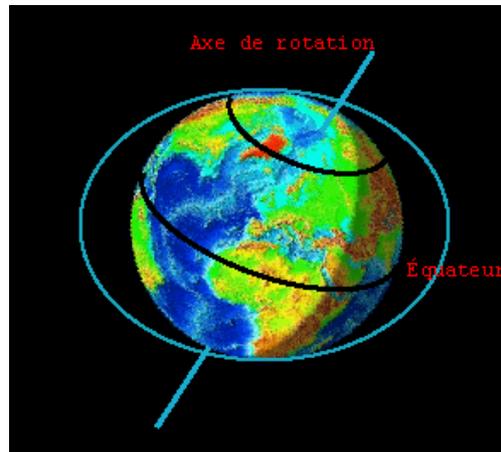


Figure 9.7: Les marées et l'inclinaison de l'axe de rotation

Le Soleil exerce évidemment une force gravitationnelle sur la Terre. Celle-ci est environ 150 fois plus importante que celle de la Lune, puisque le Soleil est beaucoup plus massif que notre satellite. Par contre la force gravitationnelle *différentielle* est plus faible et correspond à environ la moitié de celle de la Lune. En fait, la force différentielle est inversement proportionnelle au cube de la distance ($\propto 1/d^3$) plutôt qu'au carré dans le cas de la force gravitationnelle ($\propto 1/d^2$). La Lune est beaucoup plus près et donc son influence domine le phénomène des marées. Néanmoins, le Soleil joue un rôle et il augmente ou diminue l'amplitude des marées que l'on observe. La **Figure 9.8** montre que l'action de la Lune et du Soleil s'additionnent lors de la nouvelle lune et de la pleine lune pour produire des marées plus fortes qu'on appelle **marées de vives eaux**. A l'opposé, lors du premier et du dernier quartier, les deux forces différentielles sont en quadrature et les marées sont plus faibles; elles se nomment **marées de mortes eaux**.

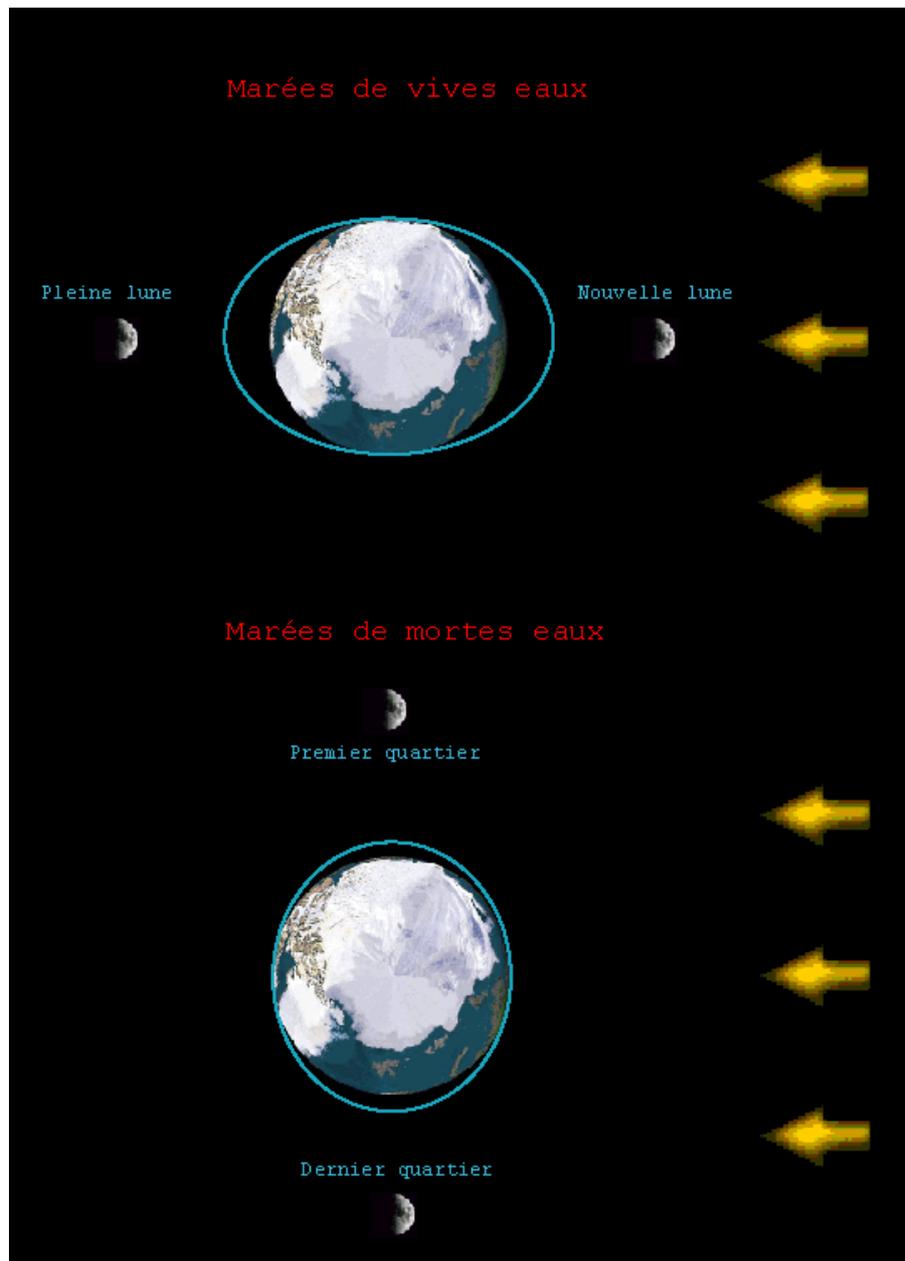


Figure 9.8: Les marées de vives eaux et de mortes eaux

Le mouvement de va-et-vient des marées sur les côtes et sur les fonds marins provoque une friction qui freine la rotation de la Terre sur elle-même. Cet effet est subtil et correspond à un ralentissement de 0.0016 seconde par siècle. La période de rotation de la Terre était donc plus courte dans le passé. L'analyse de la structure de coraux fossiles nous indique que cette période n'était que de 22 heures il y a environ 500 millions d'années, et que l'année comptait alors près de 400 jours.

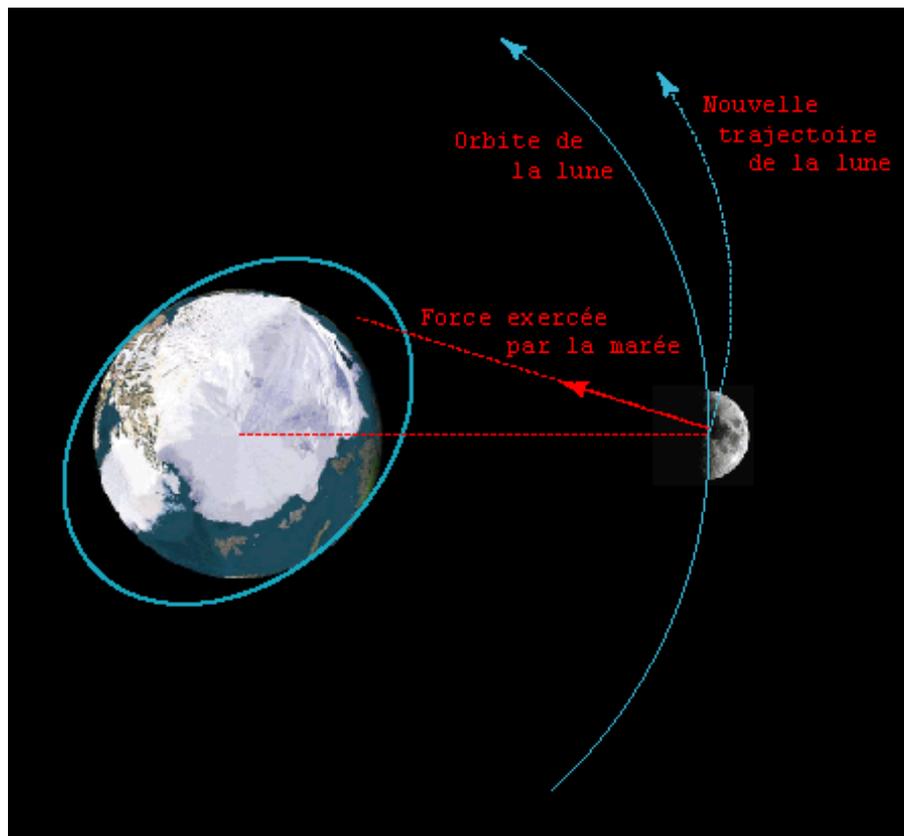


Figure 9.9: La synchronisation de la Terre et de la Lune

La contrepartie de cet effet est que la Lune s'éloigne graduellement de la Terre et met donc plus de temps pour en faire le tour. La **Figure 9.9** montre que le *renflement d'eau* n'est pas tout à fait aligné avec la direction de la Lune parce que la Terre tourne plus rapidement sur elle-même que la Lune autour d'elle. Le moment cinétique de la Lune augmente tandis que celui de la Terre diminue. Si on néglige la durée de vie du Soleil, (notre Soleil va demeurer semblable à ce qu'il est présentement pour encore 4 à 5 milliards d'années, à ce moment il va gonfler et devenir une géante rouge et les océans seront vaporisés. Il n'y aura plus de marées, donc plus de friction), on estime que dans environ 50 milliards d'années la Lune serait située à 550 000 km de la Terre et mettrait 47 jours pour effectuer une révolution complète autour de nous; sa période de rotation tout comme celle de la Terre serait aussi de 47 jours. Les deux objets seraient alors parfaitement *synchronisés* et se présenteraient mutuellement toujours la même face!