

FORMATION DES PERSONNES-RESSOURCES EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE

LE CYCLE DU JOUR ET DE LA NUIT (CYCLE DIURNE)

Pierre Chastenay
astronome
Planétarium de Montréal



Source : nia.ecsu.edu/onr/ocean/teampages/rs/daynight.jpg

DOCUMENT DE TRAVAIL

© 2004 — Planétarium de Montréal. Tous droits réservés.

Le cycle du jour et de la nuit

Q uoi de plus naturel que de voir le Soleil se lever le matin à l'est et se coucher à l'ouest le soir venu? L'ensemble de la voûte céleste - incluant la Lune, les planètes et les étoiles - semble participer à ce vaste mouvement de rotation au-dessus de nos têtes. Mais est-ce bien le ciel qui tourne? Ne serait-ce pas plutôt nous qui, entraînés par la rotation de notre planète sur elle-même, voyageons « sous » le ciel?

Nos lointains ancêtres étaient convaincus que la Terre était fixe et immuable au centre du monde et que c'était bel et bien le ciel au complet qui tournait en 24 heures au-dessus de nos têtes. En effet, si la Terre tournait, ils auraient dû pouvoir mesurer les effets de ce mouvement, comme un voyageur sent que c'est lui qui se déplace, et non le décor qui défile à côté de lui.

Cette cosmologie géocentrique a dominé la pensée humaine depuis l'aube de l'humanité jusqu'au milieu du XVI^e siècle, alors que la théorie héliocentrique de Copernic commença à faire de plus en plus d'adeptes. Pour Copernic, la Terre tournait sur elle-même en 24 heures et autour du Soleil en un an. Mais alors même que ce nouveau système du monde triomphait et permettait d'expliquer de façon plus précise les observations astronomiques, il manquait une confirmation expérimentale de la rotation de notre planète.

La première de ces confirmations survint vers le milieu du XVIII^e siècle par la mesure de l'aplatissement de la Terre. En effet, la Terre n'est pas parfaitement rigide (le manteau et le noyau sont partiellement fondus), si bien que le mouvement de rotation sur elle-même doit faire en sorte que son diamètre équatorial soit supérieur à son diamètre mesuré au niveau des pôles (ce que l'on appelle le diamètre polaire). En d'autres termes, la Terre devrait être aplatie aux pôles et renflée à l'équateur. Pour mesurer l'aplatissement du globe, des expéditions d'astronomes et d'arpenteurs se rendirent en Laponie et au Pérou vers 1735 dans le but de mesurer la longueur en kilomètre d'un degré d'arc de méridien à ces deux latitudes. Si la Terre était effectivement aplatie, l'arc de méridien mesuré en Laponie devrait être plus long que celui mesuré à l'équateur. Après de nombreuses péripéties, les scientifiques purent confirmer que le globe terrestre était effectivement aplati aux pôles et renflé à l'équateur, conséquence directe de la rotation de notre planète.

Nous devons la seconde confirmation de la rotation de la Terre au génie de l'astronome français Jean Bernard Léon Foucault, l'inventeur du célèbre pendule de Foucault. L'idée de base est simple : lorsqu'un pendule oscille, la seule force qui agit sur lui est la force gravitationnelle qui l'attire

vers le centre de la Terre. Par conséquent, si l'on lance un pendule pour qu'il oscille selon une direction nord-sud et qu'on le laisse osciller pendant quelques heures, son plan d'oscillation devrait demeurer fixe. Or l'expérience prouve le contraire.



Le pendule de Foucault

Source : www.culture.gouv.fr/culture/actualites/celebrations2001/images/foucault.jpg

Pour le démontrer, Foucault suspendit une masse de 27 kg à un fil de 67 m de long accroché au sommet de la coupole du Panthéon de Paris en 1851. Il constata que le plan d'oscillation dérivait lentement et complétait un tour en 31 h 57 m. La seule explication possible : la Terre tourne « sous » le pendule, dont le plan d'oscillation est fixe par rapport aux étoiles lointaines. Pour un pendule situé aux pôles Nord ou Sud, la période de rotation du plan d'oscillation est égale à la durée du jour sidéral (23 h 56 m). À une latitude Z , la période de rotation est donnée par la formule :

$$P = (23 \text{ h } 56 \text{ m}) / \sin Z .$$

À Montréal (latitude 45,5 degrés), la période est 33 h 34 m. À l'équateur, la période de rotation du plan du pendule est infinie. Un pendule mis en mouvement selon un axe Nord-Sud continuera à osciller dans ce plan jusqu'à ce que l'oscillation soit complètement amortie. En effet, un pendule à l'équateur ne subit plus une rotation, mais une translation dans l'espace.

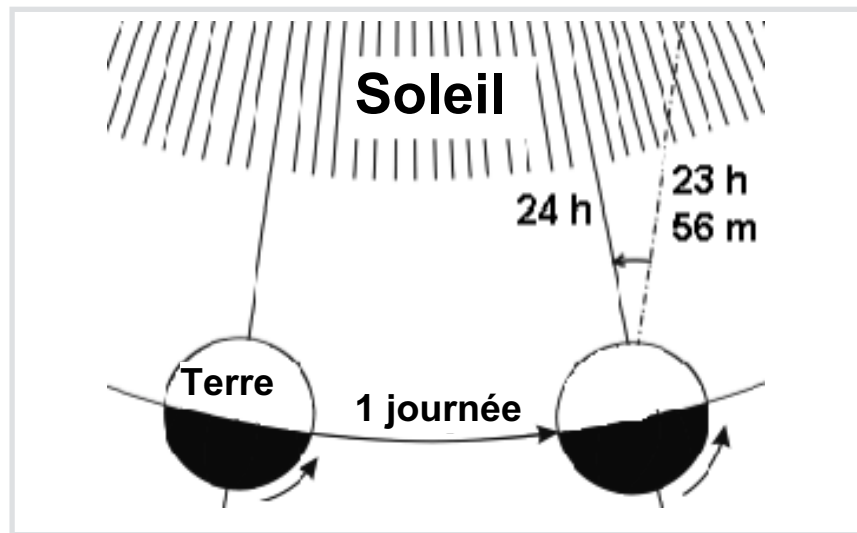
Reste à répondre à l'objection soulevée par les anciens : si la Terre tourne et bouge, pourquoi ne ressentons-nous pas son mouvement? Simplement parce que tout autour de nous tourne et bouge au même rythme, entraîné par les mouvements de notre planète. Sans point de repère fixe extérieur à la Terre, impossible de savoir si nous bougeons ou si nous sommes au repos. La situation est similaire à celle d'un passager confortablement installé dans son fauteuil à bord d'un avion de ligne qui traverse un ciel sans nuage. Tout ce qui se trouve à bord de l'avion voyage à la même vitesse ; difficile de savoir si l'avion bouge, même si l'on sait qu'il vole à près de 1 000 km/h!

Jour solaire versus jour sidéral

L'intervalle de temps mesuré entre deux passages successifs du Soleil au-dessus du méridien d'un lieu quelconque sert à définir la durée du jour que nous divisons depuis l'apogée de la civilisation égyptienne en 24 périodes d'égale longueur (les heures). C'est ce que nous appelons le jour solaire. Mais si l'on mesure l'intervalle entre deux passages successifs d'une même étoile au-dessus du méridien du même lieu, on mesurera non plus 24 h mais plutôt 23 h 56 m, ce qui est le jour sidéral. D'où vient cette différence?

La différence entre le jour solaire et le jour sidéral s'explique par le fait que, pendant qu'elle effectue une rotation sur elle-même, la Terre avance sur son orbite autour du Soleil. En une journée, la Terre avance d'environ $1/365$ d'orbite, soit un peu moins de 1 degré. C'est une distance relativement courte, mais suffisante pour expliquer la différence entre jour solaire et jour sidéral.

Jour sidéral et jour solaire



Source : Centre de développement pédagogique

Imaginons un bâton planté verticalement dans le sol et attendons que le Soleil passe au méridien de ce lieu. L'ombre du bâton sera alors la plus courte de la journée, moment que nous définissons comme midi. Imaginons qu'au même moment, le même bâton pointe vers une étoile lointaine et fixe. Il faudra à la Terre 23 h 56 m pour que le bâton pointe à nouveau vers cette étoile lointaine. Mais puisque la Terre a avancé sur son orbite durant cet intervalle, l'ombre du bâton à ce moment précis ne sera pas la plus courte. Il faudra que la Terre tourne pendant 4 minutes de plus pour qu'il soit à nouveau midi. Un phénomène similaire explique la différence entre le mois sidéral et le mois synodique (voir le document intitulé « Les phases de la Lune »).

Marées et augmentation de la période de la rotation de la Terre

Grâce aux horloges atomiques extrêmement précises, les scientifiques ont mis en évidence le fait que la durée du jour terrestre augmente d'environ une seconde en 50 000 ans. Qu'est-ce qui ralentit ainsi notre planète? Ce sont les marées que la Lune soulève dans les océans de la Terre.

Les marées océaniques sont le résultat de la différence entre la force d'attraction gravitationnelle que la Lune - et, dans une moindre mesure, le Soleil - exercent sur les océans d'une part et sur la Terre dans son ensemble d'autre part. En réponse à cette force différentielle, les océans et la Terre se déplacent légèrement en direction de la Lune. Le déplacement est bien sûr plus important pour les océans, du fait qu'ils n'ont pas la rigidité de la croûte terrestre. L'intensité de la force de marée provoquée par la Lune diminue rapidement en fonction du cube de la distance ($1/d^3$) qui nous sépare de notre satellite. Si on double la distance, la force de marée sera huit fois moins grande; si on triple la distance, la force sera vingt-sept fois moins grande! Une force moins grande provoquera bien sûr un déplacement moins important.

Marée basse et marée haute dans la baie de Fundy (Nouvelle-Écosse)

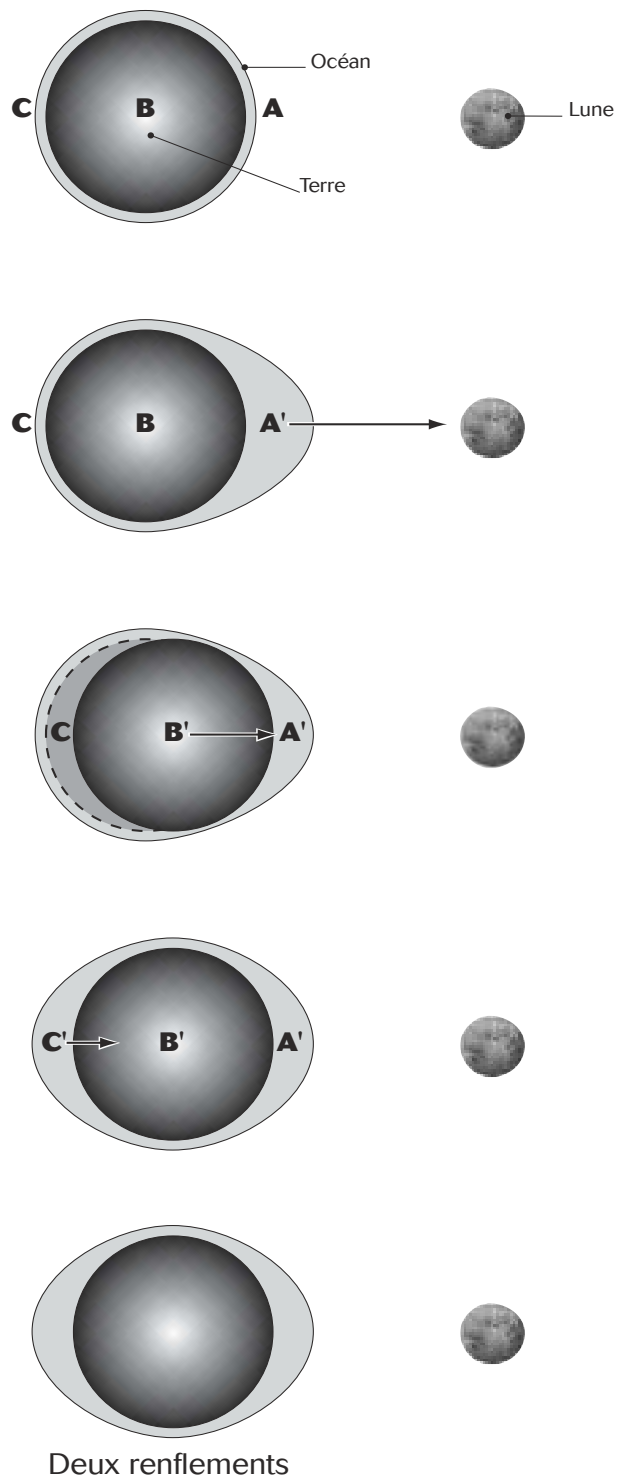


Source : Planétarium de Montréal

Ainsi, les océans situés directement sous la Lune et qui sont donc plus proches de notre satellite (en **A** dans la figure ci-contre) subissent une attraction plus grande que la Terre située plus loin (**B**), et donc se déplacent vers la Lune plus que la Terre située sous les océans. C'est ce qui provoque le renflement océanique (marée haute) du côté de la Lune. De la même manière, la Terre dans son ensemble (**B**) subit une attraction plus grande que les masses océaniques situées du côté opposé à la Lune (**C**). La Terre se déplace donc vers la Lune, plus que ces océans situés plus loin. En d'autres termes, la Terre se « dérobe » sous l'océan situé du côté opposé à la Lune. C'est ce qui provoque le second renflement océanique du côté opposé à la Lune.

Lorsque ces renflements océaniques s'approchent du littoral, ils se soulèvent de plusieurs mètres. Ce sont alors de véritables murs d'eau qui viennent frapper les côtes. Ces collisions quotidiennes constituent un frein important qui, à la longue, finit par ralentir la vitesse de rotation de la Terre. L'énergie ainsi perdue par la Terre est transférée à la Lune, qui s'éloigne de nous à raison d'environ 5 centimètres par an. Les astronomes l'ont mesuré très précisément après que les astronautes de la mission Apollo 12 eurent déposé des réflecteurs laser sur la surface de notre satellite, en novembre 1969. Les scientifiques ont d'abord mesuré précisément le temps que prenait un faisceau de lumière pour faire l'aller-retour entre la Terre et la Lune. En divisant ensuite le temps de vol par la vitesse de la lumière, ils ont pu calculer la distance qui nous sépare de notre satellite. En comparant des mesures effectuées à quelques années d'intervalle, ils ont constaté que la Lune s'éloigne bel et bien de la Terre.

Le mécanisme des marées



Source : Planétarium de Montréal

Tandis que la Lune s'éloigne, la rotation de la Terre ralentit donc d'une seconde en 50 000 ans. C'est peu, mais cela signifie qu'au moment de sa formation, il y a 4,5 milliards d'années, la Terre faisait un tour sur elle-même en 6 heures au lieu de 24. Le fait est d'ailleurs attesté par les anneaux de croissance de certains mollusques fossiles qui témoignent que la durée du jour était beaucoup plus courte il y a 3 milliards d'années qu'elle ne l'est aujourd'hui.

Le fait que la Lune s'éloigne signifie également que dans le passé, elle était beaucoup plus proche de la Terre. Au moment de sa formation, la Lune était probablement située à peine à 24 000 kilomètres du centre de la Terre, contre 385 000 kilomètres aujourd'hui.

Où tout cela nous mène-t-il? Eh bien, un jour viendra dans quelques milliards d'années où la durée du jour terrestre sera égale à la durée du mois lunaire soit l'équivalent d'environ 40 de nos jours actuels. La Lune, dont le diamètre apparent sera beaucoup plus petit qu'il ne l'est aujourd'hui, sera stationnaire dans le ciel de la Terre, toujours située au-dessous du même point de notre planète. Les marées lunaires cesseront de soulever les océans, et les splendides éclipses totales de Soleil (voir le document intitulé « Les éclipses de Lune et de Soleil ») ne seront plus qu'un grandiose souvenir d'un lointain passé. Mais cette situation sera temporaire : l'influence gravitationnelle du Soleil sur le système Terre-Lune provoquera dès lors la lente contraction de l'orbite lunaire et un rapprochement de la Terre et de son satellite.

La durée du jour sur la Lune et sur d'autres planètes

Pour un astre donné, la durée du « jour » est toujours définie de la même façon : il s'agit de l'intervalle entre deux passages successifs d'une étoile au méridien du lieu où se situe l'observateur. Dans le cas de la Lune, le jour lunaire dure 27 j 7 h 43 m 11,4 s. Or, il s'avère que cette période de rotation est très exactement égale à la période de révolution de la Lune autour de la Terre. Puisque les deux mouvements se font dans le même sens, il en résulte que la Lune tourne toujours la même face vers la Terre.

La période de rotation sidérale des planètes varie grandement de l'une à l'autre. La planète Mars, par exemple, fait un tour sur elle-même en 24 h 38 m, soit à peine plus que la Terre. Les géantes gazeuses ont des périodes de rotation très courtes : 9 h 51 m pour Jupiter, 10 h 49 m pour Saturne, 17 h 15 m pour Uranus et 16 h 07 m pour Neptune. Cette rotation rapide des géantes gazeuses s'accompagne d'un fort aplatissement au niveau des pôles; dans ce domaine, la palme revient à Saturne avec un aplatissement de 9,8 % (l'aplatissement de la Terre est de 0,34 %).

Contrairement aux géantes, les périodes de rotation des planètes solides (à l'exclusion de la

Terre et de Mars) sont très longues. Mercure fait un tour sur elle-même en 56 j 15 h 30 m, Vénus en 243 j 28 m. Pluton, enfin, fait un tour complet sur elle-même en 6 j 09 h 18 m.

Le Soleil est un cas à part, puisque sa période de rotation varie en fonction de la latitude : 25 jours au niveau de l'équateur et 35 jours au niveau des pôles. Ce phénomène, que l'on nomme rotation différentielle, s'explique par le fait que le Soleil n'est pas une sphère solide, mais une immense boule de gaz. Un phénomène similaire se produit également, dans une moindre mesure, sur les planètes gazeuses.