

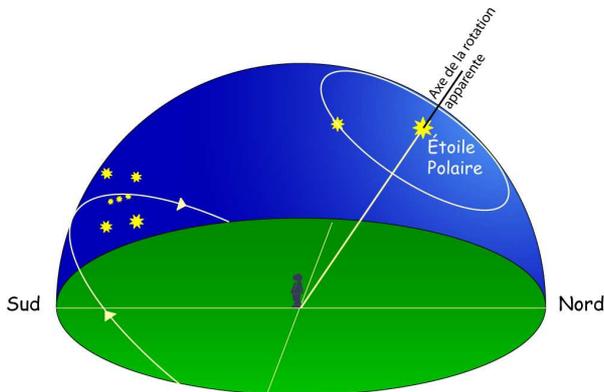
Notions de base et repères historiques

Pierre Causeret, Esbarres

Sur la rotation de la Terre

Le mouvement apparent du ciel

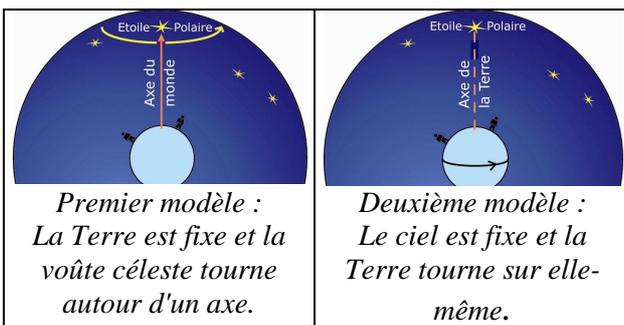
Au cours de la journée, on voit le Soleil se lever et se coucher. Au cours de la nuit, on voit les étoiles se déplacer et l'ensemble de la voûte céleste tourner autour d'un axe passant à proximité de l'étoile Polaire avec une période de 23 h 56 min. C'est ce qu'on appelle le mouvement apparent du ciel.



Le mouvement apparent des étoiles

Modèles explicatifs

A l'époque grecque, on pensait que c'était le ciel qui tournait autour de la Terre. Actuellement, on dit que c'est la Terre qui tourne sur elle-même.



Les deux modèles sont strictement équivalents. Tout dépend du repère choisi. Alors, y a-t-il un bon et un mauvais modèle ?

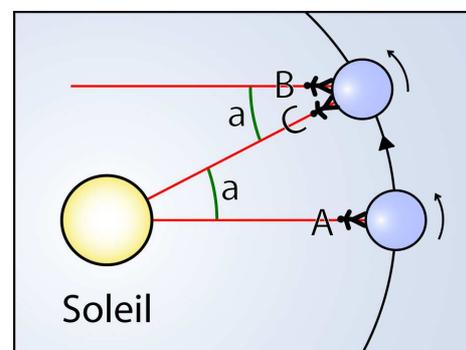
En 1902, Henri Poincaré écrivait dans *"la science et l'hypothèse"* : L'espace absolu n'a aucune existence objective. Dès lors, cette affirmation : "la Terre tourne" n'a aucun sens (...) ou plutôt ces deux propositions "la Terre tourne" et "il est plus commode de supposer que la Terre tourne" ont un seul et même sens".

Si l'on considère que la Terre est fixe, les étoiles tournent autour de la Terre à des vitesses dépassant la vitesse de la lumière. Il devient alors difficile de faire de la physique. Il est donc plus commode de dire que c'est la Terre qui tourne sur elle-même. Certains repères sont plus pratiques que d'autres si on veut que le monde soit compréhensible. Mais, en toute rigueur, il n'est pas faux de dire que le Soleil tourne autour de la Terre. C'est vrai dans un repère lié à ma maison, mon environnement, mon horizon.

Ce n'est pas un problème simple et il faut être prudent quand on en parle à nos élèves. Mais il me semble important de leur montrer qu'il y a deux modèles et que l'on choisit celui qui est le plus pratique.

Périodes de rotation

La période sidérale de rotation de la Terre (mesurée par rapport aux étoiles) est de 23 h 56 min 4 s. La durée du jour solaire moyen est de 24 h. La différence vient du fait que, pendant que la Terre tourne sur elle-même, elle se déplace aussi autour du Soleil.

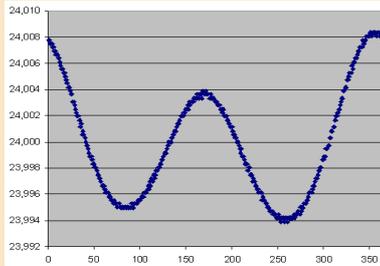


Pour le personnage en A, il est midi au Soleil. Après 23 h 56 min 4 s, la Terre a effectué un tour sur elle-même mais elle a aussi avancé sur son orbite. Le personnage se retrouve en B mais pour lui il n'est encore pas midi. Il faut environ 4 min pour qu'il se retrouve en C, à midi solaire.

La période sidérale est stable, du moins sur une année. Par contre la durée du jour solaire varie au cours de l'année entre 23 h 59 min 39 s et 24 h 0 min 30 s. En effet, l'écart d'environ 4 minutes n'est pas constant, il dépend de la vitesse de la Terre sur son orbite et de la position du plan de l'équateur (voir encadré). Cette variation est à l'origine de ce qu'on appelle l'équation du temps.

La durée du jour solaire

On définit le jour solaire comme l'intervalle de temps compris entre deux midis solaires consécutifs, le midi solaire vrai étant l'instant du passage du centre du Soleil dans le plan du méridien. L'institut de mécanique céleste donne l'heure TU de passage du Soleil au méridien. Par une simple soustraction, on obtient la durée du jour solaire vrai. Pour 2009, on trouve le minimum le 15 septembre (jour solaire de 23 h 59 min 38 s) et le maximum le 25 décembre 2009 (24 h 0 min 30 s).



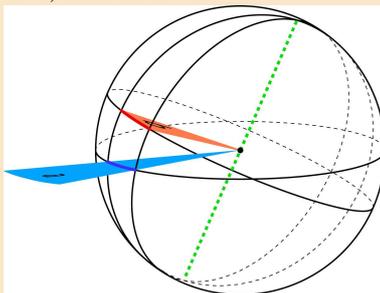
Durée du jour solaire en 2009

D'où viennent ces variations ?

Tout d'abord, l'angle **a** (du dernier schéma de la page précédente) dépend de la vitesse de la Terre sur son orbite. Or celle-ci varie de 29,3 km/s à l'aphélie début juillet à 30,3 km/s au périhélie début janvier. Quand la Terre va plus vite, l'angle **a** est plus grand et il faudra plus de temps pour que le personnage passe de B à C.

Deuxième raison, quand la Terre tourne sur elle-même autour de son axe, l'angle de rotation que l'on notera **b** se mesure dans le plan de l'équateur alors que l'angle **a** est dans le plan de l'écliptique.

La figure ci-dessous montre qu'au solstice d'hiver, **b** > **a**. L'angle dont doit tourner la Terre est plus grand que l'angle **a**, ce qui contribue encore à allonger les jours solaires de décembre et janvier. Aux équinoxes, c'est l'inverse, on trouve **a** > **b**.



Au solstice d'hiver, l'angle rouge **b** dont doit tourner la Terre dans le plan de l'équateur est supérieur à l'angle bleu **a** dans le plan de l'écliptique. C'est la même chose au solstice d'été.

Ces deux variations peuvent s'expliquer aussi en utilisant un soleil moyen se déplaçant à vitesse constante sur l'équateur céleste. Cela revient exactement au même.

L'équation du temps est la somme des écarts entre le jour solaire vrai et le jour solaire moyen de 24 h.

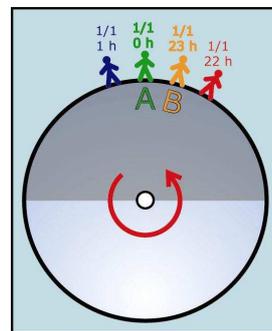
Fuseaux horaires et ligne de changement de date

En 1876, un Canadien (Sir Sandford Fleming) avait proposé de partager la Terre en 24 fuseaux horaires, le méridien de Greenwich servant d'origine et le méridien de changement de date étant situé à l'opposé. Son système finit par être adopté par la plupart des pays avant 1929.

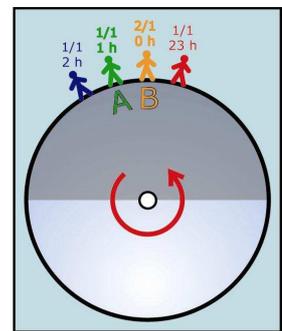
L'heure légale est en général définie comme étant l'heure du fuseau le plus proche (avec parfois une heure d'été et une heure d'hiver). Les pays les plus grands couvrant plusieurs fuseaux, certains comme les États-Unis, la Russie ou l'Australie ont plusieurs heures différentes alors que d'autres comme la Chine ou l'Inde n'ont qu'une seule heure.

La ligne de changement de date n'est pas évidente à concevoir. Pourrait-on s'en passer (en supposant que l'on continue à changer de date à minuit) ?

Imaginons qu'à un moment donné, la date est la même sur toute la Terre, le 1er janvier par exemple. Une heure plus tard, une personne A pour laquelle il était 23 h passe à 0 h et se retrouve donc le lendemain, le 2 janvier. Par contre, une personne B pour laquelle il était 0 h passe à 1 h et reste le 1er janvier.



Ici les quatre personnages sont à la même date, le 1er janvier



Une heure plus tard, seul B a passé minuit et a changé de date

A et B n'ont donc plus la même date. Entre les deux, se trouve donc une ligne de changement de date dont on ne peut se passer. Quand on traverse cette ligne d'est en ouest, on ajoute un jour alors que d'ouest en est, on enlève un jour.

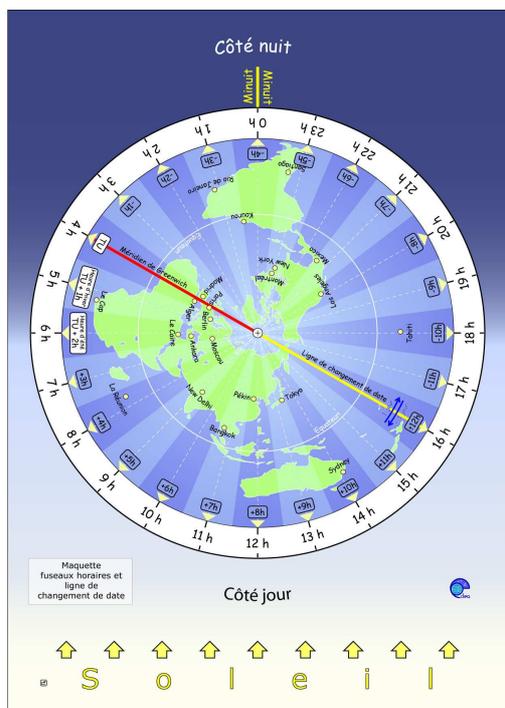
Quelques remarques :

- La ligne de changement de date aurait pu être mise sur n'importe quel méridien. Mais placée ainsi à l'opposé du méridien de Greenwich, elle traverse le Pacifique dans des régions peu habitées ce qui est plus pratique.

- En réalité sur la Terre, il y a une deuxième ligne de changement de date : c'est le méridien minuit, à l'opposé du Soleil. Mais cette ligne est mobile.

- Quand il est 12 h en Temps Universel, il est minuit sur la ligne de changement de date. A ce moment là, tous les habitants de la Terre sont à la même date.
- Les limites des heures légales suivent les frontières et non les méridiens. On peut trouver sur Internet le détail de toutes ces heures (www.theuds.com/fuseau-horaire.php).

Une maquette des fuseaux horaires



Maquette des fuseaux horaires (déjà parue dans le n° de septembre 2008 de la revue Cosinus)

Vous pouvez télécharger et imprimer cette maquette sur le site Internet du CLEA à l'adresse <http://www.ac-nice.fr/clea/SommCC126.html>.

Elle est constituée de deux parties, un disque mobile représentant la Terre du pôle Nord à la latitude de 60° sud et une partie fixe graduée en heure.

Pour l'utiliser, on tourne le disque pour que la flèche choisie (TU, TU+1 pour l'heure d'hiver ou TU+2 pour l'heure d'été) corresponde à l'heure désirée. On peut alors lire l'heure des différents fuseaux. On peut voir aussi de manière très approximative dans quel pays il fait jour et dans quel pays il fait nuit. On pourrait améliorer cette maquette en y ajoutant un transparent sur lequel on aurait tracé les limites jour - nuit à différentes dates.

Repères historiques

Platon (IV^e s av JC) prouve la rotondité de la Terre en avançant deux arguments :

- lors d'une éclipse, la forme de l'ombre de la Terre sur la Lune apparaît toujours comme un disque
 - la hauteur des étoiles au-dessus de l'horizon varie avec la latitude.
- Plus tard, Strabon (I^e s av JC) donne un autre argument : quand un bateau s'éloigne, la coque disparaît avant son mât.

Héraclide du Pont, disciple de Platon, propose une Terre en rotation sur elle-même au centre du monde.

Aristote énumère des arguments contre la rotation de la Terre :

- Ce serait un mouvement forcé qui ne peut être éternel.
- Si la Terre tournait d'ouest en est les objets ne tomberaient pas à la verticale (le sol se déplaçant pendant la chute).
- La rotation de la Terre devrait s'accompagner d'un fort vent d'est...

Eratosthène (III^e s av JC) calcule la circonférence terrestre à partir de la hauteur du Soleil et de la distance entre Syène (Assouan) et Alexandrie.

D'autres mesures du rayon de la Terre sont réalisées, par Posidonius à partir de la hauteur de Canopus (I^e s av JC) et plus tard par les astronomes arabes dans le désert de Syrie.

Copernic propose (comme Héraclide du Pont) de supposer que la Terre tourne sur elle-même.

Galilée démonte les arguments d'Aristote contre la rotation de la Terre. Il explique que la Terre peut tourner sans que l'on s'en rende compte. Il croit trouver dans les marées une preuve de ce mouvement mais son argumentation est fautive. Il explique aussi dans son livre, le Dialogue, que le tir d'un canon vers le nord ou le sud doit être dévié vers la droite deux siècles avant Coriolis mais pense que cette déviation est négligeable.

Son seul argument recevable est finalement celui de la simplicité : "...qui voudrait croire que la nature (tous s'accordent à penser qu'elle ne met pas en œuvre beaucoup de moyens quand elle peut se contenter de peu) ait choisi de mouvoir à une vitesse inconcevable un nombre immense de très grands corps, pour produire un résultat auquel suffirait le mouvement modéré d'un seul corps tournant autour de son propre centre ?"

En 1672, Richer s'aperçoit qu'un pendule battant la seconde doit être plus court à Cayenne qu'à Paris. Ce phénomène montre la plus faible pesanteur à l'équateur ; on l'explique par un plus grand éloignement du centre (aplatissement de la Terre)

pour $1/3$ et par l'accélération centrifuge pour les $2/3$ et. Les deux phénomènes, accélération centrifuge et aplatissement proviennent de la rotation de la Terre. Mais à l'époque de Richer, l'explication du phénomène fut beaucoup discutée. Pour certains, il s'agit là de la première preuve mécanique de la rotation de la Terre.

Les expéditions au Pérou et en Laponie (1737) montre que, comme l'avait prévu Newton, la Terre est bien aplatie aux pôles à cause de sa rotation, un degré de méridien étant plus court vers l'équateur que vers les pôles (voir CC n° 98). Un certain Clairaut montrera que la valeur de cet aplatissement dépend non seulement de la vitesse de rotation mais aussi de la répartition des masses. La valeur donnée actuellement est de $1/298$.

En 1790, le mètre est défini comme la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre (le méridien étant ici un cercle complet).

En 1804, des expériences de chute libre dans un puits de mine en Allemagne montrent la déviation vers l'est. En effet, plus un objet est haut, plus sa vitesse linéaire horizontale est importante (il parcourt un cercle plus grand en un jour). La déviation est de 11 mm pour une hauteur de chute de 85 m.

En 1835, Coriolis publie son article "Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps" décrivant sa fameuse force. En conséquence, toute particule en mouvement dans l'hémisphère nord est déviée vers sa droite (vers sa gauche, dans l'hémisphère sud).

En 1851, le célèbre pendule de Foucault montre visuellement la rotation de la Terre. Rappelons que la période de rotation du plan des oscillations à Paris est de 31 h 47 min. Il n'y a qu'aux pôles que la période est de 23 h 56 min et que le plan des oscillations reste fixe par rapport aux étoiles.

Quelques références :

A lire, l'excellent livre de Jacques Gappaillard "Et pourtant elle tourne, le mouvement de la Terre" au Seuil.

A voir aussi le site de l'ENS de Lyon http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM_historique.xml

Voici quelques articles anciens relatifs à la Terre avec leur référence, notée CC pour Cahiers Clairaut suivi du n° de la revue et du n° de la page (comme dans le DVD) et HS pour le hors série suivi du n° et du n° de la fiche.

Articles généraux : CC106-02 (Cours)

Sur le mouvement apparent du ciel (étoiles ou Soleil) : CC095-II, CC090-13, CC088-32, CC058-07, CC009-29, HS01 (relevés d'ombres...), HS09-1

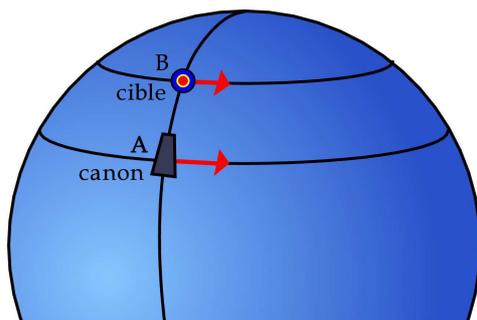
Sur les preuves de la rotation de la Terre CC114-25, CC101-17, CC098-18, CC094-32, CC084-10, CC054-02 (Pendule de Foucault), CC088-11 (Lavabos et Coriolis)

Sur le ralentissement de la Terre : CC020-33

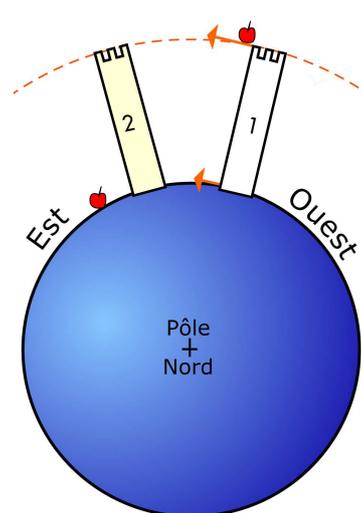
Sur la mesure du rayon de la Terre : CC107-14, CC107-17, CC007-27, CC098-08, CC102-30.

(méthode d'Eratosthène ou méthode proche) CC011-33 (distance de l'horizon).

Sur la forme de la Terre : CC113-25



Déviations d'un tir de canon vers le nord. Le canon est situé sur un parallèle plus long que celui de la cible, il parcourt donc une plus grande distance en 24 heures. Sa vitesse linéaire étant supérieure à celle de la cible, le boulet va arriver à droite de la cible. Galilée avait déjà imaginé cette déviation vers la droite dans l'hémisphère nord (force de Coriolis).



Chute des corps et déviation vers l'est. Le haut de la tour décrit en 24 heures un cercle légèrement plus grand que le bas, sa vitesse linéaire est donc supérieure. Une pomme lâchée du haut d'une tour verticale ne tombe pas exactement au pied mais légèrement à l'est. La déviation est faible mais mesurable.