

La Terre tourne autour du Soleil

Auteurs	: Fabienne Casoli(plus d'infos)
Résumé	: Les saisons, et la mesure de la rotation de la Terre Chapitre issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.
Publication	: 14 Avril 2014
.	.

La Terre tourne autour du Soleil

La ronde des saisons

Non contente de tourner sur elle-même comme une folle toupie, notre Terre tourne autour du Soleil. Heureusement, sinon il n'y aurait pas de saisons. Ce n'est pas la seule raison au phénomène des saisons : il faut aussi que l'axe de rotation soit incliné par rapport à l'écliptique (le plan de l'orbite de la Terre autour du Soleil).

Reprenons l'expérience de la page 25 pour nous en convaincre. Nous en étions restés à l'été. Il est temps maintenant de passer à l'automne : pour cela, la Terre accomplit un quart de tour autour du Soleil, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Mais attention ! Le pôle Nord doit toujours pointer vers... le nord ! Une fois la Terre dans cette position, il est facile de voir en la faisant tourner sur elle-même que les jours et les nuits sont devenus d'égal durée. Quant à notre Mme X du début, elle constate que le Soleil se lève plein est et se couche plein ouest. C'est l'équinoxe d'automne, et partout sur Terre la durée du jour est égale à la durée de la nuit. Au lecteur de trouver ce qui se passe pour l'hiver et le printemps...

Pour aller plus loin dans les conséquences observables du mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil, il nous faut parler des lois de Kepler (Johannes Kepler était un astronome allemand qui vécut de 1571 à 1630). Ces lois, au nombre de trois, décrivent les mouvements des planètes autour du Soleil, mais aussi des satellites artificiels autour de la Terre et des satellites naturels autour des planètes (la Lune autour de la Terre, par exemple).

La première loi de Kepler dit que la trajectoire (l'orbite) de la Terre est une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.

L'orbite terrestre n'est pas une ellipse très aplatie puisqu'elle ne diffère d'un cercle parfait que de quelques pour-cent. Le point le plus éloigné du Soleil s'appelle l'aphélie (le 5 juillet) ; et la Terre est au plus près du Soleil au périhélie, le 3 janvier. S'il fait froid en hiver dans l'hémisphère Nord, ce n'est pas parce que le Soleil est plus loin de nous – il est en fait plus près –, mais parce que ses rayons parviennent plus inclinés sur le sol de la Terre et la chauffent moins efficacement (et moins longtemps, puisque le jour est plus court !). ([Ce sujet sera développé par Jean-Louis Dufresne](#))

Construction d'une ellipse

Les orbites des planètes sont des ellipses dont le Soleil occupe, non pas le centre, mais l'un des deux foyers. On peut visualiser ces deux foyers en construisant une ellipse de la même manière que les jardiniers dessinent des parterres de fleurs. Il faut, pour cela, une feuille de papier, deux pointes, une ficelle qui les encercle et un crayon que l'on fait glisser le long du bord intérieur de la ficelle.

Suivant l'écartement des pointes (les foyers) et la longueur de la ficelle, on obtient un ovale plus ou moins aplati, qui est une ellipse. Quand les deux foyers sont confondus – il n'y a alors qu'une seule pointe –, on dessine un cercle.

Nous n'allons pas énoncer en détail la deuxième loi de Kepler, qui décrit la manière dont varie la vitesse de la Terre sur son orbite elliptique. Il nous suffit de savoir que quand la Terre est au plus près du Soleil (au périhélie, donc), elle va plus vite, alors que quand elle est loin du Soleil, elle va moins vite (sa vitesse moyenne est quand même de 108 000 km/h !). Et nous oublierons pour cette fois la troisième loi de Kepler.

Orbite elliptique, vitesse variable... Tout cela ne devrait nous faire ni chaud ni froid. Et pourtant, les conséquences des lois de Kepler sont aisément visibles. Prenons en exemple la durée des saisons.

Chaque saison occupe un quart exactement de l'orbite terrestre, mais ce quart d'orbite ne va pas être parcouru en un quart d'année exactement. Prenez le calendrier aimablement fourni par votre postier au moment des étrennes : il indique non seulement le jour d'entrée dans chaque saison, mais encore son heure. Combien y a-t-il de jours dans chaque saison ?

Réponse :

- 92 jours 19 heures pour le printemps,
- 93 jours 14 heures pour l'été,
- 89 jours 19 heures pour l'automne,
- et 89 jours pour l'hiver.

L'été est donc la plus longue de toutes les saisons. Normal puisque c'est le moment où la Terre se déplace le plus lentement. Bien sûr, c'est l'inverse dans l'hémisphère Sud, où l'hiver est la plus longue des saisons !

Autre illustration des lois de Kepler : le décalage entre midi solaire et midi TU. Un cadran solaire indique le midi solaire, ou le midi vrai : le moment où le Soleil est le plus haut dans le ciel et exactement dans la direction du sud (pour l'hémisphère Nord...). Nos montres, elles, indiquent le temps civil (le « temps » pour les astronomes, c'est l'heure pour le commun des mortels). On sait qu'il faut enlever une heure en hiver et deux heures en été pour retrouver le temps universel. Même ainsi, il existe un décalage sensible avec le midi solaire. Le lecteur averti répondra que le temps universel est celui de Greenwich, à l'origine des longitudes ; Paris étant à 2° 20' de longitude est, le midi solaire à Paris se produit 9 minutes 20 secondes avant le midi solaire à Greenwich (si un tour complet de la Terre, soit 360°, correspond à 24 heures de décalage, combien valent 2° 20' ?). Ça va dans le bon sens, mais il reste une différence qui peut atteindre dix minutes. Une bonne partie de ce décalage vient du fait que le temps universel est un temps moyen : pour cette échelle de temps, en 24 heures la Terre est censée avoir parcouru toujours la même fraction de son orbite, ce qui n'est pas le cas puisque sa vitesse varie (l'autre raison du décalage entre temps universel et temps solaire est que le temps universel suppose que le Soleil est toujours dans le plan de l'équateur terrestre, ce qui n'est vrai qu'aux équinoxes).

La différence entre l'heure donnée par le cadran solaire et l'heure donnée par nos montres s'appelle équation du temps. Sur certains cadrans solaires, cette correction est donnée par une courbe en forme de 8 asymétrique, graduée en dates : l'analemne.

Les variations du climat

La trajectoire de la Terre autour du Soleil, sa rotation autour de l'axe des pôles : du solide, tout cela ! Pourtant ces deux mouvements de la Terre sont perturbés en permanence par la présence des autres planètes et de la Lune. Résultat : l'orbite de notre planète et son mouvement de rotation varient lentement mais sûrement au fil du temps.

Ces variations sont à l'origine des grandes variations du climat. Nous avons déjà rencontré la précession des équinoxes, ce balancement de l'axe des pôles suivant une échelle de temps de 26 000 ans, qui provoque une lente dérive des saisons.

Prenons par exemple le passage de la Terre au périhélie. Actuellement, il se produit pendant l'hiver de l'hémisphère Nord, c'est-à-dire quand le pôle Nord est dans la nuit perpétuelle. Les hivers de l'hémisphère Nord sont donc relativement doux, car la distance Terre-Soleil est minimale.

Dans 13 000 ans, l'axe des pôles pointerait la direction opposée : les étés de l'hémisphère Nord seront donc plus chauds et les hivers plus froids.

La forme de l'orbite de la Terre varie elle aussi sur des échelles de temps de 100 000 ans : l'ellipse est plus ou moins aplatie. Enfin, l'inclinaison de l'axe des pôles n'est pas toujours de 23° 27', mais change un peu tous les 41 000 ans.

La combinaison de tous ces phénomènes explique en partie les grandes périodes glaciaires qu'a connues notre planète. Imaginons par exemple qu'au moment de l'hiver dans l'hémisphère Nord, la Terre est au plus loin du Soleil, son orbite est très allongée et en plus l'inclinaison est maximale : l'hiver a toutes les chances d'être très froid ! L'hémisphère Nord, qui est celui qui porte le plus de continents, va développer une énorme calotte de glaces, et la Terre va entrer dans une ère glaciaire.

Toutes les planètes du système solaire sont soumises à ces variations climatiques. Dans le cas de la planète Mars, il est possible que les variations d'inclinaison de son axe aient été si grandes qu'à certaines périodes, l'atmosphère de Mars, déjà fort ténue, ait été entièrement gelée ! Les variations climatiques que la Terre a subies n'ont pas atteint une telle ampleur : la présence de la Lune aurait eu, semble-t-il, un effet stabilisant.

Ces modifications de l'orbite terrestre se produisent de façon régulière et prévisible : les astronomes peuvent nous annoncer que la prochaine période glaciaire devrait commencer d'ici 20 000 à 25 000 ans. Un peu trop loin pour qu'on espère compenser ainsi le changement climatique...

Et pourtant, elle tourne !

Les deux systèmes du monde

« Quelles grandes vraisemblances avez-vous pour vous figurer que le Soleil soit immobile, quand nous le voyons marcher ? et que la Terre tourne autour de son centre avec tant de rapidité, quand nous la sentons ferme par-dessous nous ? » dit un des personnages du roman de Cyrano de Bergerac *L'Autre Monde*, ou *Voyage dans les États et Empires de la Lune*, publié en 1657. C'est vrai, rien dans l'expérience quotidienne ne permet de « prouver » que la Terre tourne par rapport aux étoiles et au Soleil, et pas le contraire. Pas étonnant qu'il ait fallu attendre le XVIe siècle pour que le mouvement de la Terre soit sérieusement envisagé.

Laissons Fontenelle, dans ses *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686), nous raconter comment cela s'est passé : « Figurez-vous un Allemand nommé Copernic, qui fait main basse sur tous ces cercles différents, et sur tous ces cieus solides qui avaient été imaginés par l'Antiquité. Il détruit les uns, il met les autres en pièces. Saisi d'une noble fureur d'astronome, il prend la Terre et l'envoie bien loin du centre de l'Univers, où elle s'était placée, et dans ce centre il y met le Soleil, à qui cet honneur était bien mieux dû. Les planètes ne tournent plus autour de la Terre [...]. Tout tourne présentement autour du Soleil, la Terre y tourne elle-même. »

Nous avons donc, au début du XVIIe siècle, deux « systèmes du monde » : l'ancien, géocentrique, légué par l'astronome grec Ptolémée, et le nouveau, héliocentrique, celui de Copernic révisé par Kepler. Comment choisir entre les deux ? Quel est le vrai « système du monde » ? Qu'est-ce qui pourrait, contre les preuves évidentes du mouvement du Soleil que nous voyons tous les jours, nous faire admettre que la Terre tourne, et qu'elle se déplace autour du Soleil, puisque les deux mouvements sont étroitement liés ?

À l'époque de Galilée, il n'y avait aucune raison objective de choisir l'un ou l'autre système. Dans son livre, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (1632), Galilée montre qu'il n'est pas impossible que la Terre bouge, en réfutant un à un les arguments des tenants du système géocentrique. Par exemple, disent ces derniers, si la Terre tournait, une pierre lancée en l'air devrait retomber à l'ouest du point où on l'a lancée, puisque pendant que la pierre était en l'air, la Terre a tourné en dessous. Et cela devrait se remarquer puisque en dix secondes, un point de l'équateur s'est déplacé de presque 5 kilomètres. En effet, en suivant la rotation de la Terre, un point à l'équateur se déplace en 24 heures d'une quantité égale à la circonférence terrestre : 2 × π × 6 378 km. En dix secondes, il se déplace de cette quantité divisée par 24 × 60 × 6. Pour contrer cet argument, Galilée utilise l'analogie avec un bateau en mouvement : une pierre qu'on laisse tomber du haut de son mât tombe au pied du mât, et pas à l'arrière du bateau. Imparable, mais certains ont quand même essayé de vérifier au moyen d'expériences un peu risquées : placer un canon à la verticale, lancer un boulet et vérifier qu'il retombait bien dans

la gueule du canon !

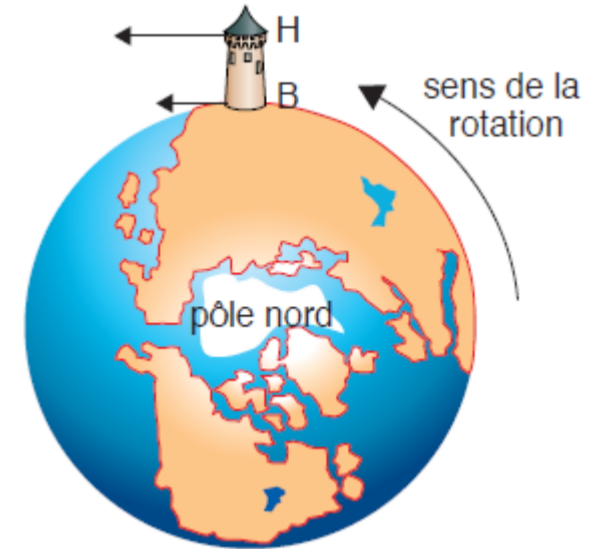
Même Galilée n'a pas pu *prouver* que la Terre tourne, sauf par analogie : on voit des satellites tourner autour de la planète Jupiter, mais cela ne prouve en rien que la Terre fasse de même autour du Soleil. D'ailleurs, Galilée ne disait-il pas lui-même qu'aucune expérience faite à bord d'un bateau dans une cabine fermée ne pourra jamais prouver que c'est bien le bateau qui bouge et pas la mer ?

La physique moderne est d'accord avec lui sur ce point. Dans un référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à un autre référentiel (traduction : si on est dans un repère qui bouge en ligne droite et à vitesse constante par rapport à un autre repère), aucune expérience ne permet de savoir que le référentiel est en mouvement. Tout le monde sera d'accord avec la physique là-dessus : quand je suis dans un train à quai, comment dire si c'est mon train qui part ou bien celui qui est sur la voie d'à côté ?

« Avez-vous vu tourner la Terre ? »

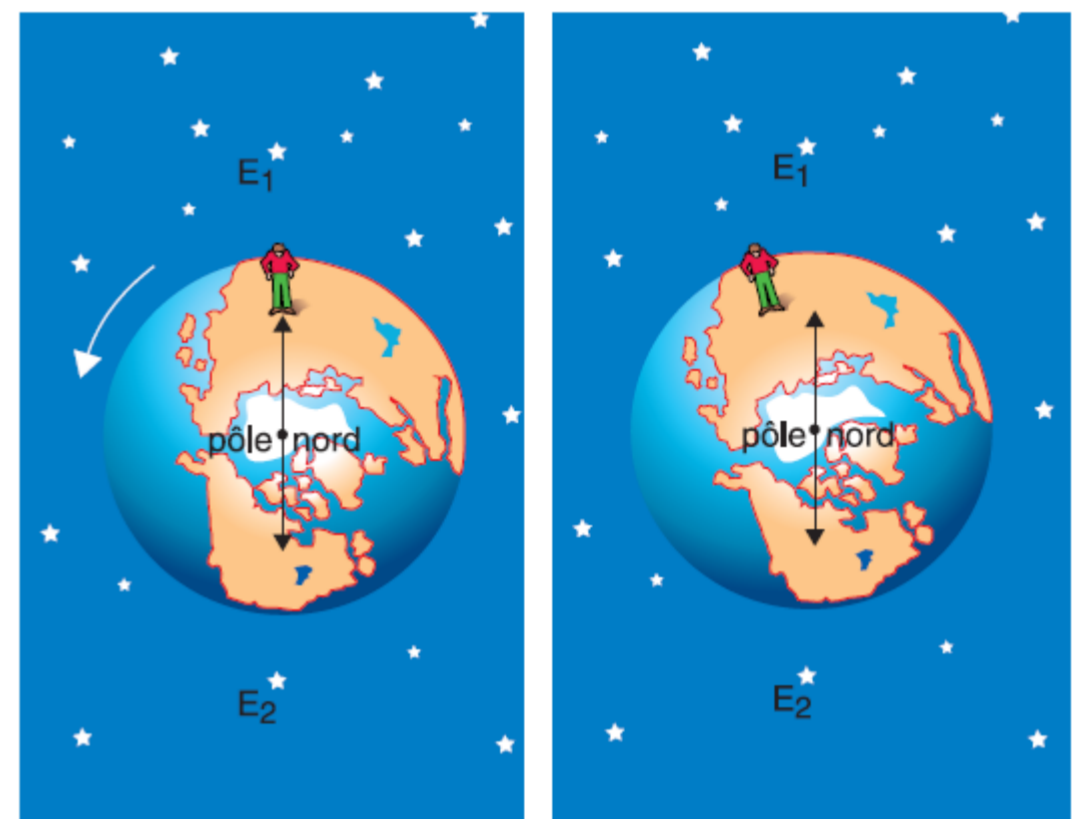
Mais la Terre ne se déplace pas en ligne droite : elle tourne, sur elle-même et autour du Soleil. Cela fait une grande différence. Alors que tous les référentiels en mouvement rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre sont indiscernables, il n'en est pas de même pour les mouvements accélérés en général et le mouvement de rotation en particulier. Il existe bel et bien un certain nombre de conséquences de la rotation de la Terre que l'on peut vérifier expérimentalement. L'une est difficile à vérifier : c'est la déviation vers l'est de la chute libre d'un corps ; l'autre est beaucoup plus spectaculaire : c'est le pendule de Foucault.

Commençons par la déviation de la chute libre des corps. Imaginons, ainsi que le fait Newton, une pierre qui tombe du haut d'une tour. La rotation de la Terre confère au sommet de la tour une vitesse plus grande qu'à son pied, puisque le sommet est plus éloigné du centre de la Terre (cf. la figure ci-dessous). La pierre va donc tomber un peu à l'est du pied de la tour. De combien sera la déviation ? Les calculs ne sont pas simples, et il faut tenir compte de la résistance de l'air, mais c'est très faible : de l'ordre de 4 millimètres pour 30 mètres de chute. L'expérience a été tentée de nombreuses fois sans succès, pour finalement donner des résultats concluants en 1831 avec une hauteur de chute de 158 mètres dans un puits de mine.



Pas très spectaculaire, cet effet de la rotation de la Terre ? Avec le pendule de Foucault, c'est autre chose. Rappelons l'expérience. Sous la coupole du Panthéon à Paris, en 1851, une boule de 28 kilogrammes oscille, suspendue à un câble d'une longueur de 67 mètres. De majestueuses oscillations d'une amplitude de 6 mètres au total et d'une durée de seize secondes. Première oscillation, premier retour du pendule : bizarre, on voit la boule d'acier revenir à plusieurs millimètres à gauche de son point de départ. Deuxième aller et retour, nouveau décalage : à chaque oscillation, le pendule se décale et son plan d'oscillation tourne.

Pour expliquer ces fantaisies, il n'y a que deux possibilités : soit le pendule tourne, soit la Terre tourne. On ne voit pas bien pourquoi le pendule tournerait, et pourquoi ce serait toujours vers la gauche. Il faut donc conclure que c'est la Terre qui tourne et le plan d'oscillation du pendule qui reste fixe. Fixe par rapport à quoi ? À des étoiles lointaines, conclut Foucault. Comment comprendre ce phénomène ? Imaginons que nous suspendions le pendule au pôle Nord. Lançons-le de telle manière que son plan d'oscillation soit le plan qui contient le méridien de Paris. Au bout d'un aller et retour, vu d'une étoile lointaine, le pendule revient à son point de départ, mais la Terre a tourné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Nous qui sommes sur la Terre voyons donc le pendule revenir à gauche de son point de départ. Imaginons pour les besoins de la démonstration qu'une oscillation dure six minutes, soit le dixième d'une heure : pendant ce temps-là, la Terre aura tourné du dixième de 1/24 tour, soit 1,5°, et on verra donc le pendule se décaler d'autant (figure ci-dessus).



Ainsi, un physicien enfermé dans un train qui roule à vitesse constante tous rideaux tirés ne pourra inventer aucune expérience qui lui apprenne qu'il est en mouvement. Mais qu'il suspende une boule au bout d'un long fil, il pourra savoir que son train tourne, même si le mouvement est si lent que son corps ne le sent pas.

Force centrifuge et force de Coriolis

Allons un peu plus loin dans la description des conséquences observables du mouvement de la Terre. Un objet qui se déplace sur notre planète en rotation est soumis aux forces habituelles, pesanteur, frottements, etc., mais aussi à deux forces supplémentaires, la force centrifuge et la force de Coriolis. La force centrifuge a laissé son empreinte dans la forme pas tout à fait sphérique de notre planète. Le rayon équatorial de la Terre est de 6 378 kilomètres, alors que le rayon polaire est de 6 357 kilomètres : cet aplatissement de la Terre aux pôles est un effet de la force centrifuge. Il est beaucoup plus marqué pour les planètes géantes, qui sont gazeuses. Nous pourrions donc, rien qu'en contemplant une photo de la Terre vue de l'espace, nous écrier : « Et pourtant, elle tourne ! »

Autre effet de la force centrifuge : contrairement à ce qu'on croit, un fil à plomb n'indique pas exactement la direction du centre de la Terre. Le poids des corps est un mélange de l'effet de la gravité et de la force centrifuge. À l'équateur, la force centrifuge agit dans la direction opposée à la force de gravité, et les corps sont un tout petit peu plus légers qu'au pôle. Il faudrait que notre planète tourne dix-sept fois plus vite pour qu'à l'équateur les corps n'aient plus aucun poids apparent !

Et la force de Coriolis ? Nous en avons moins l'habitude. Pour en montrer les effets, réalisons une petite expérience avec un tour de potier pour enfants, un disque solidement fixé sur ce dernier et une bille en métal.

Un objet qui se déplace sur un support qui tourne nous semble donc dévier de la trajectoire en ligne directe, vers la droite

si la rotation se fait dans le sens direct, et vers la gauche si elle se fait dans le sens rétrograde. Sur le support Terre, il se passe la même chose. Dans l'hémisphère Nord, nous sommes dans le cas direct : si nous regardons la Terre d'au-dessus du pôle Nord, nous la voyons tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Un boulet de canon semblera donc dévié vers la droite, qu'il ait été tiré du nord vers le sud ou l'inverse. L'effet est de quelques dizaines de mètres pour un tir sur 10 km. Pendant la bataille des îles Falkland (hémisphère Sud) durant la Première Guerre mondiale, les canons anglais, réglés pour corriger la force de Coriolis dans l'hémisphère Nord, ont tiré leurs obus une bonne centaine de mètres à gauche de leur cible !

Étape zéro : accordons-nous sur le vocabulaire. Comme les mathématiciens et les physiciens, nous dirons que quelque chose qui tourne dans le sens des aiguilles d'une montre tourne dans le sens rétrograde ; et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, dans le sens direct.

Étape un : entraînons-nous à lancer la bille d'un côté à l'autre du disque en passant par son centre.

Étape deux : faisons tourner le disque, puis lançons la bille : au lieu d'aller « tout droit », elle se décale vers la droite (sa droite) si le plateau (vu du dessus) tourne dans le sens direct !

Essayons de la lancer depuis l'autre côté du plateau : elle se décale toujours vers sa droite.

Variante : il faut un tour de potier, un grand saladier qui ressemble le plus possible à une demi-sphère, une bille. Sur le saladier, on trace un demi-cercle qui le sépare en deux parties égales. Sans rotation, la bille lancée depuis le bord du saladier descend « tout droit », passe par le centre et remonte. Quand on fait tourner le tour, la bille nous semble dévier de cette trajectoire et partir vers la droite, si le tour tourne dans le sens direct. Précision : la droite est une notion relative, on le sait ! Ici, nous parlons de la droite pour un petit lutin qui serait perché sur la bille et regarderait vers l'avant, dans le sens du mouvement.

Que se passe-t-il pour une rotation dans le sens rétrograde ? La bille semble alors se décaler vers la gauche. (Changer le sens de rotation du tour peut se révéler un peu délicat. On peut alors utiliser un tourne-disque : ceux-ci tournent dans le sens des aiguilles d'une montre.)

Autre effet de la force de Coriolis : le sens d'enroulement des cyclones et des dépressions. Dans ces zones de basse pression, les masses d'air « coulent » tout en étant déviées vers leur droite. Imaginons une dépression dans l'hémisphère Nord. Les vents y arrivent par exemple du nord-ouest, mais comme ils sont systématiquement déviés vers la droite, ils s'enroulent autour de la dépression en forme de spirale, qui tourne dans le sens direct – alors que, dans un anticyclone, les vents tournent dans le sens rétrograde. Tout cela s'inverse dans l'hémisphère Sud...

Et les lavabos, dans quel sens se vident-ils ? Grande question ! On lit parfois que dans l'hémisphère Nord, le petit tourbillon qui se forme quand on vide un lavabo tourne toujours comme une dépression, dans le sens direct, et qu'en Australie, les lavabos se vident dans l'autre sens. Faites donc l'essai (plusieurs essais) pour tester cette affirmation. En théorie, c'est vrai si le lavabo est très grand, mais les expériences très sérieuses qui ont été faites dans les années 1960 ont montré que le sens du tourbillon dépend essentiellement du reste du tourbillon qui s'est formé quand on a rempli le lavabo, et des petites irrégularités de la forme du récipient. Il faut attendre plusieurs heures pour que l'agitation disparaisse totalement et que le tourbillon tourne dans le « bon » sens.

C'est la force de Coriolis qui est responsable de la déviation du pendule de Foucault. Cette affirmation va sembler bizarre au lecteur attentif, qui a remarqué que le pendule revient à gauche de sa position initiale, alors que la force de Coriolis dévie les mouvements vers la droite. Rien de contradictoire à cela, cher lecteur : nous savons bien que la gauche et la droite, comme le mouvement, sont des notions relatives. Quand on le regarde de l'extérieur, le pendule se décale vers la gauche ; mais un lutin installé sur la boule du pendule le verra partir à droite, comme prévu.

Conclusion

Addons

La physique et l'astronomie nous donnent quelques raisons de penser que la Terre tourne bien sur elle-même par rapport aux étoiles, et pas le contraire (pas si « bien » que cela, mais elle tourne quand même). D'un autre côté, des observations astronomiques comme la parallaxe stellaire et l'aberration des étoiles, observations qui datent du XIXe siècle, montrent que la Terre est en mouvement par rapport au Soleil. Tout est-il donc pour le mieux ? Pas tout à fait, car certains esprits forts doutent qu'on puisse en déduire que, dans l'absolu (un mot dont les physiciens se méfient beaucoup), la Terre est en mouvement. Faisons un petit effort d'imagination : si l'Univers tout entier avec ses dizaines de milliards de galaxies tournait autour de la Terre, pourrions-nous être absolument certains que les phénomènes que nous avons décrits plus haut n'existeraient pas ?

Laissons le mot final à Shakespeare, dans Hamlet (1600) :

Doubt thou the stars are fire ;

Doubt that the sun doth move

Doubt truth to be a liar.

(« Doute que les étoiles soient du feu/Doute que le Soleil se meuve/Doute que le vrai soit vrai. »)

Voir Aussi
Aucun résultat

Du même auteur
[29 notions-clefs : les mouvements de la Terre](#)
14/04/09

Commentaires
Aucun commentaire

Source URL: <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/20294/la-terre-tourne-autour-du-soleil>