

Les saisons au cours du temps et sur les autres planètes

Jean Souchay, astronome à l'Observatoire de Paris, département du SYRTE*
 (* SYstème de Référence Temps-Espace)

La Terre n'a pas toujours connu les mêmes saisons qu'à l'heure actuelle à cause des modifications de son orbite et de la variation de son obliquité. Et sur les autres planètes, le phénomène des saisons n'existe pas toujours.

Paramètres orbitaux de la Terre

Comme pour toutes les autres planètes, le mouvement de la Terre autour du Soleil est assimilable à tout moment à une trajectoire elliptique décrite par les fameuses trois lois de Kepler : mouvement elliptique, loi des aires, proportionnalité entre le cube des demi grands axes et le carré des temps de révolution. Néanmoins, à cause des perturbations occasionnées par les autres planètes (en particulier les plus grosses Jupiter et Saturne), les caractéristiques de l'ellipse terrestre sont amenées à changer de manière significative. Ainsi en va-t-il par exemple de l'excentricité de cette ellipse, qui donne directement les variations de distance de la Terre au Soleil pendant l'année (fig.1).

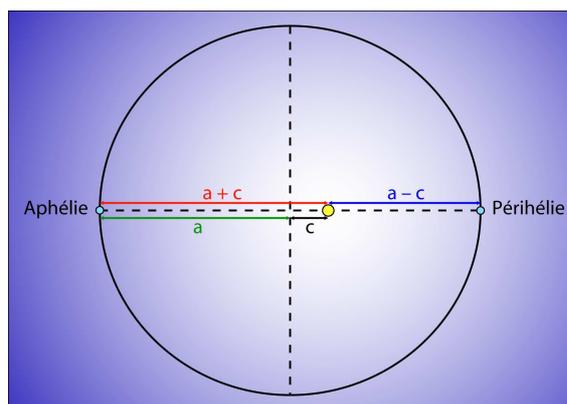


Fig.1. Excentricité d'une orbite planétaire. Le demi grand axe de l'ellipse est noté a et la distance du centre de l'ellipse au Soleil est c . L'excentricité de l'orbite est la quantité c/a . La distance du Soleil à la planète varie de $a - c$ au périhélie à $a + c$ à l'aphélie. La figure est faite pour une excentricité de 0,2 nettement supérieure à l'excentricité de l'orbite terrestre et même à celle de Mars.

Actuellement, l'excentricité de l'orbite terrestre est de 0,0167 : cela signifie que les variations de cette

distance sont de $1,67\% \times 2$ soit $3,34\%$ entre le périhélie (instant où la Terre est la plus proche du Soleil, au début de janvier) et l'aphélie (instant où la Terre est la plus éloignée du Soleil, au début de juillet). Comme le flux solaire est inversement proportionnel au carré de la distance, cela signifie que le flux reçu par la Terre au cours de l'année varie d'environ 7% ($1,0334^2 = 1,068$), ce qui est loin d'être négligeable. Or au moment du périhélie, on est actuellement en plein hiver dans l'hémisphère nord, en plein été dans l'hémisphère sud, et réciproquement au moment de l'aphélie. D'où un contraste a priori plus grand des saisons dans l'hémisphère sud que dans le nord. En fait, des calculs plus poussés montrent que cet effet est en partie contrebalancé par les durées des saisons elles-mêmes. On comprend cependant bien pourquoi l'excentricité peut jouer un rôle important sur l'accentuation plus ou moins grande des effets saisonniers entre les deux hémisphères. Or dans son histoire la Terre a connu de larges variations de son excentricité. Grâce à des calculs appropriés et précis s'étalant sur des millions d'années, les astronomes ont pu montrer que l'excentricité terrestre subit des oscillations entre les valeurs extrêmes de 0 et 0,07, ces oscillations ayant une période caractéristique de l'ordre de 100 000 ans.

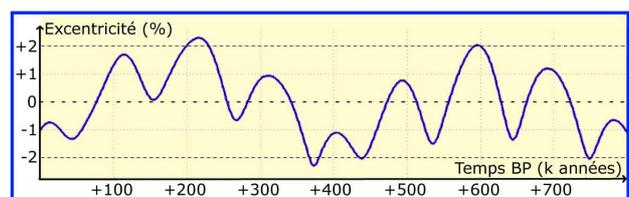


Fig.2. Variations de l'excentricité de l'orbite terrestre. Le temps est noté en kiloannées à partir d'aujourd'hui (Before Present). Le 0 correspond à une excentricité moyenne de 2,7% calculée sur les 800 derniers milliers d'années (schéma Florence Trouillet/INRP).

Un autre paramètre orbital joue lui aussi un rôle sur les variations saisonnières. Il s'agit de la *longitude du périhélie*, autrement dit de l'angle qui permet de localiser le périhélie sur l'orbite et qui en conséquence permet de donner la date de ce périhélie. Or cette date évolue dans le temps. Si elle est du 5 janvier actuellement, elle évoluera progressivement sur une grande échelle de temps, et viendra un jour où elle se situera l'été, transformant ainsi quelque peu les déséquilibres saisonniers entre hémisphères.

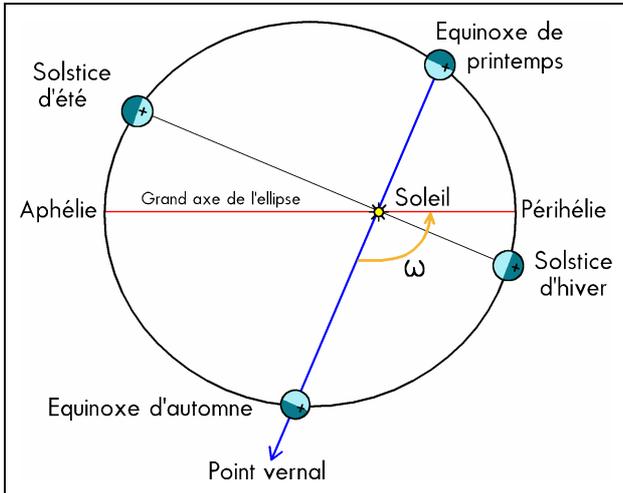


Fig.3. Longitude écliptique du périhélie. L'angle ω passe de 0 à 360° sur une période d'environ 21 500 ans. Il s'agit de la précession climatique, due au déplacement du point vernal d'une part (précession des équinoxes avec une période de 25 800 ans) et au déplacement du périhélie d'autre part.

Variation de l'obliquité

Le paramètre le plus important qui vient à l'esprit lorsqu'on évoque les saisons est évidemment l'*obliquité*, autrement dit l'angle entre l'axe de rotation et l'axe orbital (voir figure page 14). Plus cet angle est grand plus les saisons sont contrastées (plus grandes variations de la durée du jour, de l'insolation... au cours de l'année). Inversement une obliquité de 0° correspondrait à une situation permanente d'équinoxe tout au long de l'année, autrement dit d'égalité des jours et des nuits, donc un contraste saisonnier quasi nul. On peut aussi montrer qu'une obliquité relativement faible provoque les conditions pour entraîner des glaciations, d'où l'effet important sur le climat. Or l'obliquité elle aussi n'est pas destinée à rester figée : elle subit des variations dues aux effets gravitationnels combinés des planètes, de la Lune et du Soleil sur le bourrelet équatorial de la Terre. Des calculs effectués par les astronomes montrent que l'obliquité terrestre varie entre les valeurs extrêmes de 22,1° et 24,5° sur une période de 42 000 ans et qu'actuellement elle est en train de décroître.

Si à l'échelle d'une vie humaine ces variations n'agis-

sent ni sur les modifications caractéristiques des saisons ni sur les modifications climatiques (et on ne peut par conséquent pas leur attribuer le réchauffement climatique actuel), on comprend bien qu'à l'échelle de plusieurs siècles elles commencent à jouer un rôle.

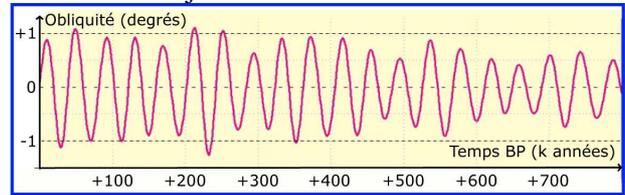


Fig.4. Variations de l'obliquité de la Terre sur les 800 derniers milliers d'années. Le 0 correspond à la valeur moyenne de 23,34° (schéma Florence Trouillet/INRP).

À noter cependant que les variations ci-dessus qui ne dépassent pas 2,5° "pic à pic" sont largement inférieures à celles de Mars, dont l'obliquité varie entre 15° et 35° selon un cycle de l'ordre de 100 000 ans. Certains spécialistes attribuent la relative constance de la valeur de l'obliquité terrestre à l'action stabilisatrice de la Lune. Par sa présence au voisinage de la Terre et sa force gravitationnelle importante, elle empêcherait une trop grande dérive de l'axe de rotation vers des valeurs d'obliquité trop faibles ou élevées.

Les saisons ailleurs

Comme on vient de le voir, les saisons sur la Terre sont essentiellement dues à son obliquité, de l'ordre de 23°, ainsi que pour une raison moindre à son excentricité, directement associée aux variations relatives de distance au Soleil. A juste titre on peut donc se poser la question de l'existence et du contraste des saisons sur les autres planètes. Tout d'abord en ce qui concerne les trois autres planètes telluriques que la nôtre, Mercure, Vénus, Mars, seule cette dernière est caractérisée par des saisons suffisamment marquées.

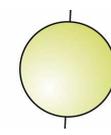
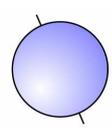
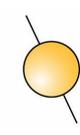
	Mercury	Vénus	Terre	Mars
				
Obliquité	0°	-2,7° ou 177,3°	23,4°	25,2°
Excentricité	0,206	0,007	0,017	0,093

Fig. 5. Obliquité et excentricité des planètes telluriques

En effet *Mercury* a une obliquité quasiment nulle, ce qui signifie qu'elle se trouve en situation d'équinoxe en permanence (égalité des jours et des nuits). Seule sa grande excentricité (0,206) agit, entraînant il est vrai de grandes variations de chauffage solaire. *Vénus* possède une obliquité très

faible, inférieure à 3° , et son orbite est presque circulaire. De plus son atmosphère très dense (la pression au sol est 100 fois supérieure à celle sur Terre), joue comme un régulateur très puissant entre la partie jour et la partie nuit, de telle sorte qu'au bout du compte les variations saisonnières sont pratiquement inexistantes. Mars par contre présente une obliquité de 25° , soit légèrement supérieure à celle de la Terre, et son excentricité est de 0,09, ce qui signifie que sa distance au Soleil peut varier de 18 % entre le périhélie et l'aphélie. En conséquence les saisons sont bien marquées. Notons que leur durée est à peu de choses près de six mois, puisque l'année martienne dure un peu moins de deux ans (687 jours).

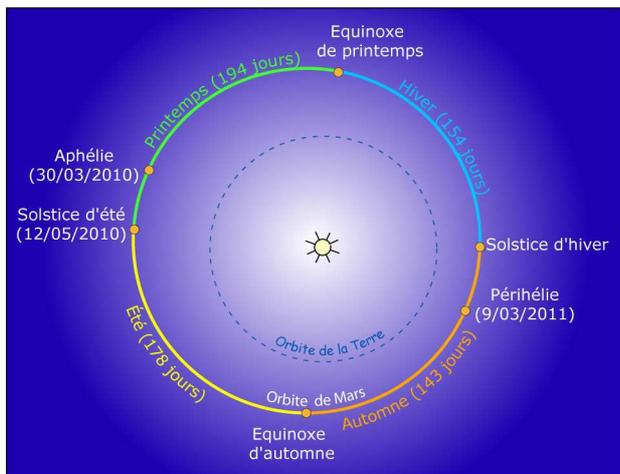


Fig.6. Les saisons sur Mars. Elles sont données ici pour l'hémisphère nord.

Des phénomènes saisonniers apparaissent comme des signes manifestes, à l'image des variations de l'étendue des calottes glaciaires ou les périodes de grandes tempêtes martiennes liées aux mouvements saisonniers des masses atmosphériques.



Fig.7. La calotte polaire nord de Mars à différentes saisons photographiée par le télescope spatial Hubble.

[Copyright : Phil James (Univ. Toledo), Todd Clancy (Space Science Inst., Boulder, CO), Steve Lee (Univ. Colorado), et la NASA]

Chaque image est un montage réalisé à partir de plusieurs photos puisque, depuis la Terre, on ne peut pas voir ainsi la calotte polaire nord. Il n'y a pas d'image faite pendant l'hiver puisque, à ce moment là, elle est dans la nuit totale. La première photo (octobre 1996) correspond au début du printemps. Une partie de l'image devrait être dans la nuit mais le montage permet d'avoir toute la calotte éclairée. Sur la deuxième photo (janvier 1997), c'est le milieu du printemps martien et sur la troisième (mars 1997), le début de l'été.

La notion de saison sur les grosses planètes Jupiter, Saturne et Neptune, si elle est encore valable, doit être relativisée même si leur obliquité ne peut être négligée (respectivement 3° , 27° et 29°).

	Obliquité	Excentricité
Jupiter	$3,1^\circ$	0,048
Saturne	$26,7^\circ$	0,056
Uranus	$-82,1^\circ$ (ou $97,9^\circ$)	0,047
Neptune	$29,6^\circ$	0,009

Fig. 8. Obliquité et excentricité des planètes géantes

En effet à cause de leur éloignement au Soleil (entre 750 millions de km pour Jupiter et 4 milliards 500 millions de km pour Neptune soit respectivement 5 fois et 30 fois la distance de la Terre au Soleil) la température y est toujours très basse (de l'ordre de -150°C voire -200°C) et peu variable. La grosse planète gazeuse Uranus constitue un cas de figure à part. En effet, son axe de rotation est pratiquement couché sur le plan de son orbite : autrement dit son obliquité est voisine de 90° , 98° exactement (comme cette valeur dépasse 90° cela signifie que la rotation de la planète sur elle-même est rétrograde, soit inverse du sens de rotation de la Terre). Il en résulte que les points de la planète situés au voisinage des pôles sont exposés vers le Soleil pendant à peu près une demi révolution, soit un peu plus de 40 ans, et se trouvent côté nuit pendant l'autre demi révolution ! Les variations d'insolation saisonnières sont ainsi pour Uranus entièrement rattachées à la notion de jour et de nuit.

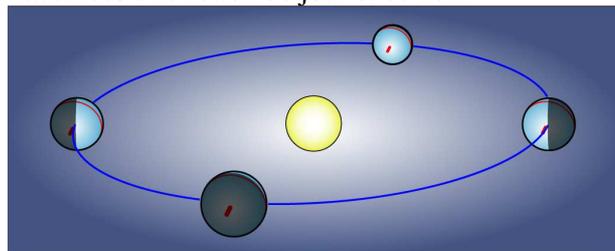


Fig. 9. Révolution d'Uranus. Un de ses pôles et son équateur sont représentés en rouge.