

Activité 6: La théorie astronomique des variations climatiques: les paramètres orbitaux de Milankovitch

L'étude des variations climatiques des 700 000 dernières années met en évidence une alternance de périodes glaciaires et inter-glaciaires. On dénombre 7 périodes glaciaires au cours des 700 000 dernières années; on observe ainsi une périodicité de 100 000 ans entre 2 maxima glaciaires. Au sein de ces périodes de 100 000 ans, on distingue des variations climatiques de moindre amplitude sur des périodes de 41.000, 23.000 et 19.000 ans.

La teneur en CO₂ atmosphérique et l'albédo amplifient les variations climatiques selon un mécanisme de rétroaction positive; ce qui devrait s'opposer à l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires observée au cours des 700 000 dernières années; il existerait donc un mécanisme initiateur des variations climatiques.

Comment expliquer l'initiation et les périodicités des variations climatiques au cours des 700 000 dernières années ?

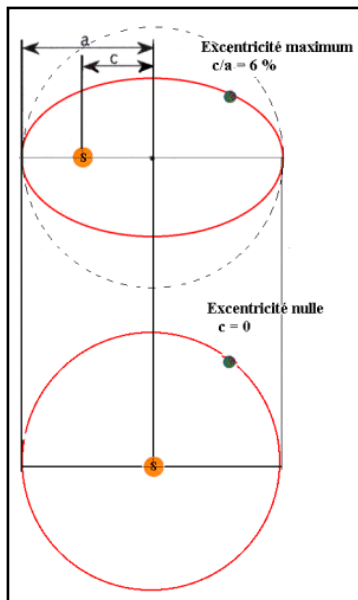
Au début du XX^e siècle, un mathématicien Serbe: Milutin Milankovitch étudie les causes des variations climatiques au cours du Quaternaire. Il émet l'hypothèse d'une influence astronomique, et il teste son hypothèse en étudiant les variations de certains paramètres orbitaux: l'excentricité, l'obliquité, et la précession des équinoxes.

1: Envisagez les conséquences climatiques (dans l'hémisphère Nord) des situations extrêmes de chacun des paramètres orbitaux de Milankovitch

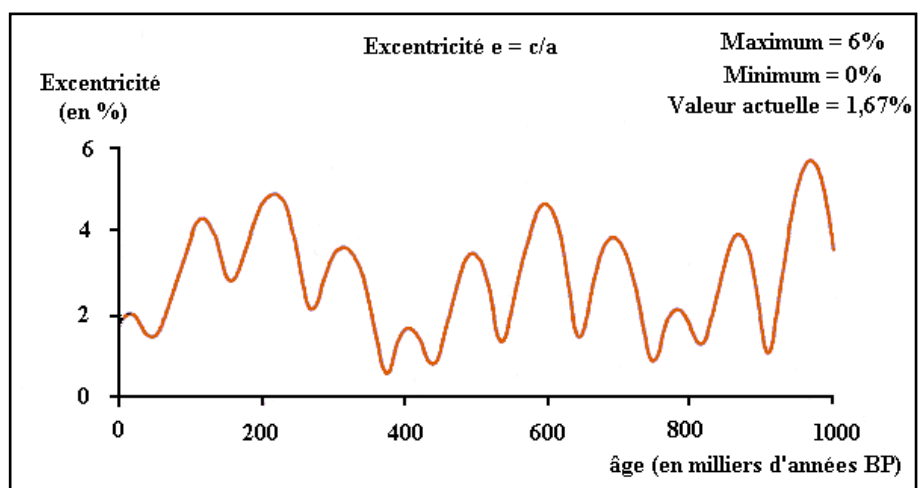
2: Expliquer dans quelles situations doivent se trouver chacun des paramètres orbitaux pour permettre l'entrée de la Terre dans une période glaciaire, et dans une période inter-glaciaire.

3: Montrer que les paramètres astronomiques permettent d'expliquer l'initiation et les périodicités des variations climatiques au cours des 700 000 dernières années.

Document 1: L'excentricité



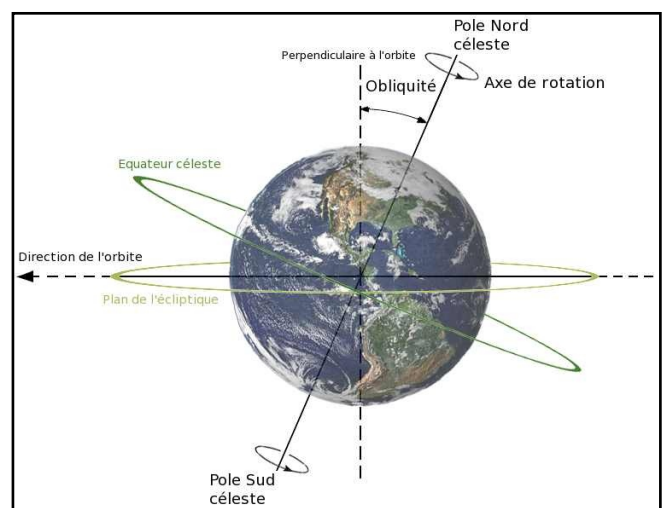
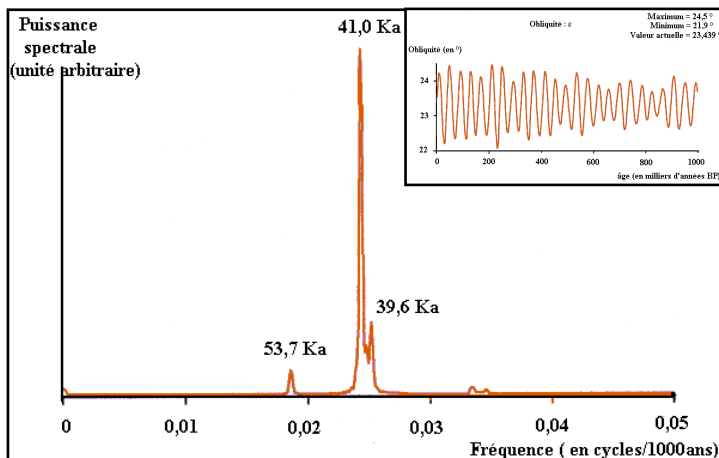
L'excentricité caractérise la forme de l'orbite décrite par la Terre en un an autour du Soleil. L'excentricité de l'orbite terrestre est actuellement très faible, de l'ordre de 0.017 et les perturbations planétaires entraînent des variations lentes de celle-ci entre ~0 (excentricité nulle=cercle) et 0.06 (ellipse légèrement aplatie).



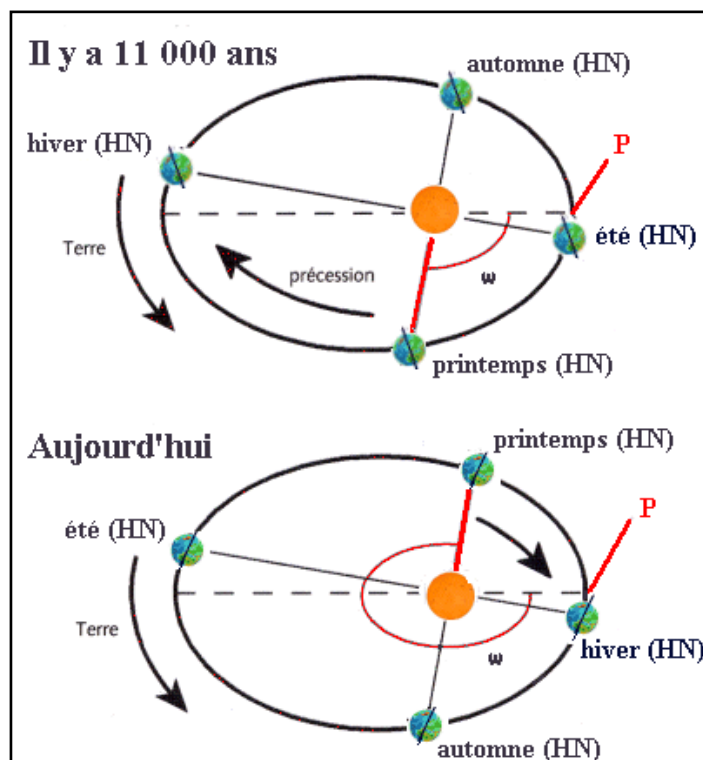
Document 2: L'obliquité

L'obliquité (inclinaison) est l'angle que fait l'axe de rotation de la Terre par rapport à la perpendiculaire au plan de rotation autour du Soleil (plan de l'écliptique). Actuellement de 23°27' (soit 23,45°) et en diminution, elle varie entre 21,9° et 24,5°.

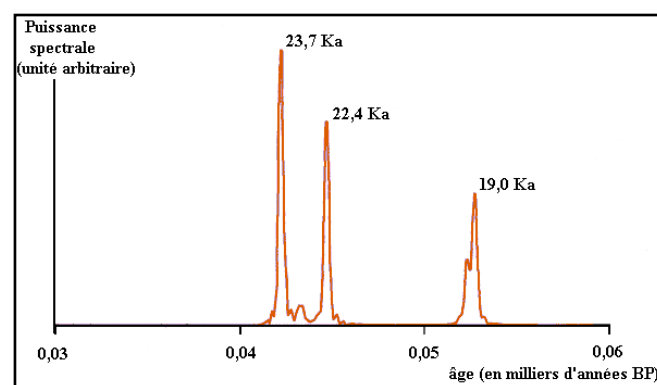
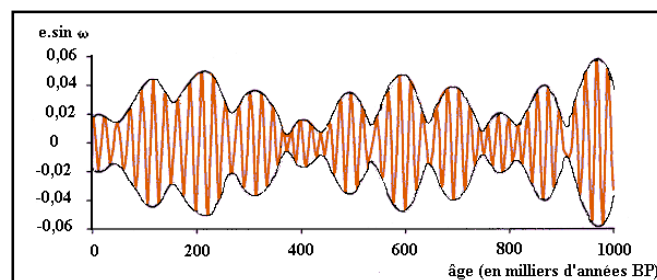
L'analyse spectrale est utilisée pour mettre en évidence les composantes périodiques (amplitude et fréquence) d'une courbe.



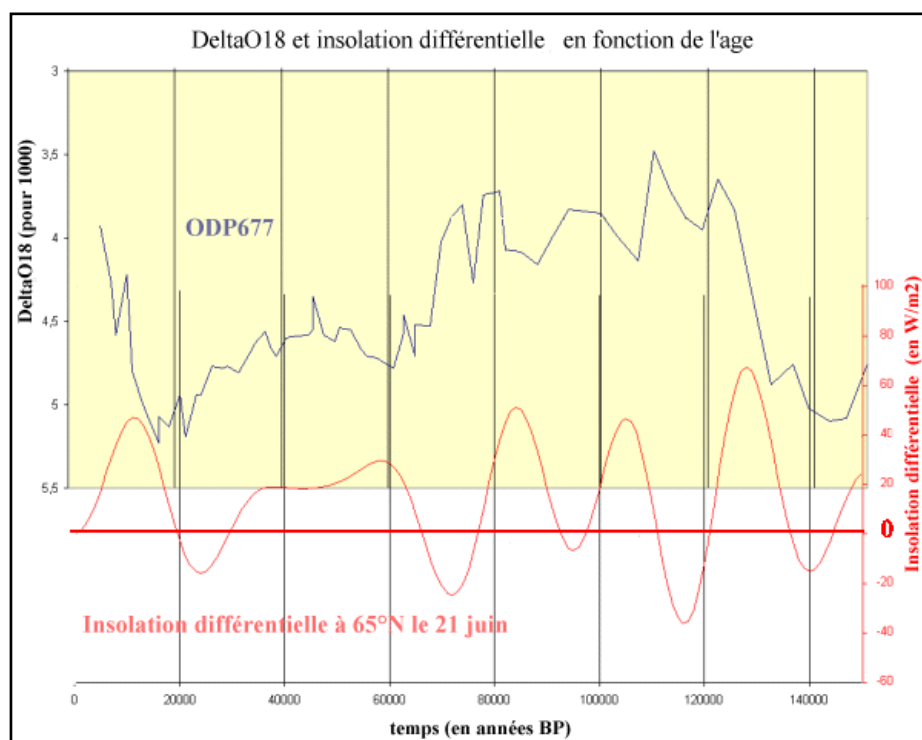
Document 3: La précession des équinoxes est le déplacement de la position des équinoxes et des solstices le long de l'orbite de la Terre: ils se produisent en moyenne chaque année 25 minutes plus tôt (d'où le terme de «précession»). Elle résulte de deux mouvements de rotation: celui de l'axe de rotation de la Terre autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'écliptique (comme une toupie) et celui de l'orbite de la Terre tournant autour du Soleil (comme le «houla hop»). Actuellement, la Terre est au périhélie (point de l'orbite de la Terre où elle est le plus près du soleil) en hiver de l'hémisphère nord et à l'aphélie (point de l'orbite de la Terre où elle est le plus loin du soleil) en été de l'hémisphère nord.



Analyse spectrale:



Document 5: Variations du $\delta^{18}O$ des foraminifères benthiques et variations de l'énergie solaire reçue par la Terre



Les variations du $\delta^{18}O$ des foraminifères benthiques informent directement sur les variations du volume des calottes polaires. (Activité 2)

L'insolation est calculée en tenant compte des trois paramètres orbitaux au 21 juin à 65°N.

L'insolation différentielle correspond à la différence entre l'insolation actuelle et celle du passé.

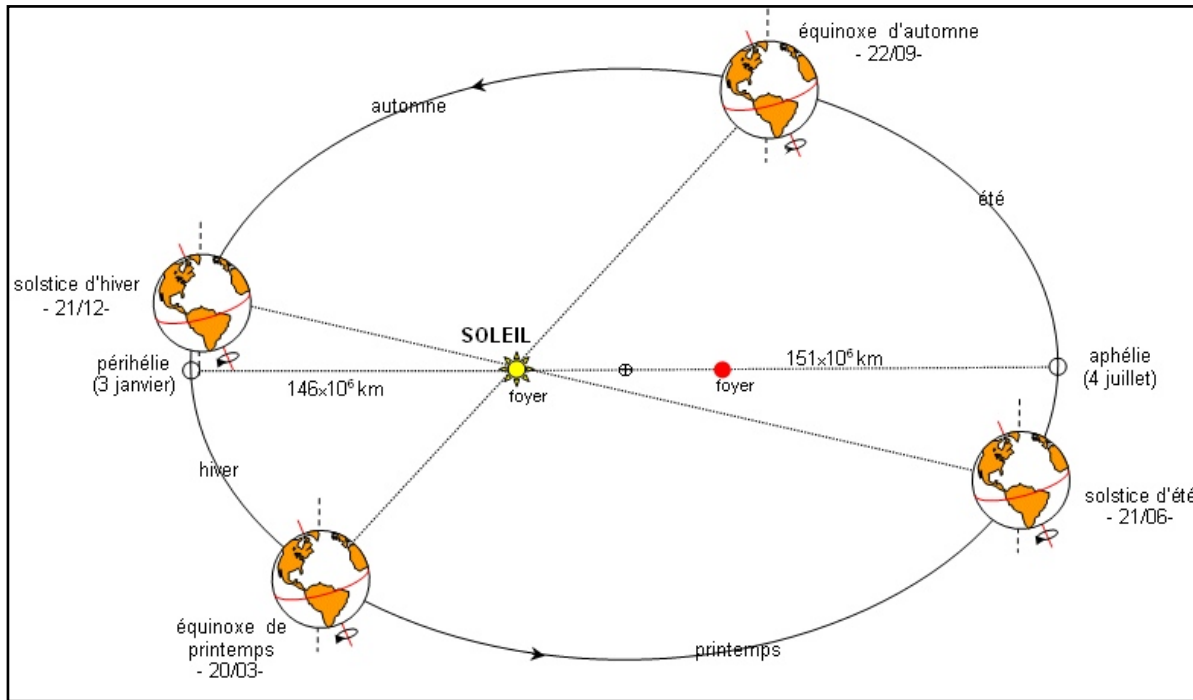
Document 6: Les conditions d'installation d'une calotte glaciaire, un événement marquant l'entrée en période froide

Une calotte glaciaire peut s'installer lorsque les contrastes entre les saisons sont peu marqués. En effet, les hivers doux sont associés à de plus fortes précipitations: la neige peut donc s'accumuler aux pôles. Les étés frais quant à eux, ne permettent pas la fonte des neiges accumulées aux pôles. Inversement, la fonte d'une calotte glaciaire est provoquée par des saisons très marquées. En effet, les hivers très rigoureux sont associés à de faibles précipitations et les étés caniculaires entraînent la fonte des calottes glaciaires.

Remarque: Sur le dernier million d'année, on considère que les continents étaient à leur place actuelle, c'est-à-dire que la majorité des continents se trouvait dans l'hémisphère nord. Or les calottes glaciaires se mettent en place sur les continents. La mise en place d'une période glaciaire dépend donc de l'accumulation de glaces sur les continents de l'hémisphère Nord.

RAPPELS ET COMPLEMENTS:

1: Notions de saisons, équinoxes, solstices, aphélie, périhélie.



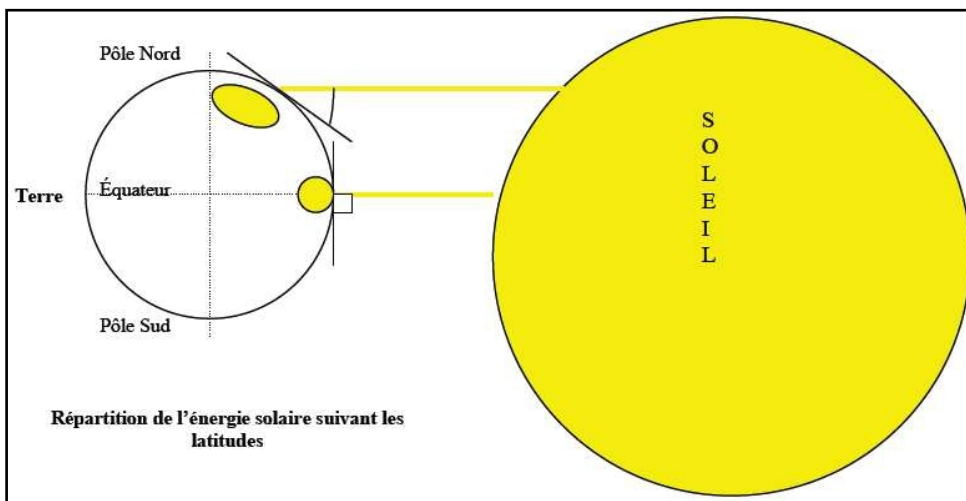
Les solstices sont les moments de l'année où le soleil est à 90° au-dessus de l'horizon à midi au-dessus du Tropique du cancer (21/6) et du Tropique du capricorne (22/12)

Les équinoxes sont les moments de l'année où le jour dure 12h partout et où le soleil est à 90° au-dessus de l'horizon à midi au-dessus de l'équateur.

Aphélie: moment où la terre est la plus éloignée du soleil.

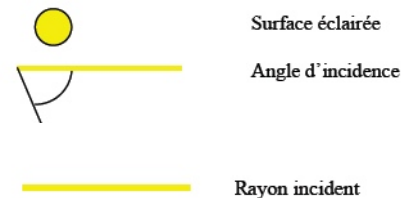
Périhélie: moment où la terre est la plus proche du soleil

2: Variations de température en latitude

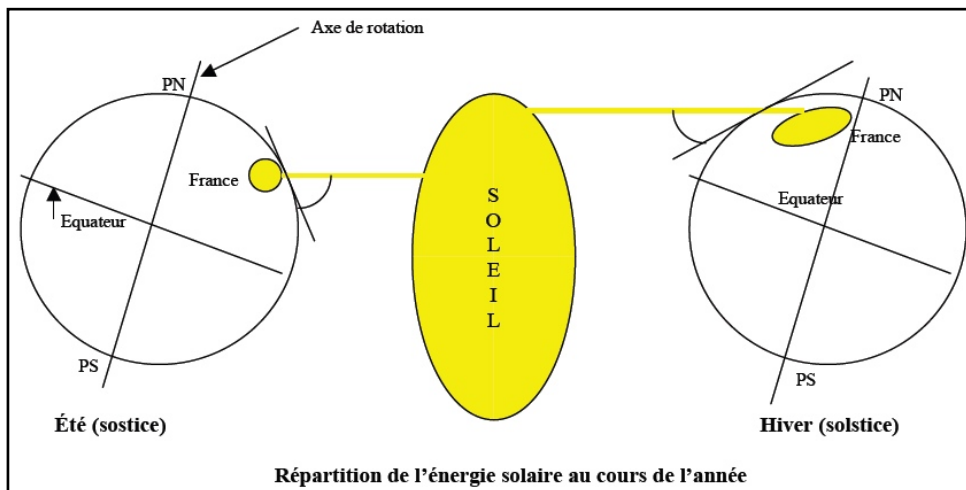


Plus on s'approche de l'équateur plus l'angle d'incidence est élevé (proche de 90°) donc plus l'énergie reçue est importante (la surface éclairée par le rayon est petite, donc l'énergie est plus « concentrée »). C'est l'inverse vers les pôles.

Légendes communes aux deux schémas :



3: Variations temporelles: les saisons



Pour le schéma, seule la France a été prise en exemple.

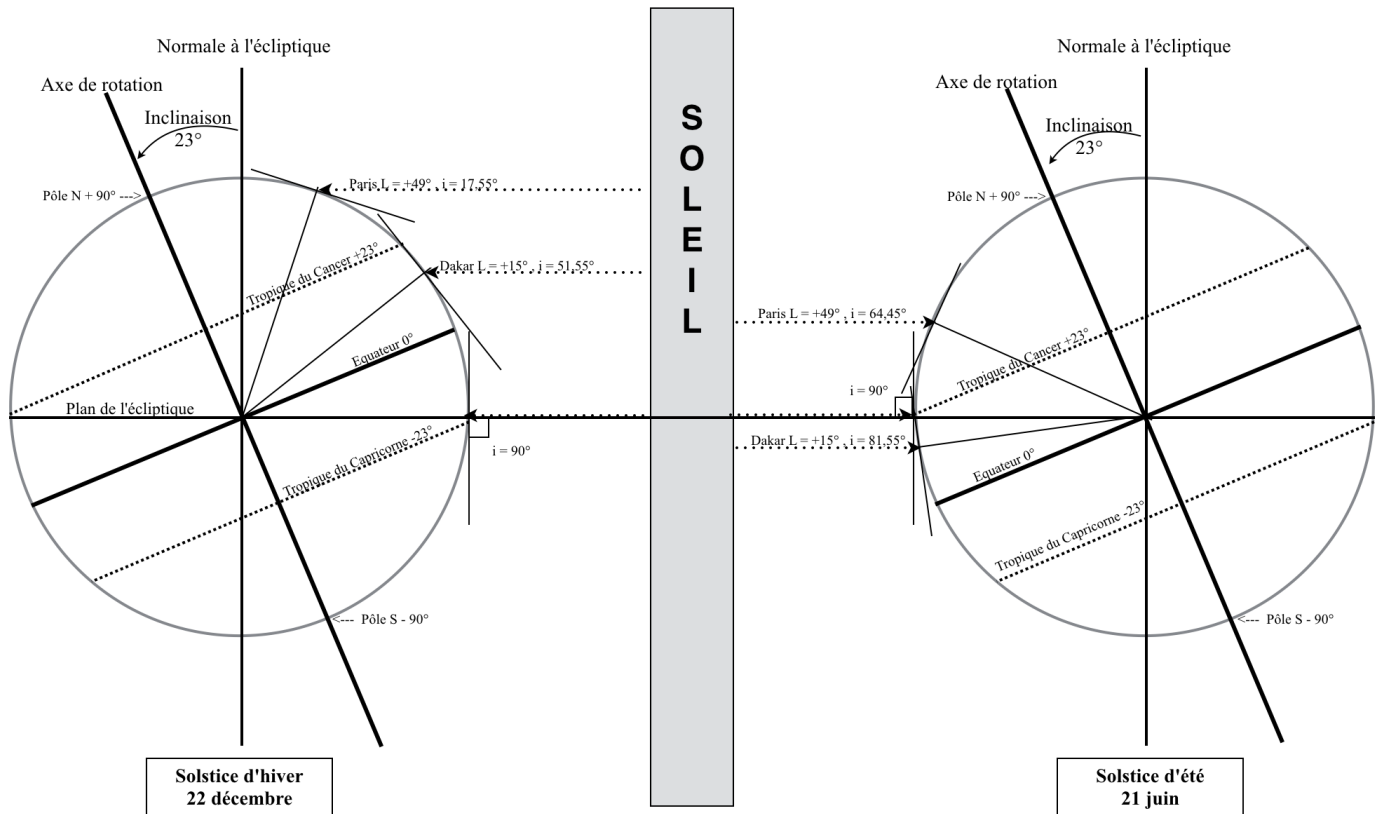
• En été dans l'hémisphère nord, l'angle d'incidence est élevé (le soleil est haut dans le ciel) et l'énergie reçue est importante. Ceci est couplé avec des jours longs.

• En hiver dans l'hémisphère nord, l'angle d'incidence est petit (le soleil est bas dans le ciel) et l'énergie reçue est faible. Ceci est couplé avec des jours courts.

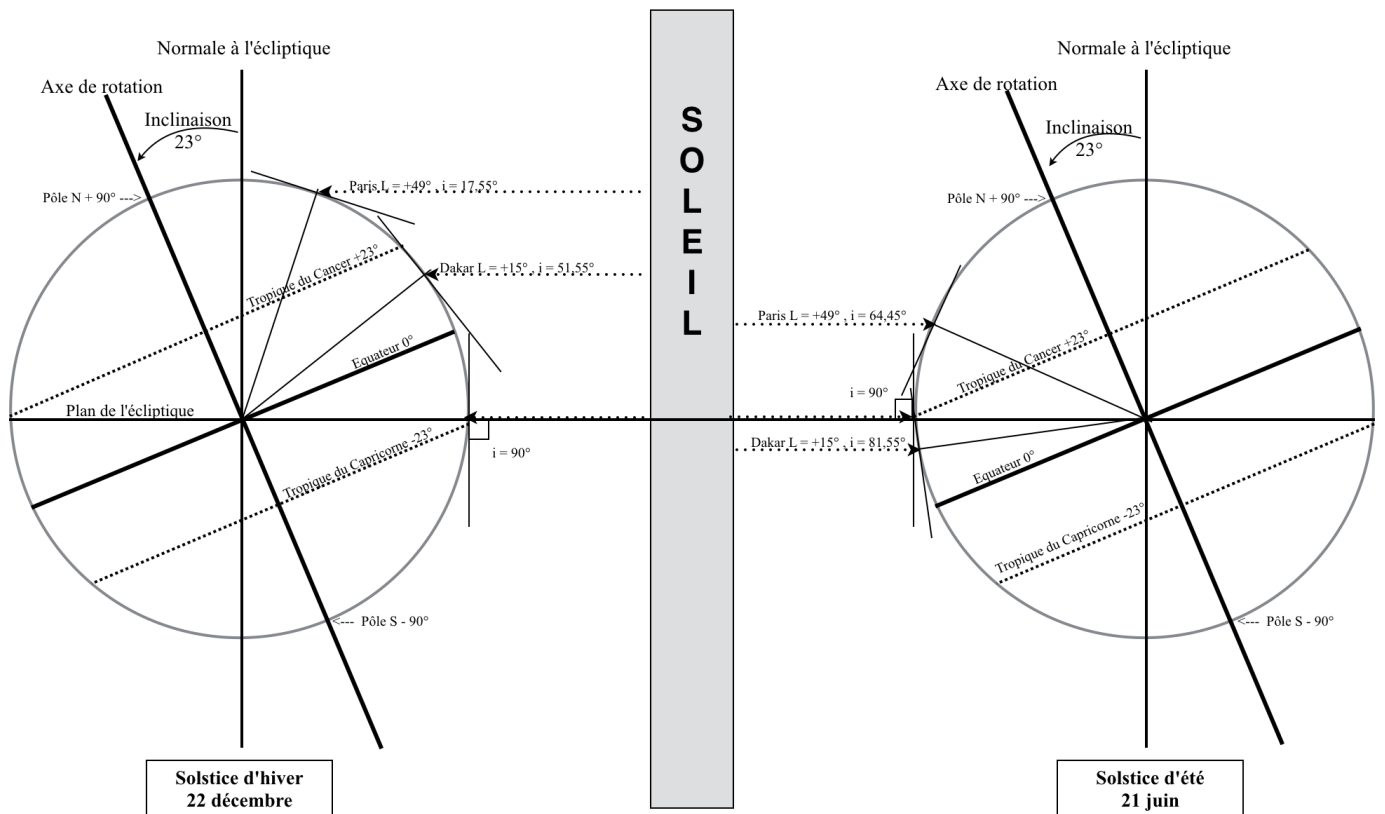
Les saisons sont une conséquence de l'obliquité de l'axe de rotation de la terre par rapport à la normale au plan de l'écliptique.

4: Température d'équilibre théorique d'une planète: La température d'équilibre d'une planète ne dépend pas que de l'effet de serre et de l'albédo, elle dépend aussi et avant tout de la quantité d'énergie reçue et donc de la distance de la planète au soleil: $E_r = f(1/d^2)$. La température d'équilibre est inversement proportionnelle à la racine carrée de la distance au soleil: $T = f(1/d^{0.5})$ donc $T = f(E_r^{1/4})$. En appliquant la loi de Stephan Boltzman et en tenant compte de l'albédo, on trouve ainsi que la température d'équilibre théorique d'une planète = $[E_{\text{énergie reçue}} \times (1 - \text{Albédo}) / (5,674 \cdot 10^{-8})]^{0.25}$.

La Terre aux solstices d'hiver et d'été.



La Terre aux solstices d'hiver et d'été.



La terre est présentée ici dans deux situations extrêmes : les solstices d'hiver et d'été. La terre étant 109 fois plus petite que le soleil , et éloignée d'environ 150 millions de km, les rayons du soleil qui frappent la terre sont tous parallèles les uns aux autres. Au solstice d'hiver (c'est l'été dans l'hémisphère sud) les rayons frappent le tropique du Capricorne avec un angle d'incidence de 90°. Au solstice d'été (c'est l'hiver dans l'hémisphère sud) les rayons frappent le tropique du Cancer avec un angle d'incidence de 90°.

