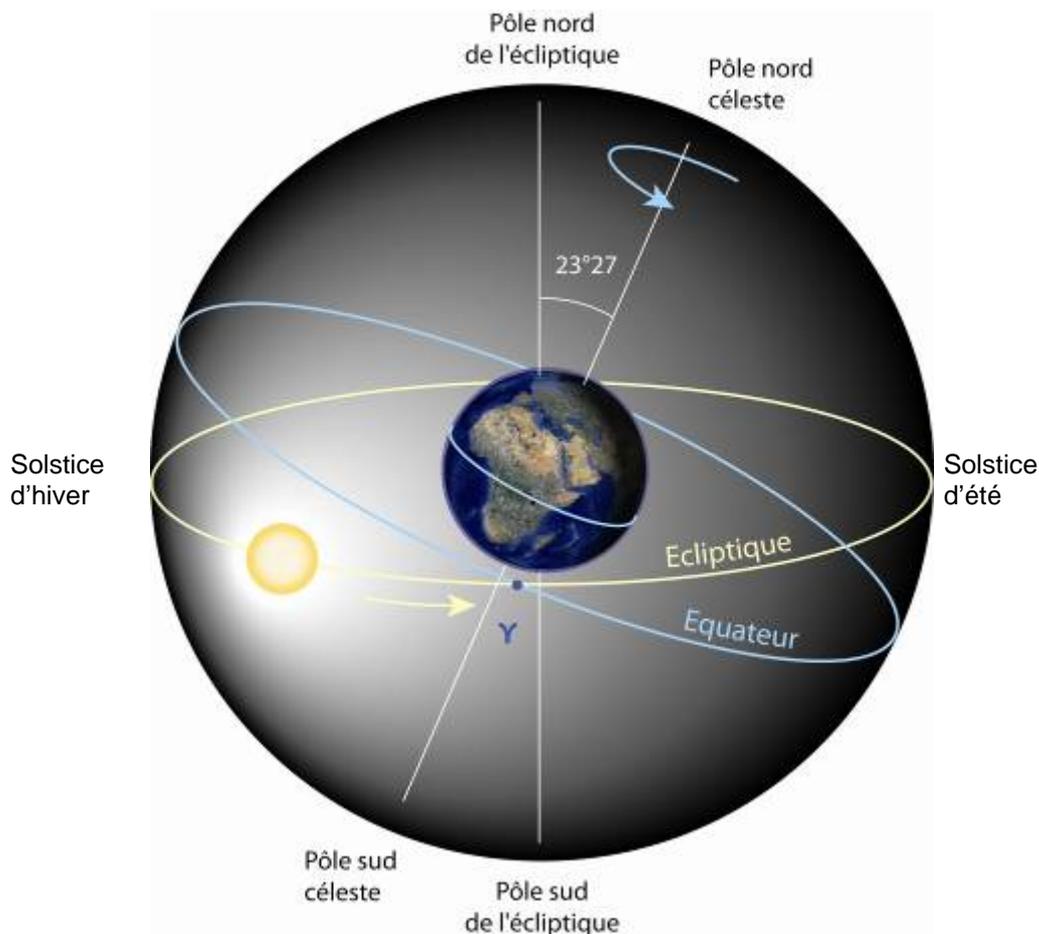


Ecliptique, saisons, années, calendriers

Au cours d'une journée, le Soleil tourne dans le ciel, comme le font les étoiles la nuit, mais nous savons que le mouvement apparent du Soleil ne se résume pas au mouvement diurne. Ainsi, au fil des saisons, le Soleil ne culmine pas à la même hauteur : haut dans le ciel en été à la latitude de l'Europe, il culmine plus bas en hiver. En outre, il ne se lève et ne se couche pas aux mêmes points de l'horizon au cours de l'année (voir la fiche « Jour et nuit »).

Si la Terre ne possédait pas d'atmosphère, nous verrions les étoiles en plein jour, et nous verrions le Soleil se déplacer jour après jour sur le fond des étoiles, parcourant des constellations connues depuis l'antiquité, les constellations du zodiaque. La cause de ce mouvement apparent est bien entendu le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil. Le plan de l'orbite terrestre est nommé **écliptique**, et c'est aussi le nom du grand cercle que décrit le Soleil sur la voûte céleste. Le temps nécessaire pour que la Terre fasse un tour complet (360°) sur son orbite correspond au temps pris par le Soleil pour parcourir l'écliptique (mouvement apparent) et reprendre la même position par rapport aux étoiles : c'est l'**année sidérale**, qui vaut 365,256363051 jours solaires moyens (365 j 6 h 9 mn).



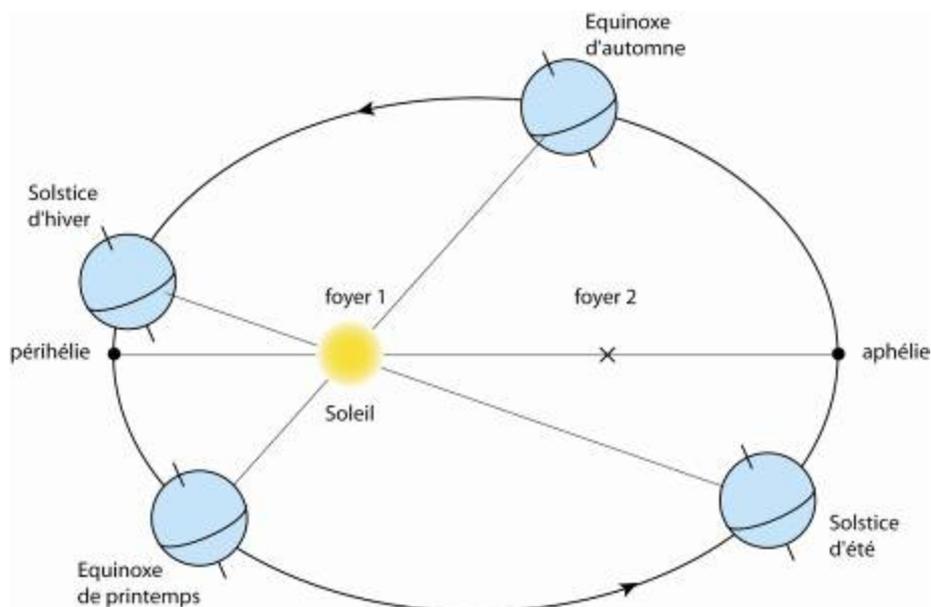
Si l'axe de rotation de la Terre était perpendiculaire au plan de l'écliptique, équateur et écliptique seraient confondus, et, à une latitude donnée, le Soleil culminerait toujours à la même hauteur au cours de l'année. On a vu que ce n'était pas le cas : l'axe de rotation de la Terre est incliné de **$23^\circ 27'$** (valeur à connaître !) par rapport à la perpendiculaire à l'écliptique, et l'on retrouve donc le même angle entre les plans de l'équateur et de l'écliptique.

Sur *Stellarium*, faites apparaître la grille équatoriale, l'écliptique, et faites disparaître l'atmosphère pour voir les étoiles en plein jour. Passez en monture équatoriale pour plus de confort d'observation. Faites passer une journée en accélérant le temps et vérifiez que le Soleil s'est déplacé par rapport aux étoiles en cliquant sur lui pour afficher ses coordonnées. Accélérez encore pour faire défiler plusieurs jours et rendre visible le mouvement du Soleil le long de l'écliptique. Retenez bien le sens de ce mouvement.

L'écliptique coupe l'équateur céleste en deux points, où la déclinaison du Soleil est nulle, par définition. Les moments de l'année correspondants sont les **équinoxes**, de printemps (20 ou 21 mars) et d'automne (22 ou 23 septembre). L'équinoxe de printemps, également nommé point vernal (noté γ), définit le méridien origine en coordonnées équatoriales (voir la fiche « Se repérer sur la voûte céleste »). L'ascension droite du Soleil y est donc nulle, elle aussi. Durant un équinoxe, en tous les points de la Terre, la durée du jour est égale à celle de la nuit, car l'axe de rotation de la Terre est alors perpendiculaire aux rayons du Soleil. Ce jour là, le Soleil se lève exactement à l'Est et se couche exactement à l'Ouest (voir la fiche « Jour et nuit »).

En parcourant l'écliptique, le Soleil passe de part et d'autre de l'équateur céleste (voir schéma précédent). Les deux points où il s'en écarte le plus (la valeur absolue de la déclinaison du Soleil est alors maximale) sont les **solstices**. Au solstice d'hiver, dans l'hémisphère nord (21 ou 22 décembre), le Soleil se lève au nord est et se couche au nord ouest. C'est le moment de l'année où il monte le moins haut dans le ciel. Au solstice d'été (20 ou 21 juin), le Soleil se lève au sud est et se couche au sud ouest. C'est le moment de l'année où il monte le plus haut dans le ciel (voir la fiche « Jour et nuit »).

L'orbite terrestre n'est pas exactement circulaire : c'est une **ellipse** (peu excentrique, donc proche d'un cercle) dont le Soleil occupe l'un des foyers. En outre, la Terre ne parcourt pas son orbite à une vitesse constante : elle est plus lente quand elle est loin du Soleil. Du coup, la vitesse du mouvement apparent du Soleil sur l'écliptique varie elle aussi au cours de l'année (voir la fiche « Le système solaire : unis par la gravitation » et la fiche « Jour et nuit »).

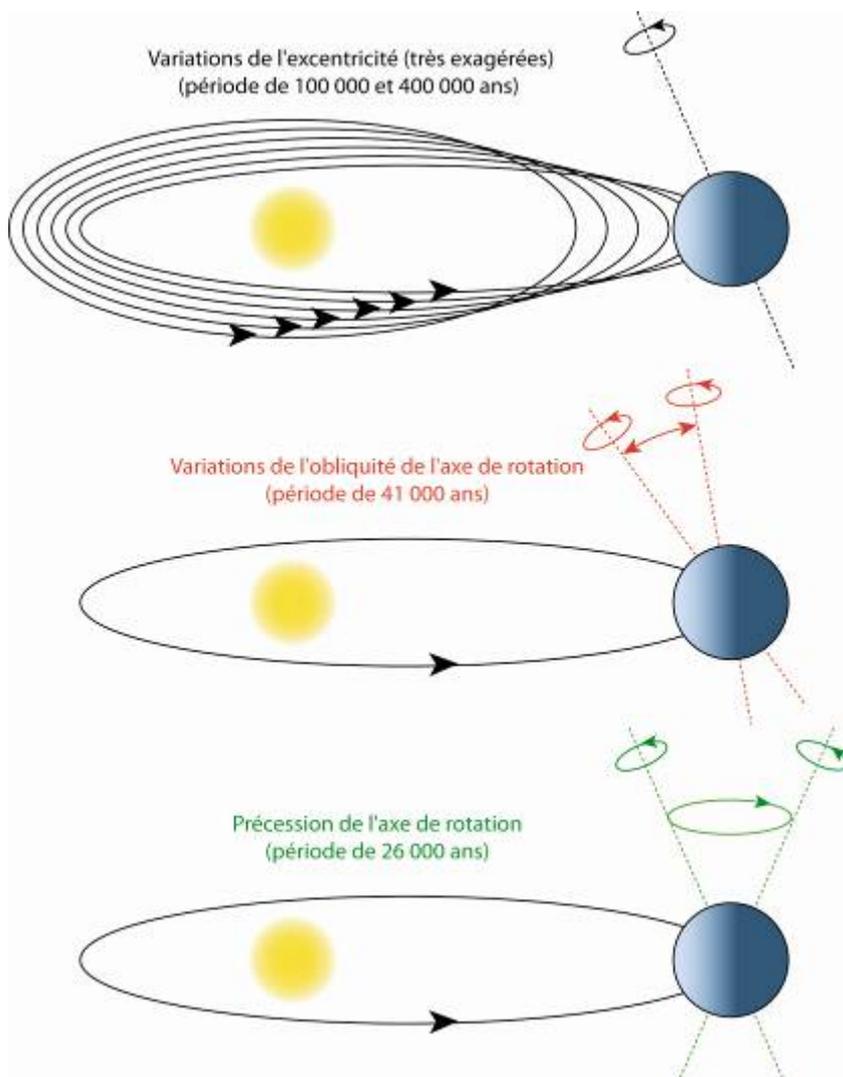


L'excentricité de l'orbite terrestre est très exagérée sur ce schéma, où l'on a figuré les deux foyers de l'ellipse, dont l'un est occupé par le Soleil. En réalité, l'orbite terrestre, à l'époque actuelle, est difficile à distinguer d'un cercle. Notez le sens du mouvement de la Terre.

Les saisons

Du fait de l'excentricité de l'orbite terrestre et de la position focale, non centrale, du Soleil, il y a un point où la distance Terre-Soleil est minimale (le **périhélie**) et un autre point où elle est maximale (l'**aphélie**). Ce dernier point est actuellement proche du solstice d'été. C'est donc en été que la Terre reçoit le moins d'énergie solaire (*voir schéma précédent*). Pourquoi, alors, est-ce le moment où il fait chaud dans l'hémisphère nord ? C'est parce que le solstice d'été est le moment où l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, donc où les rayons du Soleil sont le moins rasants dans cet hémisphère. En effet plus le Soleil est haut, plus la quantité de chaleur reçue par mètre carré est importante, et plus il fait chaud (voir la fiche « Le rayonnement solaire reçu par la Terre »). Attention donc à l'erreur classique qui consiste à penser que la Terre est plus proche du Soleil en été. Notez bien que dans l'hémisphère sud, les saisons sont inversées : l'été austral correspond à notre hiver. En résumé, **les saisons dépendent seulement de l'inclinaison de la Terre sur le plan de l'écliptique**. Si cette inclinaison diminuait, elles seraient moins marquées.

Or c'est justement ce qui arrive : l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique varie de $22,1^\circ$ à $24,5^\circ$, avec une période de 41 000 ans. D'ailleurs, l'excentricité de l'orbite terrestre varie elle aussi, avec une période de 100 000 ans et une autre de 400 000 ans : plus elle est excentrique, plus la Terre passe près du Soleil au périhélie. L'impact de ces variations sur le climat (cycles de Milankovitch) sera détaillé dans la fiche « Le rayonnement solaire reçu par la Terre ». Mais c'est surtout une troisième variabilité des paramètres orbitaux qui va nous intéresser ici.

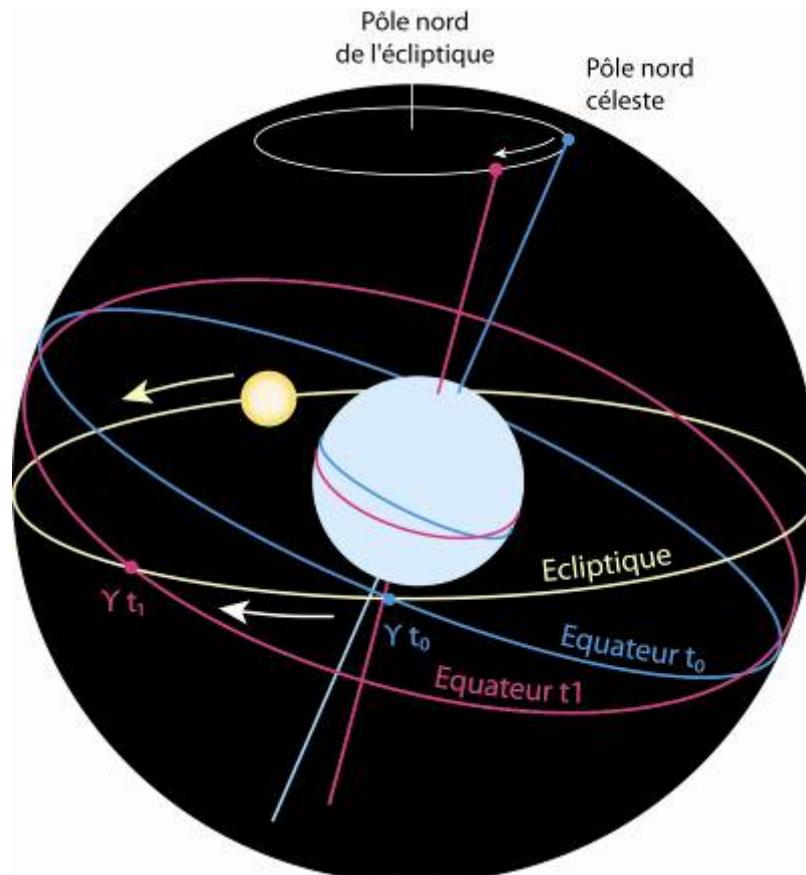


La précession des équinoxes et l'année tropique

Rien n'est fixe dans ce tableau, pas même l'orientation de l'axe de rotation de la Terre, qui subit un mouvement de rotation en 26 000 ans autour de la droite perpendiculaire à l'écliptique. Les pôles célestes se déplacent donc sur la voûte céleste en décrivant un cercle autour des pôles de l'écliptique. Dans 10 000 ans environ, le pôle nord céleste ne sera plus proche de l'étoile polaire, mais de la brillante étoile Véga.

Une autre conséquence est que l'équateur céleste se déplace aussi au fil des siècles, ainsi que ses points d'intersection avec l'écliptique. Le point vernal fait donc un tour complet de l'écliptique en plus ou moins 25 800 ans, dans le sens inverse du mouvement du Soleil sur l'écliptique : c'est la **précession des équinoxes**. Notez que ceci modifie les coordonnées équatoriales des objets célestes.

Sur *Stellarium*, remarquez que les coordonnées équatoriales d'une étoile sont données pour l'année 2000, et pour le moment présent : fin 2010, l'écart est de moins d'une minute pour l'ascension droite, par exemple. Affichez la grille équatoriale, passez en monture équatoriale pour plus de confort d'observation, sélectionnez une étoile et utilisez l'outil « centrer » pour la garder au milieu de l'écran ; puis faites défiler le temps à grande vitesse : vous verrez, à mesure que passent les siècles, l'étoile et le reste du ciel se décaler par rapport aux méridiens et à l'équateur.

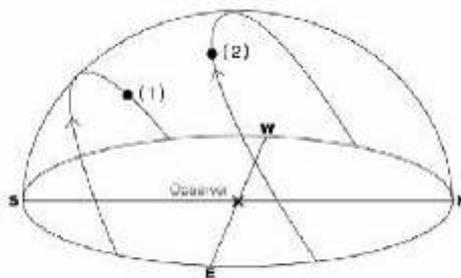
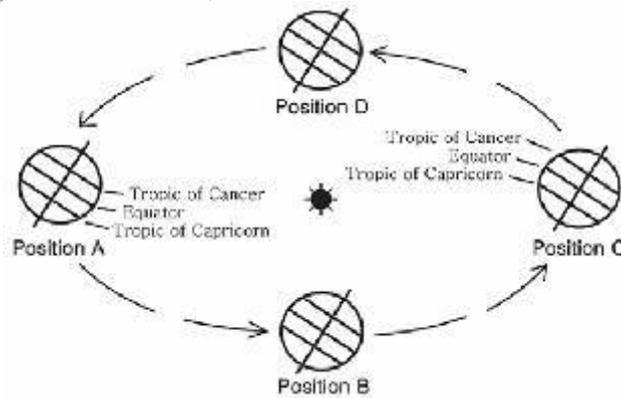


Les calendriers

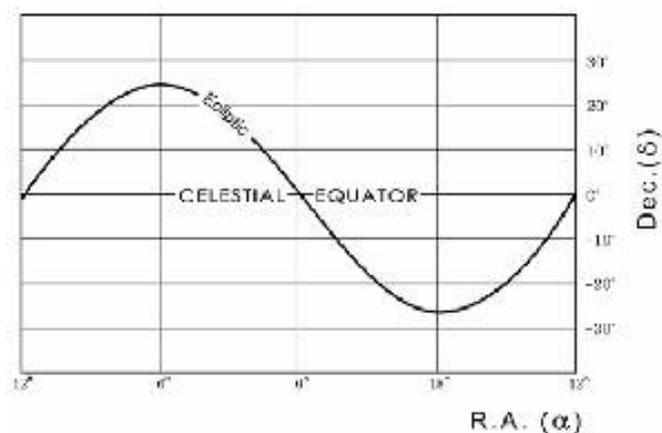
Une conséquence de la précession des équinoxes et du déplacement du point vernal sur l'écliptique à rebours du Soleil, est que le temps qui sépare deux passages du Soleil au point vernal est plus court de 20 mn environ que l'année sidérale : c'est **l'année tropique**. **L'année tropique, d'une durée d'environ 365,2422 jours solaires moyens, est celle qu'on essaie d'approcher avec le calendrier puisque c'est celle qui scande équinoxe et solstices et ramène les saisons.** Or on voit qu'avec une année de 365 jours, on prend de l'avance sur le Soleil. Une première solution est d'ajouter un jour (le 29 février) tous les 4 ans (années dites « **bissextils** », dont le millésime est divisible par 4) pour avoir une année de 365,25 jours solaires moyens. C'est la solution du **calendrier solaire dit julien**, proposé par Jules César. Mais l'année est alors trop longue, et l'on se décale d'un jour tous les 129 ans, soit 3 jours tous les 387 ans. La réforme du **calendrier grégorien** a corrigé cela en supprimant 3 jours sur une période de 400 ans : les années bissextiles au début de chaque siècle (années séculaires) ne sont plus bissextiles, sauf si leur millésime est divisible par 400. Ainsi, l'an 2000 a été bissextile, mais l'an 2100 ne le sera pas (*question WT 2009*). Cela conduit à une année moyenne de 365,2425 jours, en retard d'un jour sur l'année solaire tropique tous les 3000 ans.

Exercices (tirés des tests IESO)

1. **Exercice d'application (facile !)** : test écrit 2007. Décrivez la hauteur du Soleil à midi heure solaire aux 4 positions A, B, C, D de la Terre sur son orbite, pour un observateur à 40° de latitude nord. Puis indiquer la position pour laquelle on observe le trajet 1 du Soleil dans le ciel ; même question pour le trajet 2. (réponses à la fin du document)



2. **Exercice d'application (très facile !)** : test écrit 2007. Sur la figure ci-dessus, indiquez la position qui correspond à l'insolation (quantité d'énergie solaire reçue) minimale à une latitude de 50° Nord. (réponse à la fin du document)
3. **Exercice d'application (très facile !)** : test écrit 2007. Marquez la position du Soleil le 21 mars (date de l'équinoxe de printemps) sur la figure ci-dessous (avec Right Ascension, R.A. = ascension droite et Dec. = déclinaison).



4. Exercice d'application (difficile !) : test pratique 2011.

(Conditions matérielles : planétarium, pointeur laser prêté à chaque candidat). Les pôles célestes sont les projections des pôles géographiques sur la voûte céleste. Pour un observateur terrestre d'aujourd'hui, il existe une étoile, visible à l'œil nu, proche du pôle céleste nord, et nommée pour cette raison Polaris ou étoile polaire. Mais si vous étiez sur Mars ?

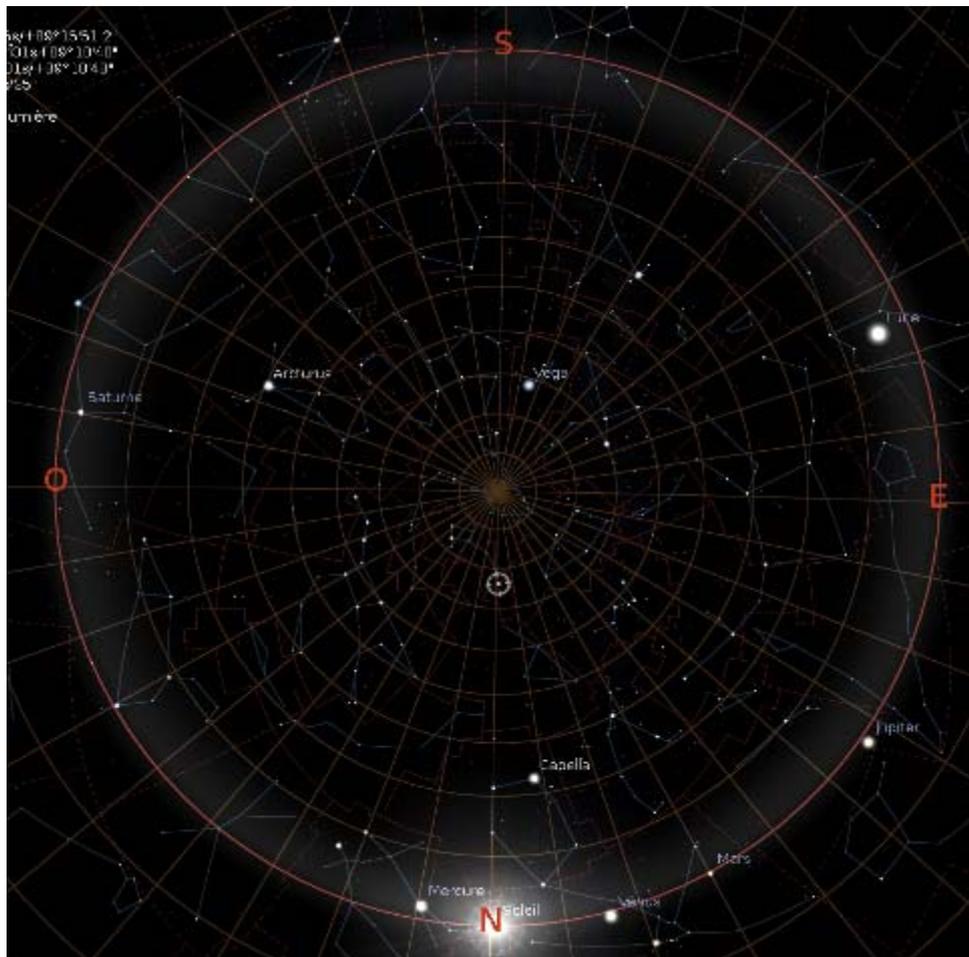
Pour rechercher le pôle céleste nord de la planète rouge, souvenez-vous que les étoiles sont si loin dans l'espace que les figures imaginaires de leurs constellations restent les mêmes, qu'elles soient vues depuis la Terre ou depuis Mars. Par conséquent, il est possible de chercher la constellation où se trouve le pôle nord céleste de Mars.

Regardez l'image du ciel projetée par le planétarium sur la surface interne du dôme. On a placé au zénith le Pôle Nord de l'écliptique. La position du Soleil correspond à la date du 21 juin (solstice d'été sur Terre). Trouvez Polaris et vous aurez la position du pôle céleste nord de la Terre. Remarquez les cercles centrés sur le pôle nord de l'écliptique : chaque graduation représente 10°.

Sachant que :

- les inclinaisons des plans équatoriaux de Mars et de la Terre sur leurs plans orbitaux sont comparables
- les plans orbitaux de Mars et de la Terre peuvent être confondus dans cet exercice : on prendra donc comme plan orbital de Mars le plan de l'écliptique.
- le Soleil, lors du solstice d'été sur Mars, est dans la constellation du Verseau,

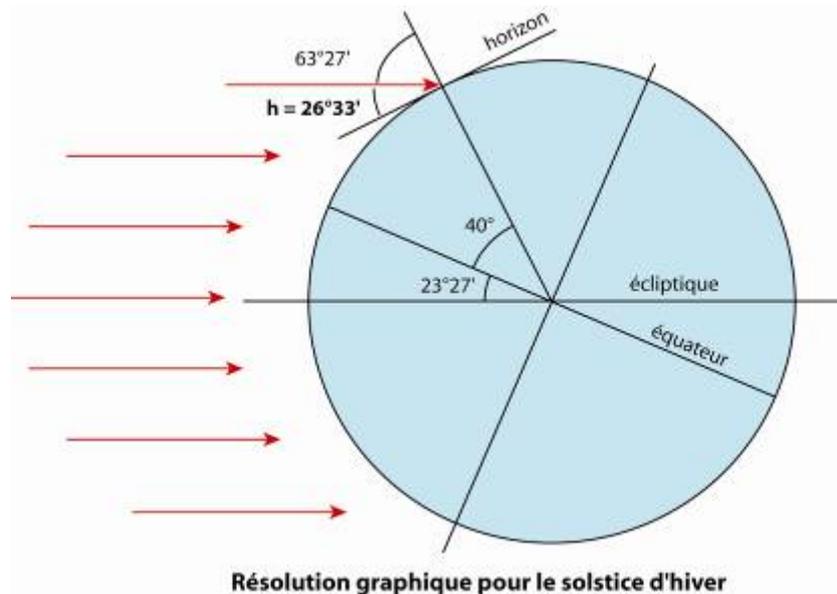
Indiquez dans quelle constellation se trouve le pôle nord céleste de Mars et nommer une étoile brillante qui pourrait servir à le repérer.



Réponses

1. Réponse : Pour un observateur dans l'hémisphère nord, le Soleil est au plus haut dans le ciel (au dessus de l'équateur céleste) dans la position A (solstice d'été), au plus bas (en dessous de l'équateur céleste) dans la position C (solstice d'hiver), et entre ces deux positions (sur l'équateur céleste) en B et D (équinoxes). Le trajet 1 du Soleil dans le ciel correspond au solstice d'hiver (C), le trajet 2 au solstice d'été (A). S'il s'agissait des équinoxes B et D, le Soleil se lèverait exactement à l'Est et se coucherait exactement à l'Ouest.

Pour les valeurs numériques, voici la résolution pour le solstice d'hiver. A vous de trouver les autres.



2. Réponse : l'insolation minimale correspond au solstice d'hiver (C).

3. Réponse : lors de l'équinoxe de printemps, le Soleil est au point vernal, donc $\alpha = \delta = 0$!

4. Réponse : Le cercle de l'écliptique (en rouge page suivante) correspond à la trajectoire du Soleil sur le fond des étoiles. Le plan équatorial de la Terre fait avec le plan de l'écliptique un angle de $23^{\circ}27'$. Autrement dit, le pôle Nord céleste de la Terre et le pôle Nord de l'écliptique sont séparés par une distance angulaire de $23^{\circ}27'$. C'est ce que vous pouvez constater en repérant Polaris (l'étoile polaire) par rapport aux graduations. Polaris a été pointée pour vous faciliter la tâche... mais vous pouviez aussi la retrouver avec le bord de la « casserole » de la Grande Ourse, bien visible ici.

Au solstice d'été, on peut tracer un grand cercle (droite en pointillés) passant par le Soleil, le pôle Nord céleste et le pôle Nord de l'écliptique (voir le dessin page suivante pour vous en convaincre). Il en va de même sur Mars : on peut tracer un grand cercle passant par la constellation du Verseau (où se trouve le soleil lors du solstice d'été martien) et le pôle nord de l'écliptique, puis rechercher sur ce cercle le point situé à environ 23° du pôle nord de l'écliptique, du côté du Soleil : **on place le pôle nord céleste de Mars (PNC_{Mars}) dans la constellation du Cygne, près de la brillante étoile Deneb.**

(Les coordonnées équatoriales du pôle nord céleste martien sont : ascension droite 21h 10m 42s ; déclinaison $+52.9^{\circ}$. En réalité, le plan orbital de Mars ne coïncide pas exactement avec le plan de l'écliptique mais fait avec lui un angle de $1,85^{\circ}$; le plan équatorial de Mars est quand à lui incliné de $23,98^{\circ}$ sur le plan orbital)

