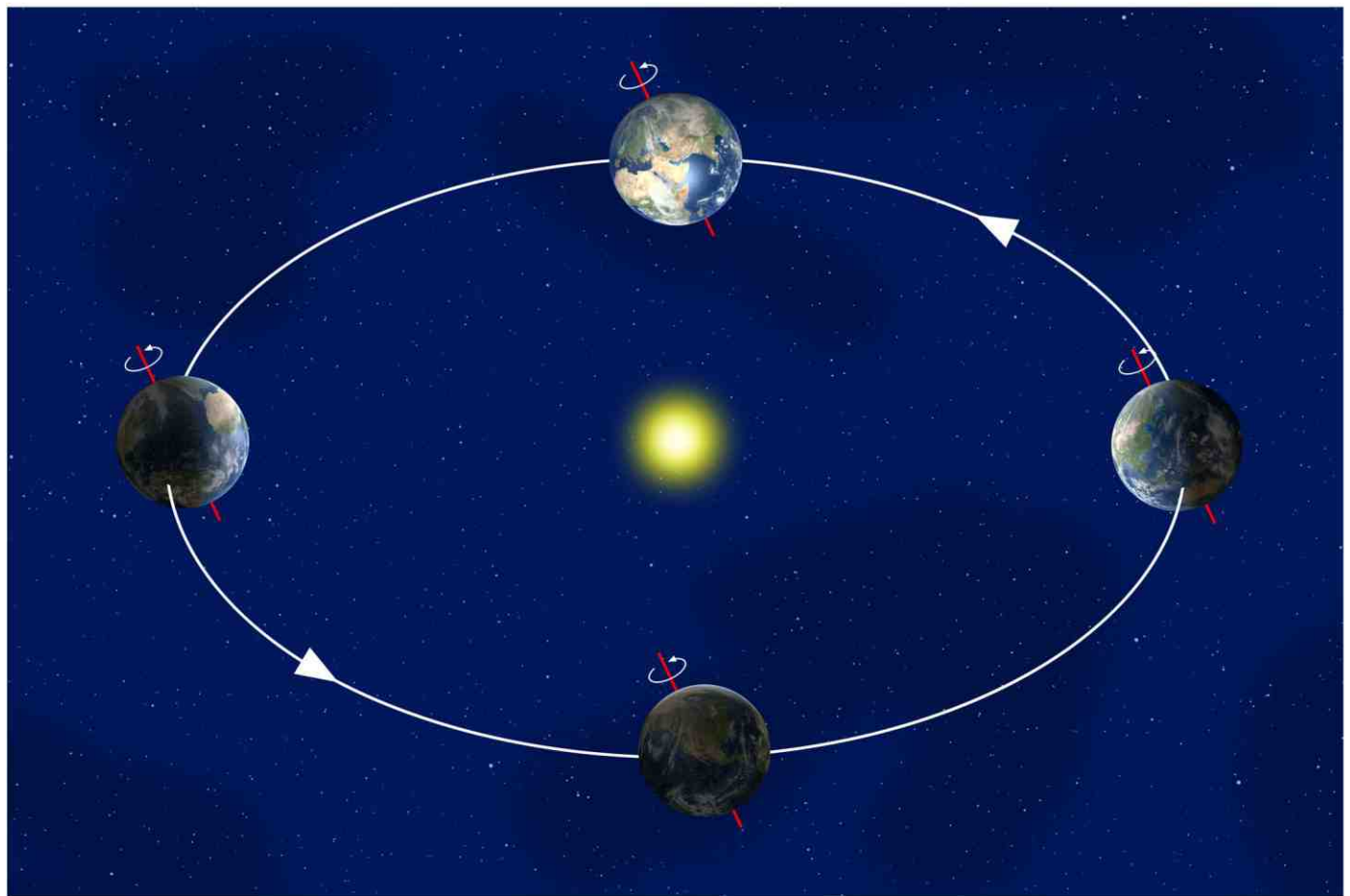


1A Les saisons

Expliquer le phénomène des saisons revient à comprendre *pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ?* Mais la réponse à cette question d'apparence anodine n'est pas aussi simple qu'il y paraît, et va très vite soulever d'autres questions plus complexes, pour lesquelles la même réponse devra apporter une solution : *Pourquoi les jours sont-ils plus long en été qu'en hiver ? Pourquoi les saisons sont-elles inversées entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud ? Pourquoi les quatre saisons sont-elles plus marquées dans les zones tempérées qu'aux pôles ou à l'équateur ?*

Bien souvent, les réponses des élèves (mes aussi des adultes) à ces questions sont fausses ou incomplètes. Un exemple : on entend souvent dire qu'il fait plus chaud en été parce que la Terre est au plus près du Soleil. Cette réponse n'est pas satisfaisante, car d'une part, la Terre est au plus près du Soleil au début du mois de janvier, et d'autre part, elle n'explique pas l'inversion des saisons entre les hémisphères.



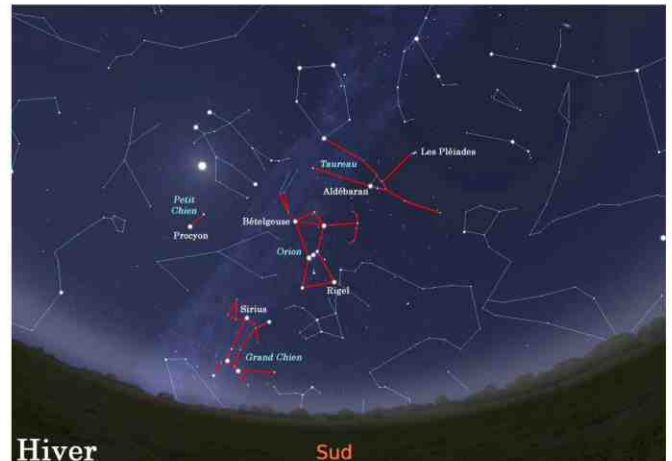
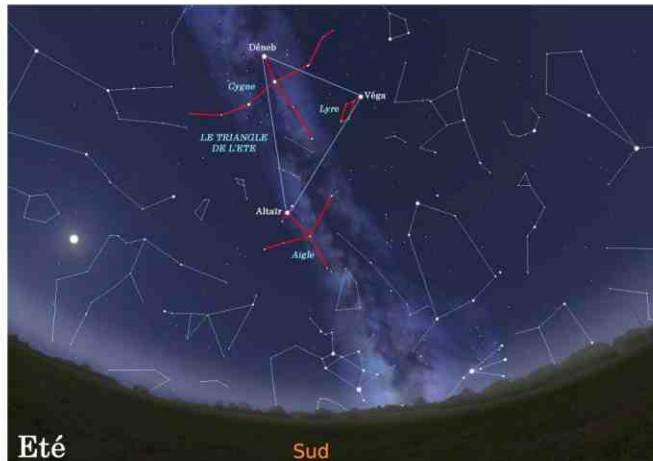
▲ Position de la Terre autour du Soleil en fonction des saisons.

Durée du jour, distance de la Terre au Soleil ou position de ce dernier dans le ciel : nous remarquons d'emblée que ces hypothèses ont toutes les trois le Soleil comme point commun. Afin d'appréhender au mieux le travail sur l'origine des saisons, il convient de réaliser quelques observations, et de les confronter à certaines idées reçues. Ensuite, on pourra en déduire la trajectoire correcte de la Terre autour du Soleil, en insistant sur la position de la Terre au moment des **solstices** et des **équinoxes**, ainsi que la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel de Reims à ces différentes dates.

1B Les saisons

QUELQUES OBSERVATIONS :

CIEL D'ÉTÉ, CIEL D'HIVER.



Dans le dossier 1 «A ciel ouvert» (page 3B), nous avons déjà évoqué que nous ne voyons pas les mêmes étoiles, et donc les mêmes constellations en fonction des saisons.

En été, on se repère souvent grâce à Véga dans la constellation de la Lyre, Deneb dans le Cygne et Altair dans l'Aigle. Ces trois étoiles brillantes forment le triangle de l'été. En hiver, c'est la constellation d'Orion qui nous sert de repère. Autour d'elle, nous retrouvons facilement le Grand et le Petit Chien, et plus haut, le Taureau.

En une année, nous observons mois après mois des étoiles et des constellations différentes. Au bout d'un an, nous retrouvons les mêmes étoiles et les mêmes constellations à la même place dans le ciel. **Ces différents aspects du ciel, au cours de l'année, sont dû à la révolution de la Terre.**

L'ÉTOILE POLAIRE ET L'AXE DE ROTATION DE LA TERRE

Dans le dossier 1 (page 3B), nous avons évoqué également que **l'axe de rotation de la Terre est orienté vers l'étoile polaire**. En conséquence, cette étoile nous apparaît immobile dans le ciel, et au cours de la nuit, l'ensemble du ciel semble tourner autour de cette étoile.

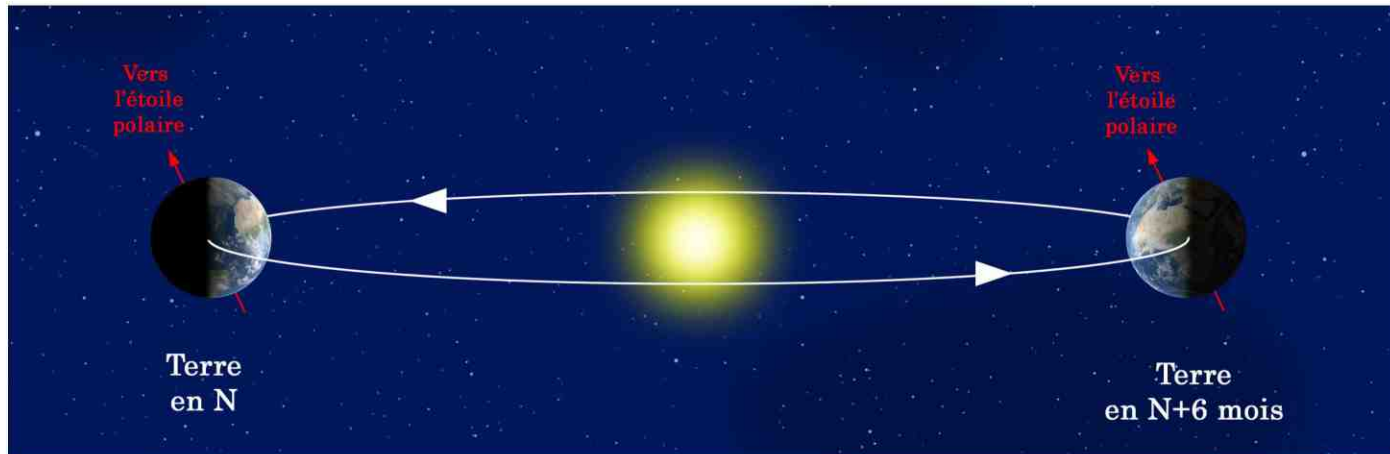
Ceci est également vrai tout au long de l'année. Cela implique que **quelle que soit la position de la Terre autour du Soleil, l'axe de rotation est toujours orienté vers l'étoile polaire.**



1c Les saisons

QUELQUES OBSERVATIONS :

Des observations précédentes, nous pouvons en déduire le schéma suivant :



L'inclinaison de l'axe de la Terre ne varie pas au cours du temps, **la Terre tourne autour du Soleil en conservant toujours la même direction de son axe vers l'étoile polaire**. Cependant, nous verrons plus loin que sur une très longue période de temps (26 000 ans), un mouvement très lent appelé **précession des équinoxes** entraîne un glissement de l'axe des pôles (voir annexe 01).

LE SOLEIL NE SE LEVE PAS A L'EST !

L'idée que le Soleil se lève exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest toutes les jours de l'année n'est pas exacte ! Une simple observation toute au long de l'année permet de le constater :

Repérez avec une boussole la direction de l'est ou de l'ouest, puis prendre sur l'horizon un repère fixe, facilement identifiable (monument, pylone électrique, arbre remarquable, ...). Une fois par mois, observer précisément où se couche le Soleil par rapport à ce repère (vous pouvez réaliser la même observation avec le lever du Soleil, mais pensez qu'en été, celui-ci se lève vers 5 heures du matin !), vous constaterez qu'**en été, le coucher du Soleil se décale vers le nord-ouest, et en hiver, le coucher du Soleil se décale vers le sud-ouest**. Le Soleil ne se couche que deux fois par an exactement à l'ouest, aux alentours du 20 mars et du 23 septembre (il en va de même pour son lever, vers l'est).

Il serait donc plus correct de dire que le Soleil se lève vers l'est et se couche vers l'ouest.



Observation du coucher du Soleil, au cours de l'année.

1D Les saisons

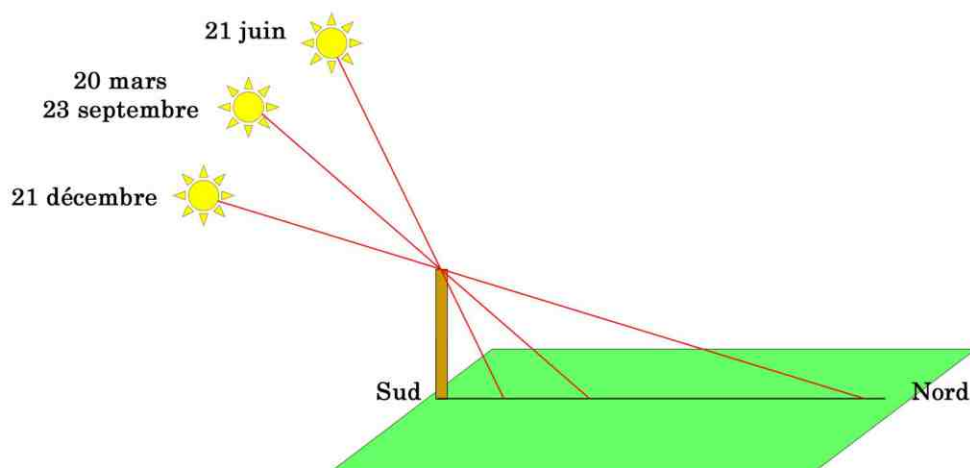
QUELQUES OBSERVATIONS :

LA VARIATION DE HAUTEUR DU SOLEIL AU COURS DE L'ANNEE

Au cours de la journée, le Soleil atteint son point culminant vers le sud (dans l'hémisphère nord) à midi, heure solaire. Cependant, cette hauteur du Soleil varie selon l'époque de l'année. Il est plus haut en été, et plus bas en hiver. Cette variation de hauteur peut se mettre facilement en évidence avec les élèves, en relevant l'ombre d'un bâton, planté verticalement dans le sol (gnomon). Comme l'heure solaire diffère de l'heure de la montre, nous vous indiquons dans le tableau ci-dessous, les horaires pour effectuer les relevés, corrigés du décalage avec l'heure solaire :

Horaires pour effectuer les relevés
en heure de la montre :

21 septembre : 13h52
21 octobre : 13h44
21 novembre : 12h46
21 décembre : 13h00
21 janvier : 13h11
21 février : 13h14
21 mars : 13h07
21 avril : 14h00
21 mai : 13h57
21 juin : 14h02



POUR ALLER PLUS LOIN

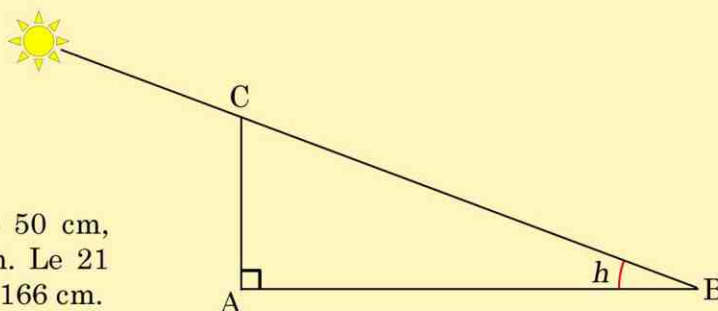
Comment calculer la hauteur du Soleil à midi ?

Dans le triangle rectangle ci-dessous, le côté AC représente le gnomon, et le côté AB la longueur de l'ombre, à midi solaire. Le triangle est rectangle en A, car le gnomon est planté verticalement, perpendiculairement au sol. Au cours de l'année, la longueur AB peut varier. En effet, plus le Soleil est haut, plus l'ombre est courte.

La hauteur du Soleil correspond donc à la valeur de l'angle h . Comme le rapport des longueurs existant entre le côté opposé [AC] et le côté adjacent [AB] d'un angle est égal à la tangente de cet angle, on peut calculer la valeur de h avec la formule suivante :

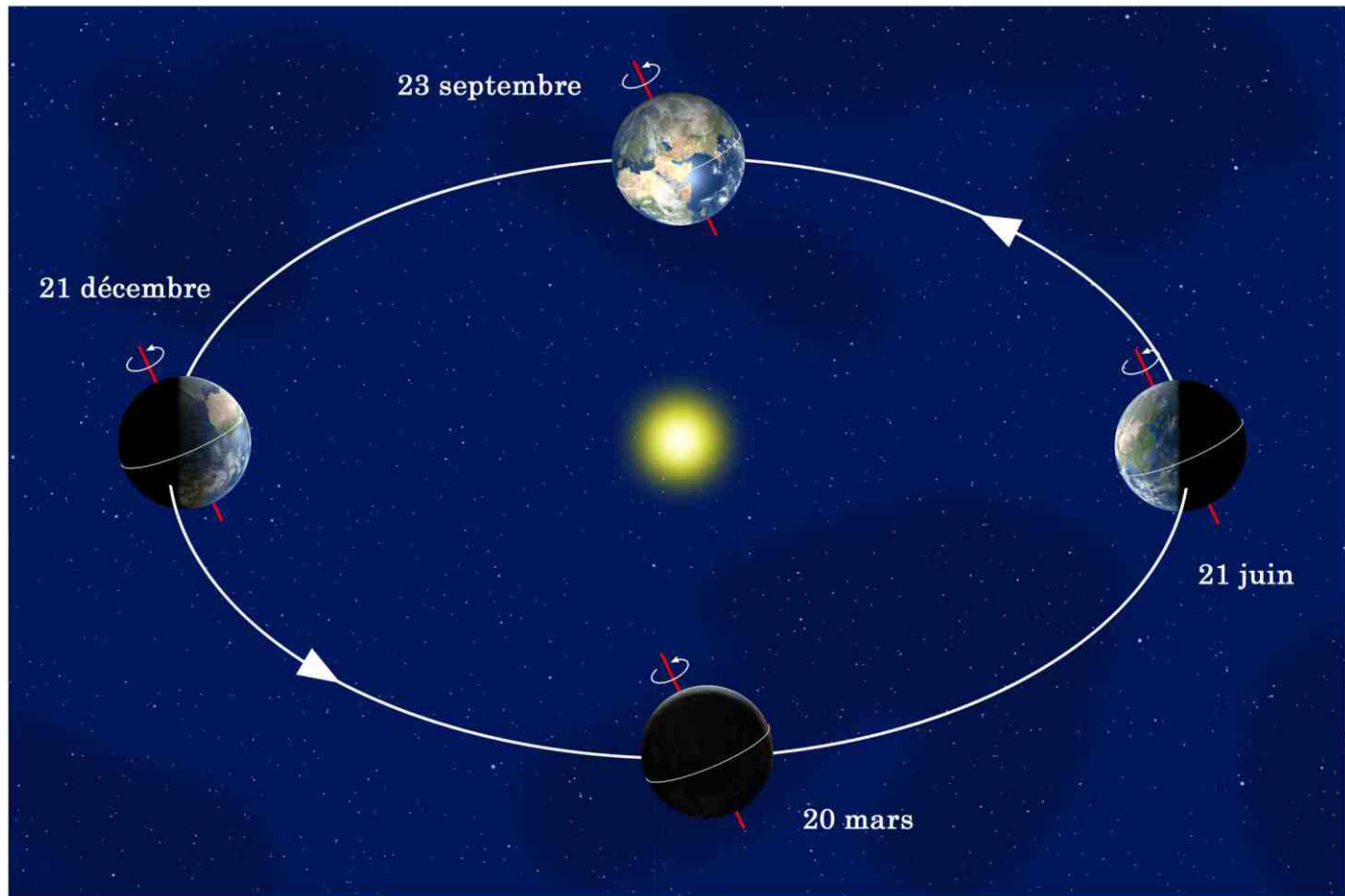
$$\tan h = \frac{AC}{AB}$$

A Reims, un gnomon d'une hauteur de 50 cm, présente une ombre de 24 cm le 21 juin. Le 21 décembre, la longueur de l'ombre mesure 166 cm.



1E Le mécanisme des saisons

L'observation montre que l'axe de rotation de la Terre est toujours dirigé vers l'étoile polaire, elle-même située comme toutes les étoiles à une distance très grande de notre planète. Pour expliquer ce phénomène, il faut donc que cet axe garde une direction fixe dans l'espace. Et pour expliquer les variations de hauteur du Soleil ou de la durée de la journée, ce même axe ne doit pas être perpendiculaire au plan de l'écliptique (plan de l'orbite de la Terre). En pratique, l'axe de rotation est incliné de $23^{\circ}26'$.

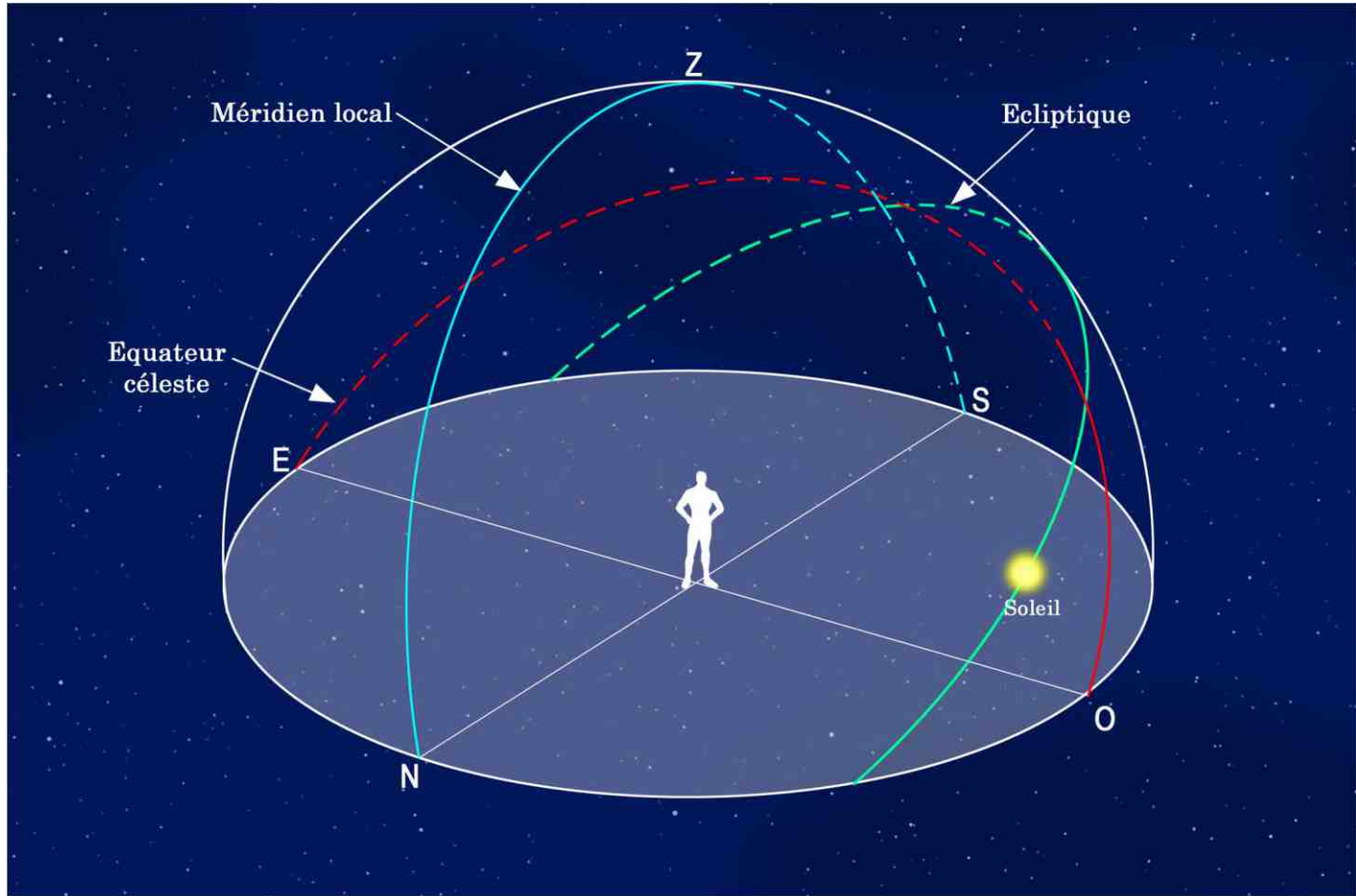


Sur le schéma ci-dessus, on constate que quelle que soit la position de la Terre autour du Soleil, l'orientation de l'axe de rotation ne change pas. Ainsi, le 21 juin, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil : c'est le début de l'été. 6 mois plus tard, la Terre a accompli la moitié de sa révolution. Le 21 décembre, l'hémisphère nord n'est pas orienté vers le Soleil : c'est le début de l'hiver.

Pour l'hémisphère sud, le 21 juin marque le début de l'hiver, et le 21 décembre marque le début de l'été. En effet, lorsque l'hémisphère nord est orienté vers le Soleil, l'hémisphère sud ne peut pas l'être, et réciproquement. Les saisons sont donc inversées entre les hémisphères.

Le 20 mars et le 23 septembre, la Terre se présente dans la même position face au Soleil. Le printemps et l'automne présenteront ainsi les mêmes conséquences astronomiques.

Outre les points cardinaux, l'astronome dispose de lignes imaginaires précises pour situer le Soleil dans le ciel :



Le méridien local : il passe par les points cardinaux nord et sud, par le zénith, par le pôle nord céleste, et coupe perpendiculairement le plan de l'équateur céleste. **Le Soleil coupe le méridien chaque jour à midi solaire, et atteint ainsi son point culminant pour la journée.** C'est à ce moment que l'on peut mesurer la plus grande hauteur du Soleil en relevant l'angle que fait le Soleil avec l'horizon sud.

L'équateur céleste : Projection de l'équateur terrestre sur la voûte céleste, l'équateur céleste passe par l'est et l'ouest, et **coupe le ciel en deux hémisphères célestes.** Depuis Reims, toutes les étoiles de l'hémisphère nord sont visibles au cours de l'année. En revanche, les étoiles de l'hémisphère céleste sud ne sont visibles que jusqu'à la latitude de 41° Sud. Sur les 88 constellations que compte la voûte céleste, seules 60 sont visibles depuis Reims.

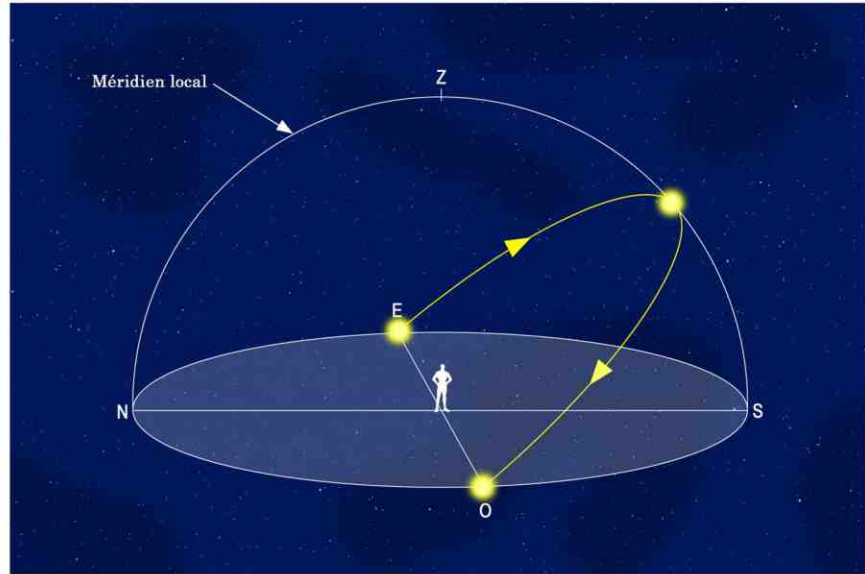
L'écliptique : Il représente la trajectoire apparente du Soleil sur la sphère céleste, **au cours de l'année.** Le plan de l'écliptique est incliné de 23°26' par rapport au plan de l'équateur céleste. Une moitié de l'écliptique est située dans l'hémisphère céleste nord, et l'autre moitié dans l'hémisphère céleste sud.

Au cours de l'année, et donc des saisons, un observateur terrestre voit le Soleil progresser le long de l'écliptique. Il le voit traverser une à une les différentes constellations du zodiaque, changer d'hémisphère céleste, et donc de hauteur dans le ciel.

2B Repérer les saisons sur le ciel

EQUINOXE DE PRINTEMPS (20 mars) :

Le 20 mars, la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel suit l'équateur céleste. Le Soleil se lève donc exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest. A midi, le Soleil coupe le méridien local à une hauteur de 41° . La journée et la nuit durent 12 heures – à Reims, comme partout sur Terre. Cette journée particulière est appelée **équinoxe** (sous entendu, de printemps). Etymologiquement, le terme équinoxe provient du latin *equi* (égal) et *nox* (nuit). Il s'agit donc du jour où la durée de la journée est égale à la durée de la nuit.



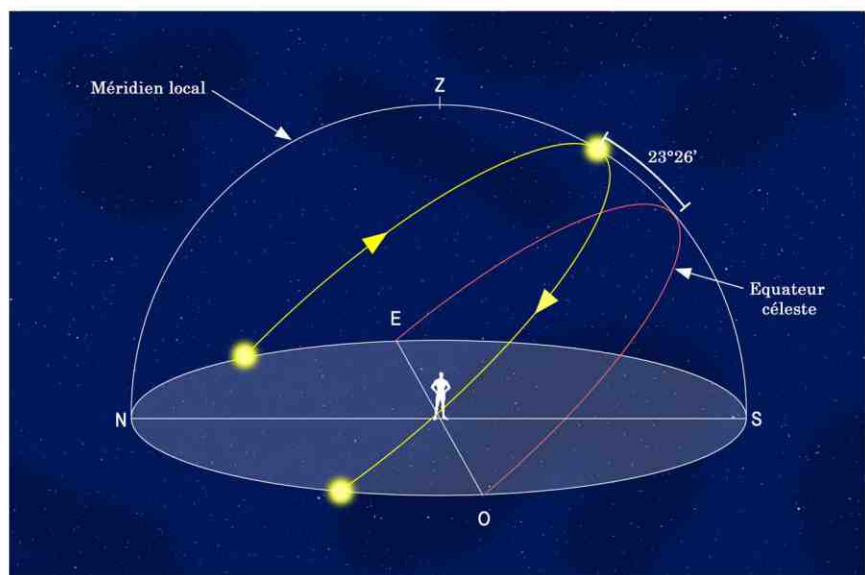
▲ Trajectoire apparente du Soleil dans le ciel, le 20 mars.

L'équinoxe de printemps correspond également au jour où le Soleil, en raison de son déplacement annuel sur l'écliptique, quitte l'hémisphère céleste sud pour entrer, pour 6 mois, dans l'hémisphère céleste nord. En conséquence, au pôle nord, l'équinoxe de printemps correspond au lever du Soleil, et au début d'une journée qui durera 6 mois sans interruption.

Comme nous le verrons plus loin, il existe deux équinoxes dans l'année. Le 23 septembre correspond à l'équinoxe d'automne. Ce deuxième équinoxe est en tous points semblable à l'équinoxe de printemps (la durée du jour et la hauteur du Soleil à midi restent les mêmes) à une différence près. Au moment de l'équinoxe d'automne, le Soleil change à nouveau d'hémisphère céleste, et passe du nord au sud. L'équinoxe d'automne marque donc, pour un observateur situé exactement au pôle nord, le début d'une nuit longue de 6 mois.

SOLSTICE D'ETE (21 juin) :

Le 21 juin, nous constatons que le Soleil se lève au nord-est et se couche au nord-ouest. A midi, le Soleil coupe le méridien à une hauteur de $64^\circ 26'$. Il est alors à $23^\circ 26'$ au-dessus de l'équateur céleste. Il atteint son point culminant pour l'année, et sa course dans le ciel est la plus longue. A Reims, la journée dure 16 heures – c'est la journée la plus longue de l'année - et la nuit ne dure que 8 heures. Pour comparaison, à Alexandrie, la journée dure 14 heures, et à Stockholm, 18 heures. Ce jour particulier s'appelle le **solstice**. Etymologiquement, le terme solstice vient du latin *sol* (soleil), et *stare* (s'arrêter). Il s'agit donc du jour où le Soleil «s'arrête» de monter.



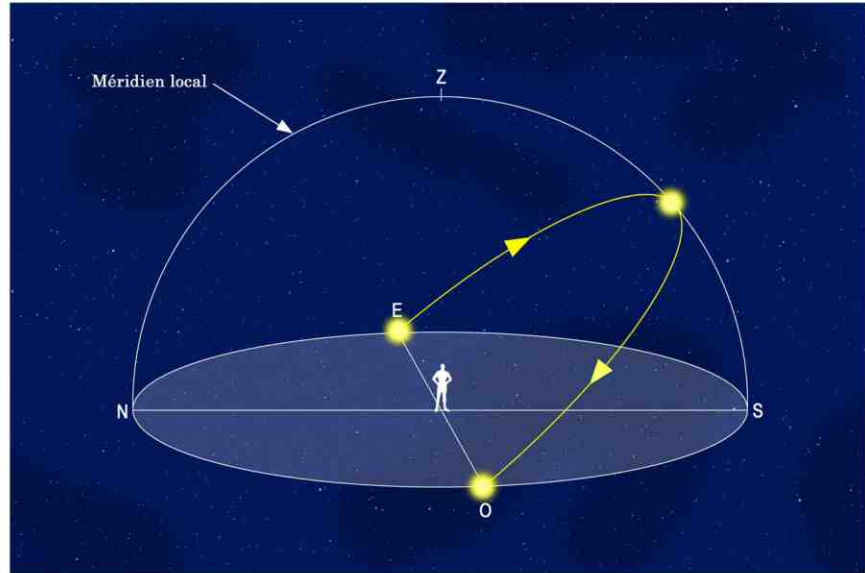
▲ Trajectoire apparente du Soleil dans le ciel, le 21 juin.

2c Repérer les saisons sur le ciel

EQUINOXE D'AUTOMNE (23 septembre) :

Le 23 septembre, la trajectoire apparente du Soleil suit de nouveau l'équateur céleste, comme le 20 mars. Le Soleil se lève donc exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest. A midi, le Soleil coupe le méridien local à une hauteur de 41° . La journée et la nuit durent 12 heures – à Reims, comme partout sur Terre. Nous sommes de nouveau le jour de l'**équinoxe**, qui marque cette fois le début de l'automne.

En raison de son déplacement annuel le long de l'écliptique, le Soleil quitte l'hémisphère céleste nord pour entrer dans l'hémisphère céleste sud, pour une période de 6 mois. En conséquence, le pôle nord se retrouve plongé dans la nuit, alors que le pôle sud débute une journée qui durera 6 mois sans interruption.

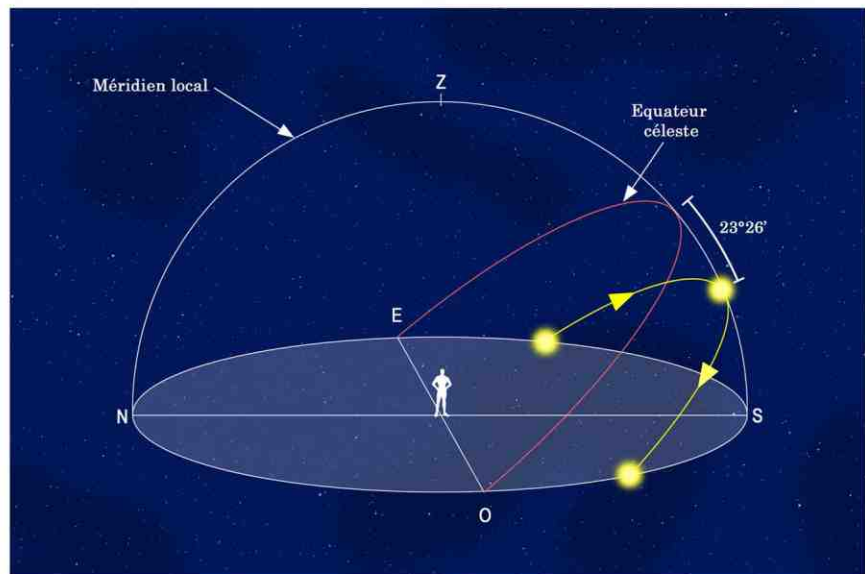


▲ Trajectoire apparente du Soleil dans le ciel, le 23 septembre.

SOLSTICE D'HIVER (21 décembre) :

Le 21 décembre, le Soleil se lève vers le sud-est et se couche vers le sud-ouest. A midi, le Soleil coupe le méridien à une hauteur de $17^\circ 34'$. Il est alors à $23^\circ 26'$ en dessous de l'équateur céleste. C'est la position la plus basse pour le Soleil pour l'année. Nous sommes donc au **solstice d'hiver**.

Entre son lever et son coucher, le Soleil ne reste au-dessus de l'horizon que 8 heures. La nuit dure donc 16 heures – c'est la journée la plus courte de l'année. Pour comparaison, à Alexandrie, la journée dure 10 heures, et à Stockholm, seulement 6.

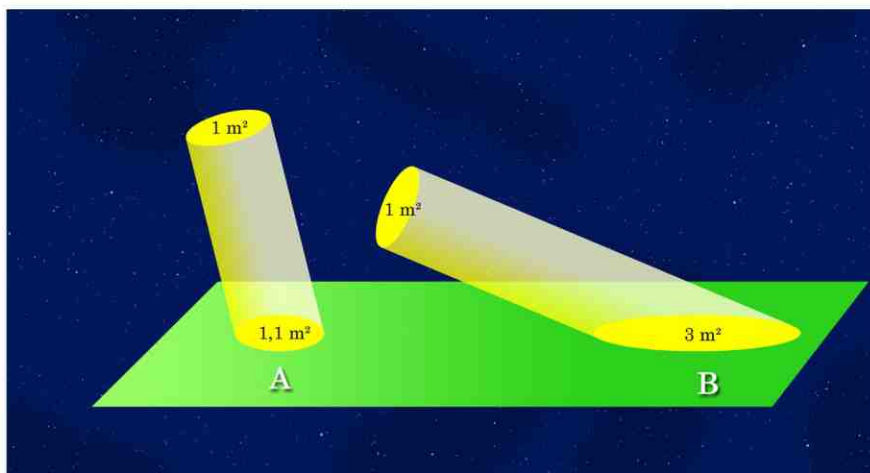


▲ Trajectoire apparente du Soleil dans le ciel, le 21 décembre.

2D Repérer les saisons sur le ciel

POURQUOI FAIT-IL PLUS CHAUD EN ETE ?

Comme l'axe de la Terre est incliné, le Soleil est beaucoup plus haut en été (64° de hauteur à midi solaire à Reims, le 21 juin) qu'en hiver (17° de hauteur à midi solaire, à Reims, le 21 décembre). De plus, la journée est plus longue en été (environ 16 heures à Reims, le 21 juin) qu'en hiver (8 heures à Reims, le 21 décembre). La durée d'ensoleillement est donc beaucoup plus importante en été.



▲ Pour un même faisceau de lumière, plus le Soleil est bas sur l'horizon, plus la chaleur se répartit sur une surface importante.

LE SOLEIL EST PLUS HAUT :

Imaginez un faisceau de lumière de 1m^2 de section en provenance du Soleil (figure ci-dessus). Lorsque ce faisceau fait un angle de 64° avec le sol (A), comme c'est le cas en juin, il devra chauffer une surface d' $1,1\text{m}^2$. Mais en décembre, lorsque ce même faisceau fait un angle de 17° (B), la surface à réchauffer est de 3m^2 . Chaque mètre carré reçoit donc **trois fois moins de chaleur en hiver qu'en été**. En résumé, un même faisceau de lumière solaire chauffe une plus petite surface en été qu'en hiver.

LA DUREE D'ENSOLEILLEMENT EST PLUS LONGUE :

En juin, les journées sont deux fois plus longues qu'en décembre. Le Soleil nous chauffe donc **deux fois plus longtemps**. On constate qu'à nos latitudes, le facteur durée du jour est un peu moins important dans le phénomène des saisons que le facteur hauteur du Soleil.

EN PRATIQUE :

Mesure de la puissance lumineuse (en Watt) reçue par la Terre, au-dessus de l'atmosphère et au niveau du Sol, en fonction de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon (source : Météo France)

Date	21 décembre	21 juin
Hauteur du Soleil au dessus de l'horizon	17°	64°
Puissance reçue hors atmosphère	470 W	1250 W
Puissance reçue au niveau du sol	290W	950 W

2E Repérer les saisons sur le ciel

CONCLUSION :

Il serait tentant de réduire le phénomène des saisons à une simple observation de la durée d'ensoleillement, et qui consisterait à conclure qu'il fait plus chaud en été parce que le Soleil nous éclaire plus longtemps. Se limiter à cet aspect du phénomène aboutirait à une incohérence : en été, la journée est plus longue à Reims (un peu plus de 16h) qu'à Marseille (environ 15h). Et au pôle nord, la journée est encore plus longue, puisqu'elle dure 24 heures ! Faudrait-il en conclure qu'il fait plus chaud au pôle nord que sur les bords de la méditerranée ?

Il faut donc lever cette contradiction, et s'intéresser tout autant à la durée du jour qu'à l'énergie apportée par le Soleil suivant sa hauteur dans le ciel.

Dans la page 2D, nous avons vu que suivant la hauteur du Soleil dans le ciel, son énergie s'étale plus ou moins à la surface de la Terre. En été, l'étalement des rayons du Soleil est faible : le Soleil nous apporte alors beaucoup d'énergie. A l'inverse, en hiver, l'étalement des rayons du Soleil est beaucoup plus important, le Soleil apporte alors moins d'énergie.

On comprend alors qu'il fasse plus froid au pôle nord qu'à Reims en été : même si le Soleil nous éclaire pendant 24h, sa faible hauteur dans le ciel ($17^{\circ}34'$) fait qu'il n'apporte que peu de chaleur.

Mais attention, si le 21 juin correspond à la journée où les rayons du Soleil apportent le plus d'énergie, ce n'est pas le jour où la température est la plus élevée, car la Terre a besoin d'un certain temps pour se réchauffer (principe d'inertie). De la même manière, le 21 décembre est la journée où l'on reçoit le moins de chaleur, mais ce n'est pas la journée la plus froide. En règle générale, on constate un décalage d'environ 3 semaines entre les saisons «astronomiques» et les saisons «météorologiques».

Le phénomène des saisons pourrait donc se résumer de la manière suivante : il fait chaud en été car le Soleil nous apporte beaucoup d'énergie, et ce pendant longtemps. Il fait par contre froid en hiver car le Soleil nous apporte peu d'énergie, et ce pendant peu de temps.

A RETENIR :

- 1) Pour avoir des saisons, il faut réunir deux conditions :
 - la Terre doit tourner autour du Soleil
 - L'axe de rotation doit être incliné par rapport au plan de l'orbite.
- 2) L'inclinaison de l'axe de la Terre provoque :
 - Une variation de hauteur du Soleil au cours de l'année
 - Une variation de la durée du jour et de la nuit
- 3) Deux mots importants : SOLSTICE et EQUINOXE

CONSTRUIRE UN HELIOLABE

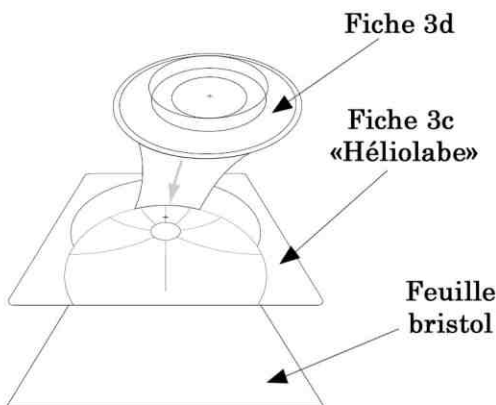
PRINCIPE :

L'Héliolabe permet de connaître la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel en fonction des saisons. Il permet également de déterminer les heures du lever et du coucher du Soleil, ainsi que la durée des journées pour chaque saison.

MATERIEL :

Ciseaux, cutter, colle, 1 attache parisienne.

CONSTRUCTION :



1) Imprimez les fiches 3c et 3d sur du bristol.

2) Avec un cutter, évidez soigneusement les parties grises de la fiche 3c «héliolabe».

3) Découpez soigneusement le disque de la fiche 3d.

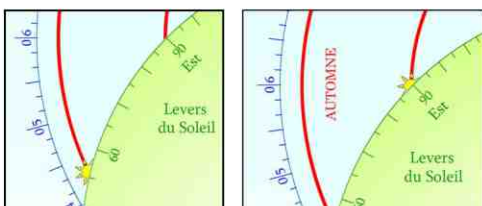
3) Assemblez avec une attache parisienne le disque de la fiche 3d sur la fiche 3c.

4) Afin de renforcer le tout, nous vous conseillons de coller une feuille de bristol au dos de l'héliolabe, en prenant soin de ne coller que les 4 coins, afin de ne pas gêner la rotation du disque.

UTILISATION :

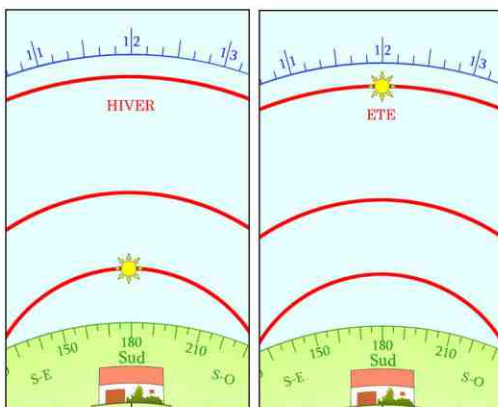
Sur le disque mobile, les trajectoires du Soleil dans le ciel pour chacune des saisons sont représentées par les lignes rouges. La ligne verte correspond à la ligne d'horizon, et les chiffres en bleu indique les différentes heures de la journée, en heure solaire.

Déterminer dans quelle direction se lève le Soleil ?



En positionnant le centre du Soleil sur la ligne d'horizon, on constate que le Soleil se lève vers le nord-est en été (environ 55° Est), et vers le sud-est en hiver (environ 125° Est). L'idée que le Soleil se lève exactement à l'est (90°) n'est possible qu'au moment du printemps et de l'automne (il en va de même pour le coucher du Soleil).

A quelle moment de la journée le Soleil est-il au plus haut ?



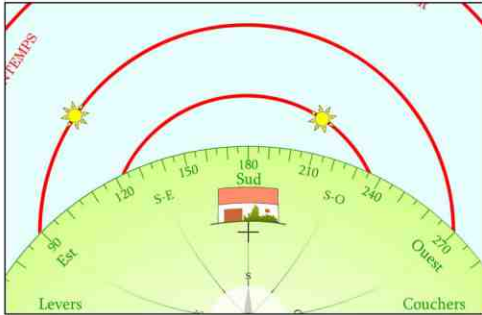
En faisant tourner le disque dans le sens des aiguilles d'une montre, on constate que quelle que soit la saison, le Soleil est au plus haut dans le ciel lorsqu'il passe vers le sud. A ce moment là, il est midi solaire.

En revanche, en fonction des saisons, le Soleil ne culmine pas à la même hauteur à midi solaire. Le Soleil est beaucoup plus haut en été qu'en hiver. Au printemps et en automne, il occupe une position intermédiaire.

CONSTRUIRE UN HELIOLABE

UTILISATION :

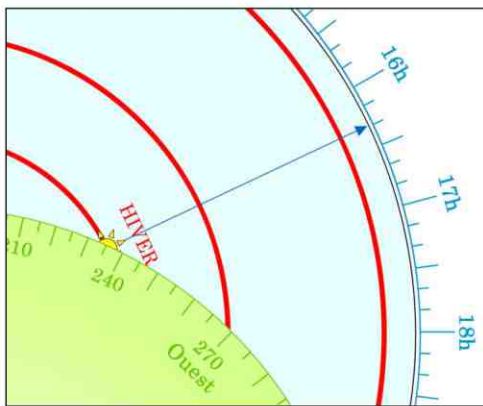
En quelles saisons les journées sont les plus longues ? les plus courtes ?



Sur le disque, les lignes rouges représentent la trajectoire du Soleil pendant la journée, au cours des saisons. Tournez le disque dans le sens des aiguilles d'une montre. On remarque que la trajectoire du Soleil dans le ciel est plus courte en hiver, intermédiaire au printemps et en automne. Les journées les plus longues ont lieu en été.

Cette constatation pourra également être vérifiée avec la question suivante :

Pour chaque saison, combien de temps dure une journée ?



▲ En hiver, le Soleil se couche vers 16h15.

Pour chacune des saisons, placer le centre du Soleil sur la ligne d'horizon. La flèche bleue vous indique alors l'heure (en bleue) du lever et du coucher du Soleil, en heure solaire :

Lever du Soleil :
 Printemps : 6h00
 Été : 4h15
 Automne : 6h00
 Hiver : 7h45

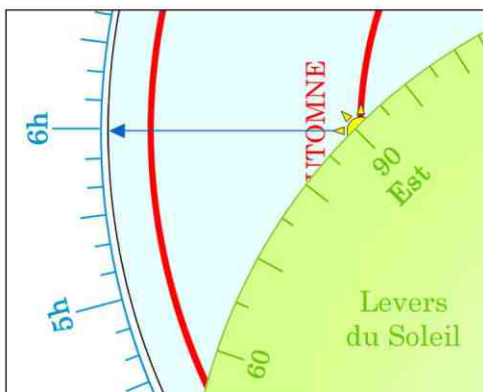
Coucher du Soleil :
 Printemps : 18h00
 Été : 19h45
 Automne : 18h00
 Hiver : 16h15

Soustraire alors l'heure du coucher à l'heure du lever du Soleil pour une même saison. On obtient ainsi la durée de la journée correspondante. En déduire :

- La durée de la nuit

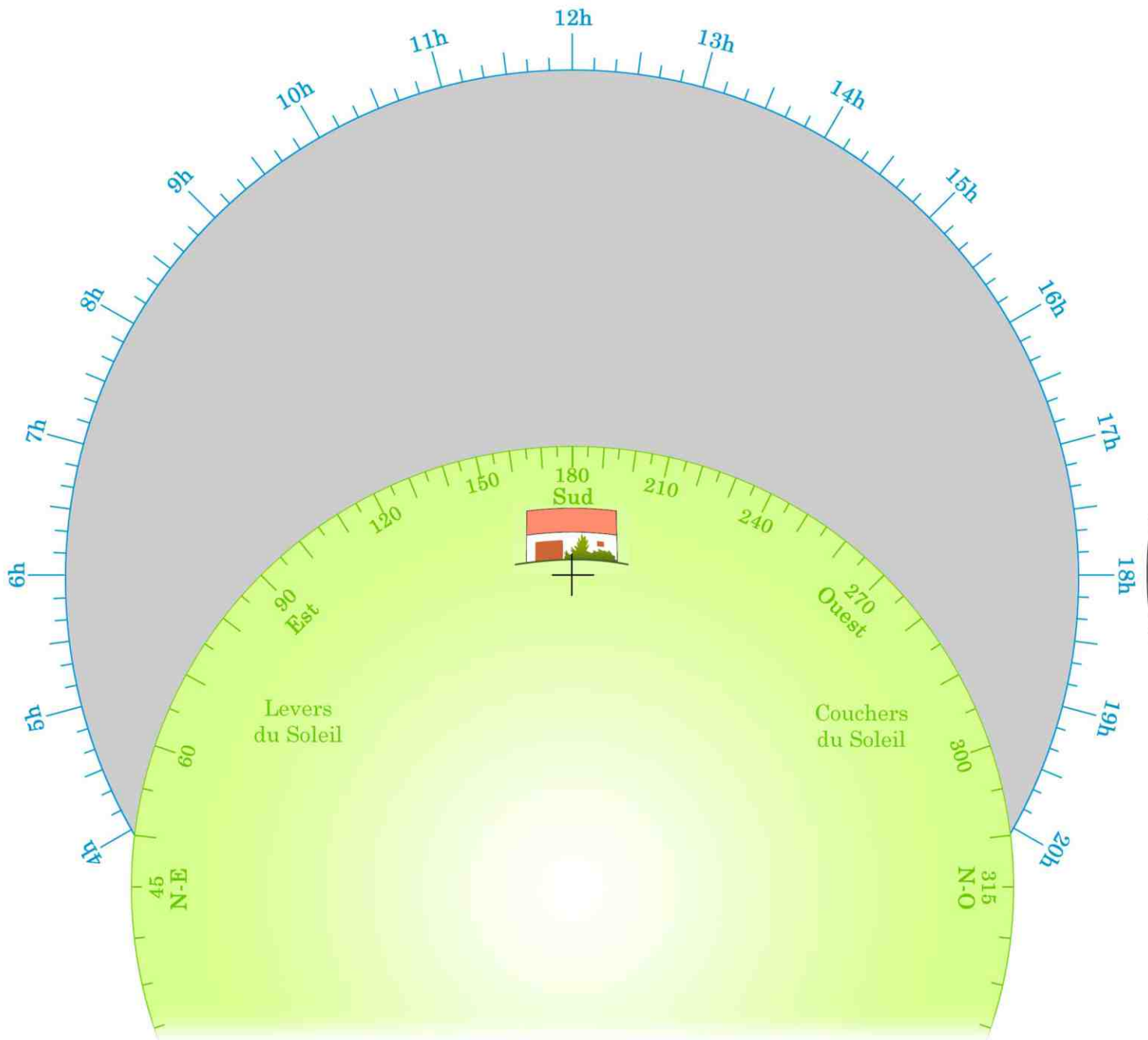
- En quelles saisons les journées sont les plus longues ?
 - les plus courtes ?

- Que peut-on dire de la durée du jour et de la nuit au printemps et en automne ?



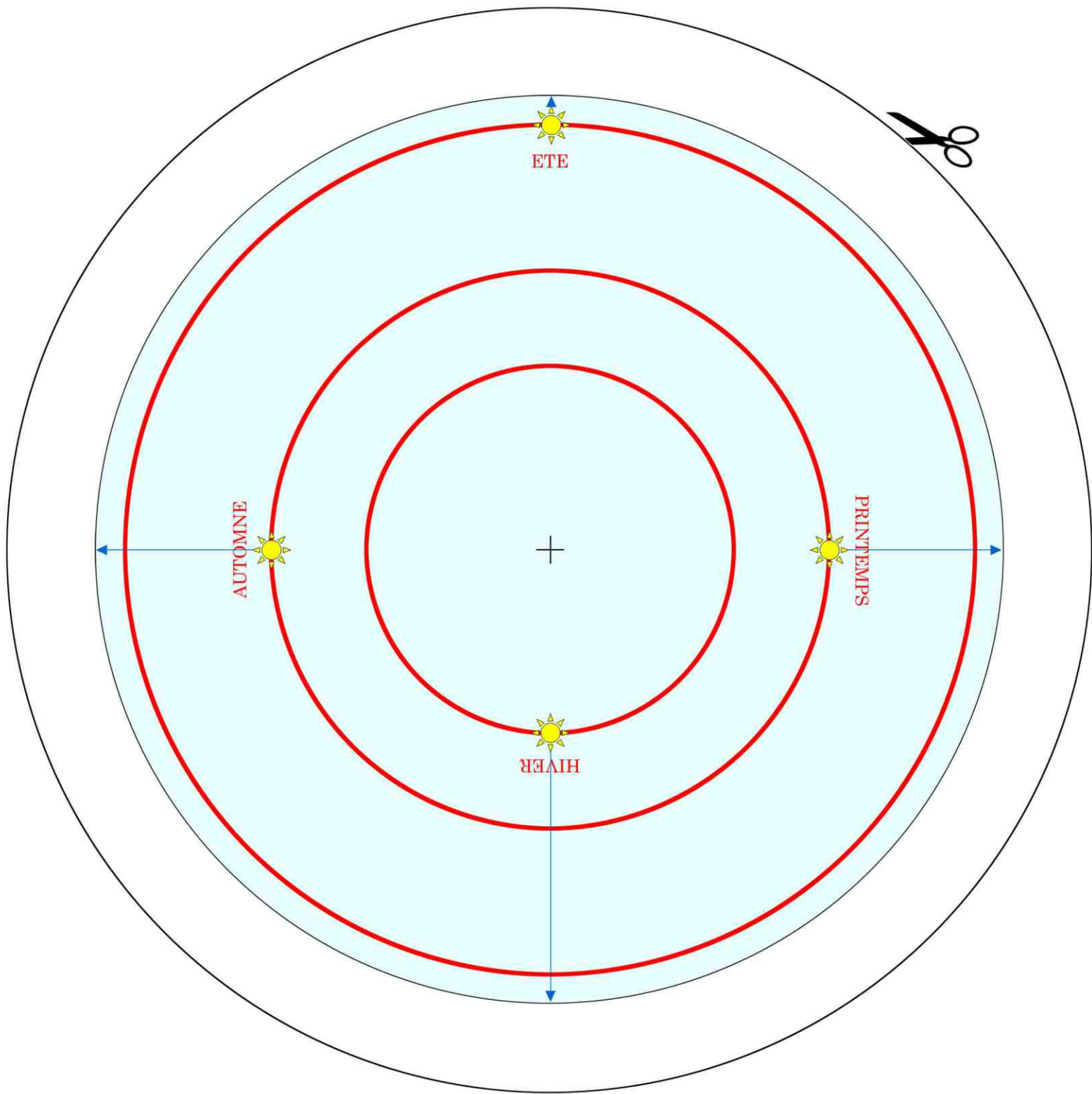
▲ En automne, le Soleil se lève vers 6h00.

3c Héliolabe



ATTENTION : les heures données sur l'Héliolabe sont en heures solaires.
Pour obtenir l'heure de la montre, ajouter une heure en période d'heure d'hiver,
et deux heures en période d'heure d'été.

3D Héliolabe



3^E PROPOSITION D'ACTIVITES

CONSTRUIRE UN VARIATEUR DE HAUTEUR SOLAIRE

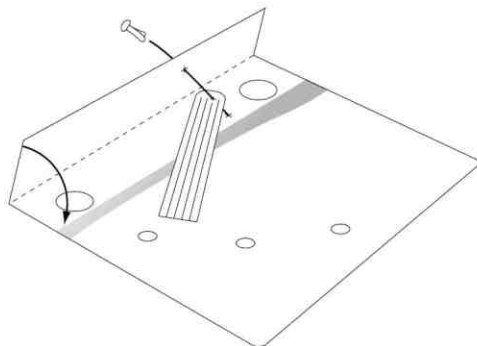
PRINCIPE :

Cette maquette permet de constater qu'en fonction de la hauteur du Soleil, la surface chauffée au sol est plus ou moins importante.

MATERIEL :

Ciseaux, colle, 1 attache parisienne.

CONSTRUCTION :



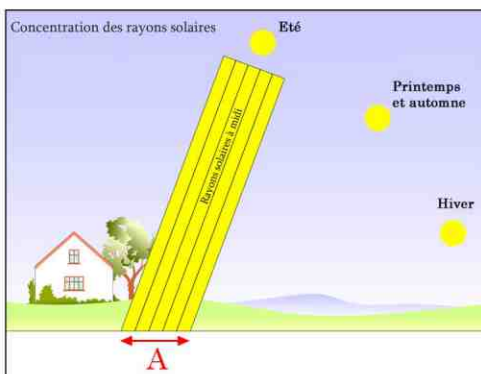
1) Imprimez la fiches 3f sur du bristol.

2) Avec un ciseaux, découper le document ainsi que la languette «rayons solaires à midi».

3) Pliez le pointillé pour rabattre et coller le volet rectangulaire du bas du croquis.

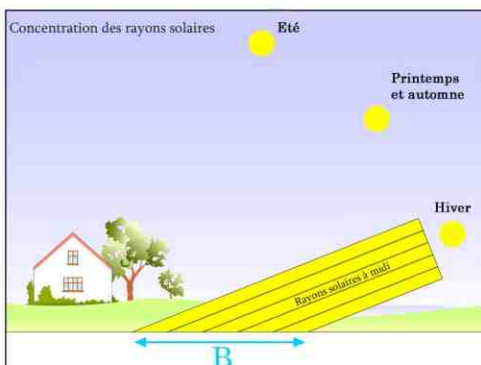
3) Glissez les rayons solaires sous le volet. Centrez les trous et attachez l'ensemble avec une attache parisienne.

UTILISATION :



Afin d'exploiter au mieux cette maquette, il est important de préciser aux élèves, dès le début de l'activité, que dans l'espace, le Soleil brille toujours de la même façon, indépendamment des saisons qui se déroulent sur Terre. Le Soleil envoie donc toujours la même quantité d'énergie vers la Terre.

Placez les rayons du Soleil sur la position été, et notez la surface du sol qui est chauffée par les rayons solaires. Répétez la même opération pour l'hiver, et éventuellement pour la position «printemps-automne». Que constatez-vous ?



En été, lorsque le Soleil est au plus haut, ses rayons sont moins inclinés par rapport au sol. Ils chauffent une petite surface, notée A. En hiver, ces mêmes rayons sont fortement inclinés. Ils doivent chauffer une surface plus grande, notée B. On constatera également qu'au printemps et en automne, l'inclinaison des rayons sont exactement les mêmes.

C'est donc bien la variation de hauteur du Soleil au cours de l'année qui agit sur la quantité d'énergie reçue à la surface de la Terre.

3F PROPOSITION D'ACTIVITES

Concentration des rayons solaires

www.planetarium-provence.com

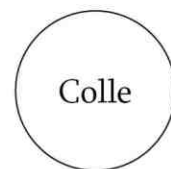
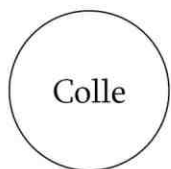
Été



Printemps
ou automne



Hiver



+

Rayons solaires à midi

LA PRECESSION DES EQUINOXES (1)

Jusqu'ici, nous avons considéré que l'axe de rotation de la Terre gardait une direction fixe dans l'espace, et qu'en conséquence, il était toujours orienté vers l'étoile polaire. Cela serait exact si la Terre était parfaitement sphérique.

Mais notre planète est légèrement aplatie aux pôles, avec un renflement ceinturant l'équateur. La répartition de la masse n'est donc pas homogène. Les forces de marées exercées par le Soleil et la Lune sur le renflement équatorial terrestre tendent à amener l'excès de masse présent à l'équateur vers le plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre), entraînant un changement de direction de l'axe de la Terre. Cependant, ces forces ne changent pratiquement pas l'angle d'inclinaison de la Terre, qui reste proche de $23^{\circ}26'$, car celle-ci est en rotation (principe du gyroscope). L'axe de rotation terrestre décrit un cône en 26 000 ans, centré sur le pôle nord écliptique. Ce mouvement est appelé **précession** (voir schéma ci-contre).

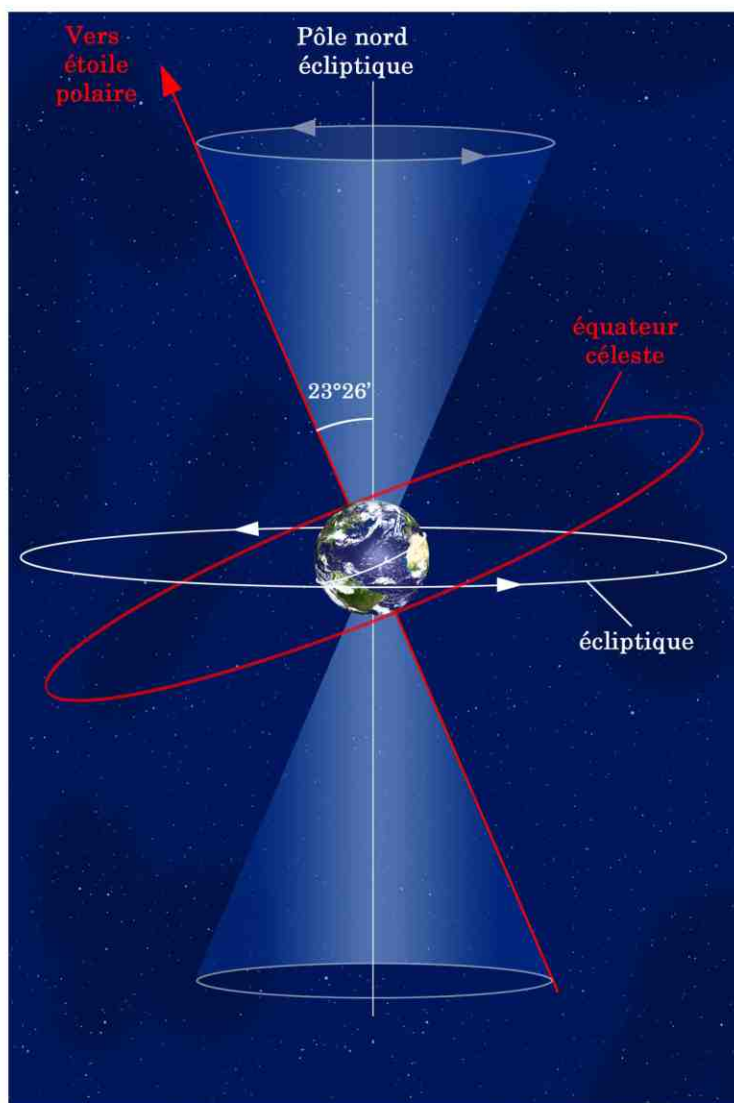
CONSEQUENCES SUR LES SAISONS :

Dans les pages précédentes, nous avons vu que les solstices et les équinoxes sont définis par rapport à l'axe de la Terre (qui est lui-même perpendiculaire à l'équateur céleste).

Mais comme l'axe de rotation n'est pas fixe, les saisons doivent se décaler dans le temps.

Le mouvement de précession fait tourner le plan contenant l'axe de la Terre et perpendiculairement au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) d'un tour en 26 000 ans, soit environ 14° en 1000 ans. En l'an 1000, le solstice d'hiver a eu lieu lorsque le plan de l'axe de la Terre passait par le Soleil. 1000 ans plus tard, ce plan a tourné de 14° et le solstice se produit plus tôt sur l'orbite de la Terre.

De ce fait, l'année des saisons, appelée **année tropique**, est plus courte de 20 minutes que la durée de révolution de la Terre par rapport aux étoiles, appelée année sidérale. La durée de l'année sidérale est de 365,256 jours, tandis que l'année tropique dure 365,242 jours. Ce décalage de 20 minutes sur une année peu paraître minime, mais si on n'en tient pas compte, il entraîne un décalage du calendrier par rapport aux saisons. Ainsi, en 1582, notre calendrier accusait 11 jours d'avance ! Il fallut donc entreprendre une réforme (la réforme grégorienne) afin de recalculer le calendrier sur l'année tropique, et éviter que ce décalage ne se répète à l'avenir.

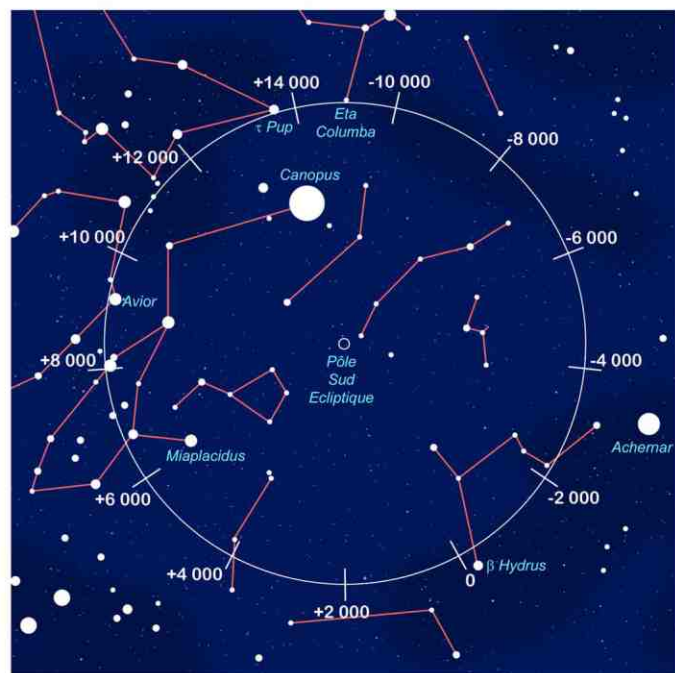
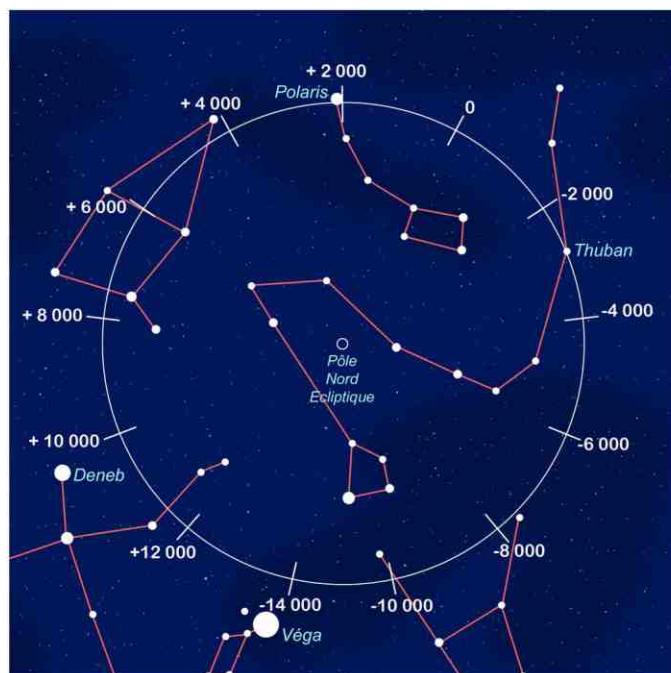


LA PRECESSION DES EQUINOXES (2)

L'ÉTOILE POLAIRE EST-ELLE VRAIMENT POLAIRE ?

A cause du mouvement de précession, l'axe de rotation se trouve ainsi orienté tour à tour devant différentes étoiles, qui peuvent toutes prétendre au titre « d'étoile polaire ». L'étoile que nous appelons actuellement l'étoile polaire est en réalité l'étoile Polaris (ou α Ursa Minor). Cependant, elle n'est pas encore totalement polaire. En effet, le pôle nord céleste ne sera correctement orienté vers cette étoile qu'en ... 2098 ! Dans environ 8 000 ans, ce sera au tour de l'étoile Deneb du Cygne (α Cygnus) d'être étoile polaire, puis de Véga de la Lyre (α Lyrae) dans 12 000 ans. A l'époque de la construction des Pyramides, Thuban (α Draconis) était étoile polaire.

Dans l'hémisphère sud, actuellement, il n'y a pas d'étoile remarquable dans la direction du pôle céleste. Mais ce n'est pas toujours le cas. Dans 13 000 ans, l'étoile Eta de la Colombe pourra être considérée comme l'étoile polaire australe.



▲ Déplacement des pôles célestes nord et sud, dû au mouvement de précession. Toutes les étoiles situées à proximité du cercle peuvent prétendre un jour au titre d'étoile polaire.

LES PERIODES GLACIAIRES

La quantité d'énergie solaire reçue par la Terre est à peu près constante. Cependant, les mouvements de la Terre ne sont pas parfaitement réguliers. Sur de très longues périodes de temps, ces irrégularités vont faire varier légèrement la quantité d'énergie solaire reçue par notre planète et avoir des conséquences à long terme, sur les saisons et le climat.

Première irrégularité : la Terre décrit autour du Soleil une ellipse, proche du cercle, dont l'excentricité varie avec des périodicités de 100 000 à 400 000 ans.

Deuxième irrégularité : l'axe de rotation de la Terre est incliné de $23^{\circ}26'$ par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique. Cet angle varie entre $21^{\circ}30'$ et $24^{\circ}30'$ selon une périodicité de 40 000 ans (mouvement de nutation). Une forte variation de l'inclinaison de l'axe des pôles terrestre conduit à un plus fort contraste saisonnier.

Troisième irrégularité : l'axe de rotation terrestre décrit un cône autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique avec une périodicité de 26 000 ans. C'est le mouvement de précession.

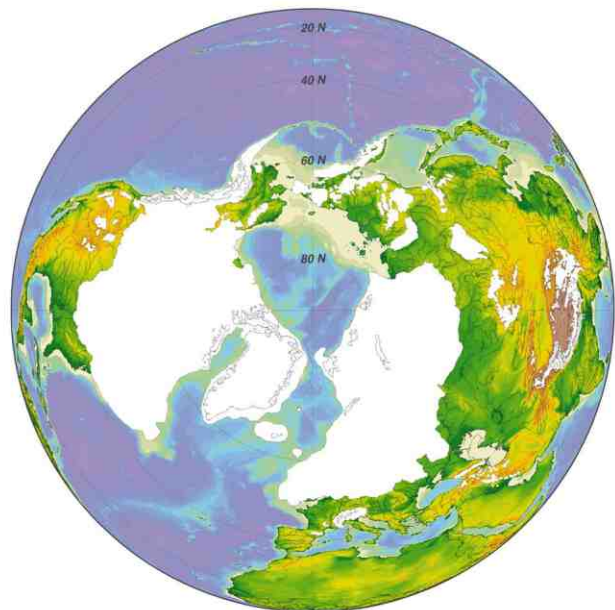
Selon la théorie de Milankovitch, ces trois irrégularités conjuguées seraient à l'origine des épisodes glaciaires et interglaciaires que nous vivons depuis 2 millions d'années.

La combinaison des variations de ces divers paramètres fait que la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre, n'est pas parfaitement constante. Un point de la surface terrestre reçoit des quantités d'énergie variables au cours de l'année et au cours du temps, même si l'ampleur de ces variations reste minime. Les périodicités des variations des paramètres orbitaux étant connues, il est possible de déterminer mathématiquement les quantités d'énergie solaire reçues par la Terre, mais aussi de prévoir celles qu'elle recevra dans l'avenir.

Nous savons que depuis 1 à 2 millions d'années se succèdent des épisodes glaciaires et interglaciaires, dont la durée s'échelonne entre 10 000 et 100 000 ans. La diminution de l'énergie solaire reçue par la Terre qui est prévue pour un proche avenir, à l'échelle géologique, devrait mettre fin à l'interglaciaire actuel. Nous devrions donc entrer prochainement dans un nouvel épisode glaciaire. Or, l'évolution des données climatiques disponibles pour le siècle dernier, et plus particulièrement pour les 50 dernières années, suggère au contraire que le globe est en train de se réchauffer.

Ce réchauffement récent, à l'échelle géologique, traduit très certainement le forçage de l'effet de serre par la machine industrielle. Mais il pourrait masquer une évolution de fond, plus lente, de l'entrée de la Terre dans un nouvel épisode glaciaire.

Aujourd'hui, ce sujet est au cœur des débats scientifiques ...



▲ *Etendue de la calotte polaire nord, lors de la dernière glaciation, il y a 12 000 ans.*