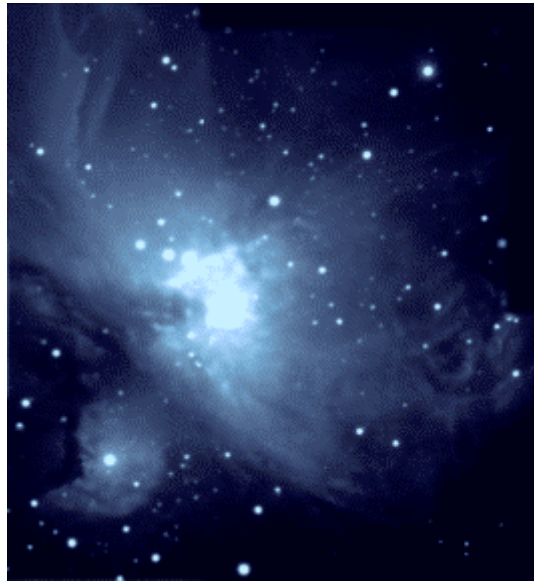


**SOCIETE LORRAINE D'ASTRONOMIE.**

# **L'ECHO D'ORION**



Mosaïque de 6 images CCD réalisées à l'Observatoire le 02/02/98

**2001 - 2<sup>ème</sup> Trim**

**N° 119**

## **SOMMAIRE**

**LE MOT DU PRESIDENT**

**LA S.L.A. A BADONVILLER**

**LES MOUVEMENTS DE LA TERRE (1ERE PARTIE)**

**SOLUTIONS DES MOTS CROISES DU N°118**

# LE MOT DU PRESIDENT

Le 1<sup>er</sup> semestre du 3<sup>ème</sup> millénaire, je l'espérais autrement.  
Je rêvais à de grands bouleversements avec un comportement différent des hommes.  
Je rêvais aussi à de grandes aventures spatiales.

Pour ce qui est des hommes ce n'est pas un rêve, c'est de l'utopie de croire qu'ils puissent changer.

Pour le spatial, des grands projets sont prévus : visite de Mars, Mercure, Titan, si l'argent ne manque pas. Une visite de Pluton, sans oublier le projet européen de se poser sur un astéroïde.

Nous avons assisté à la destruction de la station Mir, ce joyau de la technologie du siècle précédent; personnellement je pense qu'elle aurait pu tourner encore de longues années autour de notre Terre. Il suffisait peut être simplement de la remonter sur une orbite plus haute ! Depuis l'espace, elle nous aura fait connaître notre terre avec des prises de vue exceptionnelles.

Plus bas sur la terre ferme, une association se bat pour subsister.

La parution de ce n° 119 de l'Echo d'Orion prouve de façon évidente qu'elle y parvient. Pour les adhérents qui le souhaitent ce journal est un lien solide qui les relie.

Ce début d'année a été fertile en observations.

Les sujets ne manquaient pas, Jupiter et Saturne, les phases de Vénus très brillante en début de soirée, ensuite les objets Messier, la planète Mars en opposition au mois d'avril, et Mercure visible à la tombée du jour.

On constate que l'on étudie très souvent la lune, Jupiter, ou même notre Soleil.

Mais à ce sujet, la Terre est certainement la planète du système solaire la moins connue par les astronomes amateurs et pour cause, c'est la seule que l'on ne puisse observer dans les télescopes.

La station Mir nous a fait découvrir ses beautés, son atmosphère transparente, son relief exceptionnel si superbement coloré.

Dans un article très détaillé, Pierre Haydon nous décrit ses mouvements de rotation et de révolution dans l'espace.

Comprendre la Terre, c'est comprendre les autres planètes, et vice versa....

Un dernier mot pour la fête annuelle de l'Astronomie. N'hésitez pas à vous présenter pour la NUIT des ETOILES, votre présence est souhaitée afin de mieux répartir les tâches et passer ensemble une belle nuit d'été.

Bonne lecture et bonnes vacances à tous

Michel Mathieu

**13 ET 14 AVRIL 2001**

## **LA S.L.A. À BADONVILLER**

En ce premier week-end pascal du XXI<sup>e</sup> siècle, la Société Lorraine d'Astronomie a connu un événement marquant dans sa vie puisqu'elle est allée à Badonviller rendre un hommage au célèbre astronome Charles Messier, natif de cette petite agglomération en 1730. M. Muller, maire de cette commune nous faisait remarquer que "jamais rien de tel n'avait été organisé à Badonviller en souvenir de Messier depuis sa mort" (survenue à Paris en 1817).

Ainsi, la S.L.A. comblait une lacune.

Plusieurs personnalités nous ont fait l'honneur de leur présence. D'abord, le vendredi 13 au soir, M. Jean-Paul Philbert, auteur de l'ouvrage *Le Furet des comètes*, retraça la vie de Messier dans une conférence de près d'une heure et demie en présence d'un large public de plus de cent personnes. Chacun put admirer la clarté de l'exposé et apprécier la mine de renseignements que M. Philbert ne manqua pas de donner. Le tout enrichi de quelques photographies projetées sur écran.

Évidemment, les documents exposés par la S.L.A. avaient eu aussi la faveur du public: quelques objets Messier bien sûr ainsi que son portrait, mais encore protubérances solaires, éclipse de 1999, cartes de la Lune ou du Ciel, sans oublier les instruments (jumelles, lunettes ou télescopes). A ce propos, la conférence de M. Philbert fut suivie d'une (courte) observation du Ciel sur la terrasse de la mairie avant l'arrivée des nuages vers 23 heures. Mais quelques Badonvillois purent tout de même mettre l'œil à l'oculaire.



Le samedi 14 un vin d'honneur fut servi en début d'après-midi au cours duquel quelques personnalités prononcèrent de petites allocutions en présence des maires du canton. Nous reconnaissons sur la photo, prise à cette occasion, de gauche à droite: M. Michel Mathieu, Mme Suzanne Debarbat, M. Hartmut Frommert, M. Bernard Trézéguet, et M. Jean-Paul Philbert.

Puis chacun avait la possibilité d'acheter le livre de M. Philbert, dédicacé de sa main, ainsi que des revues d'astronomie. *Le Furet des comètes* connut un réel succès puisque aucun des trente exemplaires mis en vente ne restait en fin d'après-midi.

Parallèlement, M. Bernard Trézéguet, capitaine au long cours, présentait le site Internet consacré à Messier. Cette base de données a été réalisée à l'Université d'Arizona sous la conduite de M. Hartmut Frommert et traduite en français par M. Bernard Trézéguet pour le compte de l'Observatoire de Paris. Nous étions heureux justement d'avoir parmi nous M. Hartmut Frommert. Rappelons que le site montre la totalité des objets Messier et donne pour chacun d'eux les renseignements utiles: position, étendue, magnitude, distance, etc. L'adresse du site est:

<http://www.seds.org/messier/>

À la suite de cette démonstration, M. Michel Mathieu, président de la S.L.A., présentait également au public le site Internet de la Société Lorraine d'Astronomie. Quelques questions furent posées par les visiteurs, auxquelles les membres de la S.L.A. répondirent avec plaisir.

La soirée de ce samedi mettait à l'honneur Mme Suzanne Debarbat, astronome à l'Observatoire de Paris. Elle présenta à l'assemblée un très brillant exposé relatif aux travaux – ô combien considérables! – accomplis par Charles Messier. Là encore, ce fut une profusion de détails et de renseignements dispensés à l'auditoire et agrémentés de documents projetés sur écran.



Plaque commémorative apposée sur la façade de la maison natale de Charles Messier à l'occasion des cérémonies organisées pour le bicentenaire de sa naissance.

En définitive, le bilan de ces deux jours a été très positif et le public tout à fait satisfait des diverses prestations. Un grand bravo pour la S.L.A.

*Pierre Haydont*

*Le furet des comètes: Charles Messier*

Jean-Paul Philbert aux éditions Pierron. 160 pages + 32 pages d'illustrations hors-texte. 15,5 cm × 24 cm.

# LES MOUVEMENTS DE LA TERRE

## PREMIÈRE PARTIE

*Il nous est souvent arrivé, nous trouvant dans une voiture ou un train arrêté à côté d'un autre véhicule, de nous apercevoir que nous nous sommes mis en marche doucement, sans nous en rendre compte. En jetant un coup d'œil au-dehors, nous réalisons que notre véhicule roule effectivement et que l'autre, celui d'à côté, "reste en arrière". Cela revient à dire que nous percevons le mouvement par rapport aux objets voisins.*

*C'est exactement ce qui se produit avec l'astre sur lequel nous vivons. Son mouvement nous échappe tant que nous ne tournons pas nos regards vers le panorama qu'il nous est donné de contempler de la Terre: la voûte céleste. Le mouvement apparent de celle-ci va nous faire comprendre le mouvement réel de notre planète.*

*Nous savons que la Terre tourne simultanément sur elle-même et autour du Soleil. Apprenons maintenant à déceler ces deux mouvements par l'étude de la voûte céleste. Nous verrons alors que notre globe est également animé de beaucoup d'autres mouvements, mais tous ne sont pas observables, ni faciles à percevoir. Or l'alternance des jours et des nuits, la durée du jour et celle de l'année, la succession des saisons ne sont pas les seules conséquences de ces mouvements. Notre conception même du temps, de la durée de toutes choses s'est formée par rapport aux mouvements de notre planète.*

### **La rotation**

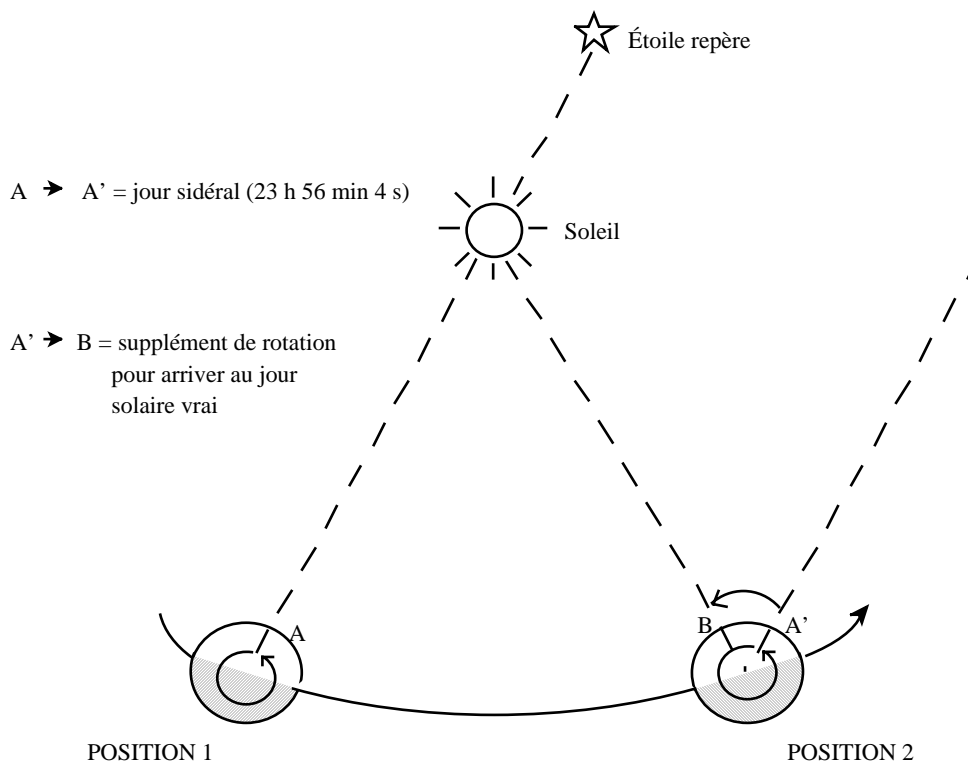
Comment prouver que c'est bien la Terre qui tourne sur elle-même et non le ciel autour d'elle selon les apparences? Nous rappellerons dans l'annexe A l'expérience du pendule de Foucault.

Si pendant un jour et une nuit, sans interruption, nous jetons toutes les heures un coup d'œil à la voûte céleste, nous remarquons que le Soleil n'occupe pas toujours la même place dans le ciel, mais qu'il suit un certain chemin, partant d'un point de l'horizon situé vers l'est pour monter au firmament et se rapprocher ensuite d'un point de l'horizon situé vers l'ouest. Après le coucher du Soleil, nous pouvons voir les autres étoiles, et observer que chacune d'elles suit un chemin semblable à celui de l'astre du jour. Si nous prolongeons notre observation 24 heures de plus, nous constatons que Soleil et étoiles décrivent la même trajectoire que le jour précédent. Tout se passe donc comme si nous étions debout dans une pièce et que nous pivotions lentement sur nous-mêmes. C'est en cela que consiste le mouvement de *rotation* de la Terre.

Notre planète a une forme sphérique. Or, la rotation d'une sphère se fait de telle façon que deux de ses points (les pôles) sont fixes. Si l'on transperçait une sphère, pendant qu'elle tourne, avec une fine aiguille qui entrerait et sortirait par ces deux points, la sphère continuerait à tourner même si nous tenions l'aiguille entre nos doigts. Celle-ci est donc *l'axe de rotation* de la sphère. Pendant que la Terre se déplace en tournant, son axe de rotation se maintient parallèle à lui-même, c'est-à-dire qu'il est toujours pointé vers la voûte céleste, dans la même direction.

Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des apparences dues au mouvement diurne, c'est-à-dire de la manière dont la rotation terrestre se manifeste d'une façon appréciable. Il importe maintenant de préciser sa durée, car, malgré ce qu'on peut croire au premier abord, il ne faut pas la confondre avec la désignation habituelle de *un jour*.

Pour l'usage courant, un jour correspond aux 24 heures qui sont la division admise du temps légal. C'est le *jour solaire moyen*. Si nous notons le temps employé par une étoile quelconque pour revenir chaque soir au point exact (déterminé par un repère) où elle semblait se trouver la veille et où elle reviendra le lendemain, nous trouvons 23 heures 56 minutes et 4,091 secondes. C'est la véritable durée de rotation de la Terre, ou *rotation sidérale*.



**Figure 1. Jour sidéral et jour solaire vrai.**

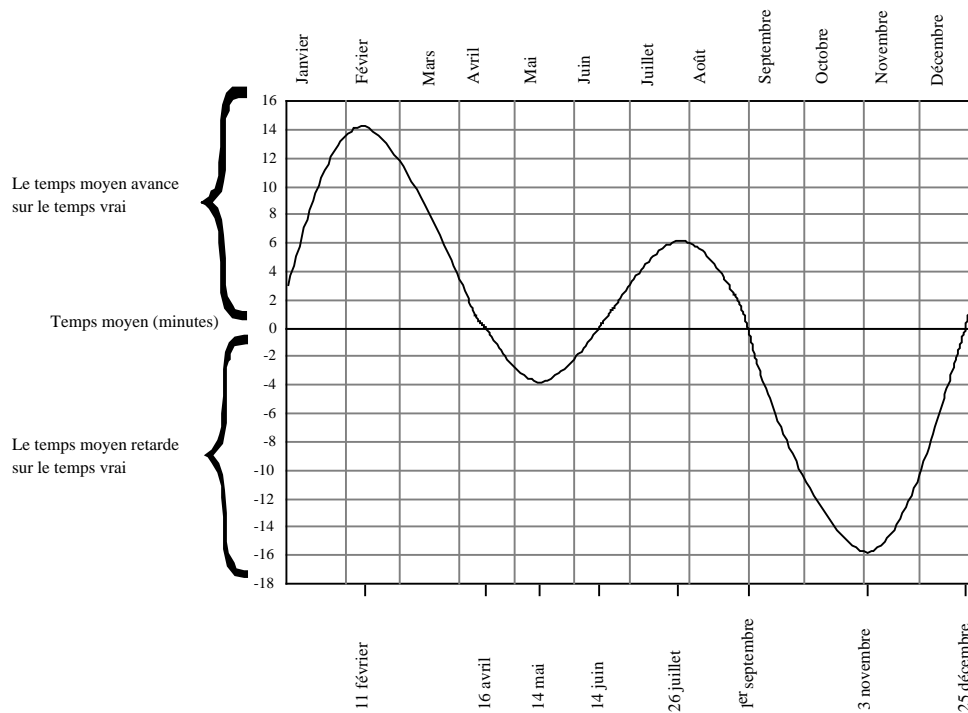
Sur la figure 1 (position 1), le point A est dirigé vers le Soleil. Ce même point revient en face du Soleil en B (position 2). Le temps écoulé entre A et B et qui ramène un même méridien en face du Soleil représente le *jour solaire vrai*.

Cependant, le jour solaire ainsi défini ne peut pas être pris pour unité de temps, car sa durée n'est pas constante. En effet, l'orbite de notre planète étant elliptique, comme nous le verrons un peu plus loin, sa vitesse varie. De la sorte, pendant la durée d'une rotation sidérale (de A en A' soit 23 h 56 min 4 s), la Terre ne parcourt pas une même longueur d'orbite selon qu'elle est près ou loin du Soleil, et la fraction de tour supplémentaire de A' en B qui ramène un même méridien en face de l'astre du jour n'est pas fixe. Évidemment, la variation quotidienne de la durée du jour solaire vrai ne s'élève qu'à quelques secondes. Mais c'est l'accumulation des écarts relatifs à plusieurs jours tous plus courts ou tous plus longs qui produit un décalage important de l'heure solaire par rapport à l'indication d'une horloge uniforme: environ 15 minutes d'avance ou de retard au maximum. Ces conditions constamment changeantes s'opposant à la mesure précise d'un temps qui a besoin de rester invariable, il a fallu adopter la solution satisfaisante d'un *jour solaire moyen*. Voilà pourquoi on imagine que l'écliptique est parcouru, non par le Soleil *vrai*, père du *temps vrai*, mais par un Soleil *moyen* (fictif), père du *temps moyen*, dont la vitesse est toujours la même toute l'année.

Le *jour solaire moyen* est donc le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil *moyen* au méridien d'un lieu, instant que l'on nomme *midi*. En raison des inégalités de vitesse de la révolution terrestre, le *midi vrai* coïncide à certaines époques avec le *midi moyen*; à d'autres époques, il avance ou retarde.

On a confectionné des tables qui donnent, jour après jour, la différence entre temps moyen et temps vrai. Cette différence, appelée *équation du temps*, apparaît sur la figure 2.

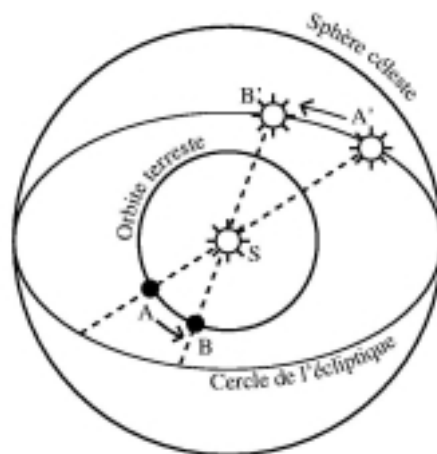
Nos horloges sont donc réglées sur le temps moyen, et il s'écoule 24 heures entre deux midis moyens consécutifs. Ce laps de temps est supérieur de 3 minutes 56 secondes à la durée de la rotation sidérale. Ce supplément de tour que la Terre effectue chaque jour représente une rotation complète en un an (366 tours en 365 jours), ce qui équivaut à un angle très voisin de 1 degré quotidiennement (360 degrés en 365 jours).



**Figure 2. Équation du temps.** Le midi du temps moyen et le midi du temps vrai correspondent quatre fois par an: le 16 avril, le 14 juin, le 1<sup>er</sup> septembre et le 25 décembre. Le 11 février, l'avance du temps moyen sur le temps vrai est maximale: 14 minutes 23 secondes. Elle est de 6 minutes le 26 juillet. Le 3 novembre, le retard du temps moyen atteint 16 minutes 22 secondes. Il est de 3 minutes 51 secondes le 14 mai.

### La révolution autour du Soleil

Une fois connues les conséquences générales de la rotation, la principale étant pour nous l'alternance des périodes de jour et de nuit, il faut étudier ce qui résulte du mouvement de révolution dont notre monde, tout en tournant sur lui-même, est animé autour du Soleil. Pour bien comprendre comment la Terre se comporte vis-à-vis du Soleil, définissons le caractère de l'orbite qu'elle parcourt.



**Figure 3. L'écliptique sur la sphère céleste.** A et B représentent deux positions de la Terre, S la position réelle du Soleil et A' et B' les positions apparentes du Soleil.

Comme toutes les orbites, celle de la Terre est elliptique, avec une excentricité de 0,01674, soit 1/60<sup>ème</sup> environ. Lorsqu'elle passe au *périhélie* vers le 2 ou 3 janvier, sa distance au Soleil est de 147 000 000 de kilomètres; et à l'*aphélie*, vers le 1<sup>er</sup> ou le 2 juillet, de 152 000 000 de kilomètres. De la sorte, le diamètre apparent du disque solaire varie de 32'36'' à 31'38''. Ainsi, la largeur du disque

solaire décroît pendant la première moitié de l'année et croît pendant la seconde. Mais il ne faut pas essayer de remarquer cette différence de diamètre qui ne se verrait pas à l'œil nu, d'autant plus que tout le monde sait que l'on ne doit pas regarder le Soleil sans précautions.

Comme la distance Terre-Soleil varie, sa vitesse n'est pas constante. En moyenne elle est de 29,763 km par seconde. Elle s'abaisse à 29,27 km/s à l'aphélie et atteint 30,27 km/s au périhélie (pour un rappel des lois de Kepler voir l'annexe B).

L'orbite de la Terre est appelée *écliptique* parce que c'est dans son plan que se produisent les éclipses. La trace du plan de l'écliptique sur la sphère céleste est un grand cercle. Du point de vue de l'observateur terrestre, l'astre du jour semble se déplacer suivant ce même cercle de l'écliptique, et effectuer par rapport aux étoiles le tour complet du ciel chaque année.

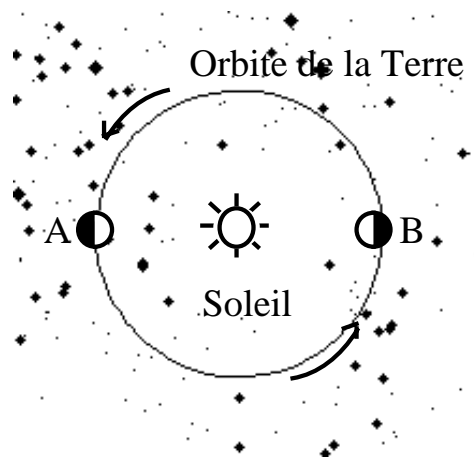
Lorsque la Terre est en A, le Soleil se profile en A'. Quand elle arrive en B, le Soleil se voit en B'. Ainsi, le Soleil parcourt tout le tour de l'écliptique en un an (figure 3).

L'orbite ainsi définie n'est que théorique. Si la Terre était seule en jeu, telle serait bien la courbe que décrirait son centre autour du Soleil. Mais, accouplée à la Lune, elle doit réaliser avec celle-ci des conditions d'équilibre déterminées par les lois de l'attraction. Le centre de gravité de ce système est donc, non plus au centre, mais dans l'intérieur du globe terrestre, à 1 700 km de sa surface. Comme c'est le centre de gravité d'un tel système que la révolution entraîne, et que le centre de la Terre, pour s'équilibrer avec la Lune, tourne autour de ce point, nous en concluons que la Terre, par ce double mouvement auquel viennent s'ajouter encore les autres perturbations causées par les diverses planètes, accomplit finalement une course légèrement sinueuse par rapport au tracé théorique de son orbite.

#### *Comment observer le mouvement de révolution?*

Nous pouvons constater le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil en observant les constellations visibles d'un même point de la planète et leurs déplacements au cours des mois.

Regardons la figure 4: notre globe est représenté en deux positions diamétralement opposées de son orbite, donc à six mois d'intervalle. En A, l'hémisphère plongé dans la nuit est tourné vers certaines constellations. En B, ce sont d'autres constellations qui sont visibles.



**Figure 4. Orbite de la Terre (héliocentrique).**

Cependant, certaines constellations restent visibles toute l'année. Ce sont celles voisines du pôle, dites *circumpolaires*. A la latitude de Paris (près de 49°), voici comment se présente la voûte céleste (figure 5):



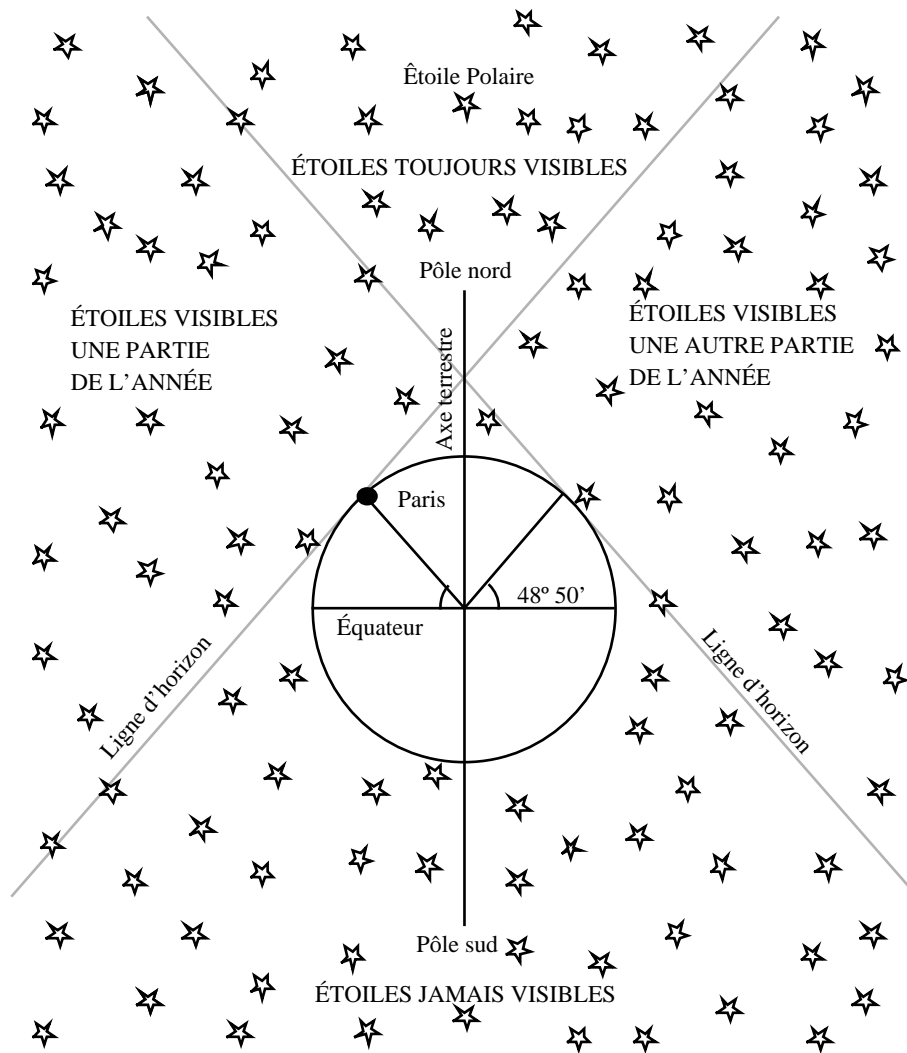


Figure 5. Paris: étoiles circumpolaires et étoiles visibles périodiquement..

*Quelles preuves avons-nous du mouvement de révolution?*

Le fait de voir des constellations différentes en été et en hiver suffit-il à prouver le déplacement de la Terre autour du Soleil? N'est-ce pas le ciel qui, au contraire, tourne autour de nous?

Voici deux preuves qui confirment le mouvement de révolution. D'abord, la *parallaxe annuelle* d'une étoile E (figure 6).

Le Soleil est en S. A une époque quelconque, la Terre est en T; six mois plus tard en T'. La distance TO ou T'O représente le demi-grand axe de l'orbite.

Si nous visons depuis T une étoile proche E (par exemple à une dizaine d'années-lumière), elle nous apparaît en A sur le fond des étoiles lointaines.

Depuis T', l'étoile E sera vue en B. Elle décrit ainsi une petite ellipse qui est la projection de l'orbite terrestre sur la voûte céleste. L'angle  $a$  est la *parallaxe annuelle* de l'étoile E et correspond à la valeur sous laquelle on voit le demi-grand axe de l'orbite terrestre depuis l'étoile E. Cet angle  $a$  est toujours infiniment petit.

Autre phénomène, l'*aberration de la lumière*, découverte par Bradley en 1727. Prenons d'abord l'exemple d'une pluie abondante qui, par temps calme, tombe verticalement. Si nous marchons sous l'averse, il nous semblera que les gouttes tombent obliquement et, si nous avons un parapluie, nous l'inclinerons en avant et cela d'autant plus que nous irons plus vite.

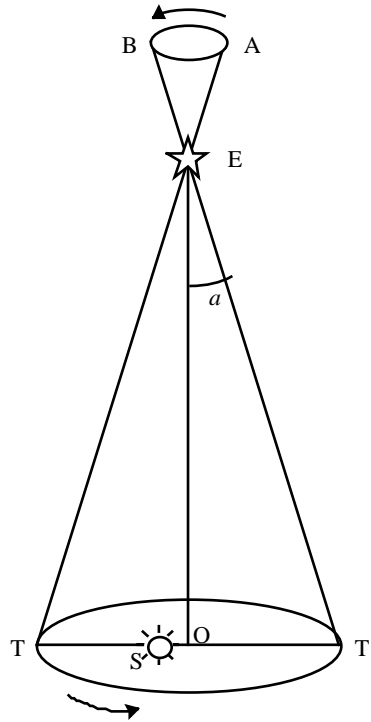


Figure 6. Parallaxe d'une étoile.

L'explication est simple. La goutte d'eau qui est à la hauteur de notre œil en A (figure 7) vient ensuite tomber en B puisque sa chute est verticale. Mais, pendant la durée de cette chute, nous avons avancé jusqu'en A' : pour cette nouvelle position de notre œil, le point d'arrivée de la goutte sur le sol est situé en arrière. Par rapport à notre corps en marche, ces positions successives en cours de chute ont déterminé la trajectoire apparente oblique A'B. Plus notre vitesse augmente, plus l'obliquité s'accroît. Tel est le principe du phénomène de l'aberration. Transposons-le au ciel: cette fois, les gouttes d'eau sont remplacées par les rayons lumineux qui arrivent des étoiles. Sous cette pluie, la Terre court sur son orbite.

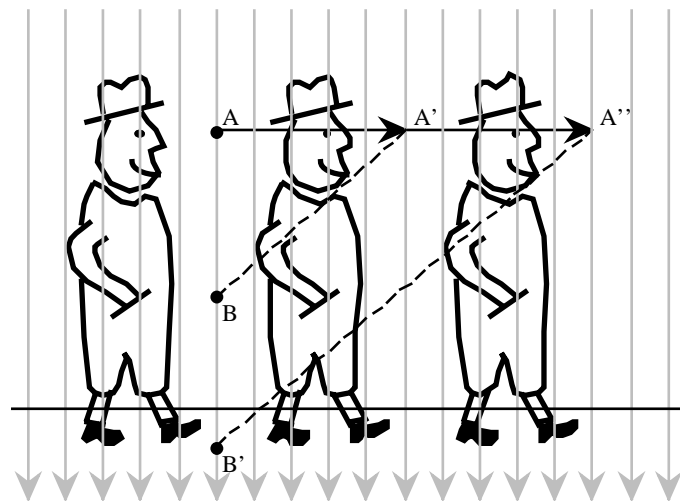
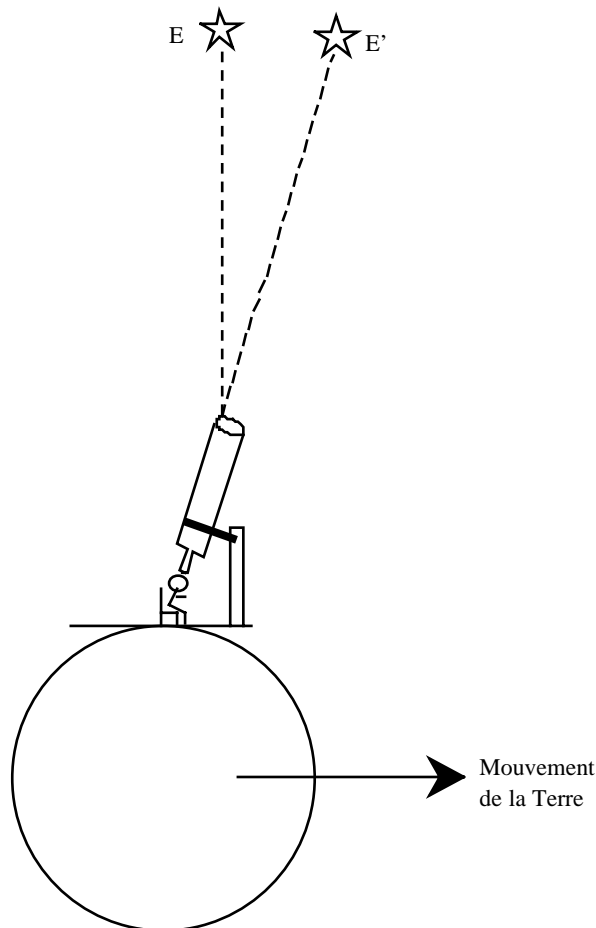


Figure 7. Principe de l'aberration.

Le dessin suivant (figure 8) représente un astronome observant une étoile E. Étant donné le mouvement de la Terre, il est obligé d'incliner sa lunette en avant afin de recueillir les gouttes de lumière, tout comme tout à l'heure il fallait pencher le parapluie. S'il maintenait son instrument vertical,

le rayon lumineux, qui emploie une fraction de seconde pour descendre dans la lunette depuis l'objectif jusqu'à l'œil de l'observateur, en heurterait la paroi avant d'arriver à l'oculaire, et l'astronome ne verrait rien. Ce phénomène se nomme l'*aberration annuelle* et fait croire à l'astronome que l'étoile est dans la direction de sa lunette en E'. L'angle des deux directions E et E' ne dépasse pas 20,47'' et signifie que le mouvement de révolution de la Terre fausse un peu la position des étoiles.



**Figure 8. Aberration annuelle.**

Il ne faut pas confondre *parallaxe* et *aberration*, car la seconde seule fait intervenir la vitesse de la lumière, dont la parallaxe est indépendante.

### *Diverses sortes d'années*

Le temps que la Terre emploie à effectuer une révolution complète autour du Soleil est ce que nous appelons l'*année*. Pendant ce laps de temps, notre planète parcourt environ 950 millions de kilomètres (soit 107 000 km à l'heure).

Pour bien définir une révolution complète (voir l'annexe C pour la définition des différents types de révolutions), il faut la rapporter à un repère servant de point de départ, et auquel la Terre reviendra après avoir fait le tour de son orbite. Ce repère peut être fourni par un alignement allant du centre du Soleil à une étoile située à l'infini dans le plan du mouvement. Chaque fois que la Terre passera par cet alignement, elle aura accompli une révolution entière, ou *année sidérale*, dont la durée est de 365 jours 6 heures 9 minutes 9,5 secondes (365,256361 jours).

On doit aussi envisager la révolution comptée, non plus par rapport aux étoiles, mais par rapport à des points déterminés de l'orbite, et en particulier l'*année tropique*, ou temps compris entre deux passages à l'équinoxe de printemps. Nous verrons dans le chapitre "Précession des équinoxes"

(dans la deuxième partie de cet article) ce qu'il faut entendre par cette expression, et comment et pourquoi le point équinoxial ne reste pas fixe, mais se déplace sur l'orbite en sens rétrograde du mouvement de révolution. Ainsi partie d'un point équinoxial, la Terre rejoint le même point venu à sa rencontre en un temps plus court de 20 minutes que l'année sidérale, soit 365 jours 5 heures 48 minutes 45,2 secondes, ou encore 365,24219879 jours.

Signalons aussi l'*année anomalistique* qui est le temps écoulé entre deux passages consécutifs de la Terre à son périhélie. Le grand axe de l'ellipse orbitale terrestre, c'est-à-dire la ligne droite périhélie-aphélie, dite "ligne des apsides", tourne lentement dans le plan orbital en pivotant sur le Soleil (figure 10). Ce déplacement du périhélie, s'effectuant dans le même sens que la révolution terrestre, atteint 11,6'' par an, ce qui implique que le temps nécessaire à la Terre pour revenir au périhélie est plus long que l'année sidérale du temps nécessaire pour parcourir ces 11,6'' d'arc orbital. Ainsi, l'année anomalistique surpasse l'année sidérale de 4 minutes 43 secondes, soit 365 jours 6 heures 13 minutes 53 secondes (365,25964 jours).

### Particularités de l'orbite terrestre: variations d'excentricité et déplacement du grand axe

Une ellipse est naturellement plus ou moins ovale, et son degré d'ovalisation est susceptible de s'exprimer numériquement. Regardons la figure 9:

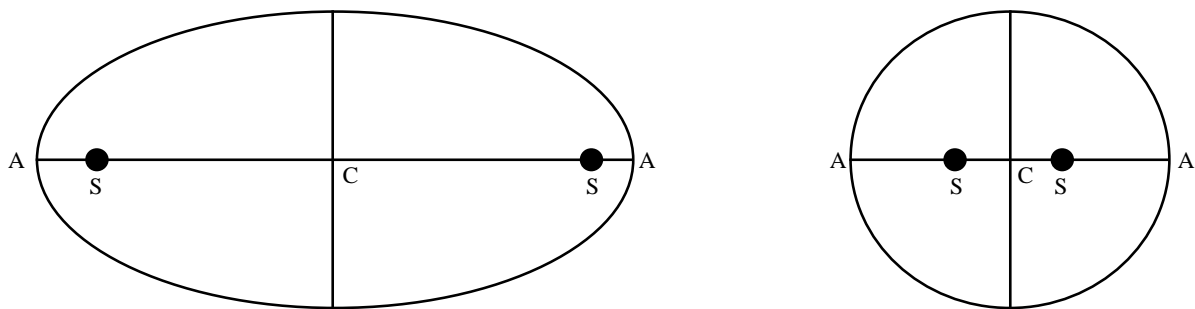


Figure 9. Ellipses.

Quand elle est très allongée, les foyers S sont très rapprochés des bouts A du grand axe. Puisque C désigne le milieu de ce grand axe, on peut dire que SC est presque égal à AC. Les mathématiciens expriment cela d'une façon élégante en disant que le rapport SC/AC est très voisin de l'unité. Au contraire, quand l'ellipse est très peu ovale, qu'elle se rapproche beaucoup d'une simple circonférence, SC est très petit en comparaison de AC, et le rapport SC/AC est aussi très petit. Ce rapport SC/AC, appelé *excentricité* de l'ellipse, caractérise à quel point celle-ci est ovale. Dans le cas de l'orbite terrestre, ce rapport est égal à 16 millièmes seulement.

Mais le plus remarquable est que cette excentricité n'est pas constante. Il y a 100 000 ans, elle s'élevait à 0,047 et dans 24 000 ans, elle sera tombée à 0,003: l'orbite de nos lointains descendants sera une circonférence à peu près idéale. Ces différences d'excentricité donnent les valeurs suivantes pour la distance Terre-Soleil:

Périhélie:	mini = 143 000 000 km (A)	(A) → excentricité 0,047
	maxi = 149 500 000 km (B)	
Aphélie:	mini = 150 500 000 km (B)	(B) → excentricité 0,003
	maxi = 157 000 000 km (A)	

Naturellement, ces différences de distance périhélie / aphélie jouent sur la quantité totale de chaleur reçue du Soleil par la Terre. A titre indicatif, la différence de distance actuelle est de 5 000 000 de km et la quantité de chaleur reçue par la planète entière varie de 7 % entre aphélie et périhélie.

Un autre phénomène important est le déplacement progressif du grand axe de l'ellipse. Aujourd'hui, le grand axe est braqué dans la direction du point A, plus tard il le sera dans celle du point B et, dans quelque 53 siècles, dans celle du point M (figure 10).

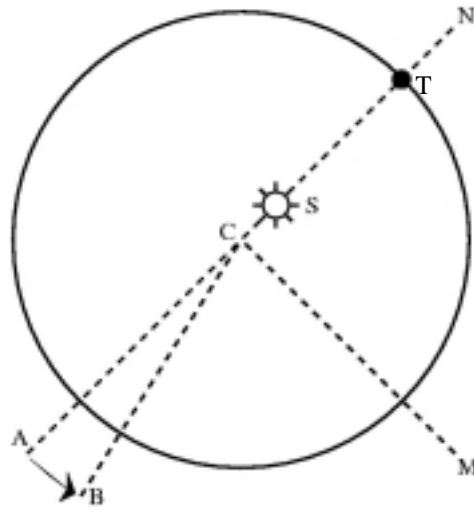


Figure 10. Déplacement du grand axe de l'orbite terrestre.

Vous vous demandez évidemment comment est matérialisé ce point A. Eh bien! S est le Soleil et T la Terre au périhélie (vers le 2 janvier). Le point A est donc le point de la voûte céleste où se trouve le Soleil à cette époque.

Ce point, nous ne le voyons pas parce que le Soleil masque toutes les étoiles par son éclat, mais il est facile de l'identifier. Le grand axe de l'orbite terrestre vise actuellement un point de la constellation du Sagittaire. Mais cet axe tourne dans le sens de la flèche d'une valeur de 61,89'' par an. C'est donc par pure coïncidence que l'hiver arrive (hémisphère nord) pendant que la Terre passe au périhélie. Dans 5 260 ans, le grand axe aura tourné de 90 degrés et se dirigera vers M; à ce moment, l'hiver aura lieu dans la portion de l'orbite qui correspond actuellement à l'automne. Pendant ces hivers-là, notre globe sera plus éloigné du Soleil qu'il ne l'est pendant nos hivers, c'est-à-dire qu'ils seront plus froids et les étés plus chauds.

Cet effet s'accroîtra jusqu'à ce que le grand axe parvienne dans la direction CN, à l'opposé de son orientation présente. Puis, 10 500 ans plus tard, il sera de retour dans le Sagittaire, et une nouvelle période de 21 000 ans recommencera.

### Inclinaison de l'axe de rotation

Lorsque nous avons parlé de la rotation de la Terre, nous avons dit qu'elle s'effectue autour d'un axe passant par les pôles de notre globe. Or cet axe n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite; la Terre ne tourne pas "droit". L'inclinaison de l'axe de rotation par rapport à la perpendiculaire est actuellement de  $23^{\circ} 26'$ . On appelle cet angle l'*obliquité de l'écliptique* (figure 11).

Là encore, cette valeur n'est pas immuable et l'angle varie de 47,6'' par siècle entre les limites extrêmes de  $21^{\circ} 59'$  et  $24^{\circ} 36'$ . En partant de la valeur minimale, par exemple, pour atteindre la valeur maximale et revenir à la valeur minimale, 40 000 ans sont nécessaires.

Évidemment, ce changement d'inclinaison de l'axe fait qu'il ne pointe pas toujours la même direction du ciel au fil des siècles. S'y superposent deux autres mouvements importants, la *nutation* et surtout la *précession des équinoxes*, dont nous parlerons dans la deuxième partie de cet article.

Il est clair que les saisons ne sont pas insensibles à cette variation de l'obliquité de l'écliptique, puisque les différentes régions de notre monde se présentent sous des angles divers aux rayons solaires.



Figure 11. L'obliquité de l'écliptique.

### Les saisons

Voilà qui nous amène à évoquer le mécanisme des saisons. Leur existence est due à l'inclinaison de l'axe de rotation. Comme celui-ci pointe toute l'année la même direction du ciel, notre planète se présente différemment au rayonnement solaire selon sa position sur son orbite (figure 12).

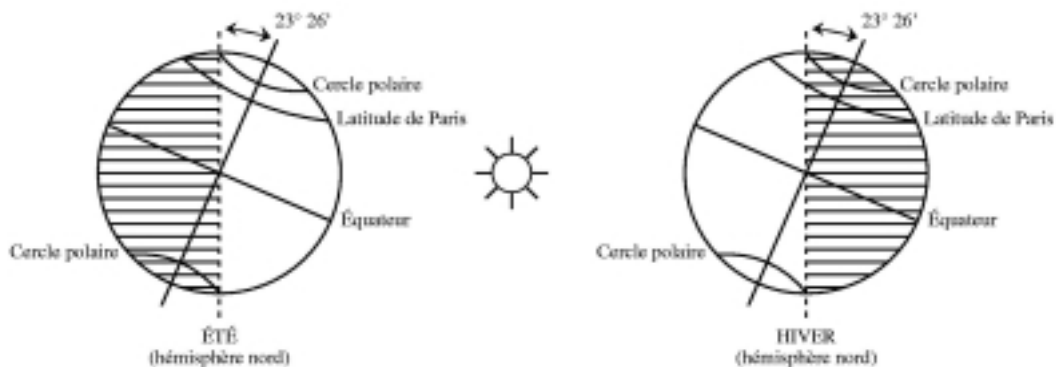
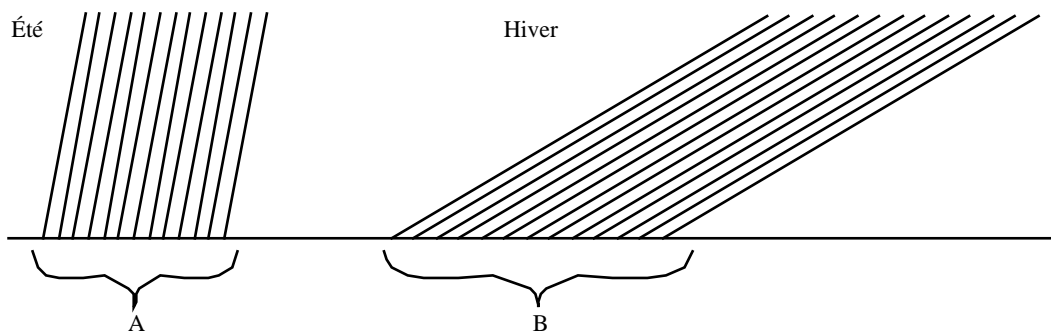


Figure 12. Été et hiver.

Lorsque la Terre est au *solstice d'été*, l'hémisphère nord "penche" vers les rayons du Soleil qui y tombent presque d'aplomb (position A de la figure 13). La chaleur emmagasinée est donc intense pour cet hémisphère. Mais à cette époque, notre planète étant loin du Soleil, reçoit un rayonnement total légèrement atténué.

Six mois plus tard, au *solstice d'hiver*, l'hémisphère nord est incliné du mauvais côté et le rayonnement solaire nous parvient presque rasant et réchauffe difficilement l'atmosphère (position B). Mais cette fois la Terre est près du Soleil et profite d'un rayonnement sensiblement supérieur. Ainsi les écarts de température entre l'été et l'hiver sont moins accentués dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud. En effet, pour lui les saisons sont inversées et son été a lieu au moment où la Terre est près du Soleil (donc plus chaud que le nôtre) et son hiver quand elle en est éloignée (plus froid que le nôtre).

La figure 12 montre qu'en été (hémisphère nord), l'équateur parcourt un demi-tour dans la partie du globe éclairée par le Soleil et un demi-tour dans la partie obscure. Jour et nuit durent chacun 12 heures environ. Il faut dire "environ" parce que, la réfraction atmosphérique ayant pour effet de relever légèrement les astres, fait paraître le Soleil plus haut qu'il n'est en réalité, ce qui avance son lever et retarde son coucher.



**Figure 13. Rayons de Soleil en été et en hiver.** Ce dessin montre qu'un même faisceau cylindrique de rayons solaires se répartit sur une surface (A) beaucoup plus petite en été, lorsqu'il tombe presque d'aplomb, qu'en hiver (B) où il est plus rasant.

A la latitude de Paris, le trajet parcouru dans la zone éclairée est bien plus long que celui parcouru dans la nuit: les journées atteignent leur maximum de durée. Plus on monte vers le pôle nord et plus les journées s'allongent. Pour l'hémisphère sud qui est en hiver à ce moment-là, l'inverse se produit: plus on s'éloigne de l'équateur, plus la portion de tour parcourue dans la lumière du Soleil raccourcit et plus les nuits sont longues.

Pendant l'hiver de l'hémisphère boréal, on s'aperçoit que l'équateur parcourt encore un demi-tour de jour et un demi-tour de nuit. En fait, pour lui, il en est ainsi toute l'année. Par contre, à la latitude de Paris, le trajet accompli dans la lumière du Soleil est maintenant bien court et les nuits atteignent leur maximum. Plus on monte vers le pôle nord et plus les journées raccourcissent. Dans l'hémisphère austral pour lequel c'est l'été, plus on s'éloigne de l'équateur pour aller vers le pôle sud et plus les jours augmentent.

	Durée maximale (21 juin)	Durée minimale (21 décembre)
0° (Équateur)	12 h 05 min	12 h 05 min
10°	12 h 40 min	11 h 30 min
20°	13 h 18 min	10 h 53 min
30°	14 h 02 min	10 h 10 min
35°	14 h 31 min	9 h 48 min
40°	14 h 58 min	9 h 16 min
45°	15 h 33 min	8 h 42 min
50°	16 h 18 min	8 h 00 min
55°	17 h 17 min	7 h 05 min
60°	18 h 45 min	5 h 45 min
65°	21 h 43 min	3 h 22 min
66°	24 h 00 min	2 h 30 min
67° 7'	—	0 h 00 min

Latitude nord	Jour polaire	Nuit polaire	Latitude sud	Jour polaire	Nuit polaire
70°	70 jours	55 jours	70°	65 jours	59 jours
75°	107 jours	93 jours	75°	101 jours	99 jours
80°	137 jours	123 jours	80°	130 jours	130 jours
85°	163 jours	150 jours	85°	156 jours	158 jours
90°	189 jours	176 jours	90°	182 jours	183 jours

(1) Comme l'indique le tableau précédent, le jour du solstice d'été (colonne du milieu), la durée de la journée augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur. Sur le cercle polaire, elle atteint 24 heures. En continuant de monter vers le pôle, la durée augmente encore pour atteindre, par exemple, 48 heures (24 heures avant le solstice et 24 heures après); puis 4 jours (2 jours avant le solstice et 2 jours après); puis une semaine; puis un mois... A la latitude de 70°, le "jour" dure environ deux mois; à 80° il atteint 137 jours, etc.  
Pour des latitudes identiques, la durée du jour polaire le plus long est un peu différente dans l'hémisphère sud.

A partir du *solstice d'hiver* (hémisphère nord) où la journée est la plus courte de l'année - donc où le Soleil monte le moins haut dans le ciel - la durée de la journée augmentera ensuite un peu de jour en jour à mesure que le Soleil montera plus haut. Six mois plus tard, au *solstice d'été*, le Soleil atteindra dans le ciel son point culminant et la journée son maximum de longueur. Entre ces deux extrêmes, il y aura eu un jour pour lequel la journée et la nuit auront été égaux: l'*équinoxe de printemps*. Ce jour-là, la Terre entière aura profité de 12 heures de jour et de 12 heures de nuit.

Puis, après le *solstice d'été*, le Soleil montera dans le ciel de moins en moins haut et les journées raccourciront insensiblement pour atteindre de nouveau leur minimum de durée au *solstice d'hiver*. Entre ces deux extrêmes, la Terre aura connu un jour pour lequel la journée et la nuit auront été égaux: l'*équinoxe d'automne*.

A Paris, le jour le plus court de l'année (21 décembre) dure seulement 8 heures 11 minutes. Le plus long (20 juin) atteint 16 heures 8 minutes.

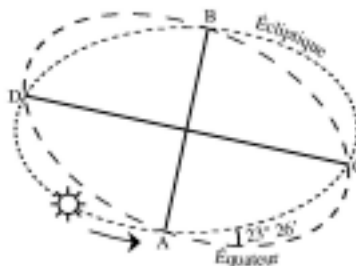
Les deux tableaux 1 et 2 indiquent la durée maximale et minimale de la journée (intervalle de temps entre le lever et le coucher du Soleil) sous différentes latitudes, ainsi que la durée du jour et de la nuit dans les régions polaires.

Donnons, pour terminer, quelques indications concernant la durée des saisons.

La trajectoire apparente du Soleil au milieu des étoiles est inclinée de  $23^{\circ} 26'$  par rapport à l'équateur céleste, lequel est le prolongement de l'équateur terrestre (figure 14).

Le point A sur la figure 14 correspond à l'intersection de l'écliptique et de l'équateur là où le Soleil, l'ayant franchi, repasse au-dessus de lui. Ce point est donc celui de l'équinoxe de printemps, appelé aussi *point vernal*. Le point opposé B est celui où le Soleil redescend sous l'équateur céleste: c'est l'équinoxe d'automne. La ligne AB est donc la *ligne des équinoxes*.

Le point C correspond à la plus grande élévation du Soleil au-dessus de l'équateur: c'est le solstice d'été. A l'inverse, le point D matérialise la position la plus basse du Soleil sous l'équateur: c'est le solstice d'hiver. La ligne CD, perpendiculaire à la ligne AB, est la *ligne des solstices*.



**Figure 14. Point vernal.** A représente le point vernal.

Mais les quatre saisons n'ont pas des durées identiques, d'une part parce que l'orbite terrestre n'est pas circulaire, d'autre part parce que la ligne des solstices ne coïncide pas avec le grand axe de l'ellipse. L'angle entre ces deux droites est d'environ  $11^{\circ}$  (figure 15).

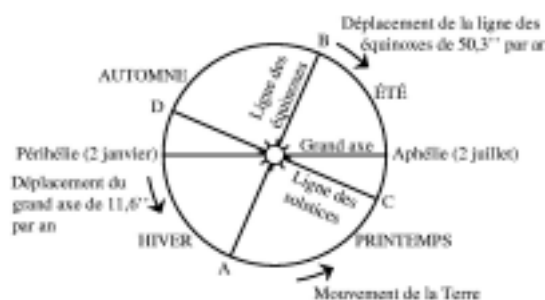
Nous verrons dans la deuxième partie que la ligne des équinoxes pivote en sens rétrograde (sens inverse du mouvement de la Terre) d'une valeur de  $50,3''$  par an (précession des équinoxes). Par ailleurs, le grand axe de l'orbite pivote, lui, dans le sens direct de  $11,6''$  par an. Ces deux phénomènes cumulés contribuent à éloigner chaque année le périhélie de l'équinoxe de printemps d'une valeur de  $61,9''$  (ainsi qu'il a été dit au chapitre concernant les particularités de l'orbite terrestre). Cela représente environ  $1^{\circ}$  en soixante ans et contribue, au fil des millénaires, à changer la durée des saisons.

Ce déplacement annuel de  $61,9''$  équivaut à un tour complet en 21 000 ans, période au bout de laquelle le périhélie et l'équinoxe de printemps se rejoignent. Mais si nous tenons compte seulement du déplacement du grand axe de  $11,6''$  par an en faisant abstraction des  $50,3''$  de la précession des équinoxes, cette fois 110 000 ans sont nécessaires pour un tour entier.

Au cours des 100 dernières années (pour l'hémisphère nord), le printemps a perdu 1,7 heure



au profit de l'automne et l'été a gagné 1 heure au détriment de l'hiver.



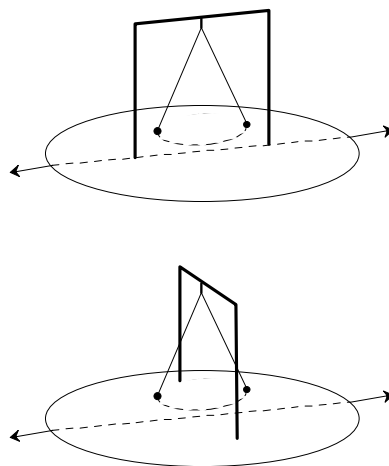
**Figure 15. Déplacement de la ligne des équinoxes.** A représente l'équinoxe de printemps (20 ou 21 mars), B l'équinoxe d'automne (22 ou 23 septembre), C le solstice d'été (21 ou 22 juin), D le solstice d'hiver (21 ou 22 décembre). La Terre se déplace dans le sens de la flèche du bas du dessin. De A à C c'est le printemps (92 jours 18 heures). De C à B l'été (93 jours 16 heures). De B à D l'automne (89 jours 20 heures). De D à A = l'hiver (89 jours exactement). Les durées indiquées sont celles de l'hémisphère nord. Le printemps correspond à l'automne de l'hémisphère sud, l'été correspond à l'hiver, etc.

## Annexe A

### L'expérience du pendule de Foucault

Une curieuse propriété du pendule est l'invariabilité du plan dans lequel il oscille. On peut démontrer cette invariabilité en utilisant un dispositif fort simple. Un petit pendule, formé d'un fil supportant une balle de plomb, est suspendu à la traverse d'une potence fixée sur un plateau susceptible de tourner horizontalement. Laisant d'abord le plateau fixe, faisons osciller le pendule; il exécutera une série d'oscillations contenues dans le plan formé par les deux directions extrêmes qu'il atteint.

Si maintenant on fait tourner lentement le plateau qui supporte le tout, on constate que ce mouvement de rotation n'influe pas sur la direction dans laquelle oscille le pendule: autrement dit, le plan d'oscillation semblera toujours dirigé vers le même point de la pièce où l'expérience est effectuée. Tel est le principe appliqué par le célèbre physicien Foucault afin de démontrer la rotation du globe terrestre (figure 16). Le raisonnement est le suivant:



**Figure 16. Principe du pendule de Foucault.**

Puisque le plan d'oscillation d'un pendule constitue un véritable repère pour la mobilité des corps environnants, un pendule étant fixé à un support adhérent à la Terre en rotation devra paraître déplacer la direction de ses oscillations par rapport à ce support, si celui-ci est bien entraîné par un réel mouvement de notre globe. Dans la cave de la maison qu'il habitait à Paris, Foucault entreprit, en 1851, de réaliser pour la première fois une telle expérience, dont le plein succès eut un profond retentissement. Aussi, l'année suivante, cette démonstration fut-elle répétée solennellement, et avec plus d'importance, au Panthéon.

Pour constituer le pendule, une sphère de bronze de 28 kg, munie au-dessous d'un style aigu, fut suspendue à un fil d'acier de 67 mètres fixé au sommet de la coupole. A l'extrémité de chaque oscillation du pen-

dule, le style était obligé d'entamer la crête d'un petit talus de sable, où se produisait ainsi une brèche fixant exactement la direction du plan d'oscillation. Ce dernier restant invariable dans l'espace, le mouvement de rotation de la Terre déplace le tas de sable par rapport à lui; et comme ce déplacement est de quantité appréciable entre chaque large oscillation, on voit chaque fois le style graver un nouveau sillon à côté du précédent. Pour un spectateur placé derrière le tas de sable, la progression des stries se fait vers la gauche, ce qui prouve bien que la Terre, entraînant le sable, se déplace vers la droite qui est le sens véritable de sa rotation.

Cette remarquable démonstration fut reproduite en diverses circonstances, et notamment en 1902, au Panthéon encore, devant deux mille assistants parmi lesquels on remarquait deux ministres, les mathématiciens Poincaré, Darboux et Painlevé, les astronomes Janssen, abbé Moreux, Flammarion et Loewy, le physicien Lippmann, et Saint-Saëns, presque aussi amoureux d'Uranie que d'Euterpe, Rodin, Bartholdi, etc.

Vous remarquerez qu'à force de dévier, le pendule devrait accomplir un tour complet. Cela ne manquerait pas en effet si les oscillations n'étaient pas graduellement amorties. Cela ne manquerait pas parce que cette déviation est due à la force centrifuge composée, que la direction de cette force varie à mesure que la Terre tourne sur elle-même et qu'elle doit se retrouver la même au bout de 24 heures.

– C'est donc en 24 heures que le pendule tourne?

C'est naturellement dans ce temps que le pendule achèverait son tour si l'expérience se déroulait au pôle. En effet, il n'y a qu'au pôle que la verticale autour de laquelle se balance le pendule coïncide avec l'axe de la Terre. Partout ailleurs, cet axe et la verticale sont d'autant plus écartés que la latitude est plus basse, écart plus ou moins grand qui entraîne une durée plus ou moins importante du circuit. A la latitude de Paris ( $48^{\circ} 50' 49''$ ), cette durée atteint 31 heures 47 minutes 33 secondes.

En 1996, la Société Lorraine d'Astronomie a également réalisé l'expérience du pendule de Foucault dans les locaux de l'Institution Saint-Joseph à Laxou en présence d'un public passionné (voir l'éditorial du Echo d'Orion n° 108).

En dehors du pendule qui prouve que la Terre tourne sur elle-même, le gyroscope peut aussi nous le démontrer. Il s'agit d'un petit volant métallique le plus lourd possible, tournant autour d'un axe. On met le volant en rotation très rapide, laquelle développe une force centrifuge considérable. Un phénomène important est que, l'extrémité de l'axe étant posée sur un support, le gyroscope tient en équilibre dans n'importe quelle position. Braquez-le dans la direction de tel ou tel point de votre appartement: il conservera son orientation tant que sa vitesse sera suffisante.

Supposons alors l'appareil monté au pôle nord, l'axe orienté dans la direction de Véga, et le mouvement du volant entretenu par un moteur. Il est clair que le support aura beau être entraîné par la rotation de la Terre et tourner sous le gyroscope, ce dernier visera Véga indéfiniment. Si la nuit est nuageuse, ou pendant le jour, nous n'en serons pas moins capables d'annoncer rien qu'en regardant l'instrument: – Ah! Véga est dans telle direction. Sous nos latitudes, le phénomène est plus difficile à expliquer, mais il garde la même rigueur.

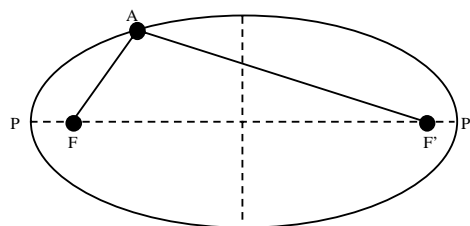
Si votre gyroscope motorisé est braqué vers l'étoile Polaire, il gardera inexorablement la même orientation. La chose est facile à comprendre: imaginez que vous êtes sur un manège de chevaux de bois et que, tout en tournant avec lui, vous fixez à la lorgnette un même point du paysage. Évidemment, il ne vous est pas possible, pour ce faire, de rester collé à votre coursier: vous devez bouger, et même vous retourner complètement. Le gyroscope aussi, entraîné par le vaste manège qu'est la Terre, doit bouger et se retourner, c'est-à-dire qu'il doit paraître tourner par rapport au paysage alors qu'en réalité c'est le paysage qui tourne.

Ainsi, le pendule et le gyroscope, tous deux dus à Foucault, apportent les preuves définitives de la rotation terrestre.

## Annexe B

### Les lois de Kepler

*Première loi.* - Toutes les planètes tournent autour du Soleil sur des orbites elliptiques dont le Soleil occupe un des foyers.

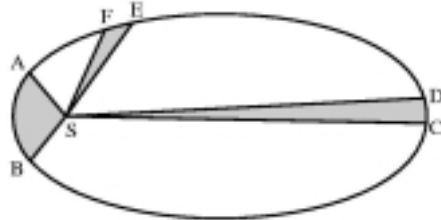


**Figure 17. Une ellipse.** PP' est le grand axe de l'ellipse, F et F' sont les foyers et  $FA + AF' = PP'$ .

Précisons qu'une ellipse est une courbe plane telle que la somme des distances de chacun des ses points par rapport à deux points fixes (les foyers) est constante et égale au grand axe de l'ellipse (figure 17).

*Deuxième loi* (loi des aires). - La planète se déplaçant sur son orbite, une ligne allant de la planète au Soleil balaie des surfaces égales en des temps égaux.

Si la planète met le même temps, par exemple dix jours, à décrire les arcs AB, CD, EF, les trois aires SAB, SCD, SEF sont égales (figure 18). Comme les arcs ont des longueurs différentes, la vitesse de la planète sur son orbite n'est pas constante.



**Figure 18. Deuxième loi de Kepler.**

*Troisième loi.* - Les carrés des périodes de révolution sidérale des planètes sont proportionnels aux cubes de leurs moyennes distances au Soleil.

Donnons deux exemples:

1. Calcul de la période de révolution de Neptune dont la distance moyenne au Soleil est de trente fois la distance moyenne de la Terre au Soleil.

Cette planète aura une période de révolution T en années telle que

$$\frac{T^2}{1^2} = \frac{30^3}{1^3}; T = \sqrt{30 \times 30 \times 30} = 164 \text{ ans}$$

2. Trouver la distance moyenne de Jupiter au Soleil dont la période est de 12 ans. On aura en appelant a cette distance:

$$\frac{12^2}{1^2} = \frac{a^3}{1^3}; a = \sqrt[3]{144} = 5,2$$

La distance moyenne de Jupiter au Soleil est 5,2 fois la distance moyenne de la Terre au Soleil.

### **Annexe C**

#### **Les différents types de révolutions**

Il est bon de rappeler quelles sont les différentes révolutions dont un astre est animé.

La *révolution sidérale* représente le temps nécessaire à un astre, par exemple une planète, pour faire le tour du ciel, c'est-à-dire pour se retrouver dans la même position par rapport aux étoiles.

La *révolution synodique* ramène l'astre dans la même position par rapport au Soleil.

La *révolution draconitique* est le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de l'astre au même nœud de son orbite (par exemple le nœud ascendant).

La *révolution anomalistique* est la durée qu'il faut à l'astre pour revenir à son périhélie (point le plus proche du Soleil).

La *révolution tropique* est le temps écoulé entre deux passages consécutifs de l'astre au point vernal, ou point équinoxial de printemps.

*Pierre Haydont*

Sources: Astronomie Larousse.

Tout l'Univers.

Pierre Rousseau: La Terre, ma Patrie.

*À suivre*

Pour terminer, voici la solution des Mots croisés du n° 118

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	C	I	R	C	U	<sup>12</sup> M	P	O	L	A	I	R	E	
2	O	R	I	O	N		<sup>1</sup> B	O	I	S		<sup>8</sup> I	T	E
3	N		A	P	I	S			M		A	G	E	S
4	S	A	<sup>3</sup> L	I	V	E		L	A	I	Z	E		P
5	T	U		L	E	S		I		<sup>10</sup> F	I	L	M	A
6	E	X		O	R		S	A		S	M		O	C
7	L		E	T	S		Y		M		U	R	N	E
8	L	O	U	E	E		Z	E	N	I	T	<sup>15</sup> H		
9	A	R	<sup>6</sup> T		L		Y	S		O		E	A	U
10	<sup>18</sup> T	A		E	<sup>14</sup> L	O	G	E	S		O	S		
11	I	L	S		E		I	R	E	S		U	N	E
12	O		I	D		V	E	I	N	E		S	U	D
13	N	I	N	I	V	E		N	I	<sup>13</sup> A	S		T	E
14	S		O	T	A	N		E	<sup>4</sup> L	U		P	<sup>16</sup> A	N
15		E	P	O	Q	<sup>17</sup> U	E		E	<sup>9</sup> X	A	C	T	
16	N	N	E		U	S		A	S		U		I	N
17	E	S		G	E		I	L		U		P	O	U
18	E	I	D	E	R	S		C	E	R	V	I	N	
19		L	U	N	<sup>5</sup> A	I	S	<sup>11</sup> O	N		U	N		<sup>7</sup> R
20	D	<sup>2</sup> E	S	S	I	N		R		E	S	S	O	R

Avec les cases numérotées, retrouvez les noms de deux étoiles.

<sup>1</sup> B	<sup>2</sup> E	<sup>3</sup> L	<sup>4</sup> L	<sup>5</sup> A	<sup>6</sup> T	<sup>7</sup> R	<sup>8</sup> I	<sup>9</sup> X	<sup>10</sup> F	<sup>11</sup> O	<sup>12</sup> M	<sup>13</sup> A	<sup>14</sup> L	<sup>15</sup> H	<sup>16</sup> A	<sup>17</sup> U	<sup>18</sup> T
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Pierre Haydont