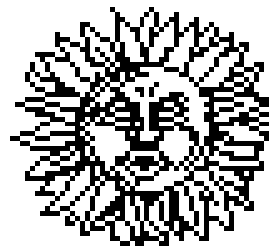


TERRE LUNE ET SOLEIL



AVANT-PROPOS.

I- QUEL EST LE PHÉNOMÈNE RESPONSABLE DE LA SUCCESSION JOUR - NUIT ?

- 1- LA TERRE EST PRESQUE LIBRE,...
- 2- LES FORCES D'ATTRACTION GRAVITATIONNELLES...
- 3- ...ENTRAVENT LE MOUVEMENT DE TRANSLATION ;
- 4- LE MOUVEMENT DE ROTATION EST UN MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME (VITESSE DE ROTATION CONSTANTE)
- 5- SENS DE LA ROTATION DE LA TERRE AUTOUR DE SON AXE.
- 6- PÉRIODE DE ROTATION
- 7- ORIGINE DE LA DIFFÉRENCE DE PRÈS DE 4 MN ENTRE DURE MOYENNE DU JOUR ET PÉRIODE DE ROTATION .

II) QUEL PHÉNOMÈNE EST RESPONSABLE DE LA SUCCESSION DES SAISONS ?

- 1- INFLUENCE DE LA GRAVITATION SUR LE MOUVEMENT DE LA TERRE
- 2- DIRECTION DE L'AXE TERRESTRE ET SAISONS

III- PAR QUEL PHÉNOMÈNE PEUT-ON EXPLIQUER LES VARIATIONS DE LA DURÉE DU JOUR AU COURS DE L'ANNÉE ?

- 1- LA SITUATION LA PLUS SIMPLE,... LES ÉQUINOXES.
- 2- PENDANT LA PÉRIODE PRINTEMPS - ÉTÉ DE L'HÉMISPHERE NORD.
- 3- PENDANT LA PÉRIODE AUTOMNE - HIVER DE L'HÉMISPHERE NORD

IV- PAR QUEL PHÉNOMÈNE PEUT-ON EXPLIQUER LES DIFFÉRENCES SENSIBLES ENTRE LES SAISONS (TEMPÉRATURES, ETC.) ?

V- O SE LÈVE LE SOLEIL ? O SE COUCHE-T-IL (AVEC PRÉCISION) ?

- 1- AU PRINTEMPS ET EN ÉTÉ (DE L'HÉMISPHERE NORD)...
- 2- EN AUTOMNE ET EN HIVER (DE L'HÉMISPHERE NORD)
- 3- AUX ÉQUINOXES DE PRINTEMPS ET D'AUTOMNE...

VI- DONNER LES NOMS DES DEUX SOLSTICES. DONNER AU MOINS DEUX CRITÈRES PERMETTANT DE LES DÉFINIR.

- 1- SOLSTICE DE JUIN, SOLSTICE D'ÉTÉ DE L'HÉMISPHERE NORD ET D'HIVER DANS L'HÉMISPHERE SUD
- 2- SOLSTICE DE DÉCEMBRE, SOLSTICE D'HIVER DE L'HÉMISPHERE NORD ET D'ÉTÉ DANS L'HÉMISPHERE SUD

VII- DONNER LES NOMS DES DEUX ÉQUINOXES. DONNER AU MOINS DEUX CRITÈRES PERMETTANT DE LES DÉFINIR.

VIII- A QUOI CORRESPONDENT LES POINTS ET LES LIGNES SUIVANTES- PÔLES - CERCLES POLAIRES - TROPIQUES - ÉQUATEUR ?

- 1- LES PÔLES
Définition géométrique
Propriétés
- 2- LES CERCLES POLAIRES
Définition géométrique
Propriétés
- 3- LES TROPIQUES
Définition géométrique
Propriétés
- 4- EQUATEUR
Définition géométrique
Propriétés

IX- QUELLE EST LA TRAJECTOIRE DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL ?

- 1- LES LOIS DE KÉPLER
- 2- CALENDRIER SOLAIRE ET PÉRIODE DE RÉVOLUTION

X- À QUELLE PÉRIODE DE L'ANNÉE LA TERRE SE TROUVE-T-ELLE LA PLUS PROCHE DU SOLEIL ?

XI- QUELS PHÉNOMÈNES VISIBLES PERMETTENT DE DÉFINIR UNE LUNAISON ? QUELLE EN EST LA DURE APPROXIMATIVE ?

XII- QUEL PHÉNOMÈNE EST RESPONSABLE DE CETTE LUNAISON ?

XIII- QUEL PHÉNOMÈNE PERMET D'EXPLIQUER LES DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA LUNE VUE DE LA TERRE ?

XIV- PEUT-ON CERTAINS MOMENTS APERCEVOIR LA LUNE EN PLEIN JOUR ? PEUT-ON APERCEVOIR LA PLEINE LUNE EN PLEIN JOUR ? POURQUOI ?

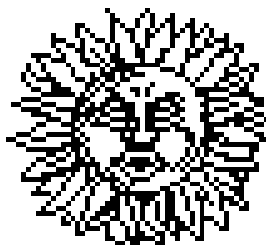
XV- ON PARLE DE LA "FACE CACHE DE LA LUNE", QU'EST CE QUE CELA SIGNIFIE ? LA LUNE TOURNE-T-ELLE SUR ELLE-MÊME ?

XVI- QU'EST CE QU'UNE ÉCLIPSE DE LUNE ET UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL ?

- 1- LES ÉCLIPSES DE LUNE
- 2- LES ÉCLIPSES DE SOLEIL

XVII- LES CALENDRIERS

- 1- CALENDRIERS SOLAIRES
- 2- LES CALENDRIERS LUNAIRES
- 3- CALENDRIERS LUNI-SOLAIRES
- 4- REMARQUE CONCERNANT LE DÉBUT DES SIÈCLES ET DES MILLÉNAIRES



Avant-propos.

Ce document présente quelques-unes des notions les plus importantes en astronomie "classique" du système solaire. Il est avant tout destiné à un public d'instituteurs et de professeurs des écoles, en formation initiale ou continue, c'est à dire, en n'ayant pas peur des mots, à un public dont la formation de base scientifique est... diversement faible (à de rares exceptions près) !

Ce constat, qui ne peut pas être un reproche puisque la faiblesse en sciences s'explique par un choix d'études généralement autre, est doublé dans le cas de l'astronomie dite "de position" d'une circonstance aggravante : l'immense majorité d'entre nous n'a jamais réellement eu l'occasion d'étudier ces phénomènes au cours de sa scolarité, études supérieures de physique comprises. Si nous avons quelquefois croisé la "zoologie" des astres (les planètes principales en particulier) à l'école élémentaire ou abordé la trajectoire de la Terre autour du Soleil lors de l'étude des climats en cours de Géographie de collège, jamais personne depuis la disparition de la cosmographie du programme de Mathématiques de la classe de "Math-élém." n'a eu à se poser de questions d'ordre physique sur ce sujet. La raison essentielle de cette absence réside dans le dégoût actuel des physiciens pour ces problèmes : j'ai maintes fois entendu mes collègues qualifier de "ringarde" l'astronomie de position à l'heure des théories révolutionnaires de la physique relativiste (Einstein), de la mécanique quantique et de leurs conséquences en astrophysique. Il est vrai que le "Big Bang" et l'étude des premiers instants de l'univers, les "trous noirs" et autres objets exotiques, la "courbure de l'espace-temps" sont bien plus excitants pour le physicien comme pour le profane que l'étude approchée du mouvement réel et des mouvements "apparents" du pauvre système Terre - Lune - Soleil. En foi de quoi, la passation du questionnaire suivant laisse rêveuse la *totalité* de la population, du pur littéraire - qui le prend bien - au scientifique qui, parfois, réagit plus agressivement...

-
- 1) Quel phénomène est responsable de la succession jour - nuit ?
 - 2) Quel phénomène est responsable de la succession des saisons ?
 - 3) Par quel phénomène peut-on expliquer les variations de la durée du jour au cours de l'année ?
 - 4) Par quel phénomène peut-on expliquer les différences sensibles entre les saisons (températures, etc...)
 - 5) Où se lève le soleil (avec précision) ? Où se couche-t-il (avec précision) ?
 - 6) Donner les noms des deux solstices. Donner au moins deux critères permettant de les définir.
 - 7) Donner les noms des deux équinoxes. Donner au moins deux critères permettant de les définir.
 - 8) A quoi correspondent les points et les lignes suivantes : Pôles - Cercles polaires - Tropiques - Équateur ?
 - 9) Quelle est la trajectoire de la terre autour du soleil ?
 - 10) A quelle période de l'année la terre se trouve-t-elle la plus proche du soleil ?
 - 11) Quels phénomènes *visibles* permettent de définir une lunaison ? Quelle en est la durée approximative ?
 - 12) quel phénomène est responsable de cette lunaison ?
 - 13) quel phénomène permet d'expliquer les différents aspects de la lune vue de la terre ?
 - 14) Peut-on à certains moments apercevoir la lune en plein jour ? Peut-on apercevoir la pleine lune en plein jour ? Pourquoi ?
 - 15) On parle de la "face cachée de la lune", qu'est ce que cela signifie ? La lune tourne-t-elle sur elle-même ?
 - 16) Un appartement est orienté plein Nord, sans vis à vis, les rayons du soleil pénètrent-ils dans les pièces ? Si oui, à quelle période de l'année ? A quels moments dans la journée ?
 - 17) Un navigateur anglais du dix-septième siècle échoue sur un îlot désert des caraïbes. Peut-il utiliser son cadran solaire portatif pour lire l'heure ? Pourquoi ?
 - 18) Expliquez ce qu'est une éclipse de lune.

19) Expliquez ce qu'est une éclipse de soleil.

20) En quels lieux du globe peut-on voir le soleil au zénith (verticale du lieu) ? A quels moments de l'année ? A quelle heure dans la journée ?

Ce document n'entend pas se substituer à un cours. Il est utilisé comme complément d'une formation d'au moins quinze heures sur le sujet, évitant des prises de notes trop fastidieuses, la multiplication de feuilles polycopiées et de photocopies et la recherche de données souvent disséminées dans plusieurs ouvrages. En revanche, il n'est pas fait pour économiser la réflexion, pour se substituer à des manipulations pratiques et intellectuelles du modèle Soleil - Terre - Lune... en bref, il ne remplace pas la formation !

Le plan suivi reprend le plus possible les questions précédentes et essaie d'apporter des réponses "suffisamment" complètes, ce qui signifie que sont négligés tous les phénomènes dont les effets sont peu importants en première approximation pour répondre à la question posée, sans toutefois aller jusqu'à des omissions qui rendraient ensuite incompréhensibles certaines données. L'équilibre étant difficile à obtenir, je ne doute pas que les critiques pleuvent, selon les catégories de lecteurs, du "trop simple" au "trop complexe". Pour aider ceux d'entre vous qui veulent aller au plus court, les textes les plus importants sont en italique !

I- Quel est le phénomène responsable de la succession jour - nuit ?

1- La Terre est presque libre,...

La Terre est un solide (à peu de choses près !) en mouvement dans le vide (ou presque !). Elle n'est donc soumise à aucune force de contact de type réaction du support (comme un objet posé sur une table), force de frottement contre des solides ou des fluides,...

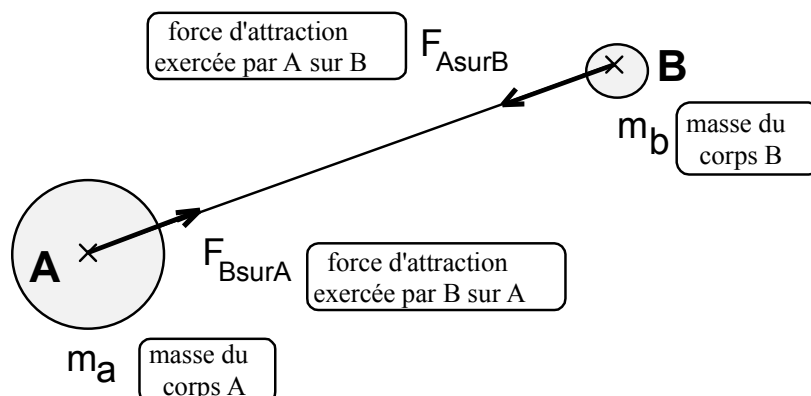
Les chocs qu'elle subit actuellement des quelques "grains" de matière rencontrés ont des directions aléatoires et ne sont pas suffisants pour modifier son mouvement. Elle est globalement neutre électriquement et possède un champ magnétique trop faible pour subir des forces d'origine électromagnétique.

En bref, la Terre serait parfaitement tranquille si elle n'était pas soumise à l'attraction gravitationnelle des autres astres.

2- les forces d'attraction gravitationnelles...

La gravitation est l'interaction la plus "faible" en physique. En physique classique, elle concerne tous les corps matériels (ayant donc une masse) et "lie" toute particule matérielle à toutes les autres particules de l'univers !

En effet, l'interaction gravitationnelle entre deux corps A et B de masse m_a et m_b , distants de d , se traduit par un ensemble de deux forces d'attraction opposées (même support, même valeur mais des directions opposées) ce qui respecte bien le sacro-saint *principe de l'action et de la réaction*.



Les forces de gravitation exercées par le corps A sur le corps B et par le corps B sur le corps A sont des forces opposées (même direction mais sens opposés), toujours attractives. La force est proportionnelle à chacune des masses et décroît rapidement avec la distance (lorsqu'on double la distance, la force est divisée par 4). Malgré cette décroissance rapide, sa portée est infinie et supplante, en général, à très grande distance, les autres types de forces.

Ces forces ont pour valeur commune : $F = G \times m_a \times m_b / d^2$.

La constante G, appelée constante de Newton, est une des grandes constantes de la physique et a pour valeur dans le système d'unités de mesure international (masses en kilogrammes, distances en mètres, forces en newtons) : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (i.e. 0,0000000000667)

Exemple : pour deux corps de 1 kg placés à une distance de 1 m, la valeur de la force d'attraction est donc $F = 0,0000000000667 \times 1 \times 1 / 1^2 = 0,0000000000667$ N (newtons). Cette attraction est sur Terre difficile à mettre en évidence puisque l'ensemble de tous les autres corps constituant le globe et tout ce qu'il supporte exerce dans le même temps sur chacun de ces deux corps un ensemble d'autres forces d'attraction que l'on appelle globalement le poids et dont la valeur est d'environ 10 N ! Sans parler bien sûr de toutes les autres forces qui peuvent intervenir et qui sont toutes bien plus importantes (y compris la résistance de l'air).

Ce qui est donc remarquable dans l'attraction gravitationnelle, c'est à la fois sa faiblesse (G est très petit), sa rapide décroissance avec la distance (en $1/d^2$) et, toutefois, son champ d'action pratiquement illimité : la force d'attraction gravitationnelle exercée sur le système solaire par une étoile du centre de la galaxie est infinitésimale, c'est pourtant l'ensemble de ces forces qui explique que le système solaire reste lié à l'amas galactique !

3- ...entravent le mouvement de translation ;

Finalement, la Terre, dont la masse est évaluée à 6.10^{24} kg, est soumise à l'attraction de l'ensemble des corps de l'univers, et ceci d'autant plus qu'ils sont massifs et proches. Chacune de ces attractions se traduit par une force que l'on peut rapporter au centre de gravité du globe. Les plus importantes sont dues à la Lune et au Soleil, puis de manière de plus en plus faible aux planètes proches, aux planètes éloignées, aux astéroïdes, aux astres de notre Galaxie, aux autres galaxies...

Nous nous permettrons de négliger dans la suite toutes les attractions autres que celles de la Lune et du Soleil ; elles n'ont qu'un effet très minime, sans conséquences "visibles" sur les mouvements que nous allons décrire dans la suite, ou sensible seulement après des centaines d'années.

4- le mouvement de rotation est un mouvement circulaire uniforme (vitesse de rotation constante)

Les attractions gravitationnelles modifient le mouvement de translation de la Terre (nous en verrons les conséquences dans la suite). En revanche, aucun couple de forces ne modifie son mouvement de rotation. Lorsqu'on lance, par exemple, une boule de pétanque en lui imprimant un mouvement de rotation avant de la lâcher, son mouvement de translation suit les lois de la chute libre à cause de l'attraction terrestre mais elle conserve son mouvement de rotation, à vitesse constante, jusqu'au choc sur le sol.

La rotation du globe autour de son axe s'effectue donc à vitesse constante.

Ce mouvement de rotation est né des conditions de formation de la Terre et du mouvement moyen des blocs de matière qui se sont agglomérés et, une fois la "toupie" lancée, s'est poursuivi de manière uniforme en l'absence d'un couple de frottement ou de tout autre couple de forces (de très légères variations provenant des marées ont en réalité été mises en évidence, nous les "oublierons" bien vite !).

5- sens de la rotation de la Terre autour de son axe.

Le **mouvement apparent** du Soleil, bien connu de tous (?), s'effectue grossièrement d'Est en Ouest au cours de la journée, ce qui signifie que le mouvement réel de rotation de la Terre sur elle-même est en sens inverse, "d'ouest en Est", ce qui en général évoque bien peu de choses. La formulation suivante est moins ambiguë :

Si on regarde la Terre tourner en se plaçant "au-dessus" du pôle Nord, elle tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

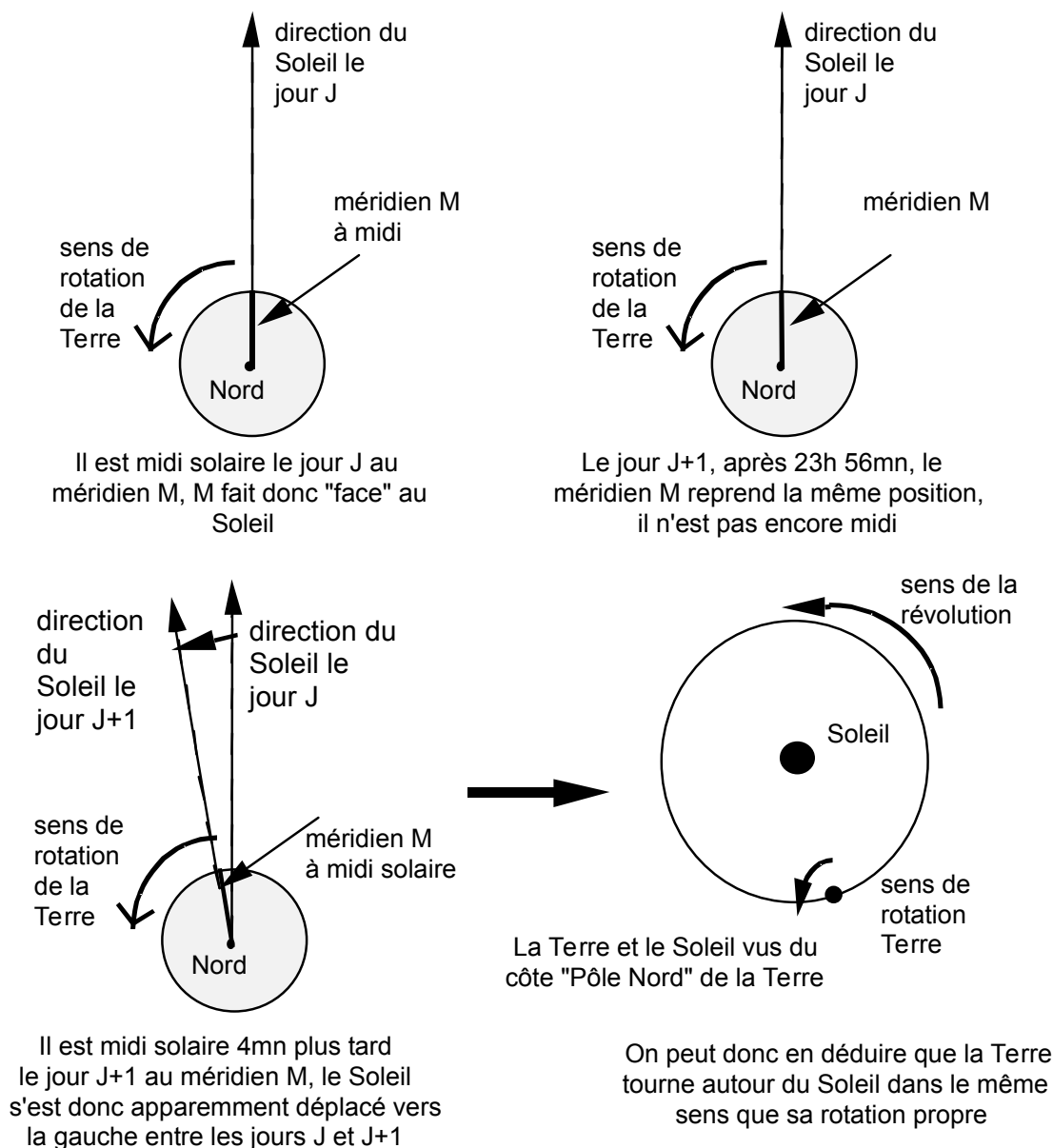
6- Période de rotation

La Terre fait un tour complet sur elle-même en... presque 24 h ! En réalité, *sa période de rotation est de 23 h 56 mn 4,9 s*. La Terre reprend donc une position identique par rapport à la "voûte céleste" toutes les 23 h 56 mn 4,9s. Si elle n'était pas animée d'un autre mouvement par rapport au Soleil, chaque point du globe repasserait dans la même position par rapport à la direction Terre - Soleil (notée T-S dans la suite) toutes les 23 h 56 mn 4,9 s, cette durée de la journée n'aurait pas manqué de conduire à une définition de l'heure plus pratique ! D'où proviennent donc les 4 mn supplémentaires de nos journées de 24 h ?

7- Origine de la différence de près de 4 mn entre dure moyenne du jour et période de rotation.

Anticipons un peu sur les explications du II : la Terre tourne autour du Soleil en 365 jours environ ! Ce mouvement a comme conséquence de changer la direction T-S de 1/365 ème de tour par jour (environ 1°) en moyenne. Supposons un instant que la lumière du Soleil devienne plus faible que celle de la Lune, nous permettant ainsi de voir les étoiles en plein jour ; une étoile quelconque visée dans un télescope fixe à un instant donné redeviendrait visible dans le télescope, dans une position identique à celle de la veille, toutes les 23 h 56 mn 4,9 s... alors qu'un télescope fixe visant le Soleil à un instant donné ne le viserait à nouveau que 24 h plus tard. On remarquerait d'ailleurs très bien le déplacement apparent du Soleil par rapport aux étoiles (ce type de manipulation est facile à réaliser dans un planétarium, pas dans la nature). Notre rythme de vie étant évidemment plus conditionné par l'alternance des jours et des nuits que par la position des étoiles, la période entre deux passages du Soleil dans le méridien (midis solaires) est à la base de notre décompte du temps en jours de 24 h.

La révolution de la Terre autour du Soleil "allongeant" de 4 mn la durée entre deux passages successifs du Soleil au-dessus d'un méridien, nous allons pouvoir en déduire le sens de rotation de la Terre autour du Soleil.



Vous pouvez "vivre" ce schéma en plaçant un objet quelconque au centre d'un cercle. En tournant sur vous-même sans vous déplacer, l'objet revient face à vous après un tour complet. En revanche, si vous tournez lentement autour de l'objet tout en tournant plus rapidement sur vous-

même, il vous faudra un peu plus (respectivement un peu moins) d'un tour sur vous-même pour faire face à l'objet si les deux rotations sont de même sens (respectivement de sens inverses).

II) Quel phénomène est responsable de la succession des saisons ?

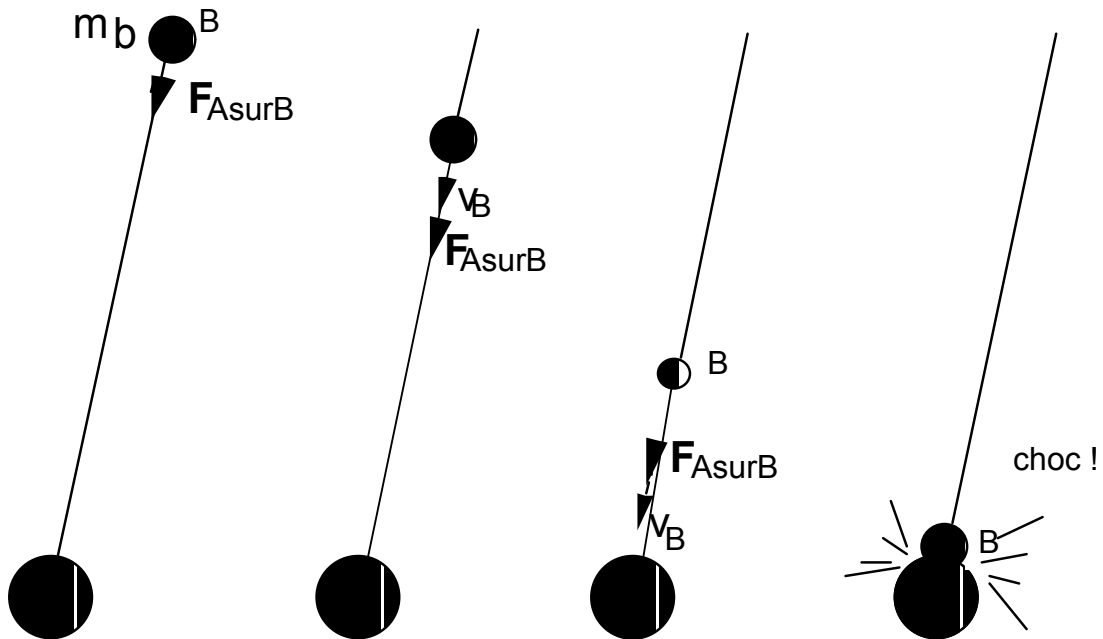
1- Influence de la gravitation sur le mouvement de la Terre

Le principe d'inertie, conséquence du principe fondamental de la dynamique lorsque les actions exercées sur un corps ont une résultante nulle, implique que la vitesse de translation et la vitesse de rotation doivent être constantes. Nous venons de voir que l'absence de couple de forces agissant sur le globe terrestre lui permet d'avoir une vitesse de rotation constante.

En revanche, la présence de forces d'attraction gravitationnelles doit se traduire par une modification du mouvement de translation qui ne peut être rectiligne et uniforme. Si on ne considère que le problème de deux corps exerçant l'un sur l'autre des forces d'attraction gravitationnelles à l'exclusion de toute autre action, trois cas seulement peuvent être distingués : la chute suivie d'un choc, la déviation, la mise en orbite. Examinons-les en simplifiant le problème et en considérant que l'un des corps (A) est fixe (il faudrait pour cela qu'il soit tenu immobile par des forces suffisantes, ce qui n'est le cas d'aucun corps dans l'espace, ou que sa masse soit très importante par rapport à celle de A pour qu'on puisse négliger ses mouvements...).

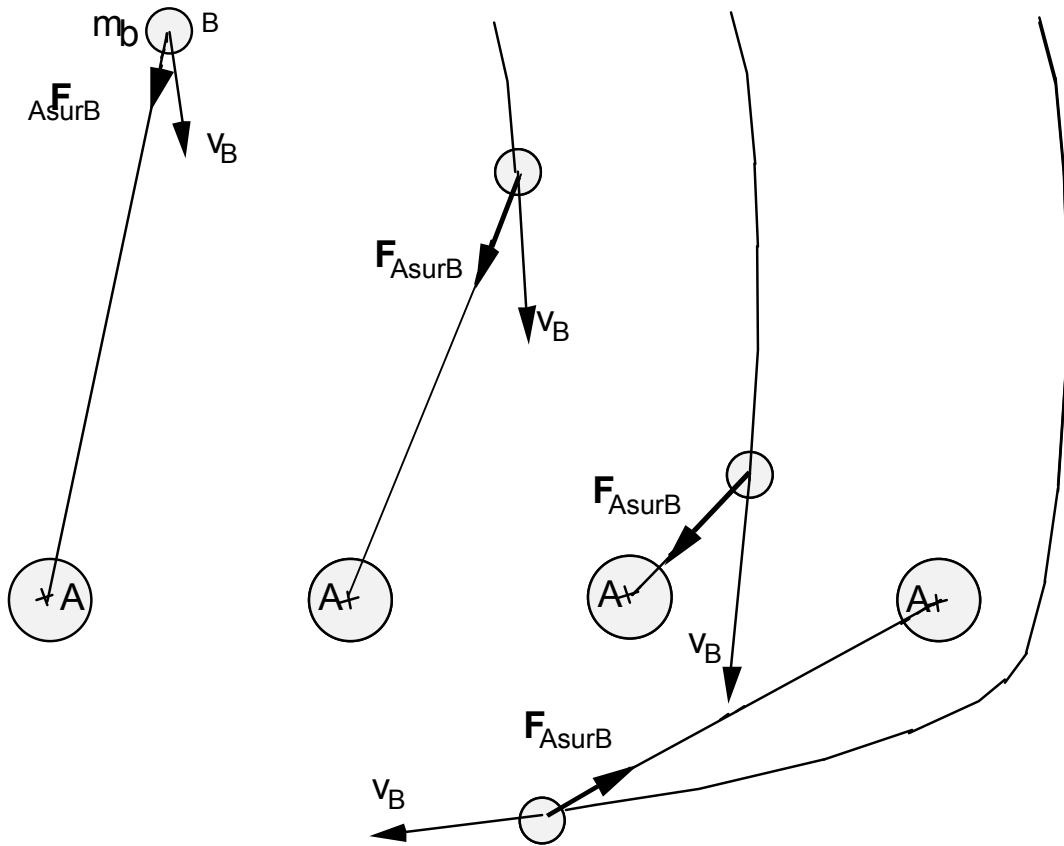
a) La "rencontre" : si le corps B a une vitesse initiale pratiquement nulle ou dans la direction de A, l'attraction de A va accélérer son mouvement : il va se mouvoir de plus en plus vite dans la direction de A... jusqu'à la rencontre avec sa surface, qui se traduit par un choc et ses conséquences (dans l'espace, il s'agit rarement d'un choc élastique comme pour des boules de billard !). C'est ce qui arrive chaque jour à de nombreuses météorites captées par le champ gravitationnel de la Terre.

Lorsque leur taille va de la poussière à quelques millimètres, la traversée de l'atmosphère se traduit par une "étoile filante", quelques centimètres ont droit de cité dans un musée, quelques dizaines de mètres provoquent un joli cratère de plusieurs kilomètres comme on en observe sur la surface de la Lune et dans quelques lieux de l'écorce terrestre que l'atmosphère et l'érosion des pluies n'ont pas fait encore disparaître (Meteor Crater en Arizona - 1265m, Manicouagari au Québec - 65 km), enfin la rencontre avec un météore de quelques kilomètres (environ 10 !) libérerait au moment de l'impact une énergie colossale, embrasant l'ensemble de l'atmosphère et faisant disparaître pour longtemps toute forme de vie évoluée du globe. Ce dernier cas est l'une des hypothèses avancées par certains de la disparition brutale des grands dinosaures.

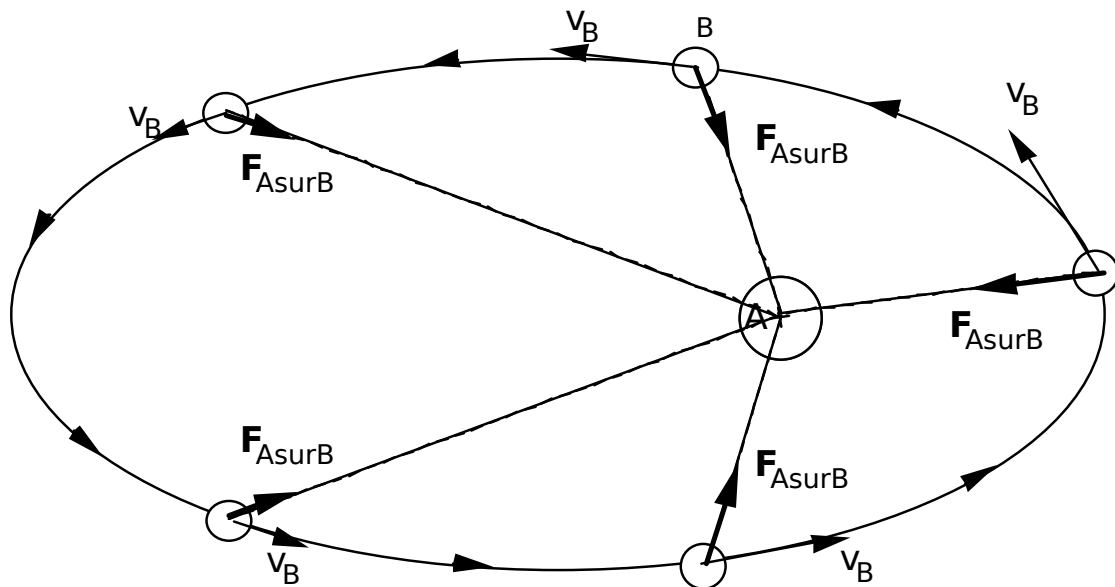


Exemple de trajectoire dans le cas où la vitesse initiale est nulle ou très faible

b) La déviation : si, au contraire, le corps B ne se dirige pas vers A et est animé d'une vitesse très grande par rapport aux variations de vitesse occasionnées par l'attraction de A, celle-ci n'aura pour effet qu'une déformation de la trajectoire en branche d'hyperbole plus ou moins ouverte selon les conditions initiales ; B est dévié mais retrouve loin après A la vitesse qu'il avait loin avant A.



c) La mise en orbite (aussi appelée satellisation) : dans le cas où la vitesse de B n'est pas suffisante pour l'arracher à l'attraction de A (cas b) mais n'est pas non plus trop faible ou orientée vers A (cas A), ce qui entraînerait la chute. Il y a alors mise en orbite de B autour de A, selon une trajectoire toujours elliptique. Une ellipse est une figure géométrique ressemblant à un cercle aplati dont l'une des constructions possibles nécessite de choisir deux points particuliers appelés foyers de l'ellipse (des explications plus détaillées sont données en IX). Dans le cas d'une mise en orbite de B autour de A, A occupe un des 2 foyers. La forme de l'ellipse (dimensions des axes et excentricité) est fixée une fois pour toutes : il suffit de connaître la vitesse de B à un instant donné (en direction, sens et intensité) pour pouvoir prédire l'ensemble de la courbe.



Si le corps A n'occupe pas une position fixe, les deux corps sont soumis à un mouvement de même nature. La Terre et le Soleil sont donc en orbite par rapport à leur centre de gravité qui est à quelques km du centre du Soleil (la masse de la Terre est évaluée à 6×10^{24} kg alors que la masse du Soleil est évaluée à 2×10^{30} kg, soit environ 330 000 fois plus). Le mouvement du Soleil, s'il était seul en présence de la Terre, serait une ellipse de quelques km de grand axe, ce que l'on peut parfaitement négliger par rapport à ses dimensions (rayon = 696 000 km soit 109 fois celui de la Terre). Qui plus est, la présence d'autres planètes de grande importance et de milliers de corps plus petits dans le système solaire rendent ces petites "vibrations" de la trajectoire du Soleil bien plus complexes... mais toujours aussi négligeables !

Le système solaire est donc, par définition, l'ensemble des corps "captés" par le champ de gravitation du Soleil, en orbite elliptique autour de lui. Certains d'entre eux ont, de plus, été captés par des corps plus gros qu'eux et sont en orbite autour de ces corps, on dit aussi qu'ils en sont des **satellites**. C'est le cas de notre Lune et, par extension du nom, des "lunes" d'autres planètes.

d) Conclusion :

La Terre est en orbite elliptique autour du Soleil. L'ellipse décrite par la Terre est très proche du cercle (excentricité presque nulle) puisque le périhélie (plus petite distance de la Terre au Soleil) est d'environ 149 millions de km alors que l'aphélie (plus grande distance) est de 153 millions de km. Cette très faible différence peut être négligée pour expliquer la plupart des phénomènes, on assimilera alors la trajectoire à un cercle parfait décrit en 365 jours (et des poussières dont nous reparlerons...).

Les quelques effets sérieux sur les phénomènes visibles sur Terre de l'ellipticité de la trajectoire seront abordés en IX.

2- direction de l'axe terrestre et saisons

Préambule : le Soleil est un "lampion" de très forte puissance placé à une distance moyenne de 150 millions de km de la Terre, ce qui nous permet de dire, après comparaison avec les 12 740 km du diamètre moyen de la Terre (rayon moyen de 6370 km), que *tous les rayons qui touchent notre globe à un instant donné sont presque parfaitement parallèles* : la moitié de notre globe est donc à chaque instant touchée par les rayons du Soleil, l'autre moitié étant dans la nuit.. Cette remarque peut évidemment être étendue à tous les objets de forme sphérique en orbite autour du Soleil. Nous reviendrons dans le III sur cette remarque et sur les caractéristiques du mouvement de rotation pour montrer que la durée d'éclairement d'un point (durée du jour) ne dépend que de l'orientation de l'axe terrestre par rapport au Soleil et de la position du point par rapport à l'axe (latitude)... Notons déjà que cela signifie clairement que la quantité de chaleur globale reçue par la Terre est parfaitement constante : la moitié de sa surface est éclairée à chaque instant et la distance Terre - Soleil varie très peu. Si saisons il y a, il ne peut donc être question d'une interprétation en terme de "Terre globalement plus chaude ou plus froide", seule la répartition de la chaleur sur le globe peut intervenir.

La Terre décrit une courbe fermée autour du Soleil, mais aucune force ne modifie son propre mouvement de rotation ou n'en introduit un nouveau. Il vaut mieux, à ce propos, éviter des images rencontrées dans certains livres décrivant le mouvement de la Terre autour du Soleil comme celui d'un "caillou attaché à un fil" ou d'un manège : cette image laisse imaginer une liaison solide modifiant nécessairement la position de l'axe terrestre.

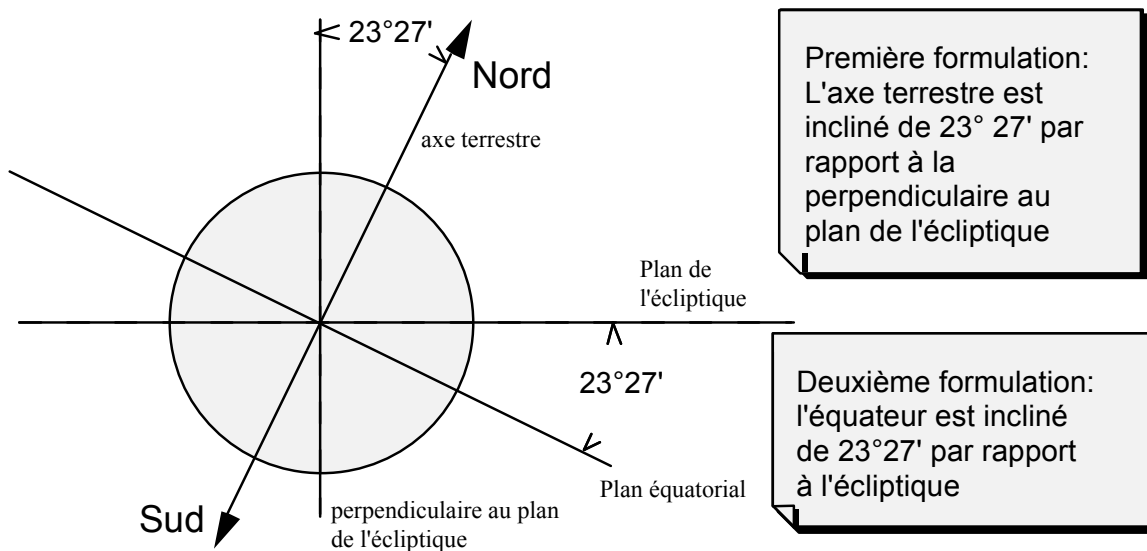
Il n'y a donc aucune raison pour que l'axe de rotation de la Terre change de direction à cause et au cours de cette "révolution". Dans un repère galiléen (qui a pour origine le Soleil et comme axes les directions indiquées par 3 étoiles, l'axe de la Terre garde au cours de la révolution autour du Soleil une direction fixe, c'est ainsi qu'il est possible de retrouver dans le ciel nocturne de l'hémisphère Nord une étoile fixe autour de laquelle l'ensemble des autres étoiles semble tourner ;

cette étoile est, de ce fait, appelée "étoile polaire" et est approximativement dans la direction que conserve tout au long de l'année la pointe Nord de l'axe terrestre.

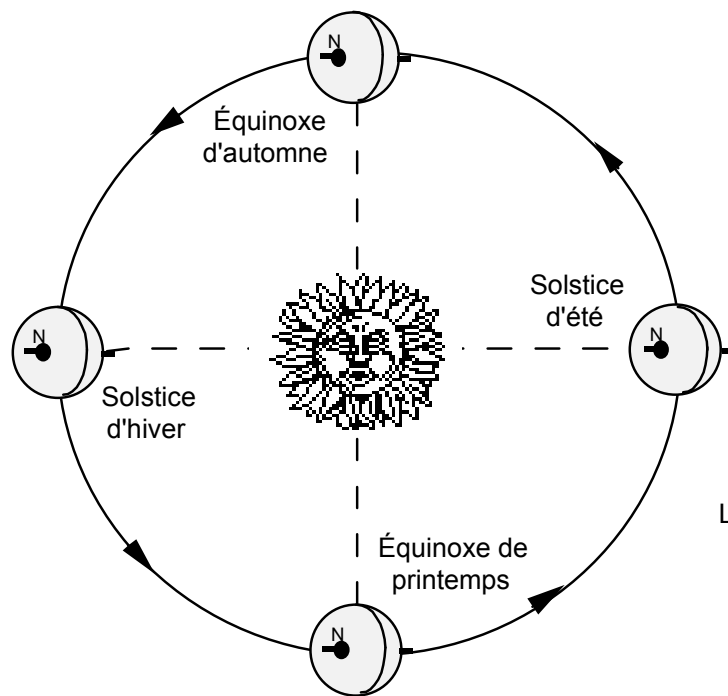
L'existence même d'une étoile polaire, conservant en permanence sa position dans le ciel, les photos en "pause" du ciel nocturne dans la région de l'étoile polaire en toutes saisons, sont des arguments majeurs pour démontrer ce phénomène de fixité de la direction de l'axe terrestre.

Si l'axe terrestre pointait dans une direction fixe et perpendiculaire au plan de révolution de la Terre autour du Soleil (appelé écliptique pour des raisons exposées plus loin), il n'y aurait pas de saisons : les climats existeraient de la région chaude équatoriale aux régions froides polaires, mais sans variation notable au cours de l'année. Si l'axe était dans une autre direction fixe particulière, à 90° de la précédente, contenue dans le plan de l'écliptique, nous connaîtrions des périodes longues au cours de l'année où l'un des deux hémisphères serait en permanence plongé dans la nuit, l'autre étant en permanence plongé dans le jour, ce qui ne manquerait pas de se savoir et de produire quelques climats désagréables !

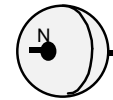
La direction fixe de l'axe que nous cherchons est donc nécessairement intermédiaire entre ces deux directions. L'inclinaison de l'axe terrestre par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique est de $23^\circ 27'$ (c'est donc aussi l'angle formé par le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique).



Les saisons, surtout marquées dans les régions tempérées, proviennent du fait que la Terre présente, au cours de l'année, tour à tour, plutôt l'hémisphère Nord ou plutôt l'hémisphère Sud aux rayons du Soleil. Entre ces deux périodes, elle passe pendant quelques jours dans une position intermédiaire où l'axe Nord - Sud est perpendiculaire à la direction Terre - Soleil. L'instant exact où cette condition est rigoureusement réalisée s'appelle équinoxe.



La trajectoire est représentée "vue du côté pôle Nord" de la Terre pour éviter le dessin en perspective, trop souvent porteur de mauvaises interprétations...



Le globe terrestre est évidemment représenté de manière très symbolique : pôle Nord, axe et équateur "apparents" ! L'échelle n'est pas non plus respectée.

III- Par quel phénomène peut-on expliquer les variations de la durée du jour au cours de l'année ?

1- La situation la plus simple,... les équinoxes.

Aux équinoxes, lorsque l'axe terrestre est perpendiculaire à la direction Terre - Soleil, tous les parallèles sont coupés en deux parties égales, l'une dans l'ombre propre de la Terre, l'autre dans la lumière solaire. Au cours d'une rotation complète de la Terre, chaque point du globe décrit exactement le parallèle qui le porte, à vitesse constante, et passera donc le même temps (12 h) dans le jour que dans la nuit.

2- Pendant la période printemps - été de l'hémisphère Nord.

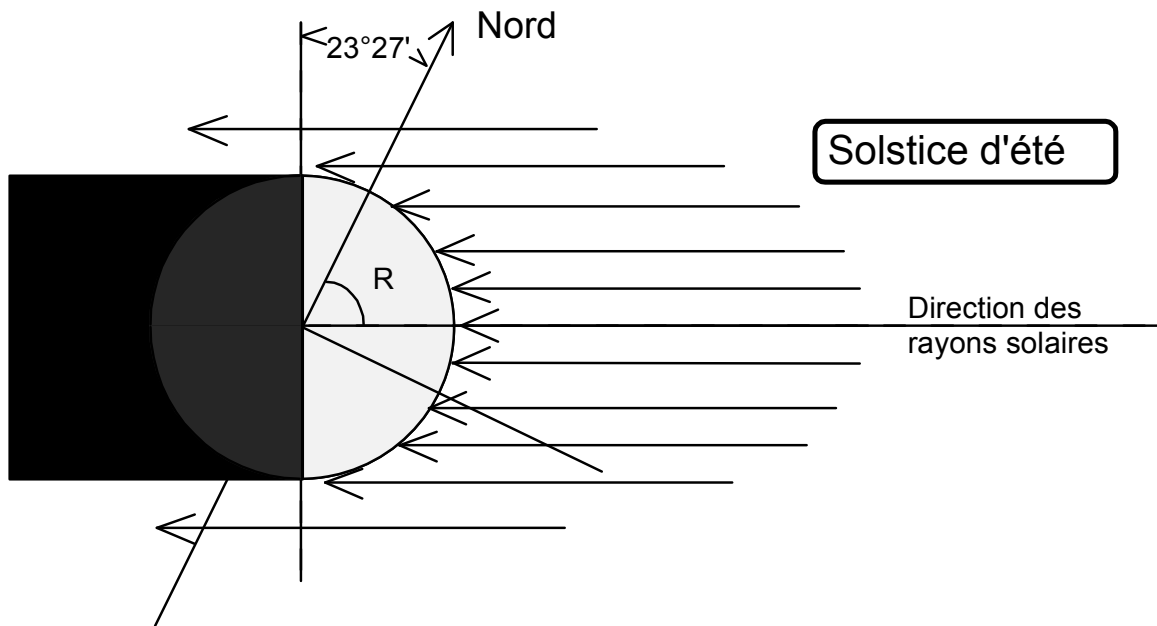
La direction Nord de l'axe terrestre fait alors un angle aigu avec la direction T-S (cet angle sera noté R dans la suite). Le pôle Nord, ainsi que la région environnante, est en permanence touché par le rayonnement solaire et connaît ainsi des journées de 24 h. La région du pôle Sud connaît des nuits de 24 h. Entre ces deux régions, du Nord au Sud, les parallèles ont des proportions de 100% à 0% immergées dans la lumière solaire, ce qui conduit à des durées de jour variant de 24 h à 0 h en passant par l'équateur qui est coupé en deux parties égales par la frontière jour - nuit et connaît des journées de 12 h et des nuits de 12 h. Les jours sont donc plus longs que les nuits dans l'hémisphère Nord, plus courts que les nuits dans l'hémisphère Sud.

On peut d'ores et déjà noter que l'équateur est un parallèle très particulier puisqu'il coupe la Terre en deux parties égales (hémisphères) : il sera à toute époque de l'année coupé en deux demi-cercles par la ligne de démarcation entre le jour et la nuit et ne connaîtra donc que des journées de 12 h et des nuits de 12 h.

Au solstice d'été de l'hémisphère Nord (que l'on devrait appeler solstice de Juin pour respecter les habitants de l'hémisphère Sud), la situation n'est pas différente : elle est simplement la plus marquée, l'angle R étant le plus aigu ($90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$) :

- la journée de 24 h concerne toute la région allant du pôle Nord au parallèle $66^\circ 33'$ Nord (cercle polaire arctique) ;
- la nuit de 24 h concerne toute la région allant du pôle Sud au parallèle $66^\circ 33'$ Sud (cercle polaire antarctique) ;

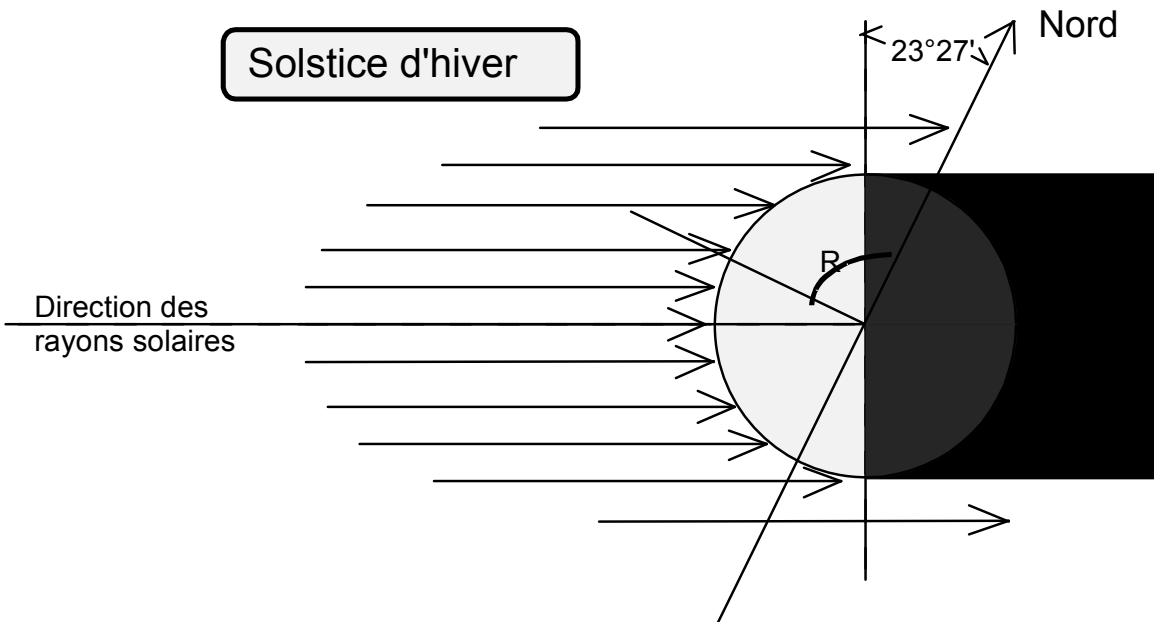
- les autres régions de l'hémisphère Nord connaissent le jour le plus long de l'année (avec un soleil le plus 'haut' de l'année dans le ciel, celles de l'hémisphère Sud connaissent la nuit la plus longue et le soleil le plus 'bas' de l'année sur l'horizon.



3- Pendant la période automne - hiver de l'hémisphère Nord

Pendant cette période, la situation est inverse (angle R supérieur à 90°) : le pôle Nord est en permanence dans la nuit, le pôle Sud dans le jour. En allant du Nord au Sud, on passe de 24 h de nuit à 0 h de nuit. L'équateur connaît toujours des jours égaux aux nuits.

Au solstice de décembre, il suffit d'inverser les mots Nord et Sud dans les explications du 2-



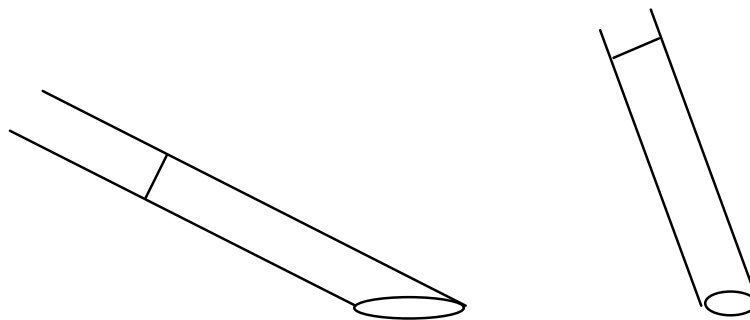
IV- Par quel phénomène peut-on expliquer les différences sensibles entre les saisons (températures, etc.)

Rappelons que la Terre reçoit à chaque instant la même quantité de rayonnement provenant du Soleil. La moitié de sa surface capte en permanence la plus grande partie des radiations solaires qui la frappent. Par le jeu de la rotation de la Terre sur elle-même et de la situation de l'axe de

rotation au cours de la révolution autour du Soleil, ce n'est simplement pas toujours la même moitié qui est éclairée :

- En dehors des régions polaires, la rotation se traduit en chaque lieu par l'alternance jour - nuit toutes les 24 h : une région donnée ne peut donc s'échauffer que pendant la période de jour dont la longueur est, comme nous l'avons vu, différente selon la saison ;
- l'hémisphère Nord est plus orienté vers le Soleil en été qu'en hiver et chacun de ses points reçoit donc, autour de midi solaire, des rayons plus proches de la perpendiculaire au sol (verticale) en été et plus proches de la tangente au sol (horizontale) en hiver ; la situation est inverse pour l'hémisphère Sud.

C'est essentiellement la hauteur du soleil dans le ciel (donc les quelques heures entourant le midi solaire) qui conditionne la quantité de chaleur reçue par le sol en un lieu donné. La durée plus longue du jour lorsque le soleil passe plus haut ne fait que renforcer l'apport de calories sans être déterminante. En effet, comme le montre le schéma suivant, l'énergie contenue dans un "tube" de rayons se "répartit" sur une surface plus ou moins grande selon l'angle d'incidence sur le sol.



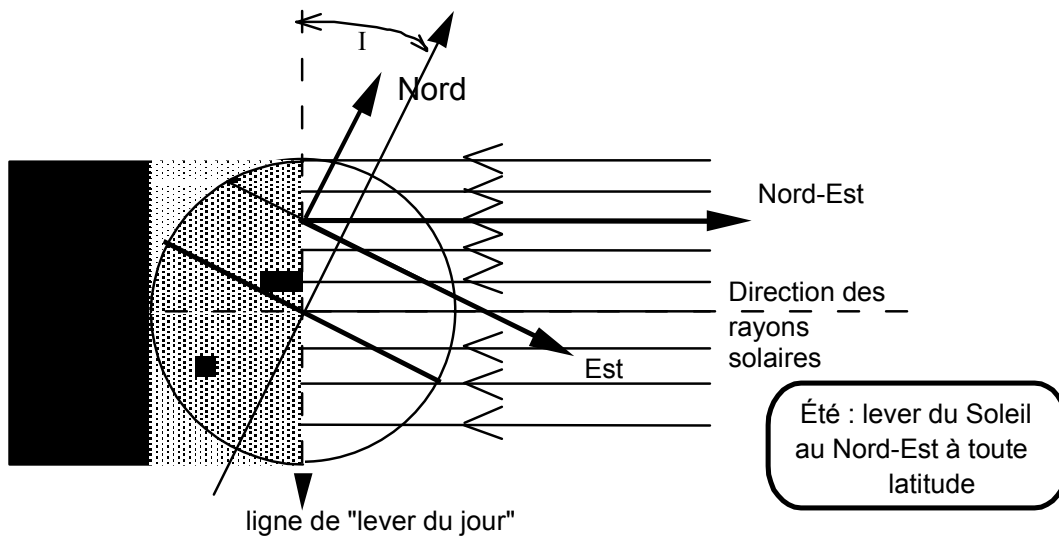
Les saisons sont toutes en "retard" de quelques semaines par rapport aux positions d'équinoxes et de solstices. Remarquons d'ailleurs que ces dates nous servent à marquer le début des saisons et non leur milieu. Par exemple, en France, il fait en moyenne plus froid fin Janvier et début février qu'au solstice d'hiver (fin décembre) alors que le sol reçoit plus de chaleur. Ce retard est dû à l'inertie thermique de la Terre. La température atteinte par le sol en fin d'après-midi ne dépend pas que de la chaleur apportée par le soleil pendant le jour, elle dépend aussi de la chaleur rayonnée par le sol tout au long de la journée (jour et nuit) et de la température initiale (celle de la veille)...

En janvier, le sol de nos régions perd plus de chaleur qu'il n'en reçoit, même si les gains augmentent du fait de la croissance de la hauteur du soleil à midi, la température continue donc à diminuer en moyenne. La température ne remonte que lorsque le bilan thermique redevient positif fin février. Le même phénomène se produit après le solstice d'été : l'énergie reçue commence à diminuer mais est encore suffisante pour dépasser les pertes par rayonnement, la température continue donc à augmenter. Ce phénomène est d'ailleurs amplifié à proximité des océans qui se comportent comme des magasins à calories à cause du brassage des eaux de surface et des eaux profondes.

C'est ainsi que des dates correspondant à des apports de chaleur identiques ne correspondent pas à des températures moyennes identiques. Il fait plus chaud en moyenne à l'équinoxe d'automne qu'à l'équinoxe de printemps alors que les durées du jour et hauteurs du Soleil sont rigoureusement identiques. De même pour le 20 avril et le 20 août ou le 20 mai et le 20 juillet, etc.

V- Où se lève le soleil ? Où se couche-t-il (avec précision) ?

1- Au printemps et en été (de l'hémisphère Nord)...

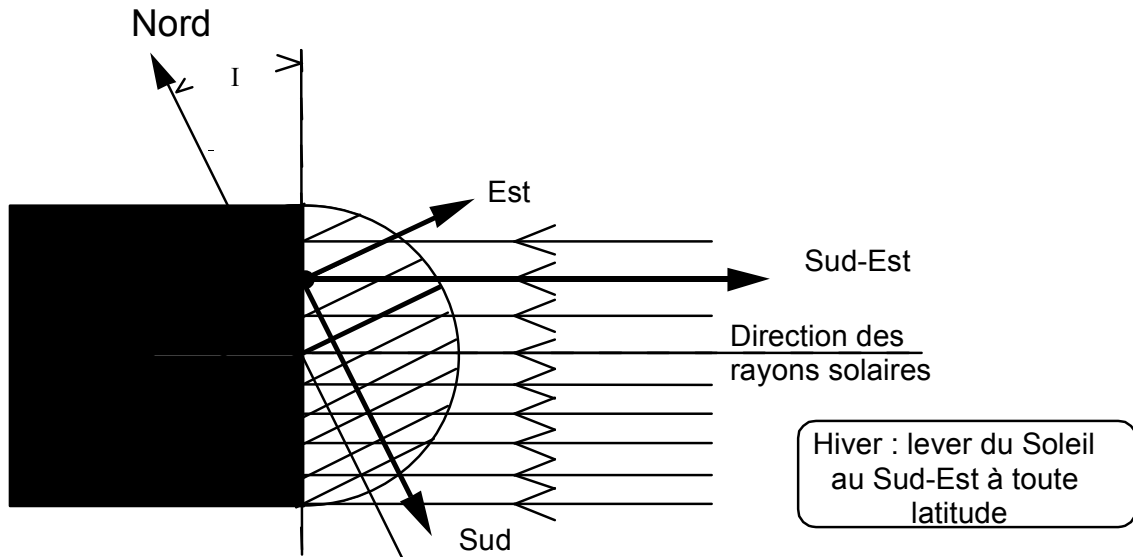


Au printemps et en été, la direction Nord de l'axe terrestre pointe vers le Soleil. Le schéma montre que, pendant cette période, de mars à septembre, le Soleil se lève au nord-est et d'autant plus vers le Nord que l'inclinaison I est plus forte. Le jour du solstice d'été est donc le jour de l'année où le soleil se lève le plus près du Nord.

Il n'est pas difficile de comprendre à partir du schéma que le Soleil se couche pendant cette période au Nord-Ouest.

Ces remarques sont valables, pendant cette période, pour l'ensemble du globe. Cela peut sembler contradictoire dans un premier temps avec la symétrie habituelle des deux hémisphères. Ce n'est pas le cas : pendant cette période, un observateur de l'hémisphère Nord décrira le mouvement apparent du soleil en disant qu'il se lève au Nord-Est, passe par le Sud à midi et se couche au Nord-Ouest, décrivant ainsi une courbe supérieure au demi-cercle compatible avec la longueur de la journée supérieure à 12 h. Dans le même temps, l'observateur de l'hémisphère Sud verra le soleil se lever au Nord-Est, passer au Nord à midi et se coucher au Nord-Ouest, et donc décrire moins d'un demi-cercle compatible avec une longueur de journée inférieure à 12h. C'est le seul cas où il est nécessaire de se méfier de la symétrie entre les hémisphères !

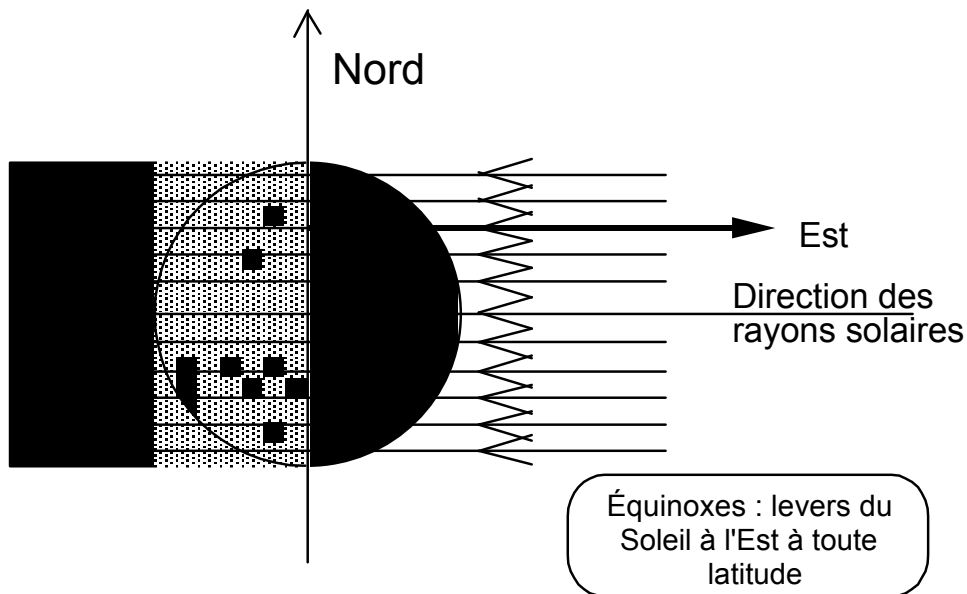
2- En automne et en hiver (de l'hémisphère Nord)



En automne et en hiver, la direction Sud de l'axe terrestre pointe vers le Soleil. Le schéma montre que, pendant cette période, le Soleil se lève en tout point au Sud-Est et d'autant plus vers le Sud que l'inclinaison I est plus forte. Le jour du solstice d'hiver est donc le jour de l'année où le soleil se lève le plus près du Sud.

Il n'est pas difficile de comprendre à partir du schéma que le Soleil se couche pendant cette période au Sud-Ouest.

3- Aux équinoxes de printemps et d'automne...



Le Soleil ne se lève donc rigoureusement à l'Est et ne se couche rigoureusement à l'Ouest que le jour des équinoxes d'automne et de printemps.

Un appartement parisien est orienté plein Nord, sans vis à vis, les rayons du soleil pénètrent-ils dans les pièces ?

Si oui, à quelle période de l'année ?

A quels moments dans la journée ?

Vous devez maintenant pouvoir répondre à cette question !

VI- Donner les noms des deux solstices. Donner au moins deux critères permettant de les définir.

1- Solstice de juin, solstice d'été de l'hémisphère Nord et d'hiver dans l'hémisphère Sud

- *En toute rigueur, il s'agit de l'instant précis où l'axe terrestre orienté Nord-Sud, forme l'angle le plus aigu avec la direction Terre - Soleil. Les critères suivants ne sont donc pas rigoureusement exacts puisqu'ils confondent en particulier l'instant du solstice avec le jour du solstice.*
- *Le solstice d'été (20 ou 21 juin) est, dans l'hémisphère Nord, le jour le plus long de l'année et celui où le Soleil fait l'angle le plus grand avec l'horizon à midi solaire dans les régions situées au dessus du tropique.*
- *Dans l'hémisphère Sud, c'est le solstice d'hiver, jour le plus court de l'année, le soleil fait l'angle le plus faible avec l'horizon à midi.*
- *Il fait nuit pendant 24 h dans toute la zone polaire antarctique (du pôle Sud au cercle polaire antarctique) et il fait jour pendant 24 h (soleil de minuit) dans toute la zone polaire arctique (pôle Nord jusqu'au cercle polaire arctique).*
- *Le soleil passe au zénith au tropique du Cancer (latitude 23°27' Nord).*
- *C'est, sous toutes les latitudes, le jour de l'année où le Soleil se lève et se couche le plus au Nord.*

2- Solstice de décembre, solstice d'hiver de l'hémisphère Nord et d'été dans l'hémisphère Sud

- *En toute rigueur, il s'agit de l'instant précis où l'axe terrestre orienté Nord-Sud, forme l'angle le plus obtus avec la direction Terre - Soleil. Les critères suivants ne sont donc pas rigoureusement exacts puisqu'ils confondent en particulier l'instant du solstice avec le jour du solstice.*
- *Le solstice d'hiver (21 ou 22 décembre) est, dans l'hémisphère Nord, le jour le plus court de l'année et celui où le Soleil fait l'angle le plus faible avec l'horizon à midi solaire.*
- *Dans l'hémisphère Sud, c'est le solstice d'été, jour le plus long de l'année, le soleil fait l'angle le plus grand de l'année avec l'horizon à midi.*
- *Il fait nuit pendant 24 h dans toute la zone polaire arctique (du pôle Nord au cercle polaire arctique) et il fait jour pendant 24 h (soleil de minuit) dans toute la zone polaire antarctique (pôle Sud jusqu'au cercle polaire antarctique).*
- *Le soleil passe au zénith au tropique du Capricorne (latitude 23°27' Sud).*
- *C'est, sous toutes les latitudes, le jour de l'année où le Soleil se lève et se couche le plus au Sud.*

VII- Donner les noms des deux équinoxes. Donner au moins deux critères permettant de les définir.

L'équinoxe de mars (20 ou 21/03, équinoxe de printemps dans l'hém. Nord et d'automne dans l'hém. Sud) et l'équinoxe de septembre (21 ou 22/09, équinoxe d'automne dans l'hém. Nord et de printemps dans l'hém. Sud), sont identiques du point de vue de la situation de l'axe terrestre par rapport à la direction Terre - Soleil (90° dans les deux cas) et donc du point de vue des effets observables. La seule différence provient de leur "passé" et de leur "avenir".

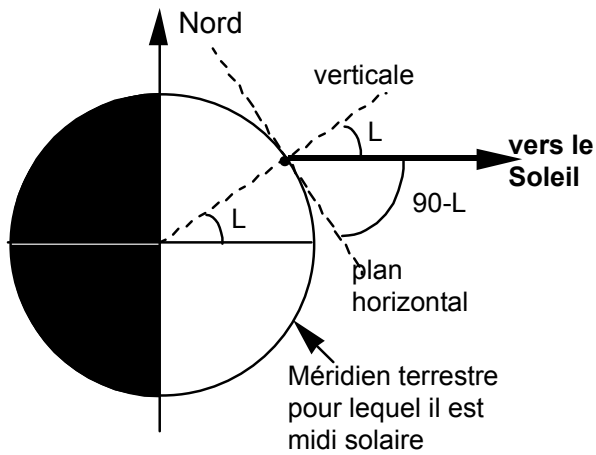
- Le jour et la nuit sont d'égale longueur (12 h) sous toutes les latitudes (tous les parallèles ont la moitié de leur longueur dans le jour).

- Le Soleil se lève partout à l'Est et se couche partout à l'Ouest.

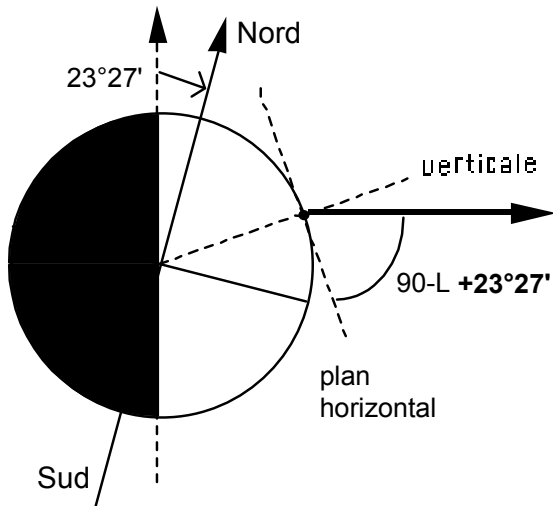
- Le Soleil passe au zénith à midi sur l'équateur.

- Aux pôles, le Soleil tourne sur l'horizon pendant plusieurs jours. A l'équinoxe de mars il s'agit d'une aube très longue entre la nuit de 6 mois et le jour de 6 mois au pôle Nord et d'un crépuscule au pôle Sud. C'est l'inverse qui se produit à l'équinoxe de septembre.

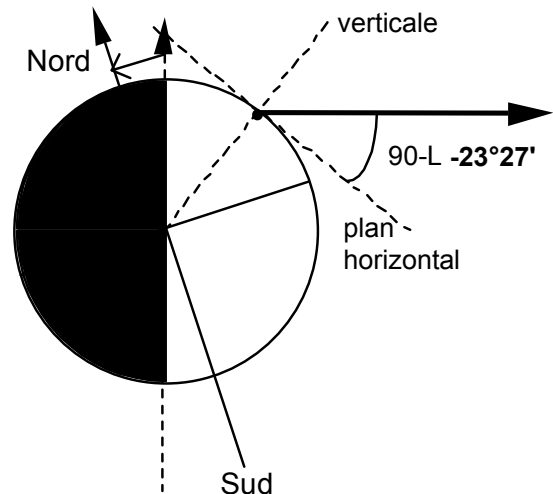
La "hauteur" sur l'horizon du Soleil à midi solaire est en réalité l'angle entre la direction des rayons solaires et la direction Sud du lieu considéré. Le schéma suivant permet de comprendre comment calculer cette hauteur angulaire en fonction de la latitude L du lieu, dans l'hémisphère Nord, aux quatre dates particulières des solstices et des équinoxes.



Aux équinoxes:
à midi solaire, le soleil fait un angle de L° avec la verticale à la latitude L° , l'angle avec l'horizon est donc de $90-L$



solstice d'été:
l'axe a tourné de $23^\circ 27'$ par rapport à la position précédente



solstice d'hiver:
l'axe a aussi tourné de $23^\circ 27'$ par rapport à la position d'équinoxe mais en sens inverse

- Aux équinoxes : l'angle est $h = 90 - L$.
- Au solstice d'été : $h = 90 - L + 23^\circ 27'$ quelle que soit la latitude L .
- Au solstice d'hiver : $h = 90 - L - 23^\circ 27'$ quelle que soit la latitude L .
- Les autres jours : $h = 90 - L + I$ (I étant l'angle entre le plan de l'équateur et la direction Terre - Soleil)

Vous devez maintenant pouvoir répondre à la question "subsidaire" suivante:

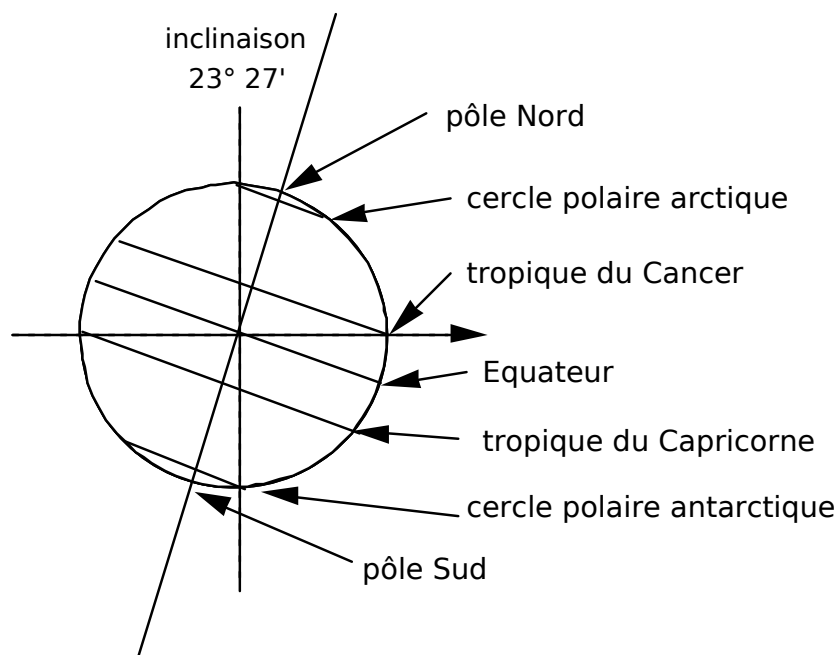
En quels lieux du globe peut-on voir le soleil au zénith (verticale du lieu) ?

A quels moments de l'année ?

A quelle heure dans la journée ?

et éviter de parler de zénith pour le point le plus haut dans le ciel sous nos latitudes !

VIII- À quoi correspondent les points et les lignes suivantes - Pôles - Cercles polaires - Tropiques - Équateur ?



Les questions précédentes ont permis de faire un tour à peu près complet des propriétés de ces points et lignes. Nous allons donc simplement les reprendre.

1- Les pôles

Définition géométrique

Les pôles sont les points de concours entre l'axe de rotation de la Terre (sur elle-même) et la surface terrestre.

Propriétés

- Le pôle Nord connaît une nuit de 6 mois entre l'équinoxe d'automne et l'équinoxe de printemps. Le Soleil est en permanence sous l'horizon pendant cette période. Signalons toutefois que pendant les périodes proches des équinoxes, le soleil est suffisamment proche de l'horizon pour provoquer un crépuscule ou une aube de plusieurs semaines. Au pire, au solstice de décembre, le soleil décrit un cercle à 23° 27' sous l'horizon.
- A partir de l'équinoxe d'automne, après une longue aube, le Soleil apparaît au dessus de l'horizon, semble tourner autour du pôle en décrivant un cercle parfait sur l'horizon. Jour après jour, ce cercle s'élève très progressivement - il s'agit en réalité d'une spirale - pour atteindre un maximum de 23° 27' le jour du solstice de juin. Puis il redescend lentement pour atteindre l'horizon le jour de l'équinoxe de septembre.
- les propriétés du pôle Sud sont, bien entendu, symétriques de celles du pôle Nord.

2- Les cercles polaires

Définition géométrique

Les cercles polaires sont les deux parallèles situés à 23° 27' des 2 pôles. Ils sont donc à la latitude $90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$, Nord pour le cercle polaire arctique et Sud pour le cercle polaire antarctique.

Propriétés

- Le cercle polaire arctique est la limite atteinte par la nuit de 24 h au solstice de décembre et par le soleil de minuit au solstice de juin. La hauteur du Soleil sur l'horizon à midi varie en effet entre 0° (solst. hiver) et 46° 54' (solst. été).

- les propriétés du cercle polaire antarctique sont symétriques de celles du cercle polaire arctique.

3- Les tropiques

Définition géométrique

Les tropiques sont les deux parallèles situés à la latitude $23^{\circ} 27'$ Nord (tropique du Cancer) et Sud (tropique du Capricorne).

Propriétés

- Le tropique Nord est la limite atteinte par le passage du Soleil au zénith à midi solaire au solstice de juin. La hauteur du Soleil sur l'horizon à midi varie en effet entre 90° (sol. été) et $90^{\circ} - 46^{\circ} 54'$ vers le Sud (sol. hiver).
- les propriétés du tropique Sud au solstice de décembre sont identiques à celles du tropique Nord au solstice de juin.

4- Équateur

Définition géométrique

L'équateur est la ligne d'intersection entre la surface terrestre et le plan perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre et passant par son centre. C'est donc le plus long des parallèles.

Propriétés

- L'équateur est le seul parallèle qui coupe la Terre en deux hémisphères, il est donc nécessairement coupé en deux parties égales par la ligne de démarcation entre le jour et la nuit: le jour et la nuit y ont des durées égales tout au long de l'année.
- Le soleil ne passe au zénith à midi solaire qu'aux équinoxes ($h = 90^{\circ}$). La hauteur du Soleil sur l'horizon à midi varie en effet entre $90^{\circ} - 23^{\circ} 27'$ vers le Sud au solstice de juin et $90^{\circ} - 23^{\circ} 27'$ vers le Nord au solstice de décembre.

IX- Quelle est la trajectoire de la terre autour du soleil ?

Nous avons déjà répondu à cette question : *la Terre est en orbite autour du soleil selon une trajectoire elliptique. L'ellipse en question est très proche du cercle, les points appelés foyers sont très proches du centre. Le Soleil occupe un des foyers de l'ellipse.* Cette formulation très simple a largement suffi aux explications concernant tous les phénomènes importants (saisons, durée des jours, directions de lever et de coucher du Soleil, hauteur angulaire du Soleil à midi, etc.).

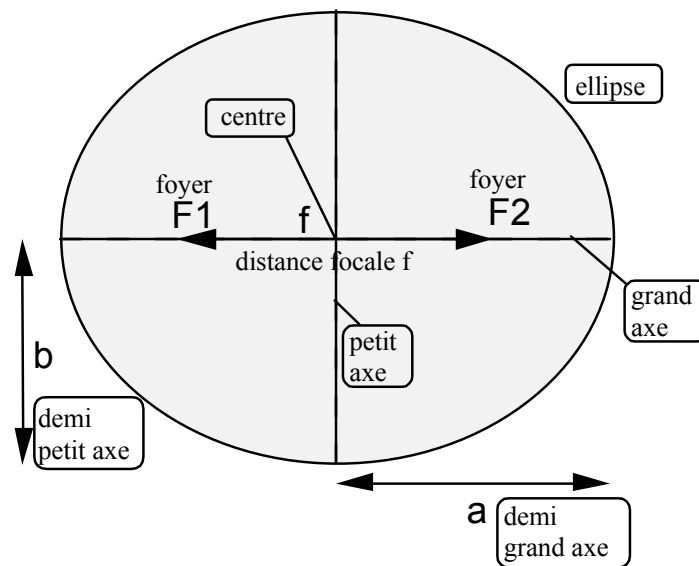
Uniquement pour ceux qui veulent en savoir plus et qui supporteront cet effort supplémentaire, examinons les lois de Képler qui décrivent toutes les orbites, presque telles qu'elles ont été formulées

1- Les lois de Képler

Le mathématicien et astronome allemand Johannes Képler (1571-1630) était assistant de Tycho Brahé (1546-1601). Il a utilisé la grande précision des observations astronomiques de son maître pour formuler les lois régissant la révolution des planètes autour du Soleil. Elles peuvent s'exprimer de la manière suivante :

a- Les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le Soleil occupe un des foyers.

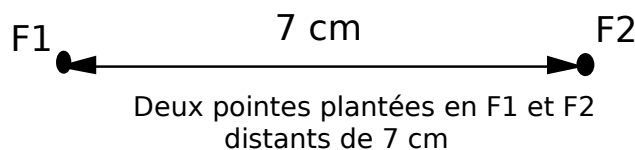
Une ellipse peut se construire selon plusieurs méthodes différentes. Avant de décrire la plus simple, rappelons le vocabulaire géométrique concernant l'ellipse...



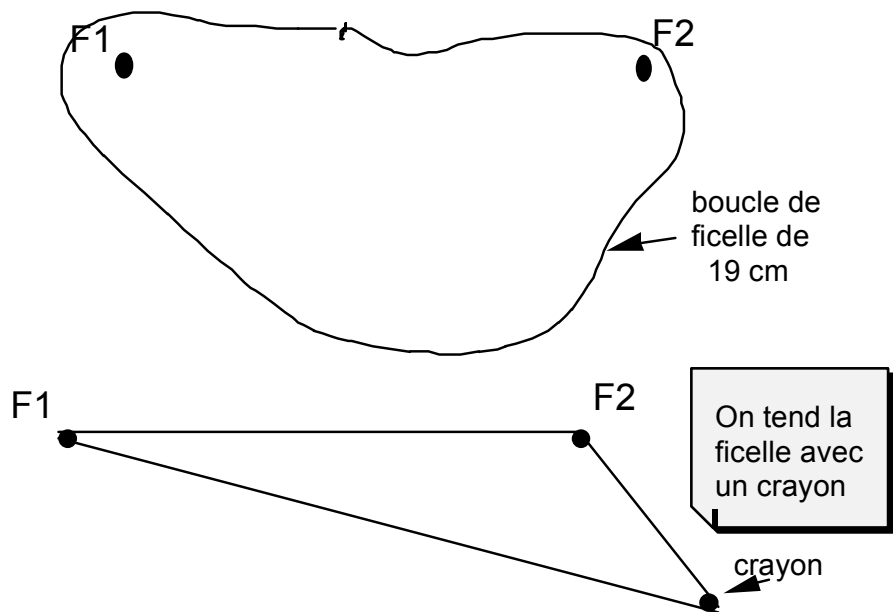
La méthode de construction la plus simple et la plus efficace est celle dite de "la ficelle du jardinier" qui utilise l'une des définitions possibles de l'ellipse : la somme des distances d'un point quelconque de l'ellipse aux deux foyers est constante et égale à la longueur du grand axe ($2a$).

Une fois choisis les deux points, futurs foyers, F1 et F2 distants de f (7 cm dans l'exemple suivant), et la longueur du demi grand axe a (6 cm dans l'exemple), il suffit de:

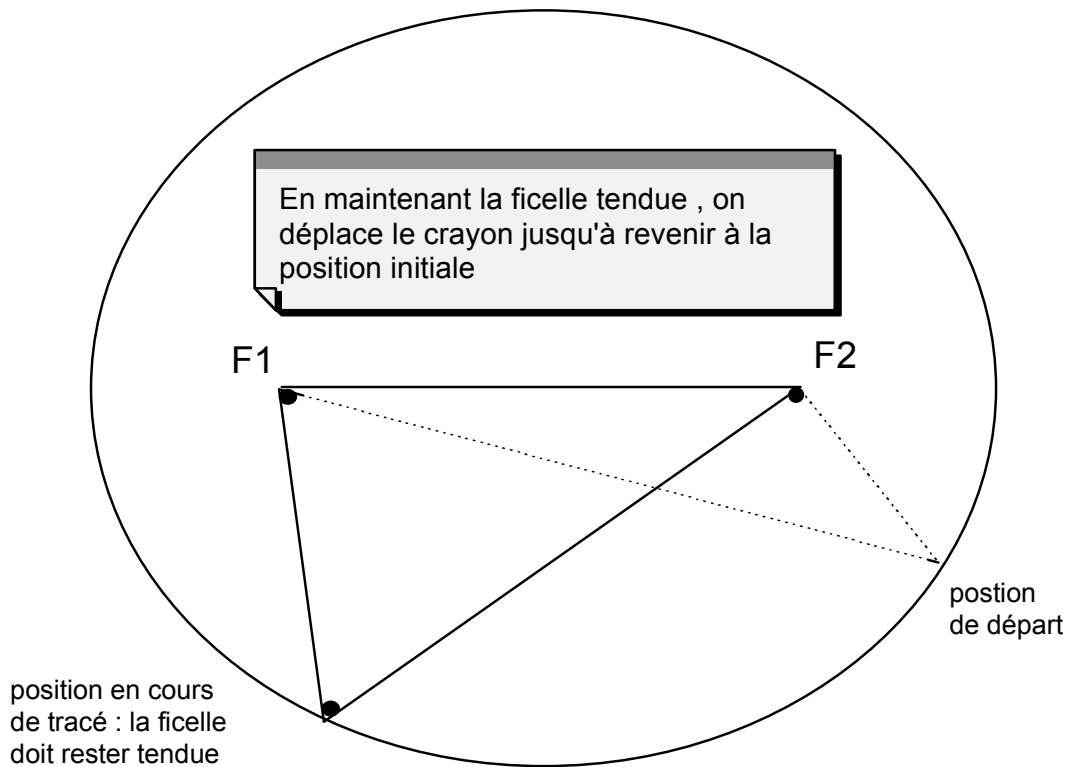
- planter deux "piquets" en F1 et F2,

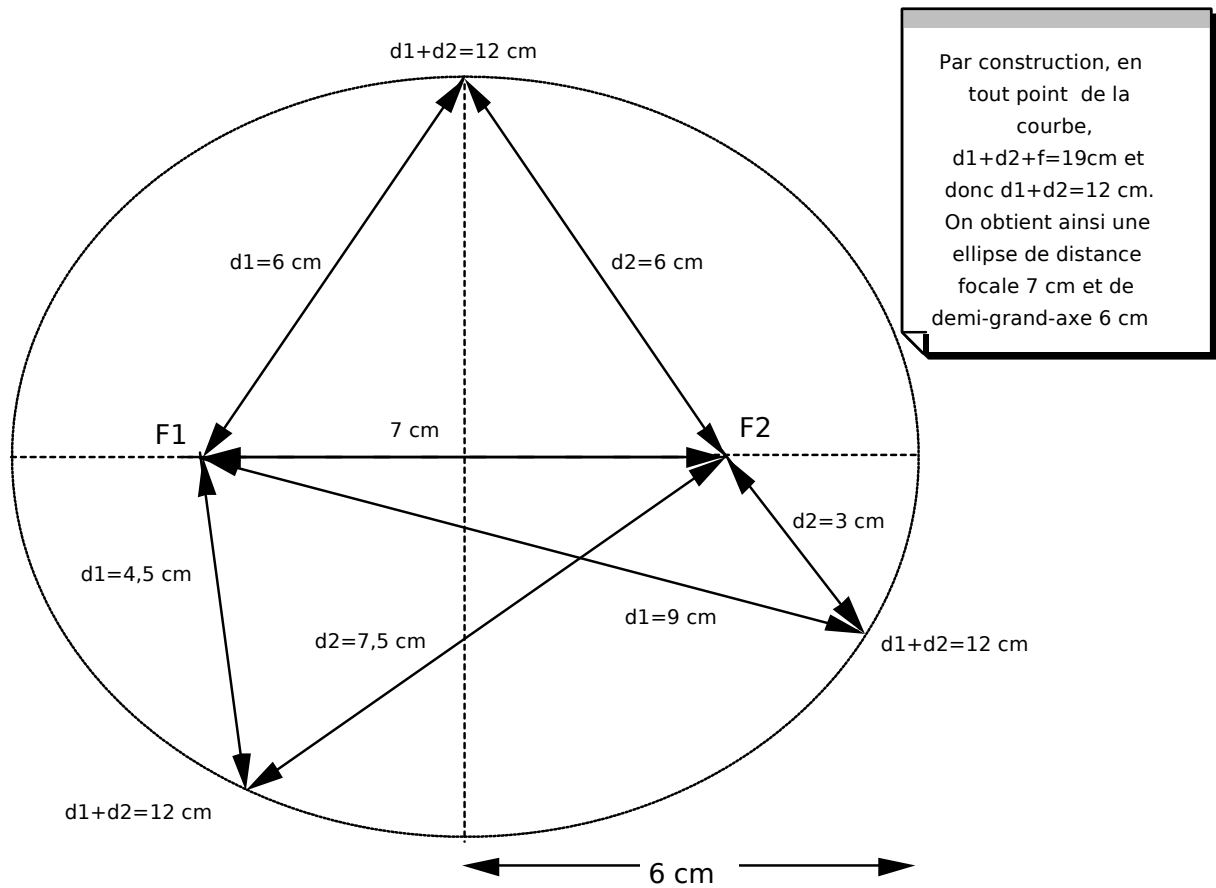


- faire une boucle de ficelle de longueur $2a+f$, soit ici 19cm, et tendre cette boucle sur les deux piquets ainsi qu'un troisième mobile qui servira à faire le tracé. Pour une ficelle de 19 cm environ



- Il suffit ensuite d'effectuer le tracé en maintenant en permanence la boucle de ficelle tendue





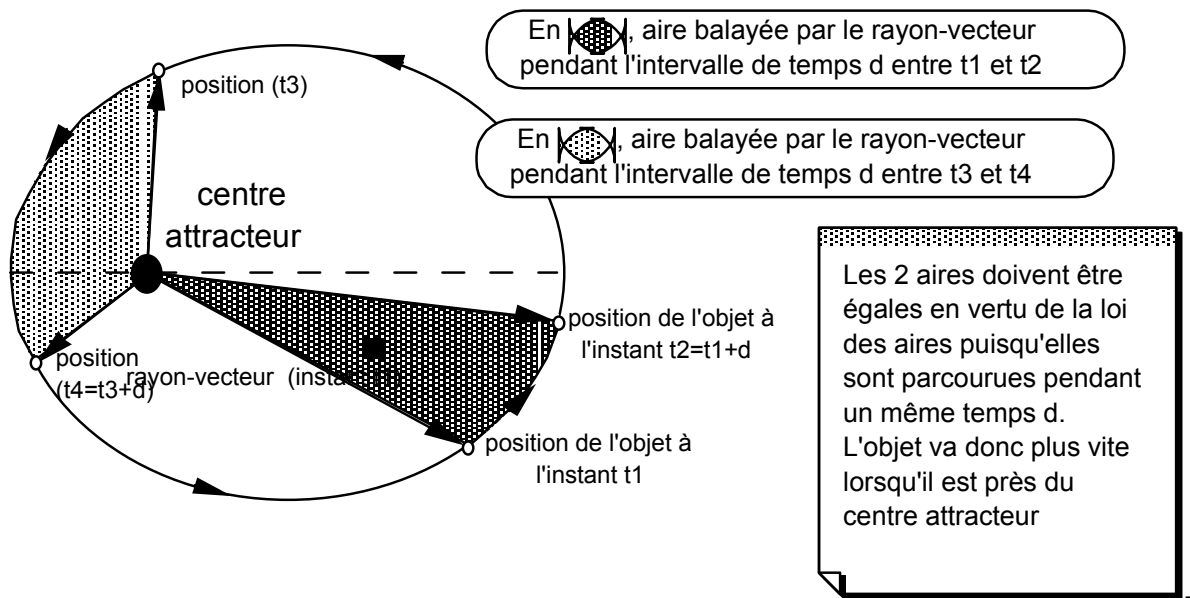
Le rapport $e = f / 2a$ s'appelle l'excentricité puisqu'il marque bien cette "propriété" de l'ellipse; si $f = 0$ (foyers confondus), l'ellipse est un cercle et $e = 0$; si $f = 2a$, l'ellipse est totalement aplatie (segment) et $e = 1$; e peut donc faire varier l'excentricité de 0 (cercle parfait) à 1 (segment).

L'excentricité de la trajectoire de la Terre autour du Soleil est de 0,01675, ce qui est très faible. La distance a est de l'ordre de 149 millions de km, f vaut donc environ 4 millions de km. La distance de la Terre au Soleil varie donc grossièrement de 147 millions de km ($a - f/2$) à l'aphélie à 151 millions de km ($a + f/2$) à l'aphélie. C'est cette faible excentricité qui nous a permis de considérer temporairement la trajectoire comme un cercle pour la plupart des phénomènes. La plupart des objets en orbite autour du Soleil ont des orbites elliptiques de faible excentricité. Il existe donc une très faible probabilité de rencontre entre ces objets. Les grosses planètes ont ainsi des trajectoires très ordonnées du point de vue de leur distance moyenne au Soleil : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. Les 8 premières tournent presque "rond", la neuvième, Pluton, jouant les excentriques puisque sa trajectoire elliptique la conduit, à certaines périodes, à se trouver plus proche de nous que Neptune. Ce sont donc les deux seules planètes qui ont une probabilité non nulle de se rencontrer un jour !

En revanche, quelques objets, les comètes ont des trajectoires très excentriques : leur périhélie est très proche du Soleil et leur aphélie est parfois bien au-delà de l'orbite de Pluton. La probabilité de rencontre avec un autre objet en orbite est donc très importante, ce qui les conduirait à une disparition brutale. Ceci explique leur faible nombre actuel et justifie qu'on s'inquiète de prévoir leur trajectoires futures !

b- La deuxième loi (appelée loi des aires) nous indique que :

La ligne reliant une planète au Soleil balaie des aires égales en des intervalles de temps égaux.



La Terre n'a donc pas une vitesse parfaitement constante. La vitesse moyenne de la Terre sur son orbite est de 30 km/s soit 108 000 km/h ! Nous verrons les implications de ses variations dans le X-.

c - Enfin, la troisième loi permet de déterminer le temps d'une révolution en connaissant uniquement la longueur a (demi - grand axe) : **les carrés des temps de révolution sont proportionnels aux cubes des grands axes.**

Cela peut donc s'écrire $T^2/a^3 = k$, k étant une constante qui ne dépend que de l'objet attracteur, le soleil en l'occurrence. Je vous laisse le soin de vérifier cette loi et de trouver la valeur de la constante avec les données approximatives suivantes :

planètes	distance au Soleil (millions km)	temps de révolution
Mercure	58	88 j
Vénus	108	225 j
Terre	150	1 an
Mars	228	1,9 an
Jupiter	778	11,9 ans
Saturne	1427	29,5 ans
Uranus	2870	84 ans
Neptune	4497	164,8 ans
Pluton	5900	247,7 ans

Vous remarquerez que le temps de révolution ne dépend donc absolument pas de la taille, de la nature, de la masse, de la forme de l'objet. Un petit astéroïde situé sur la même orbite que Saturne tourne autour du Soleil dans le même temps.

2- Calendrier solaire et période de révolution

Le temps de révolution de la Terre autour du Soleil (appelé aussi période de révolution) est en réalité de **365,256 jours**. Ce temps est très légèrement différent du temps entre deux positions d'équinoxe de printemps à cause d'un mouvement de *précession* de l'axe terrestre (rotation de l'axe autour d'une position moyenne comme on peut l'observer avec une toupie, à la fin de son mouvement). La période de cette précession est de 26 000 ans. Nous avons délibérément "omis"

ce mouvement très lent de précession jusqu'à maintenant. Il conduit à faire tourner l'axe de la Terre de 1/26000 de tour par an, ce qui est trop faible pour perturber sensiblement sur des dizaines, voire des centaines d'années, les interprétations précédentes. A long terme, les conséquences sont plus graves. L'étoile polaire que nous utilisons depuis plusieurs siècles et qui sera utilisée encore pendant des siècles ne sera plus polaire dans un avenir de l'ordre du millénaire et ne l'était pas il y a plus de mille ans. Une autre étoile, plus proche de la direction de l'axe, sera (ou était) choisie. Elle le redeviendra dans, et elle l'était il y a 26000ans. Il existe donc un cercle d'étoiles qui peuvent tour à tour prendre légitimement le nom d'étoile polaire Nord. De même pour le Sud. L'autre conséquence concerne ce chapitre puisqu'elle affecte la définition de l'année : si nous choisissons de définir notre année, et donc le fonctionnement de notre calendrier, par rapport à la période de révolution de la Terre autour du Soleil, sans prendre en compte la précession, nous serions assurés de retrouver le soleil tous les ans à la même date en position identique par rapport aux étoiles, mais nous n'aurions pas la même stabilité au niveau de la date des solstices et des équinoxes. L'équinoxe définie dans les chapitres précédents comme l'instant où l'axe est rigoureusement perpendiculaire à la direction Terre-Soleil ne se retrouverait pas exactement après un an, puisque entre temps l'axe tourne de 1/26000 ème de tour. En 26000 ans, chacune des dates en question ferait ainsi un tour complet de calendrier, à raison de 20 minutes par an, caractéristique gênante pour un calendrier que l'on désire "solaire", c'est à dire assurant au contraire la plus grande stabilité des saisons !

C'est donc, plutôt que la période de révolution, la période entre deux équinoxes de printemps successives, appelée **année tropique** ou année équinoxiale qui doit être prise en compte pour établir un calendrier solaire. Elle est de **365 j 5 h 48 mn 47,5 s** soit **365,2422... jours**. Puisqu'on ne peut souhaiter obtenir le beurre et l'argent du beurre, il faut admettre que le Soleil ne reprend pas exactement la même alignement avec les étoiles après une année tropique, cela conduit par exemple les signes du zodiaque, définis par les Babyloniens en liaison avec les constellations alignées avec le Soleil aux différentes périodes l'année, à être aujourd'hui parfaitement fantaisistes puisqu'en trois mille ans un décalage de 40 jours environ s'est installé entre ces dates "officielles" et la présence réelle des constellations dans la direction du Soleil. Rassurez-vous, ce n'est pas la seule raison de trouver farfelues les conclusions qu'en tire l'astrologie !

Comment faire coïncider un calendrier comportant nécessairement un nombre entier de jours avec une période de 365,2422 jours ?

Si les années étaient toutes de 365 jours, notre calendrier se décalerait par rapport aux positions de la Terre sur son orbite de 1 jour tous les 4 ans, ce qui nous conduirait après quelques siècles à connaître, dans l'hémisphère Nord, un bel été en Janvier. C'était pourtant ainsi que les Egyptiens de l'antiquité comptaient le temps (année dite "vagues" de 365 j, délibérément choisie, permettant de retomber sur ses pieds tous les 1461 ans, occasion d'une fête somptueuse!)

Les années bissextiles (millésime divisible par 4) nous permettent de compenser un quart de jour par an et il reste encore un décalage minime. Le calendrier julien (César) n'en tenait pas compte ce qui a conduit à la réforme du pape Grégoire XIII en 1582 instituant ainsi le calendrier Grégorien que nous utilisons toujours actuellement :

- les années **divisibles par 4** sont bissextiles (on "rattrape" 1/4 jour par an):
 $365 + 0,25 = 365,25$
- les années **séculaires** (divisibles par 100) ne le sont pas alors qu'elles devraient l'être ! :
 $365,25 - 0,01 = 365,24$
- les années **quadrécennaires** (divisibles par 400) le sont, alors qu'en tant qu'années séculaires, elles ne devraient pas l'être :
 $365,24 + 0,0025 = 365,2425$

Le petit décalage restant est suffisant pour produire un décalage d'un jour tous les ... 4000 ans, ce que nous pouvons admettre temporairement !

X- À quelle période de l'année la terre se trouve-t-elle la plus proche du soleil ?

Attention : les termes apogée et périégée concernent les corps en orbite autour de la Terre (gée désigne géo : la Terre). Pour une orbite autour du Soleil, il faut parler de l'aphélie et du périhélie.

Pour la Terre : le périhélie, point le plus proche du Soleil, se situe le 4 Janvier et l'aphélie, point le plus éloigné, le 2 Juillet. Ces données sont bien sûr l'un des meilleurs arguments s'opposant à une explication des saisons par les variations d'éloignement de la Terre et du Soleil. L'argument le plus frappant reste toutefois l'inversion des saisons entre les deux hémisphères !...

Les implications de l'excentricité de l'ellipse sur la vitesse de déplacement de la Terre sur son orbite sont :

la durée des saisons, dans l'hémisphère Nord, à comparer avec le quart d'année :

- 365,25 / 4 : 91 j 08 h ;
- Printemps : 92 j 20 h ;
- Été : 93 j 15 h ;
- Automne : 89 j 19 h ;
- Hiver : 89 j.

Vérifiez-le sur les données suivantes !

Année	Printemps (Mars)	Été (Juin)	Automne (Septembre)	Hiver (décembre)
2012	20 à 5h 14	20 à 23h 09	22 à 14h 49	21 à 11h 12
2013	20 à 11h 02	21 à 5h 04	22 à 20h 44	21 à 17h 11
2014	20 à 16h 57	21 à 10h 51	23 à 2h 29	21 à 23h 03
2015	21 à 22h 45	21 à 16 38	23 à 8h 20	22 à 4h 48
2016	20 à 4h 30	20 à 22h 34	22 à 14h 21	21 à 10h 44
2017	20 à 10h 29	21 à 4h 24	22 à 20h 02	21 à 16h 28
2018	20 à 16h 15	21 à 10h 07	23 à 1h 54	21 à 22h 23

Cela confirme bien que la Terre va légèrement plus vite au voisinage du périhélie qu'autour de l'aphélie. Nous bénéficions ainsi de quelques jours supplémentaires au printemps et en été, qu'il nous faut payer d'un plus grand éloignement du Soleil et donc d'une puissance de rayonnement plus faible. Notons, en passant, que les données sont inversées pour l'hémisphère Sud qui connaît ainsi un été et un printemps légèrement plus courts, phénomène compensé par un léger rapprochement du Soleil et donc par une plus grande puissance de rayonnement.

La **variation de la durée d'un jour solaire vrai** est l'autre conséquence notable des variations de vitesse : la Terre fait un tour sur elle-même en 23 h 56 mn 4,9 s (jour sidéral). Nous avons vu (II) que la différence avec les 24 h attendues était due à une fraction de tour supplémentaire (environ 1°) que la Terre doit effectuer pour retrouver une position identique par rapport au Soleil du fait de sa révolution autour du Soleil. Si cette révolution était parfaitement circulaire et donc à vitesse constante, la Terre accomplirait rigoureusement chaque jour la fraction 1 / 365,2422 du cercle de la révolution, ce qui lui imposerait exactement les 3 mn 55,1 s supplémentaires de rotation sur elle-même pour retrouver la même orientation par rapport au Soleil et donc la même heure solaire en tout point du globe. Le temps entre deux midis solaires serait ainsi exactement de 24 h... Mais ce n'est pas le cas !

Les variations de vitesse sur la trajectoire ont comme conséquence de faire varier très légèrement l'angle décrit en une journée et ainsi de faire varier de quelques secondes, en plus ou en moins, le temps nécessaire au "rattrapage" selon le jour de l'année. En moyenne, ce temps est de 3 mn 55,1 s, mais les petits écarts autour de cette moyenne s'accumulent et entraînent des décalages pouvant aller jusqu'à la demi-heure entre "l'heure locale" d'un lieu et "l'heure solaire vraie". La courbe permettant de connaître et de compenser ce décalage s'appelle "équation du temps" et peut être obtenue en traçant, à partir des heures de lever et de coucher du Soleil en heure légale de n'importe quel éphéméride, la courbe donnant l'heure du midi solaire vrai (soit la demi somme

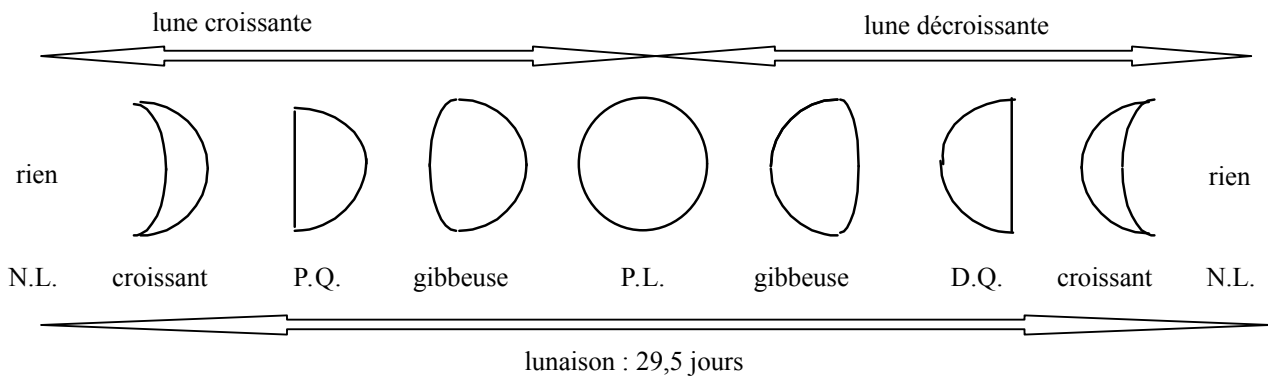
des heures de lever et de coucher) en fonction de la date. La courbe obtenue se reproduit, bien sûr, identiquement année après année. Voir compléments.

XI- Quels phénomènes visibles permettent de définir une lunaison ? Quelle en est la dure approximative ?

La lunaison est le temps séparant deux observations successives d'un même aspect de la Lune. On distingue quatre phases différentes qui sont dans l'ordre :

- nouvelle Lune (rien !),
 - premier quartier,
 - pleine Lune,
 - dernier quartier
- et on reprend...

Dans l'hémisphère Nord, les aspects aux différentes périodes sont les suivants :



Un doigt d'observation ou quelques secondes de lecture d'un éphéméride permettent de s'apercevoir que :

- ces phases se succèdent systématiquement dans le même ordre avec des intervalles de temps égaux ; les 7 jours (et des poussières) séparant deux phases successives sont à l'origine de la durée de nos semaines ;
- la lunaison complète dure 29 jours et demi, plus précisément **29,5305882** jours, ce qui implique que les calendriers annoncent une phase donnée tous les 29 ou 30 jours, la "virgule de jour" étant difficile à trouver. L'alternance de mois de 29 et 30 jours est donc la base des calendriers lunaires ; les mois de notre calendrier en sont issus partiellement. Une année ne comporte donc pas un nombre entier de lunaisons, puisque $365,2422 / 29,5305882 = 12,36826$. L'incommensurabilité de ces deux périodes a toujours posé problème à nos ancêtres qui auraient souhaité établir un calendrier tenant compte des deux phénomènes. La solution ne peut évidemment être simple, comme le démontre le calendrier luni-solaire israélite (voir compléments).
- selon l'aspect de la Lune, on ne peut l'observer qu'à certains moments particuliers de la nuit et de la journée.
- on voit toujours la même face de la Lune : les mêmes cratères sont visibles aux mêmes endroits.

XII- Quel phénomène est responsable de cette lunaison ?

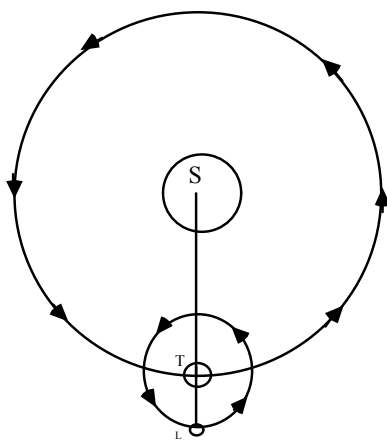
La Lune est soumise aux mêmes lois que la Terre. Elle n'est soumise qu'aux forces d'attraction gravitationnelles, en particulier celle de la Terre. Pour notre grand bonheur, elle a choisi la solution "mise en orbite" plutôt que la "chute libre" ou la "fuite" qui, pour des raisons fort différentes, nous auraient depuis longtemps privé de ses charmes. Elle satisfait donc aux lois de Képler et tourne autour de la Terre sur une trajectoire elliptique. Son mouvement de rotation propre n'est, encore une fois, pas lié à cette trajectoire.

Rappelons une dernière fois qu'en réalité le mouvement de la Lune autour de la Terre est un mouvement relatif, simplement les déplacements de la Terre par rapport au centre de gravité Terre - Lune sont bien plus faibles que ceux de la Lune. C'est plutôt le centre de gravité de cet ensemble que l'on peut considérer comme accomplissant une révolution elliptique autour du Soleil. Nous continuerons quand même à profiter du rapport de masses très déséquilibré en considérant la Terre quasiment fixe dans ce mouvement.

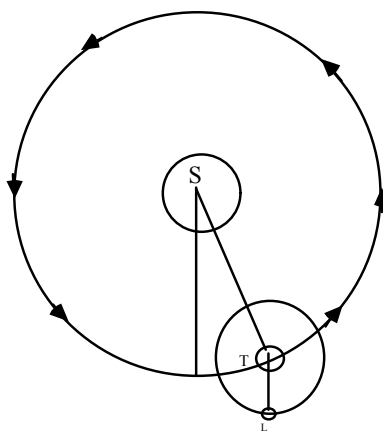
L'excentricité de la trajectoire de la Lune autour de la Terre est de 0,0549. C'est encore une fois très faible, l'ellipse est très proche du cercle. Le plan de la trajectoire forme un angle de 5° environ avec le plan de l'écliptique.

La distance Terre - Lune moyenne est de 384 400 km, la période de révolution de la Lune autour de la Terre est de 27,3 jours et la durée moyenne d'une lunaison est de 29,530589 jours, soit 29 j 12 h 44 mn 2,8 s

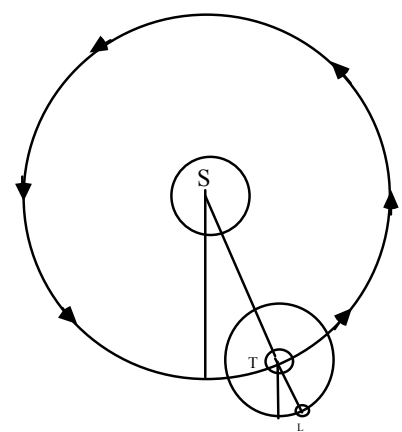
L'explication de la différence entre les deux dernières données est de même type que celle concernant la différence entre période de rotation de la Terre et jour solaire moyen. Comme l'indique le chapitre suivant, c'est la *position relative* des trois corps (Terre, Soleil et Lune) qui nous permet de définir chaque phase. Si nous choisissons la pleine lune, par exemple, correspondant au meilleur alignement Soleil - Terre - Lune à chaque tour, il faut attendre 29,5 jours pour retrouver cette condition, ce qui signifie que la Lune a dû faire un tour complet de la Terre (27,3 j) et une portion supplémentaire de tour (en 2,2 j, soit un peu moins d'un douzième de tour) due au déplacement de l'ensemble Terre - Lune sur sa trajectoire autour du Soleil pendant cette période.



pleine lune
à cet instant



27,3 jours plus tard, après 1 tour.
Ce n'est pas encore la P.L.

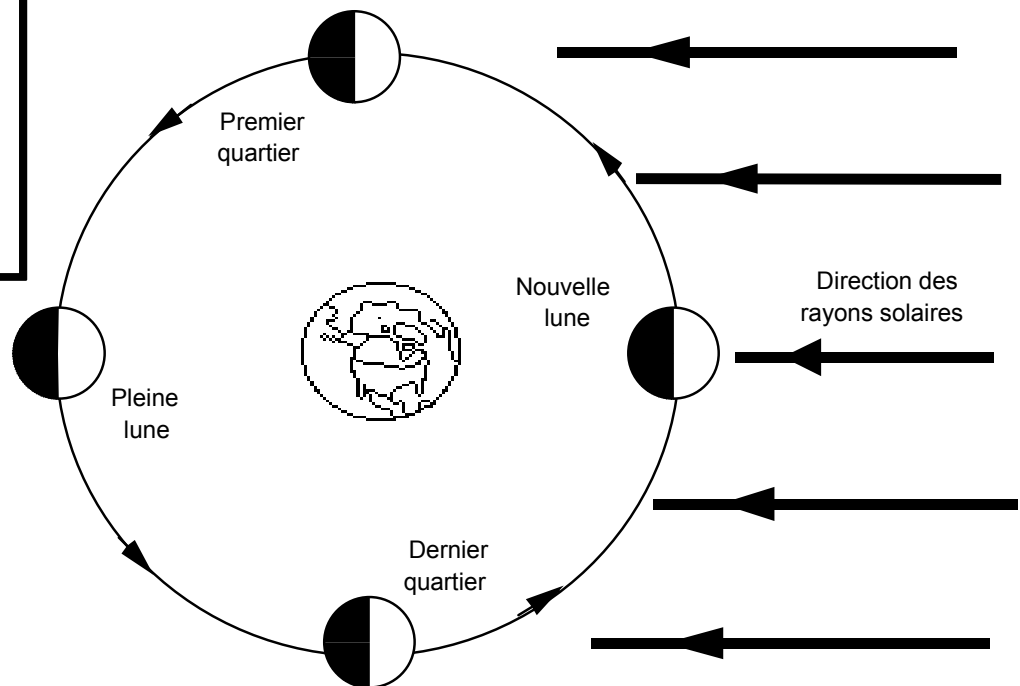


Il faut encore 2,2 j pour
atteindre une nouvelle P.L.

XIII- Quel phénomène permet d'expliquer les différents aspects de la Lune vue de la terre ?

Un petit dessin vaut mieux qu'un long discours...

La trajectoire de la Lune autour de la Terre est une nouvelle fois représentée "vue du côté pôle Nord" de la Terre



On peut très simplement mettre en évidence ce phénomène d'angle d'éclairage en allumant un seul projecteur dans une pièce sombre ou la nuit à l'extérieur, et en faisant tourner régulièrement autour de soi un objet sphérique quelconque (ou encore en tournant soi-même autour de cet objet). Selon le sens de la rotation, on voit ainsi la sphère adopter les différents aspects de la Lune dans l'hémisphère Nord, dans l'ordre ou dans l'ordre inverse. Notons que l'ordre inverse correspond évidemment aux aspects de la Lune au cours de la lunaison dans l'hémisphère Sud.

XIV- Peut-on certains moments apercevoir la Lune en plein jour ? Peut-on apercevoir la pleine Lune en plein jour ? Pourquoi ?

Le schéma précédent démontre que les phases sont liées aux positions relatives des 3 corps et en particulier à l'angle entre les directions Terre - Lune (T - L) et Terre - Soleil (T-S).

Quand cet angle vaut :

- environ 0° : la lune n'est jamais visible puisqu'elle est dans la direction du Soleil (sauf dans le cas très particulier d'éclipse de Soleil, expliqué en XVI). Le Soleil nous éblouit et l'hémisphère lunaire qui nous fait face est dans l'ombre, ce sont deux excellentes raisons de ne rien voir !
- environ 180° : la lune et le Soleil sont dans des directions opposées. Lorsque nous voyons la Lune, elle nous apparaît donc "pleine". Mais il n'est évidemment possible de la voir que lorsqu'elle est au dessus de l'horizon ... le soleil étant à l'opposé ne peut qu'être en dessous de l'horizon : cela s'appelle la nuit ! En période de pleine lune, la Lune est donc visible du coucher du Soleil (elle se lève) à son lever (elle se couche). Elle passe au point le plus haut sur l'horizon (midi lunaire) vers minuit solaire.
- environ 90° : nous ne voyons que la moitié du disque lunaire puisque le "lampion" éclaire la sphère "de côté". Le simple constat, dans l'hémisphère Nord, de l'aspect du premier quartier (celui d'un "p" sans la barre) et du dernier quartier (celui d'un "d" sans la barre) nous permet de connaître le sens de la révolution de la Lune autour de la Terre (voir schéma). C'est le même sens que celui de la Terre autour du Soleil ou celui de la Terre sur elle-même. Nous pouvons alors en déduire (regardez le schéma) et facilement vérifier expérimentalement (regardez la Lune !) :
 - * au premier quartier, la Lune se lève vers midi, monte dans le ciel pour atteindre son point le plus haut vers le coucher du soleil et redescend pour aller se coucher sagement vers minuit ;
 - * au dernier quartier, elle se lève vers minuit pour atteindre le sommet de sa trajectoire vers le lever du Soleil et se coucher vers midi.

A titre de complément, on peut constater les faits suivants :

- Un lunien observant les différents aspects de la Terre dirait : "c'est la pleine Terre" lorsque nous sommes en période de nouvelle lune, "c'est la nouvelle Terre" ... à la pleine lune, etc. Le cycle est, pour lui, identique au notre mais décalé de 15 jours. Mais surtout, quel superbe spectacle ! La Terre a un diamètre apparent près de 4 fois plus grand, est couverte d'une grande proportion d'océans et de nuages qui se comportent en miroirs bleutés et l'observation depuis le sol lunaire n'est gênée par aucune atmosphère.
- En période de pleine lune, la lune et le soleil sont dans des directions opposées (ou presque). Nous l'avons signalé, la lune se lève quand le soleil se couche et se couche lorsque le soleil se lève. La durée de présence de la Lune dans le ciel ces nuits-là ainsi que sa hauteur à minuit solaire se comportent donc à l'inverse du Soleil. Dans nos régions, les plus belles pleines lunes, se levant le plus tôt, se couchant le plus tard et illuminant le plus le sol à minuit sont ainsi... celles d'hiver.
- Lorsque la Lune est en croissant, pendant les quelques heures où elle est visible, on observe parfois le reste du disque lunaire baigné d'une lumière faible et grisâtre appelée "lumière cendrée". Ce phénomène est due à la lumière renvoyée par la Terre (il fait sur la Lune presque "pleine Terre") sur le sol lunaire qui revient jusqu'à nos yeux après une nouvelle réflexion très partielle sur le sol gris et poussiéreux de la Lune. Rien d'étonnant, après toutes ces pertes, qu'il ne reste qu'une faible lueur... mais ce n'est en tous cas pas une illusion d'optique !

XV- On parle de la "face cache de la Lune", qu'est ce que cela signifie ? La Lune tourne-t-elle sur elle-même ?

C'est vrai, on voit toujours la même face de la Lune et la tentation est grande d'en déduire que la Lune tourne autour de la Terre sans tourner sur elle-même...

Faut-il répéter que le mouvement de rotation n'est pas lié à la révolution ? Si la Lune ne tournait pas sur elle-même, elle garderait une orientation toujours identique par rapport aux étoiles et nous verrions justement l'ensemble de sa surface par morceaux aux différentes phases et aux différentes périodes de l'année.

Le fait qu'elle nous cache en permanence une de ces faces provient en réalité d'une curiosité de son mouvement de rotation propre : l'axe est presque perpendiculaire au plan de l'ellipse, il est de même sens et exactement de même période que le mouvement de révolution., soit 27,3 jours... CQFD. Cette coïncidence est bien sûr trop curieuse pour être honnête, on l'attribue en général au phénomène de marée extrêmement puissant exercé par la Terre sur la Lune à une époque proche de leur formation. La Lune était alors, comme la Terre, couverte d'océans mais elle n'a pas su ensuite en retenir la vapeur d'eau comme d'ailleurs les autres gaz de son atmosphère à cause de sa faible gravité (1/6 ème de la gravité terrestre à la surface)

Autres données sur la Lune : diamètre de 3476 km ; masse de 1/81 ème de la masse de la Terre ; température variant à la surface de -180°C à + 110°C ; âge d'environ 4 milliards d'années comme la Terre.

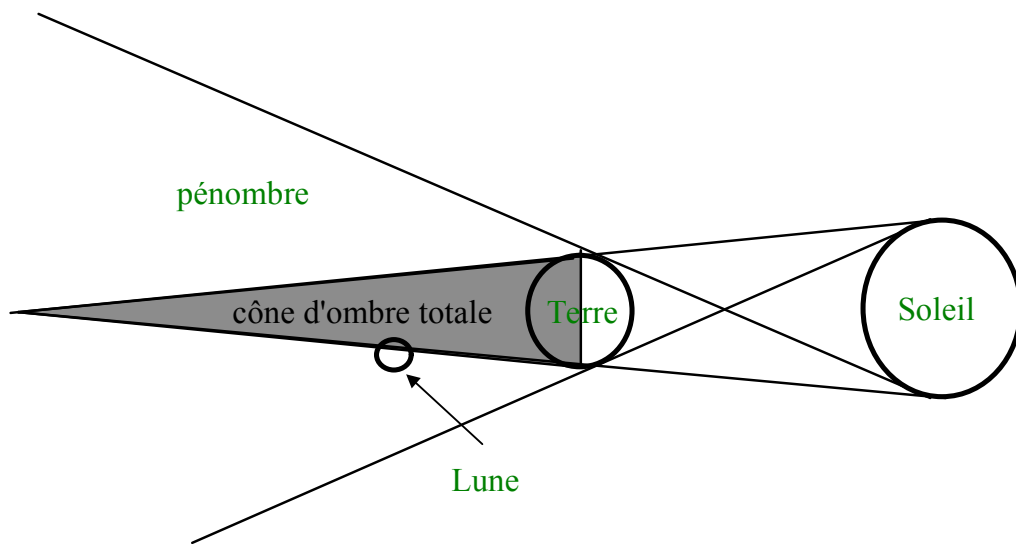
XVI- Qu'est ce qu'une éclipse de Lune et une éclipse de soleil ?

Les éclipses sont des phénomènes rares. Si les plans des deux trajectoires de la Terre autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre étaient confondus, il y aurait alignement des trois astres dans le sens Soleil - Terre - Lune à chaque pleine lune et dans le sens Soleil - Lune - Terre à chaque nouvelle lune. Le premier cas est une éclipse de Lune : la Lune, pleine cette nuit là, "disparaît" pendant quelques minutes dans le cône d'ombre de la Terre. Le deuxième est une éclipse de Soleil : le disque lunaire occulte pendant quelques minutes, totalement ou partiellement, le disque solaire selon la position de l'observateur sur la Terre.

Si les éclipses sont si rares, c'est que les deux plans ne sont pas confondus : l'angle entre les plans contenant les deux trajectoires est de 5°). La Lune traverse le plan de l'écliptique (dont on reconnaît du coup l'origine du nom) deux fois par période de 27,3 jours mais il est rare que cette traversée se fasse exactement à l'heure de la pleine Lune (il y a alors éclipse de Lune) ou à l'heure de la nouvelle Lune (il y a alors éclipse de Soleil).

1- Les éclipses de lune

Les éclipses de Lune sont toutefois plus fréquemment observables que les éclipses de Soleil parce que le cône d'ombre de la Terre est plus "large" que celui de la Lune : la Lune a donc une zone de dimensions moins critique à traverser pour être dans l'ombre de la Terre que la Terre n'en a pour être dans l'ombre de la Lune. De plus, le phénomène est visible de tous les points de la Terre qui sont à cette heure-là dans la nuit. Avant d'aborder le problème des éclipses partielles et totales de lune, le schéma suivant permet de préciser ce que l'on entend par cône d'ombre et de pénombre. Les dimensions relatives et les échelles de distance ne sont bien sûr pas du tout respectées.



Le cône d'ombre totale est formé de l'ensemble des points qui, du fait de l'obstacle constitué par la Terre, ne peuvent être atteints par aucun rayon solaire. Sur le schéma, la partie "supérieure" de la Lune serait donc dans l'ombre. Ce cône converge vers un point situé loin de la trajectoire de la Lune, il est donc assez fréquent que la Lune traverse ce cône d'ombre (éclipse totale) ou l'effleure sans y être totalement immergée (éclipse partielle). Le cône de pénombre, beaucoup plus large et divergent est formé de l'ensemble des points qui ne sont pas atteints par les rayons issus de certaines parties de la surface solaire (un observateur en ces points dirait que le disque solaire est en partie masqué par la Terre). La lumière y est donc moins "vive" qu'à l'extérieur du cône de pénombre. Toute éclipse totale ou partielle de Lune commence et se finit donc par un passage dans la pénombre : le disque lunaire est totalement visible depuis la Terre, mais est moins vivement éclairé que pendant une pleine lune ordinaire. Il arrive aussi que la Lune ne fasse qu'une traversée du "bord" du cône de pénombre sans passer par le cône d'ombre : il s'agit alors d'une éclipse "par la pénombre", connue des astronomes mais bien moins populaire que les autres parce que moins spectaculaire. En tout, il y a de 2 à 5 éclipses de Lune par an.

Quelques éclipses de Lune :



- totale le 31/01/2018,
- totale le 27/07/2018,
- totale le 21/01/2019,
- partielle le 16/07/2019,
- par la pénombre le 10/01/2020,
- par la pénombre le 5/06/2020,
- par la pénombre le 5/07/2020.

Par exemple, l'éclipse de la nuit du 27 au 28 septembre 2015 s'est déroulée ainsi en temps universel (UT)

- Jusqu'à 0h 11, la lune est pleine et brille autant qu'un soir de pleine Lune ordinaire
- entrée dans la pénombre à 0h 11 (la lumière s'atténue) ;
- entrée dans l'ombre à 1h 07 (une partie du disque commence à disparaître) ;
- commencement de la totalité à 2h 11 (la dernière partie visible disparaît dans le cône d'ombre)
- maximum de l'éclipse à 2h 47 (La Lune est au centre du cône d'ombre, on ne voit toujours rien !)
- fin de la totalité à 3h 23 (un morceau de disque lunaire reparaît à l'opposé du dernier morceau disparu)
- sortie de l'ombre à 4h 27 (la totalité du disque est visible mais peu éclairée)
- sortie de la pénombre à 5h 31, brillance "normale" comme avant 5h 22.



2- Les éclipses de Soleil

Signalons qu'une vraie coïncidence, cette fois, fait que la Lune et le Soleil ont environ le même diamètre apparent (angle sous lequel l'œil les voit) vus de la Terre. Cela peut s'exprimer aussi en disant que l'extrémité du cône d'ombre de la Lune se situe à une distance de La Lune voisine de la distance Terre - Lune. L'éclipse totale de Soleil, lorsqu'elle intervient, ne concerne donc à chaque instant qu'une zone très limitée de quelques km². Par le jeu des mouvements de révolution de la Lune et de rotation de la Terre sur elle-même, la situation d'éclipse totale "balaie" donc une ligne limitée à la surface du globe. Les zones voisines de cette ligne ne peuvent observer que l'éclipse partielle et celles qui en sont trop éloignées... rien ! La rareté, la limite géographique très contraignante et la "coïncidence" font courir les scientifiques : l'occultation du disque solaire par un cache parfait placé dans le vide permet d'observer parfaitement et sans "éblouissement" des appareils les phénomènes tels que les protubérances solaires ou la déviation des rayons lumineux au passage à proximité d'une masse importante comme celle de la Lune.

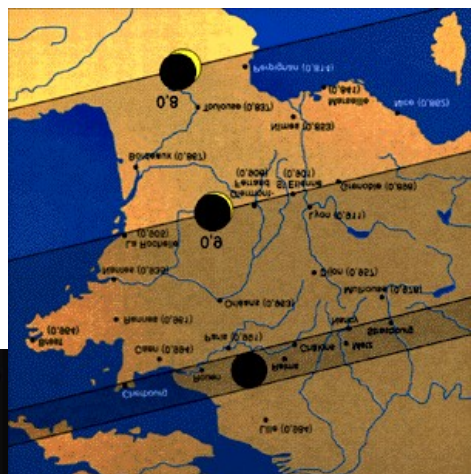
La dernière éclipse de Soleil visible depuis la France a eu lieu le 11 Août 1999 :



TOTALITE



EN 19 ETAPES



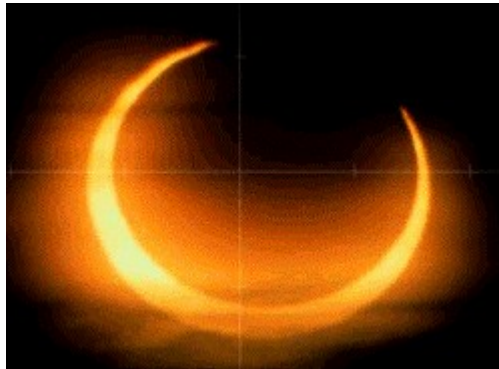
PASSAGE EN FRANCE

Voici les dates de quelques éclipses précédentes, accompagnées de quelques explications quant à leur nature :

- 13/11/93 : partielle (le cône d'ombre passe à côté du globe terrestre, la Terre traverse toutefois le cône de pénombre, une partie du disque solaire est masquée par la Lune, toujours dans certaines régions) ;



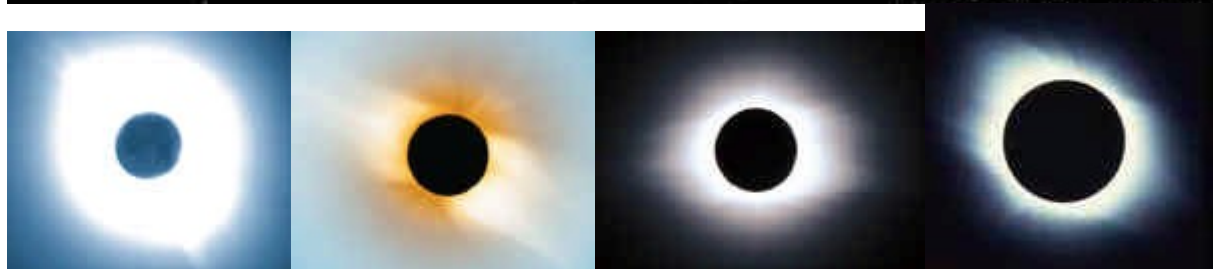
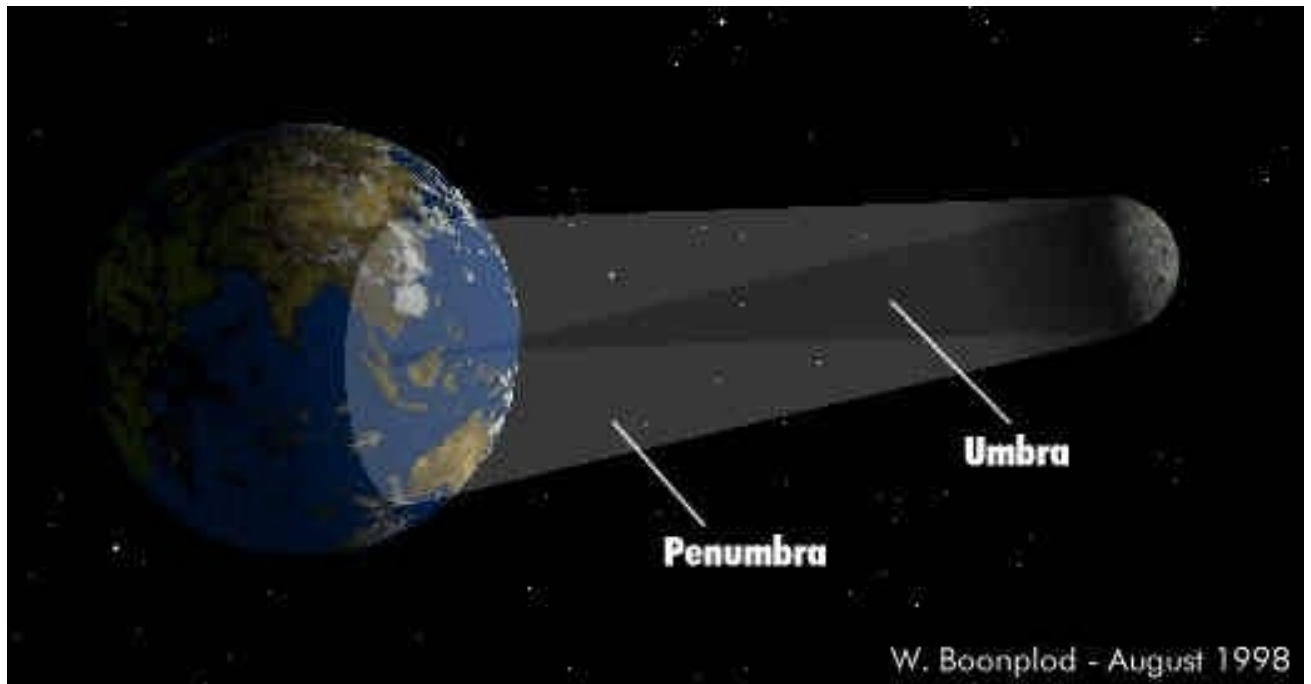
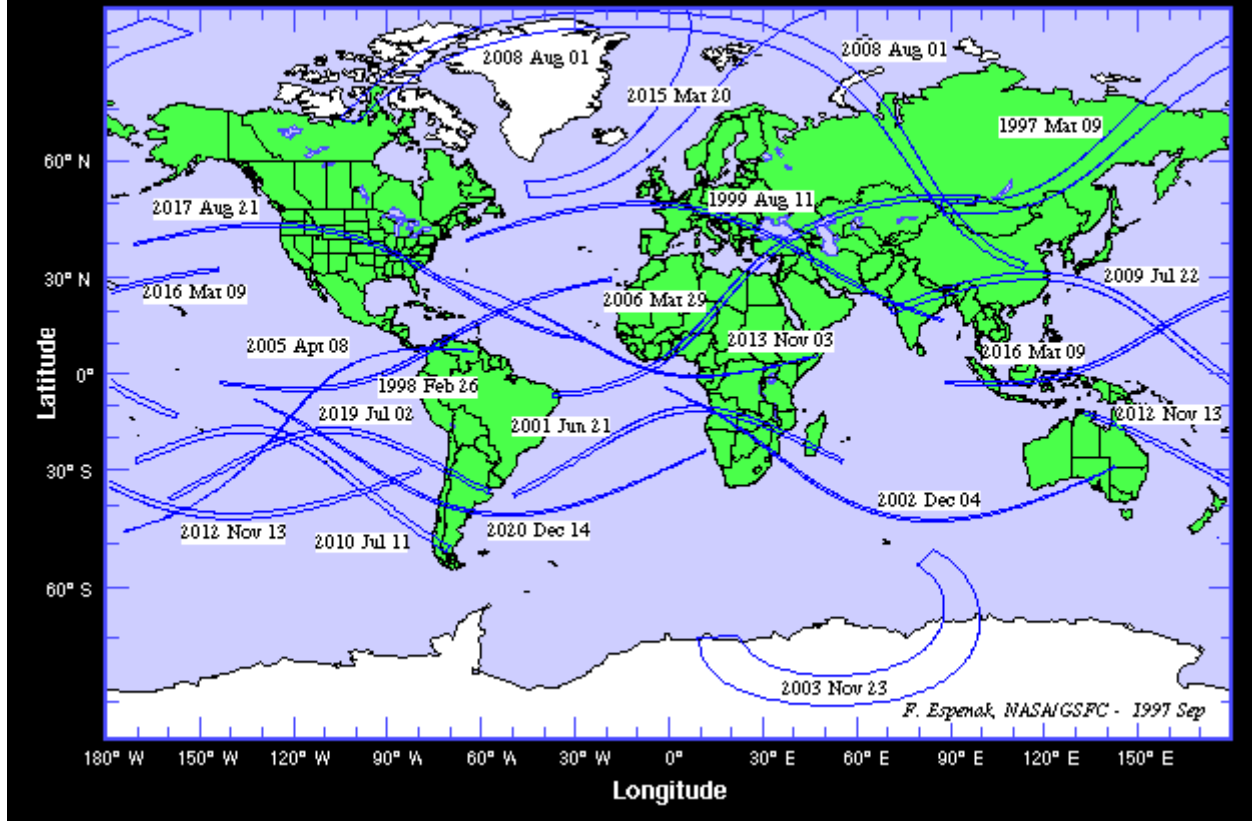
- 10/05/94 : éclipse annulaire (la surface de la Terre passe derrière la pointe du cône d'ombre, il ne s'agit donc pas d'une éclipse totale : la Lune occulte la partie centrale du Soleil en laissant passer autour d'elle un "anneau" de lumière solaire ! Ce phénomène se produit lorsqu'il y a alignement parfait Terre - Lune - Soleil mais avec une distance Terre - Lune supérieure à la longueur du cône d'ombre de la Lune, donc près de l'apogée de la Lune) ;



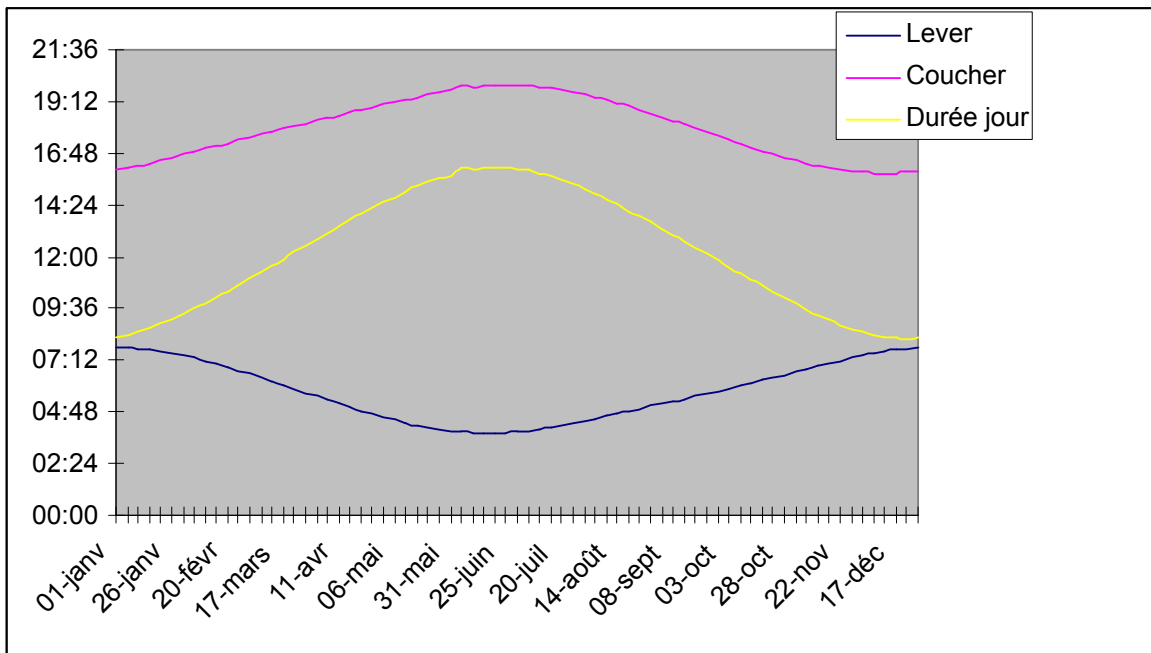
- 03/11/94 : éclipse totale (disque solaire totalement occulté par la Lune, visible d'une "ligne" géographique bien définie, les régions voisines observent une éclipse partielle) ;
- 29/04/95 : annulaire
- 24/10/95 : totale...

Il y entre 2 et 5 éclipses de Soleil par an... La rareté du phénomène n'est donc vraie qu'en un lieu donné !

Total Solar Eclipses: 1996 - 2020



Courbes du lever du Soleil, du coucher du Soleil et de la durée du jour



Ces courbes peuvent faire l'objet d'interprétations très riches en allant des constatations les plus grossières aux variations les plus fines :

De "très loin"

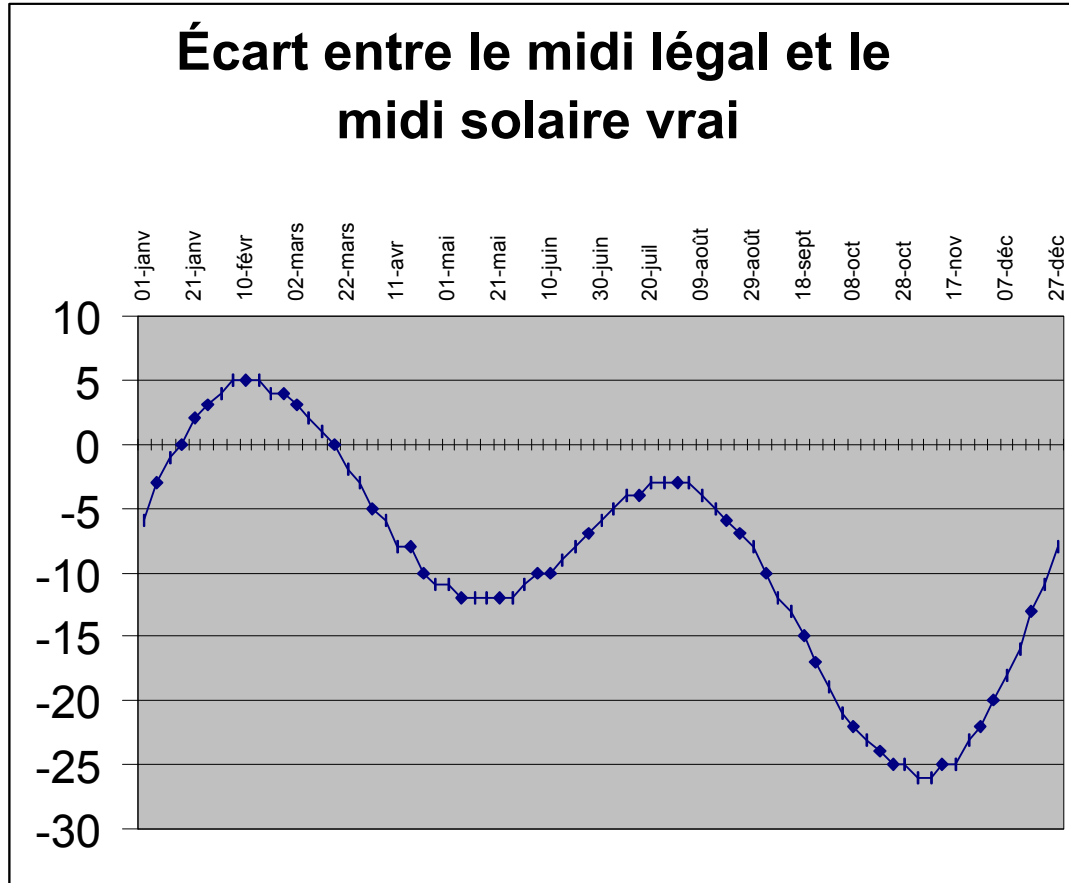
Les courbes lever et coucher du soleil semblent symétriques par rapport à la ligne des 12 heures, ce qui exprime bien le fait que les journées s'allongent ou raccourcissent par les deux "bouts" : quand le soleil se lève plus tôt, il se couche plus tard, etc. midi est donc toujours le milieu du jour ! Les variations de longueur du jour (et donc du lever et du coucher du soleil) sont continues et lentes au cours de l'année pour atteindre un minimum d'environ 8 h vers le solstice d'hiver et un maximum d'environ 16 h autour du solstice d'été, les temps de croissance et de décroissance étant d'environ 6 mois. La forme de la croissance et de la décroissance sont approximativement symétriques par rapport aux solstices.

De "plus près"

La partie de la courbe inférieure à 12h est légèrement plus courte que l'autre (variations plus rapides). L'automne et l'hiver sont donc un peu plus courts que le printemps et l'été : la Terre parcourt son orbite à plus grande vitesse au voisinage du périhélie que de l'aphélie (voir plus haut). C'est aussi ce phénomène qui conduit, dans le tableau, à une moyenne de durée du jour légèrement supérieure à 12 heures ! Dans l'hémisphère Nord, nous connaissons un peu plus de jour que de nuit.

A la loupe

La courbe suivante est, rappelons-le, obtenue en calculant l'écart entre le midi solaire vrai (heure médiane entre le lever et le coucher du Soleil en heures légales) et le midi légal (12 h !). Cet écart reste valable toute la journée et permet de corriger l'heure solaire (lue sur un cadran solaire par exemple) pour obtenir l'heure légale. Elle se nomme "équation du temps", terme hérité d'un jargon scientifique ancien : on la trouve en effet dans tous les traités les plus anciens d'astronomie et sur bon nombre de cadrans solaires.



L'équation du temps est une courbe valable pendant de nombreuses années ; le seul changement possible

L'équation du temps est dû au phénomène très lent déjà cité de "précession" de l'axe terrestre.

Il permet de corriger la lecture de l'heure solaire (sur un cadran solaire, en particulier) pour obtenir l'heure légale.

Exemple : supposons que nous lisons "XII" heures sur un cadran solaire le 23 Novembre, il est en heure légale 12h - 25mn + 1h (heure d'hiver), soit 12h 35mn. Ce décalage vrai à midi solaire reste bien sûr vrai pour tous les instants de la journée, ainsi, ce même jour, l'indication "XV" heures du cadran solaire doit être associée à l'heure légale 15h 35mn.

XVII- Les calendriers

1- calendriers solaires

Certains calendriers sont dits solaires parce qu'ils cherchent à s'approcher le plus possible de la révolution de la Terre autour du Soleil et donc de la durée de l'année tropique.

Le **calendrier julien** (en cours en France jusqu'en 1582) tentait de s'en rapprocher en intercalant une année bissextile de 366 jours tous les 4 ans, les trois autres années étant de 365 jours. La durée moyenne de l'année de 365,25 jours s'approchait assez bien de la valeur réelle de 365,2425 jours mais la faible différence suffit à entraîner un décalage de 3/4 jour par siècle.

Notre calendrier, le **calendrier grégorien** est, comme nous l'avons vu, lui aussi purement solaire (durée moyenne de l'année de 365,2425 jours par le jeu des années bissextiles, centenaires et quadricentenaires). Ce calendrier, institué en 1582 par le pape Grégoire pour rattraper le retard de 10 jours que le calendrier julien avait pris sur l'année solaire provoque une rupture de dates respectant la continuité des jours de la semaine, à Rome le jeudi 4 octobre 1582 est suivi du vendredi 15 octobre 1582, en France le dimanche 9 décembre 1582 est suivi du lundi 20 décembre 1582.

Signalons que pour cette raison, les astronomes continuent à utiliser un calendrier julien légèrement amélioré qui garantit la sûreté du calcul de l'écart entre deux dates, quelles qu'elles soient : l'année précédant l'an 1 avant JC s'appelle année 0, l'année précédente année -1, etc. ; ainsi entre le 1 janvier -35 julien et le 15 janvier 1992 julien, il y a $1992 - (-35) = 2027$ ans juliens et 14 jours sans se soucier du décalage de 1582.

Enfin, le **calendrier copte** utilisé en Egypte par la communauté copte est fondé sur 12 mois de 30 jours, auquel on ajoute pendant 3 ans 5 jours "épagomènes" et la quatrième année 6 jours épagomènes. La durée moyenne de l'année est donc de 365,25 j comme le calendrier julien. La date origine de ce calendrier correspond au 29 août 184, les années bissextiles sont celles dont le millésime + 1 est divisible par 4, de ce fait l'année commence soit le 29, soit le 30 août julien. Les mois s'appellent :

1 Tout	7 Barmahât
2 Bâbah	8 Barmondah
3 Hâterer	9 Bachnas
4 Keinak	10 Bouh'nah
5 Toubah	11 Abib
6 Anchîr	12 Masarî

2- Les calendriers lunaires

Ils sont construits avec une durée de mois tentant de s'approcher le plus possible de la lunaison (29,530589 jours).

Le **calendrier musulman**, créé environ en 632 après JC, a plusieurs formes différentes selon les pays et les communautés. La forme la plus communément admise est la suivante :

Le premier jour de l'an 1 (Hégire) correspond au Vendredi 16 juillet 622 julien. L'année comporte 12 mois. Un cycle de 30ans comporte 19 années communes de 354 jours et 11 années abondantes de 355 jours. Dans chaque cycle, les années abondantes portent les numéros 2, 5, 7, 10, 13, 16,

18, 21, 24, 26, 29. De ce fait, le calendrier musulman se décale des calendriers solaires (et donc des dates de saisons) de 10 à 12 jours selon les années. Le cycle de 30 ans actuel a commencé le 1 Mouharram de l'an 1411 musulman qui correspond au Mardi 24 juillet 1990.

Pour s'approcher le plus possible de la lunaison, les mois sont en alternance de 30 jours et de 29 jours, le douzième étant de 29 jours les années communes et de 30 jours les années abondantes. La durée moyenne d'un mois est donc de 29,530556 jours, ce qui est très proche de la lunaison. Les noms des mois sont :

1 Mouharram (30)	7 Radjab (30)
2 Safar (29)	8 Cha'ban (29)
3 Rabi'-oul-Aououal (30)	9 Ramadan (30)
4 Rabi'-out-Tani (29)	10 Chaououal (29)
5 Djoumada-l-Oula (30)	11 Dou-l-Qa'da (30)
6 Djoumada-t-Tania (29)	12 Dou-l-Hiddja (29 ou 30)

3- calendriers luni-solaires

Le calendrier israélite est luni-solaire. Il cherche à la fois à approcher la lunaison par une durée moyenne du mois de 29, 530594 jours et l'année tropique par une durée d'année de 365,2468 jours. Le problème n'étant pas simple, la solution est assez complexe... Les années se succèdent dans un cycle de 19 ans comportant 12 années communes de 12 mois et 7 années "embolismiques" de 13 mois portant les numéros 3, 6, 8, 11, 14, 17 et 19 dans le cycle. Le cycle actuel a commencé le 1 Tisseri 5739 qui correspond au Lundi 20 Octobre 1978. De plus, les années communes peuvent avoir 353 jours (défectives), 354 (régulières) ou 355 (abondantes), les années embolismiques ont 383 jours (défectives), 384 (régulières) ou 385 (abondantes). La date origine est le 1 Tisseri de l'an 1 correspondant au 7 octobre -3760 julien. Les noms et les durées des mois sont :

1 Tisseri (30)	7 Nissan (30)
2 Hesvan (29 ou 30)	8 Iyar (29)
3 Kislev (29 ou 30)	9 Sivan (30)
4 Tébeth (29)	10 Tamouz (29)
5 Schébat (30)	11 Ab (30)
6 Adar (29 ou 30)	12 Elloul (29)

Les années embolismiques, on intercale un mois supplémentaire nommé Véadar de 29 jours entre Adar et Nissan.

4- Remarque concernant le début des siècles et des millénaires

Signalons que, contrairement à une croyance répandue, les siècles commencent le premier janvier de l'année dont le millésime se termine par 01 (Le 20^{ème} siècle a commencé le 1 janvier 1901, le 21^{ème} commencera le 1 janvier 2001). De même les millénaires commencent le 1 janvier de l'année dont le millésime se termine par 001 (le troisième millénaire commencera le 1 janvier 2001). C'est logique puisque le premier siècle et le premier millénaire commencent le 1 janvier de l'an 1 (et non 0) après JC !