

Astronomie

Mesurer le temps

1 Le temps en Astronomie

1-1 Rappels du mouvement de la Terre

1-1-1 Rappels du mouvement de la terre

D'après la première loi de Kepler, le soleil est un des foyers de la trajectoire elliptique de la terre.

D'après la troisième loi de Kepler, la Terre va plus vite, en hiver lorsqu'elle est proche du Soleil, que lorsqu'elle en est loin en été. Donc la durée des saisons n'est pas égale.

L'année est un système élaboré à partir d'événements astronomiques rythmant les durées plus longues que celle du jour. L'année est la périodicité des saisons. Le jour est la répétition de l'alternance jour nuit.

L'année est le temps mis par la terre pour revenir au même point sur sa trajectoire autour du soleil.

Mais elle tourne sur elle-même pendant sa révolution sidérale, autour de son axe des pôles PP'.

Le plan équatorial de la terre (perpendiculaire à l'axe des pôles) est incliné sur le plan de l'écliptique (plan de la trajectoire de la terre et sensiblement des autres planètes) d'un angle de $23^{\circ}27'$. C'est la raison pour laquelle il y a des saisons. En hiver la Terre est proche du Soleil, mais les rayons du Soleil arrivent très bas sur l'horizon dans l'hémisphère Nord.

1-1-2 Anomalies du mouvement

La terre n'est pas une sphère homogène, la lune, le soleil et les autres planètes exercent une action perturbatrice sur le mouvement de la terre.

1-2 Le jour

La durée du jour est inégale au cours de l'année. On a défini **un jour solaire moyen**, qui a la même durée (**24 heures**) tout au long de l'année, alors que **le jour solaire vrai fluctue**.

On appelle **jour solaire vrai**, l'intervalle de temps ou durée qui s'écoule entre deux passages consécutifs du soleil **au méridien** d'un même lieu. **C'est deux annulations successives de l'angle horaire du soleil.**

Le **jour solaire moyen** qui a pour durée **la valeur moyenne du jour solaire vrai**. C'est la durée qui sépare deux passages consécutifs, au méridien d'un lieu donné, d'un astre fictif que l'on appelle soleil moyen. **Le mouvement d'une montre est basé sur le jour solaire moyen.**

Le jour solaire vrai peut être obtenu par un cadran solaire.

La différence entre le jour solaire vrai et le jour solaire moyen donne l'équation de temps

$$\boxed{\text{TSM} = \text{TSV} + \text{E}}$$

L'équation de temps n'est pas la même d'une année à l'autre, car il n'y a pas un nombre entier de jour dans une année.

On appelle **jour sidéral** la durée pour qu'**une étoile repasse au méridien du lieu**. Le jour sidéral est plus court que le jour solaire.

En effet, la terre tourne sur elle-même en tournant autour du soleil.

Lors d'une année tropique, c'est à dire d'une année vraie, la terre effectue 365,2422 rotations par rapport au soleil ; mais elle fait un tour de plus par rapport aux étoiles. L'année tropique comporte donc 366,2422 jours sidéraux (11 de plus que de jours moyens).

L'écart avec le jour moyen est

$$\boxed{\frac{1}{365,2422} = 3 \text{ min } 56 \text{ s}}$$

Le **jour sidéral** a une durée de **23 h 56 min 4 s**

Le **temps sidéral** est l'angle horaire du point γ d'un lieu, c'est une **coordonnée** et **non** une **date**

1-3 La seconde

La seconde est une fraction du jour solaire moyen : 1 seconde = 1/86400 jour solaire moyen.

Depuis 1967 la seconde est définie par la fréquence de transition entre les deux niveaux hyper fin du niveau fondamental du Césium 133. Cette fréquence est

$$\nu = 9\,192\,631\,770 \text{ Hertz}$$

1-4 Temps civil, légal, temps universel

Le **temps civil** T_c est le temps solaire moyen T_m augmenté de 12 h pour avoir le passage 24 h = 0 à minuit :

$$T_c = T_m + 12 \text{ h}$$

Le midi de la montre, est défini par le passage du soleil au méridien du lieu. C'est ce qu'on appelle le temps civil local.

Mais entre Brest et Strasbourg, il y a une différence de 46 minutes. Il faut donc adopter une heure commune sur l'ensemble du pays. Ce n'est qu'en 1891 que ce principe fût adopté. C'est le **temps civil légal**.

La terre a été découpée en 24 fuseaux horaires de 15° ou une heure.

Le temps civil légal, est le temps du méridien central du fuseau

Il y avait, jusqu'en 1880, 7 méridiens origines. Le 13 octobre 1884 le méridien de Greenwich fut adopté comme méridien origine.

Il restait à adopter un système d'heures à l'échelle mondiale. On a adopté le temps civil légal de Greenwich comme temps universel ou T.U.

Le temps légal est en France :

$$T.L. = T.U. + 1 \text{ en hiver}$$

$$T.L. = T.U. + 2 \text{ en été.}$$

1-5 Le jour Julien

En 1583, Joseph Scaliger imagina une ère fictive, permettant la chronologie ancienne, sans les ruptures des calendriers usuels, Julien ou grégorien. C'est une numérotation des jours à partir d'une origine fictive fixée presque arbitrairement au 1 janvier -4712 à 12 h. C'est en fait au commencement des trois cycles 15, 19 et 28 ans du compuct ecclésiastique.

Cette ère n'a ni mois, ni année, mais elle est utilisée en astronomie car elle permet un comptage décimal simple des durées, ce qui n'est guère possible avec un calendrier. Le jour Julien (jj) d'une date est le numéro d'ordre du jour dans l'ère de Scaliger. C'est un nombre entier.

Exemple : calcul du JJ d'une date.

L'instant JJ = 0 est le 1/1/-4712 à 12 h et non à 0h car les durées étaient mesurées en temps solaire, à partir de midi.

On peut utiliser l'algorithme suivant :

Soient $s = AAAA$ et $m = M$

Si $m < 3$ alors $s = s - 1$ et $m = M + 12$

Calculer $JJ = \text{Int}(365,25*s) + \text{Int}(30,6*(m+1)) + J + 1\,720\,994,5$

Si $JJ > 2\,299\,160,4$ alors calculer $q = \text{Int}(s/100)$ puis $JJ = JJ + 2 - q + \text{Int}(q/4)$

On obtient JJ pour 0 h TU de la date.

Calculer JJ pour le **14 juillet 1789 à 0 h.**

Ici $J = 14$ $M = 7$ et $AAAA = 1789$

$M > 2$ alors $s = AAAA$ et $m = 7$

$JJ = \text{Int}(365,25*1789) + \text{Int}(30,6*(7+1)) + 14 + 1720994,5$

$= 653432 + 244 + 14 + 1720994,5 = 2374684,5$

Comme $JJ > 2299160,4$ on calcul $q = \text{Int}(1789/100) = 17$ et $\text{Int}(q/4) = 4$

Alors $JJ = 2374684,5 + 2 - 17 + 4 = \mathbf{2374673,5}$

2 Les calendriers

La durée de l'année traduit le retour des saisons, le mois la période de la lunaison, et la semaine chacune des 4 phases de la lune et le jour l'alternance jour nuit.

Les premiers calendriers furent basés sur le jour, le mois lunaire et l'année solaire. L'année solaire ne contient pas un nombre entier de mois lunaires, si bien que dans les calendriers lunaires, les dates rituelles reculaient au cours des années.

C'est ce décalage qui permit aux égyptiens de trouver une année de 365,25 jours. Mais la précession des équinoxes entraîne un décalage des phénomènes astronomiques (par exemple le levé héliaque de Sirius coïncidait 5000 ans avant notre ère, au début des crues du Nil - solstice d'été - et qui maintenant a lieu début août)

2-1 Calendriers Chaldéen et hébreu vers - 2000

Le calendrier chaldéen comportait 12 mois de 29 et 30 jours alternés d'où une année de 354 jours et un retard de 11,25 jours par an

Pour compenser de retard on ajoutait un mois tous les trois ans. Mais ce ne fut pas fait régulièrement ce qui entraîne de grandes difficultés pour remonter la chronologie.

Le calendrier hébreu est très semblable, mais le redoublement du mois d'ADAR était lié au rituel de Pâques. Si l'orge n'était pas mur au printemps, on redoublait le mois d'Adar.

2-2 Le calendrier égyptien

Établi 10 000 ans avant notre ère ce calendrier comportait 12 mois de 30 jours, d'où une année de 360 jours. (Ce nombre est à rapprocher de la division du cercle en degrés 360° pour un tour)

Vers - 4200 il passe à 365 jours par ajout de 5 jours **épagomènes** après le douzième mois. Mais au bout de 120 ans il apparaît un décalage de 30 jours. Au bout de 1461 ans tout revient comme au début, la coïncidence du début de l'année avec le levé héliaque de Sirius est retrouvée. (En - 2775 avant notre ère). C'est la première période **sothiaque**, la deuxième se termine en - 1317 et la troisième en + 139 de notre ère.

2-3 Calendrier Romain

Le calendrier romain remonte vers le VIII^{ième} siècle avant J.C. C'était un calendrier lunaire, chaque mois débutait avec la lune. Mais comme la période synodique de la lune est de 29,5 jours, les mois ont alternativement 29 et 30 jours. L'année lunaire a 12 mois donc 354 jours. En 3 ans l'année avait pris un mois d'avance sur l'année tropique (*Intervalle de temps séparant deux passages du Soleil à l'équinoxe moyen 365,2422 jours*). Pour y remédier on ajoutait un mois tous les trois ans.

A l'époque de Jules César (-101, -44 avant J.C.) le calendrier comportait 12 mois dont la durée variait entre 28 et 31 jours dont le total faisait 355 jours. Pour établir la concordance avec l'année tropique on ajoutait un mois entre le 23 et le 24 février. La décision était prise par les autorités religieuses mais elles subissaient des pressions, si bien que suivant les régions les mois étaient différents.

A l'époque de Jules César l'astronome **Sosigène** fit adopter en - 46 un nouveau calendrier connu sous le nom de **calendrier Julien**. Chaque année est découpée en 12 mois de 30 ou 31 jours soit une année de 365 jours.. Février resta un mois de 28 jours. Pour rétablir le décalage de 0,25 jours un ajoutait un jour à l'année tous les 4 ans. Dans le calendrier romain ce jour ajouté après le sixième jour qui précède les calendes de mars. (-d'où bissextile) L'année - 46 dura d'autres parts 446 jours pour retrouver la date du printemps. Après la mort de César on lui dédia le mois de juillet qui avait 31 jours. Plus tard l'empereur Auguste se fit attribuer le mois d'août doté lui aussi de 31 jours.

2-4 Calendrier Grec

Au VIII^{ième} siècle avant notre ère le calendrier grec comportait 12 mois, 6 de 30 jours (**mois pleins**) qui alternaient avec 6 de 29 jours (**mois caves**). L'année avait 354 jours. C'était un calendrier lunaire.

Vers - 600 un calendrier fut construit sur une période de 8 ans l'**octaétéride**. Une année avait donc 12 mois ou 13 mois. Mais ce calendrier fini par se décaler.

Vers - 400, une nouvelle réforme basée sur le cycle de **Méton** va introduire un nouveau calendrier.

On avait remarqué que 235 lunaisons valaient 6 939,69 jours et 19 années de 365,25 jours valaient 6 939,75 jours. Au bout de 19 ans les phases reviennent les mêmes. Cette période comprenait 19 années de 357, 355, et 384 jours réparties le plus régulièrement possible.

Le calendrier fut encore perfectionné en - 330, où on supprima un jour tous les 4 cycles de Méton (76 ans) ce qui ramène l'année à 365,25 jours.

En - 130 **Hipparque** proposa de retrancher un jour toutes les 4 périodes de 4 cycles de Méton. ce qui donne une année moyenne de 365,2467 jours (au lieu de 365,2422). Ceci montre la précision de l'école d'Alexandrie.

Mais les grecs continuaient d'utiliser le calendrier octaétéride.

A partir du III^{ème} siècle avant J.C. on numérotait les années par rapport aux Olympiades.

2-5 Les calendriers Actuels

2-5-1 Le calendrier Grégorien

L'année julienne, avec ses 365,25 jours dure 11 minutes 14 secondes de plus que l'année tropique. En 1582 cet excès accumulé avait provoqué un décalage d'une dizaine de jours : le printemps débutait le 11 mars. Or le concile de Nicée, en 325, avait fixé la date de Pâques au **premier dimanche après la pleine lune qui suit le début du printemps**.

Le pape Grégoire XIII introduisit la réforme. Pour rattraper ce retard, on décida que le **jour suivant le 4 octobre 1582 serait le 15 octobre**.

En France le rattrapage eut lieu plus tard le 20 décembre succéda au 9 décembre 1582. En Angleterre il fut adopté en 1752, au Japon en 1873, en U.R.S.S. en 1923 (*en déduire quand eurent lieu dans le calendrier en vigueur les journées d'octobre*), et la Turquie l'adopta en 1926.

Ensuite pour éviter ce décalage, on modifia la modalité de désignation des années bissextiles.

La différence conduit à un décalage de un jour tous les 128 ans. On décida donc d'enlever un jour tous les siècles, mais ce serait trop, donc les années séculaires divisible par 400 seront bissextiles, mais cela revient à retirer un jour tous les 133 ans. L'erreur résiduelle est alors de 26 secondes par an. Ce qui fera un jour en 3323 ans (86400/26)

2-5-2 Le calendrier musulman

C'est un calendrier purement lunaire de 12 mois alternativement de 29 et 30 jours, soit une année de 354 jours ou 355 jours. Les mois sont :

Mouharram	Safar	Rabi'-oul-Aououal	Rabi'-out-Tani	Djoudada-l-oula	Djoudada-t-Tania
Radjab	Cha'ban	Ramadan	Chaououal	Dou-l-Qa'da	Dou-l-Hidjja

Le 1er jour de l'an I de l'ère musulmane, qui correspond au départ de Mahomet de la Mecque pour Médine (l'Hégire) correspond au **16-7-622**.

Le **1 Mouharram 1421** était le **5 Avril 2000**.

Chaque année le 1er Mouharram tombe 11 jours plus tôt et va parcourir les saisons.

Mais la durée de la lunaison dépasse d'environ 45 minutes la durée moyenne des mois de ce calendrier. Pour avoir un bon accord avec le calendrier lunaire, il faut donc ajouter 11 jours au cours des 30 années musulmanes

$(29,530588-29,5)*12*30 = 11,01$ jours

Sur 30 ans on a donc **11 années « abondantes » de 355 jours** réparties régulièrement : années 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26, et 29 du cycle, et **19 années régulières de 354 jours**.

On peut remarquer que sur 100 cycles il apparaît un décalage d'un jour.

2-5-3 Calendrier israélite

Ce calendrier est luni-solaire. Son origine, la **création du monde** remonte au **7 octobre 3761 avant J.C.** Ce calendrier assure une valeur moyenne de la durée du mois lunaire voisine de 29,530594 jours et de la durée moyenne de l'année 365,2468 jours par une alternance d'années de 12 mois, année commune, et d'années de 13 mois, année embolastique, selon un cycle de 19 ans.

De plus les **années communes** ont 353, 354 ou 355 jours et les **années embolistiques** 383, 384 ou 385 jours selon quelles sont **défectives, régulières ou abondantes**. Il y a 12 années communes et 7 embolistiques : les années 3, 6, 8, 11, 14, 17, et 19 du cycle de Méton. Les années communes ont alternativement 29 et 30 jours, et les années embolistiques ont alternativement 30 et 29 jours. Il y a un jour de plus ou de moins suivant le jour où tombe le 1er Tisri pour éviter que le nouvel an tombe le jour du Shabbat).

Les mois sont donnés dans le tableau ci-dessous, pour l'année 5760 qui est une année embolistique abondante de 385 jours, soit depuis le 11 septembre 1999 au 30 septembre 2000. En 5751, Hesvan n'avait que 29 jours.

Le 13ième mois Véadar ou Adar II est intercalé entre Adar et Nissan.

Tishri (30)	Heshvan(30)	Kislev(30)	Tévet(29)	Schévat(30)	Adar(30)	Véadar(29)
Nisan(30)	Lyar(29)	Sivan(30)	Tammuz(29)	Ab(30)	Elul(29)	

Le 1er Tisri est le nouvel an. La durée moyenne d'une année est sensiblement la même que pour le calendrier Grégorien, sur le cycle de 19 ans. Le jour commence au coucher du soleil.

Calendrier judaïque

Calendrier musulman

Année	Forme	Date Grégorienne	année	Forme	Date Grégorienne
5742	Commune régulière	29.09.1981	1402	Commune	30.10.1981
5743	Commune abondante	18.09.1982	1403	Commune	19.10.1982
5744	Embolistique abondante 6	08.09.1983	1404	Abondante	08.10.1983
5745	Commune régulière	27.09.1984	1405	Commune	27.09.1984
5746	Embolistique déficiente 8	16.09.1985	1406	Abondante	16.09.1985
5747	Commune abondante	04.10.1986	1407	Commune	06.09.1986
5748	Commune régulière	24.09.1987	1408	Commune	26.08.1987
5749	Embolistique déficiente 11	12.09.1988	1409	Abondante	14.08.1988
5750	Commune abondante	30.09.1989	1410	Commune	04.08.1989
5751	Commune régulière	20.09.1990	1411	Commune	24.07.1990
5752	Embolistique abondante 14	09.09.1991	1412	Abondante	13.07.1991
5753	Commune déficiente	28.09.1992	1413	Commune	02.07.1992
5754	Commune abondante	16.09.1993	1414	Commune	21.06.1993
5755	Embolistique régulière 17	06.09.1994	1415	Abondante	10.06.1994
5756	Commune abondante	25.09.1995	1416	Commune	31.05.1995
5757	Embolistique déficiente 19	14.09.1996	1417	Abondante	19.05.1996
5758	Commune régulière 1	02.10.1997	1418	Commune	09.05.1997
5759	Commune abondante	21.09.1998	1419	Commune	28.04.1998
5760	Embolistique abondante 3	11.09.1999	1420	Abondante	17.04.1999
5761	Commune déficiente	30.09.2000	1421	Commune	06.04.2000
5762	Commune régulière	18.09.2001	1422	Commune	25.03.2001
5763	Embolistique abondante 6	07.09.2002	1423	Abondante	14.03.2002

Les numéros dans le calendrier Hébreu correspondent à l'ordre des années du cycle de 19 ans.

Dans le calendrier Hébreu :

- Les années communes déficientes ont 353 jours
- Les années communes régulières ont 354 jours
- Les années communes abondantes ont 355 jours
- Les années embolistique déficientes ont 383 jours
- Les années embolistiques régulières ont 384 jours
- Les années embolistiques abondantes ont 385 jours

Dans le calendrier islamique :

Les années communes ont 354 jours

Les années abondantes ont 355 jours.

2-5-4 Autres calendriers :

2-5-4.1 Républicain

Le calendrier Républicain avait 12 mois dont les noms sont liés aux saisons et activités agricoles :

Le 1^{er} Vendémiaire ou 22 septembre 1792

Le 1^{er} Brumaire 22 octobre 1792

Le 1^{er} Frimaire 21 Novembre 1792

Le 1^{er} Nivôse 21 Décembre 1792

Le 1^{er} Pluviose 20 Janvier 1793

Le 1^{er} Ventôse 19 Février 1793

Le 1^{er} Germinal 21 Mars 1793

Le 1^{er} Floréal 20 avril 1793

Le 1^{er} Prairial 20 Mai 1793

Le 1^{er} Messidor 19 juin 1793

Le 1^{er} Thermidor 19 juillet 1793

Le 1^{er} Fructidor 18 août 1793

Ce calendrier n'a été utilisé que dans la période du 22 septembre 1792 au 1 janvier 1806 et en France uniquement. Il a été utilisé par la commune de Paris du 6 au 23 mai 1871.

L'année était divisée en 12 mois de 3 décades et se terminait par 5 jours : les *sans-culottides*

2-5-4.2 Aztèques

Calendrier civil de 189 mois de 20 jours, soit 360 jours néfastes. Siècle de 52 ans. Calendrier religieux : Année divinatoire de 260 jours. Calendrier Vénusien Année de 584 jours solaires. Au bout de 56 années vénusiennes (104 années solaires soit 2 siècles les calendriers retrouvent la même date.

2-5-4.3 Copte

Utilisé en Éthiopie ce calendrier est d'inspiration égyptien ancien luni-solaire.

2-5-4.4 Mayas

Même type de calendrier que le calendrier Aztèques.

Le calendrier Maya compte les années depuis le 6 Septembre 4113 avant JC. Les unités sont

Kin 1 jour

Vinal 20 Jours

Tun 360 jours = 18 vinals

Katun 7200 jours = 20 tuns

Baktun 144 000 jours = 20 katuns

Le calendrier rituel comporte 13 périodes de 20 jours dans une combinaison de l'année solaire ce qui fait 18 mois de 20 jours plus 5 jours. Il en résulte un cycle de 52 ans.

2-5-4.5 Calendrier Chinois

Le calendrier chinois remonterait à 2637 ans avant JC et aurait été créé par l'empereur Huanghi.

Le calendrier chinois, semblable au calendrier Hébreu, est un calendrier Luni-Solaire.

Les Années ordinaires ont 12 mois et les années de saut en ont 13.

Les années ordinaires ont 353, 354, 355 jours et les années de saut 383, 384 ou 385 jours.

Les années de saut sont déterminées par les années de treize lunes.

Les années font un cycle de 60 ans qui sont déterminées par deux parties.

La première partie est :

1. jia	6. ji
2. yi	7. geng
3. bing	8. xin
4. ding	9. ren
5. wu	10. gui

Ces mots n'ont pas d'équivalent en français.

La seconde partie est liée à l'environnement terrestre.

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. zi (rat, rat) | 7. wu (horse, cheval) |
| 2. chou (ox, bœuf) | 8. wei (sheep, mouton) |
| 3. yin (tiger, tigre) | 9. shen (monkey, singe) |
| 4. mao (hare, rabbit, lapin) | 10. you (rooster, coq) |
| 5. chen (dragon, dragon) | 11. xu (dog, chien) |
| 6. si (snake, serpent) | 12. hai (pig, cochon) |

Le 60 ième cycle a débuté le 2 février 1984.

L'année ji-mao est la 16 ième année du 78 ième cycle a commencé le 16 février 1999.

2-5-4.6 Calendrier indien.

L'Inde est caractérisée par une grande variété de calendriers.

Un calendrier national fondé sur l'ère Saka, a été établi le 22 mars 1957. La durée de l'année est de 365 jours.

Longtemps deux types de calendriers ont coexisté : les lunaires de 354 jours dont les mois correspondaient soit aux phases de la Lune soit au passage de la Lune dans les signes du zodiaque ; et les solaires de 365 j + une fraction de jour différente suivant les régions, dont les mois correspondaient au passage du Soleil dans les signes du zodiaque.

Puis les mois lunaires ont été confondus avec les mois solaires.

Le 1 Chaitra (1^{er} mois) correspond au 22 mars une année ordinaire et au 21 mars une année bissextile.

Le point de départ est le 3 mars 78 après JC. 2000 correspond à Saka 1922. Il y eu d'autres ères dont l'ère samvat début le 23 février 57 av JC qui utilise les mois lunaires commençant à la nouvelle ou à la pleine lune suivant les régions.

Le jour est divisé en 60 parties de longueur constante de 24 minutes. Cette partie de 24 minutes est elle même divisée successivement trois fois en 60 parties égales. La plus petite fraction du jour est donc de 24 min/ 60/60/60

3 La mesure du temps

3-1 Les cadrans solaires.

Il existe plusieurs sortes de cadrans solaires.

1. Cadran solaire vertical plein sud
2. Cadran solaire vertical déclinant est ou ouest.
3. Cadran solaire horizontal.
4. Cadran solaire Hémisphérique.
5. Cadran solaire polaire
6. Cadran solaire équatorial
7. Cadran solaire analémattique.

Le cadran solaire va donner l'heure solaire. C'est à dire à midi solaire, le soleil est au maximum de sa course pendant la journée ? Il est au maximum de sa course lorsque sa hauteur H est la plus grande possible de la journée pour un lieu donné.

Mais la terre ne tourne pas régulièrement sur elle même au cours de l'année.

De plus l'heure légale est l'heure adoptée par un pays pour que tous les lieux sur un même parallèle, dans le même fuseau horaire soit à la même heure légale.

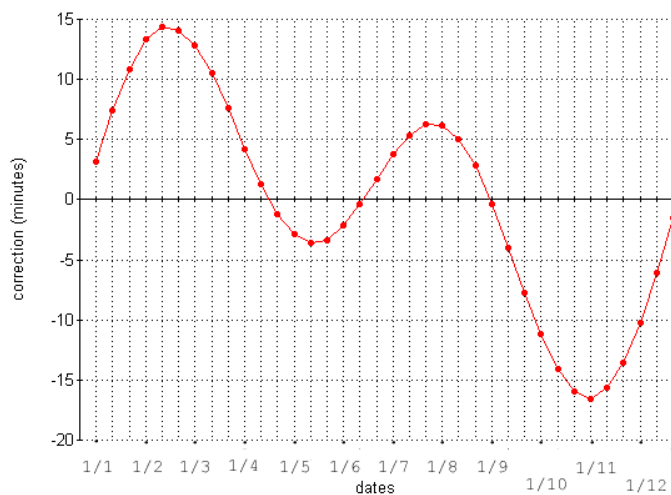
Il est midi en France que l'on soit à Strasbourg ou à Brest. Or Strasbourg est à la longitude 7,49° Est, donc à 31 min 4 s du méridien origine (Greenwich) alors que Brest est à la longitude - 4,29° c'est à dire à 17 min 56 s Ouest du méridien origine.

	Brest	Greenwich	Paris	Strasbourg
Longitude °	-4,29	0	2,20	7,46
Longitude H, min, s	17 min 56 s	0	9 min 20 s	31 min 4 s
Ecart de temps à Paris	27 min 16 s	9 min 20 s	0	21 min 36 s

Il ne faut pas oublier aussi qu'il y a depuis 1974 l'heure d'été et l'heure d'hiver. En hiver bien que Brest soit à l'ouest de Greenwich, il est une heure de plus légale et 2 heures en été qu'à Greenwich.

Lorsqu'il est midi à Greenwich, le soleil passe à la hauteur maximum de sa course dans le ciel. A ce moment il est 13 heures en hiver en France.

Mais le soleil est passé au maximum à Strasbourg 31 min 4 s plus tôt il est donc 12 h 31 min 4 s solaire à Strasbourg lorsqu'il est 12 h TU à Greenwich et 13 h légale en hiver.



Mais le mouvement de la terre n'est pas régulier sur son axe, le soleil ne passe pas toujours au maximum de hauteur lorsqu'il passe au méridien du lieu.

La variation est ce que l'on appelle l'équation du temps. C'est un écart qu'il faut ajouter suivant le jour de l'année.

Cette équation du temps varie très légèrement d'une année à l'autre.

Longitude Est négatif

En résumé :

Figure 1 : Équation du temps

Heure légale = Heure Solaire + 1 ou 2 heures + Longitude + équation du temps.

H légale = 12 h - 31 min 4 s + 5 min le 10 - 7 à Strasbourg

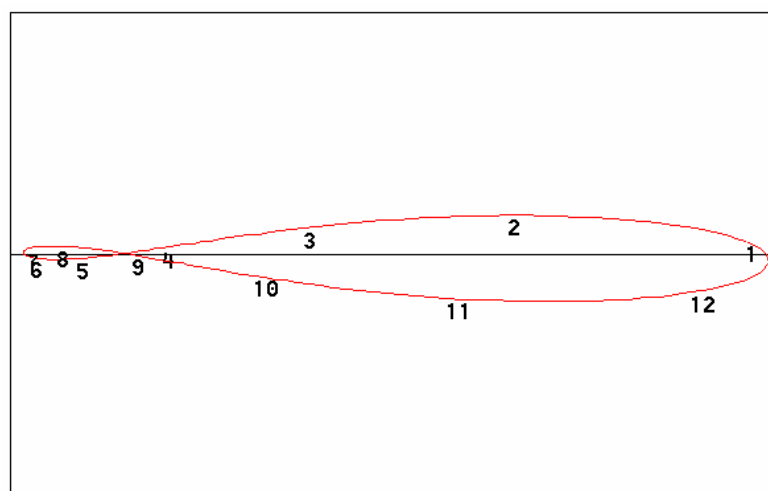


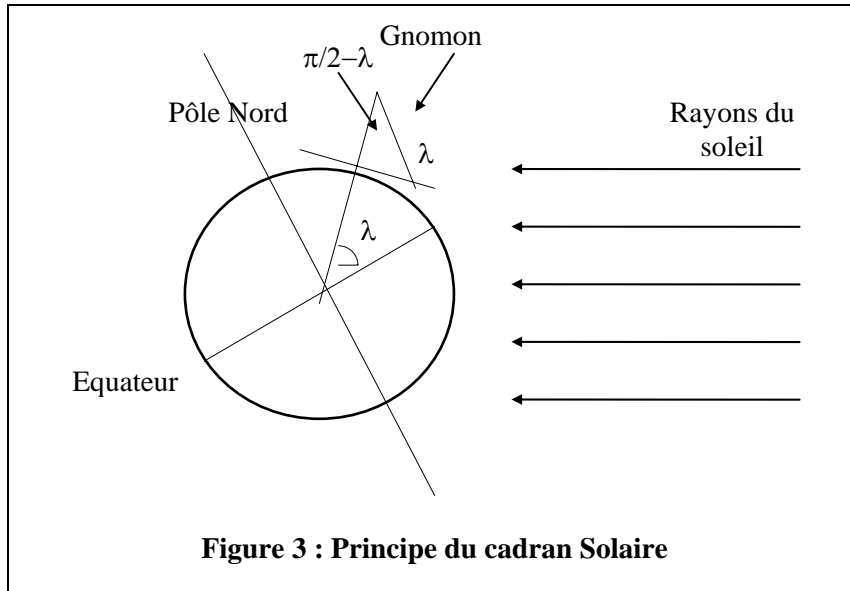
Figure 2 : équation du temps

3-2 Principe de construction du cadran solaire.

En générale le principe est de donner l'ombre d'un gnomon donnée par le soleil sur un plan, qui est le cadran.

Le soleil tourne autour de l'axe des pôles de la terre dans un mouvement sensiblement circulaire.

Il fait un tour en 24 heures c'est à dire que l'ombre tourne de 360° en 24 heures, soit de 15° par heures.



Pour que l'ombre tourne de 15° par heure, il faut que le gnomon soit parallèle à l'axe des pôles.

A un lieu de latitude λ le gnomon va faire un angle de $\pi/2 - \lambda$ avec le mur vertical et λ avec le plan horizontal.

La longueur du gnomon permettra de limiter la longueur de l'ombre.

En hiver le soleil est bas sur l'horizon, donc l'ombre est courte sur le mur vertical et en été le soleil étant haut sur

l'horizon, l'ombre du gnomon sera longue. On pourra donc évaluer la période de l'année en traçant les **arcs diurnes** correspondants aux différents mois de l'année. (figure 4)

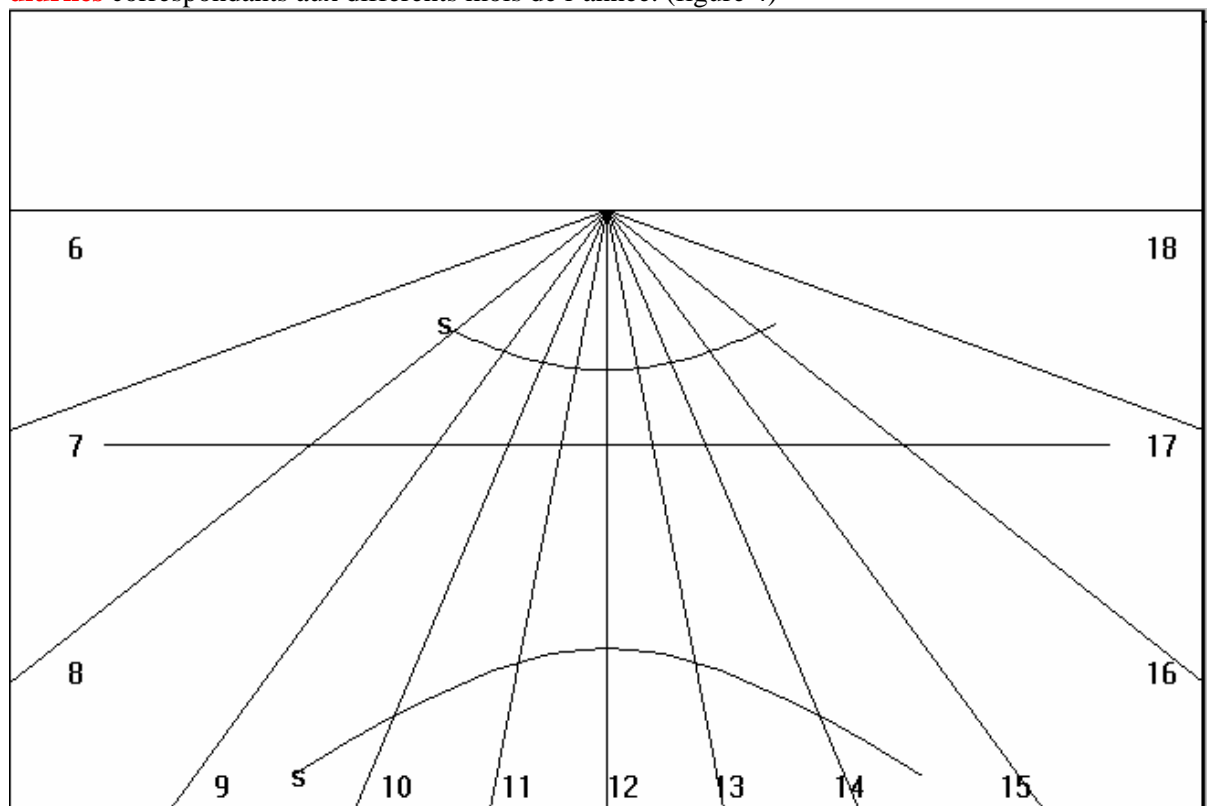


Figure 4 : Cadran Solaire droites horaires

On peut aussi tracer les méridiennes :

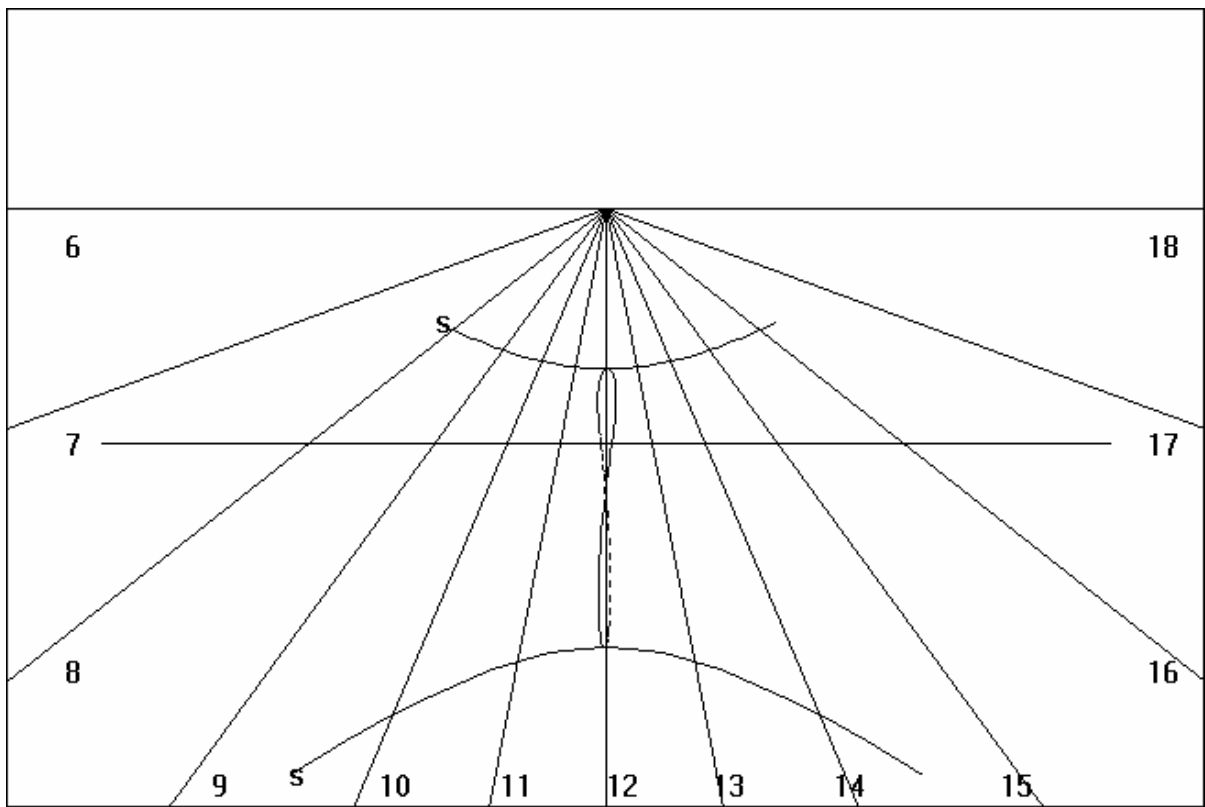


Figure 5 : Cadran Solaire Vertical

Cadran solaire équatorial

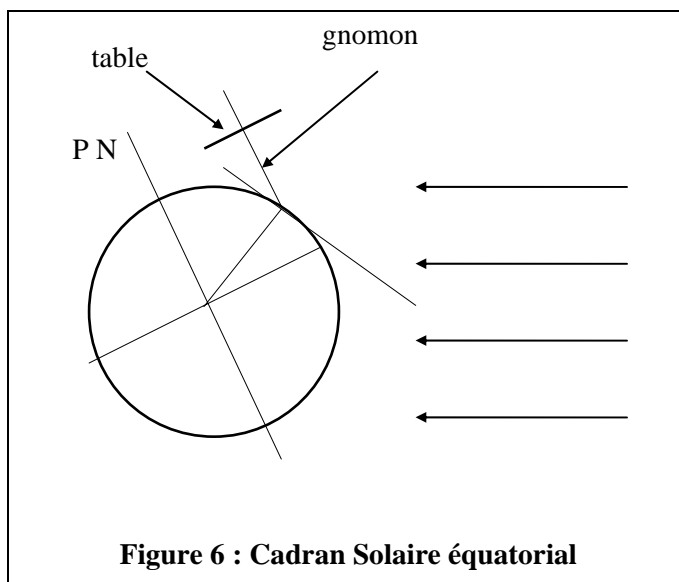


Figure 6 : Cadran Solaire équatorial

Le style ou gnomon est parallèle à l'axe des pôles. La table lui est perpendiculaire, et fait un angle λ avec le plan horizontal. Les droites horaires font des angles de 15° .

Ce cadran reste parallèle à lui même quelque soit le lieu sur terre, même au pôle Nord.

Cadran solaire vertical plein sud

Le cadran est orienté plein sud, La table est verticale et le style fait un angle de $\pi/2 - \lambda$ avec la verticale, et il est placé dans le plan du méridien du lieu.

Les lignes horaires sont les projections verticales des lignes horaires du cadran équatorial.

La construction se fait en trois étapes :

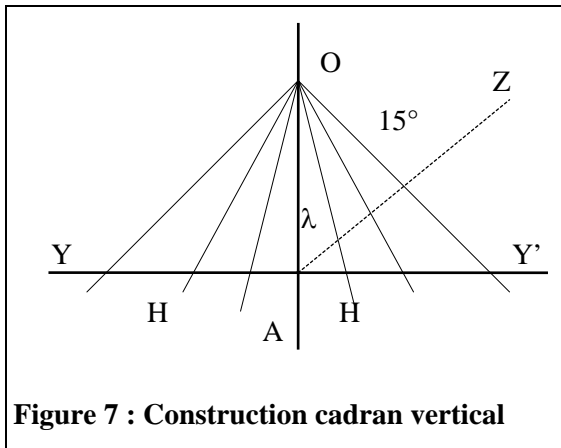


Figure 7 : Construction cadran vertical

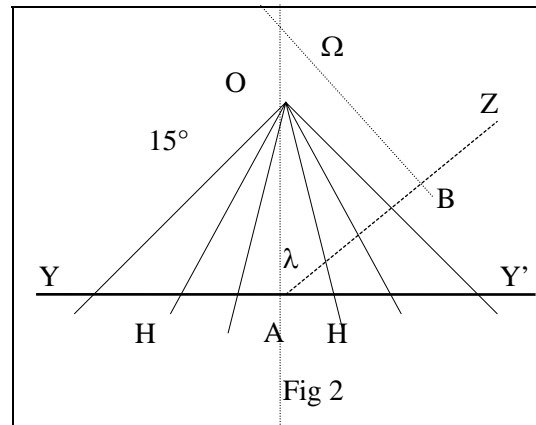


Fig 2

On trace une horizontale YY' et une verticale en A.
 A partir d'un point O quelconque de la verticale, on trace des angles $AOH=HOH_1=...=15^\circ$
 A partir de A on trace une droite AZ faisant un angle λ avec OA.
 On reporte sur AZ une distance AB telle que $AO = AB$
 On élève la perpendiculaire à AZ de B, qui coupe AO en Ω .
 De Ω on joint les différents points H obtenus précédemment. Ce sont les droites horaires.

Cadran solaire horizontal.

Même méthode que le vertical, mais l'angle $OAZ = \pi/2 - \lambda$

Cadran déclinant

La table est verticale et forme un angle d de déclinaison avec la direction Est Ouest.
 Le gnomon fait un angle de $\pi/2 - \lambda$ avec la table et se trouve dans le plan méridien local.
 Tracer les droites X'X et Y'Y faisant un angle δ (déclinaison) et se coupant en A.
 Tracer AZ perpendiculaire à Y'Y et AZ' perpendiculaire à X'X
 On prend un cadran solaire horizontal plein sud. D'un point O de AZ on trace les droites horaires de ce cadran horizontal plein sud ; ces droites coupent X'X en des points H, H', H'' ...

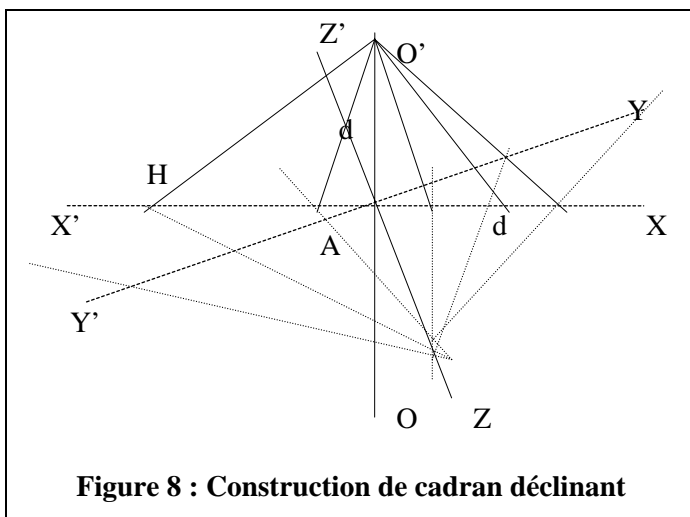


Figure 8 : Construction de cadran déclinant

Reporter sur AZ' la distance $AO'=AO$
 De O' joindre les points H jusqu'à impossibilité.

Le gnomon fait un angle avec la droite de 12 heures un angle de $\pi/2 - \lambda$.

Cadran analémétique

Le cadran analémétique n'a pas de gnomon, et c'est un cadran horizontal. C'est l'observateur qui se place en un point qui dépend de la date dans le cadran qui a une forme elliptique. C'est son ombre qui indique l'heure.

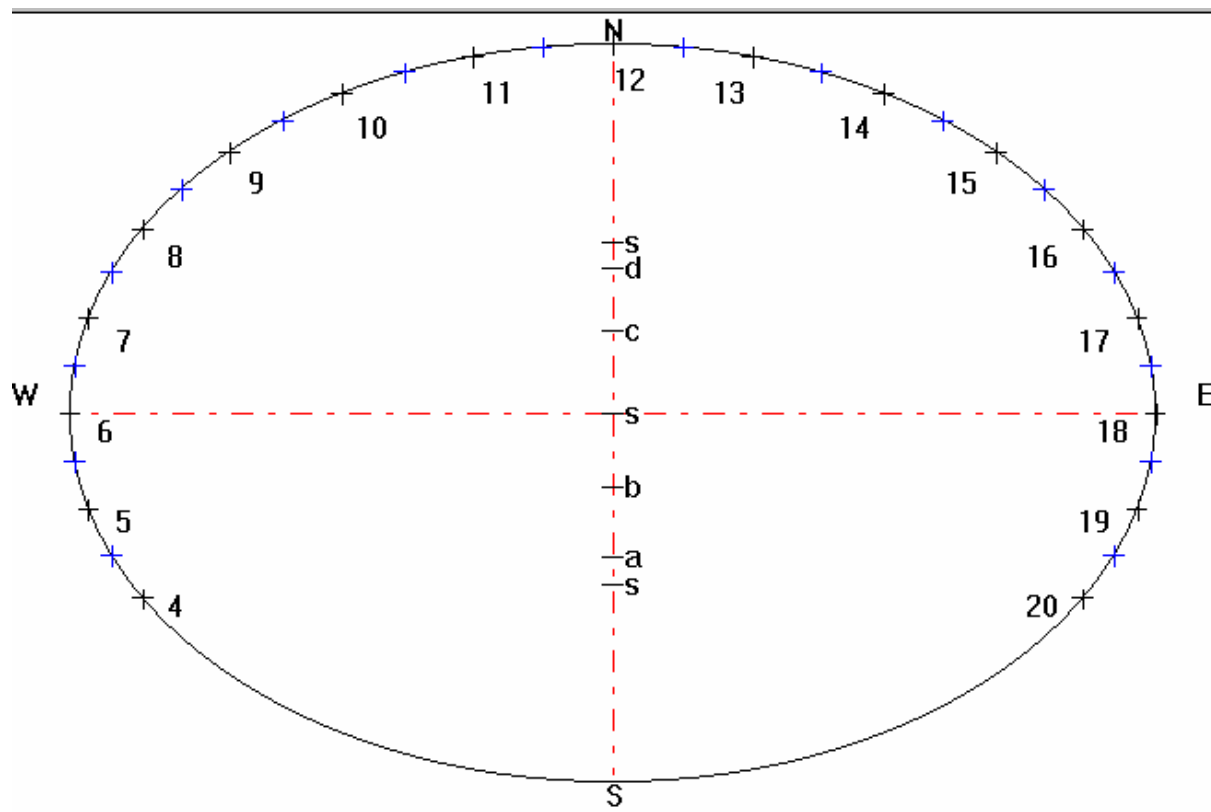


Figure 9 : Cadran analémmatique