



LA MESURE DU TEMPS

Le temps

- ✓ Le temps atomique
- ✓ Le temps universel
- ✓ Le temps solaire et le temps moyen
- ✓ Les fuseaux horaires
- ✓ La ligne du changement de date
- ✓ Un retour : mouvements de la terre
- ✓ Cadrans solaires et analème





LES OBJECTIFS

- ★ Au terme de cette présentation, le participant pourra :
 - Comprendre le mécanisme de la définition de la seconde (temps atomique).
 - Comprendre la notion de fuseau horaire.
 - Comprendre la notion d'heure solaire moyenne et d'heure réelle locale.
 - Comprendre la notion de l'heure universelle



LE TEMPS



LE TEMPS ATOMIQUE



LE CALCUL DU TEMPS

Le temps atomique

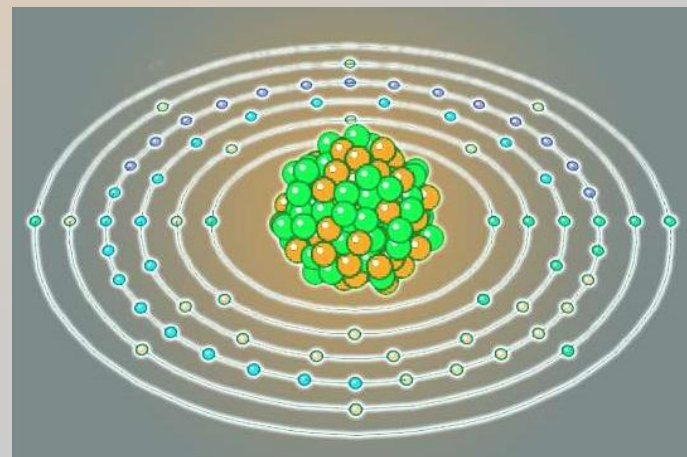
Le temps atomique, équivaut à la définition de la seconde.

En 1967, la seconde fut basée sur les oscillations de l'atome de Césium 133. Cette durée vaut 9,192,631,770 cycles de radiation correspondant au passage entre deux niveaux hyperfins ($f=3$ et $f=4$) de l'état fondamental du Césium 133.

Pour qu'une horloge atomique dérive d'une seconde complète, il faut 160 millions d'années!

Environ 500 horloges réparties dans plus de 70 laboratoires donnent le temps atomique.

Horloge atomique, comment ça fonctionne?

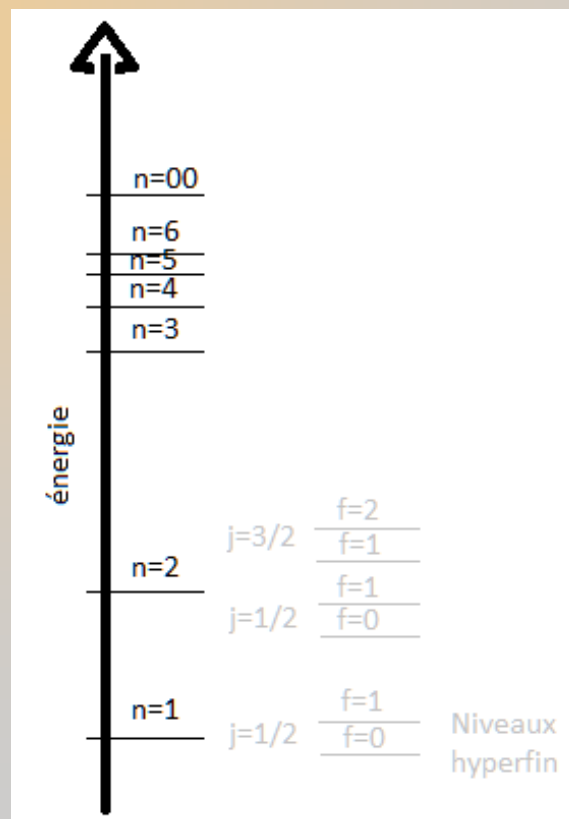
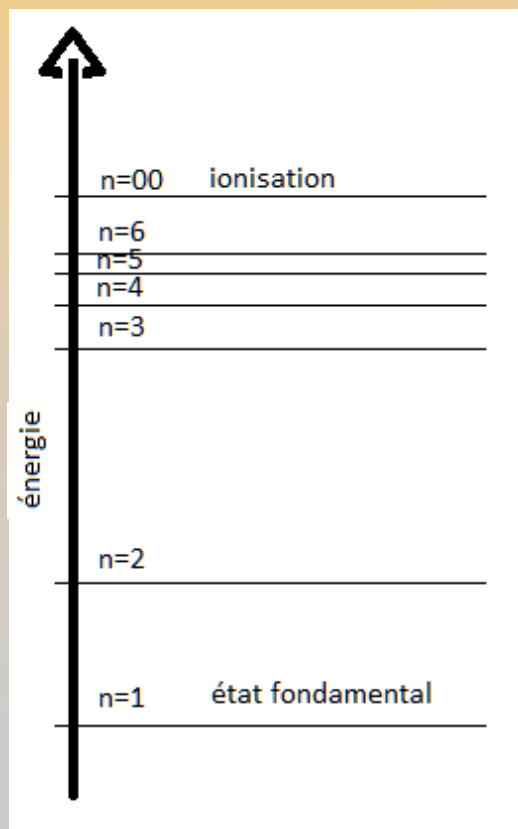




LE TEMPS

Le temps atomique

État fondamental et niveaux hyperfins



La structure hyperfine s'explique en physique quantique comme une interaction entre deux dipôles magnétiques des électrons.

Il est à l'origine de la plupart des propriétés magnétiques macroscopiques des matériaux.

Lien entre énergie et fréquence et constante de Planck

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{\Delta E}{h},$$



LE TEMPS

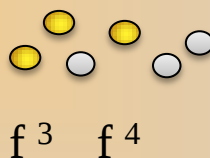
Le générateur de micro-ondes est synchronisé par une fréquence hyperfine du Césium, laquelle est super stable. Par conséquent, le générateur micro-ondes devient alors aussi stable que l'atome du césium.

Le temps atomique, fonctionnement d'une horloge atomique

1) Chauffage du Césium

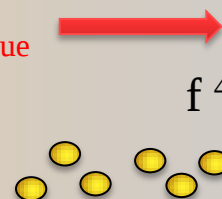
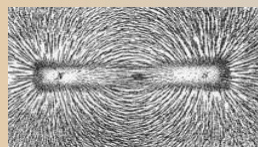


2) Émission d'atomes

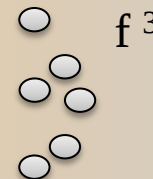


Niveaux énergies

3) Champ magnétique



4) Récupération des atomes ayant la bonne fréquence

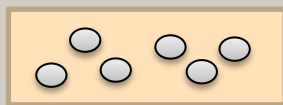


7) Le nombre d'atomes dans l'état f^4 doit être maximal, on ajuste l'oscillateur en conséquence. pour avoir la bonne fréquence.

f^4



6) Cavity de Ramsey
Même fréquence que l'oscillateur



5) Générateur de micro-ondes

Oscillateur de quartz à 10 000 mégahertz est multiplié par un dispositif électronique pour obtenir un signal de 9 192 631 770 Hertz.

C'est à cette fréquence que les atomes de césium 133 subissent un changement d'état. Les autres fréquences sont sans influences



LE TEMPS

Le Temps Atomique International TAI est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau International de l'Heure (remplacé maintenant par le Bureau International des Poids et Mesures) sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'unités. (Wiki)

10^N ⚡	Nom ⚡	Symbole ⚡	Quantité ⁹ ⚡
10^{24}	yottaseconde	Ys	Quadrillion
10^{21}	zettaseconde	Zs	Trilliard
10^{18}	exaseconde	Es	Trillion
10^{15}	pétaseconde	Ps	Billiard
10^{12}	téraseconde	Ts	Billion
10^9	gigaseconde	Gs	Milliard
10^6	mégaseconde	Ms	Million
10^3	kiloseconde	ks	Mille
10^2	hectoseconde	hs	Cent
10^1	décaseconde	das	Dix
1	seconde	s	Un
10^{-1}	déciseconde	ds	Dixième
10^{-2}	centiseconde	cs	Centième
10^{-3}	milliseconde	ms	Millième
10^{-6}	microseconde	μs	Millionième
10^{-9}	nanoseconde	ns	Milliardième
10^{-12}	picoseconde	ps	Billionième
10^{-15}	femtoseconde	fs	Billiardième
10^{-18}	attoseconde	as	Trillionième
10^{-21}	zeptoseconde	zs	Trilliardième
10^{-24}	yoctoseconde	ys	Quadrillionième



LE TEMPS



LES FUSEAUX HORAIRES

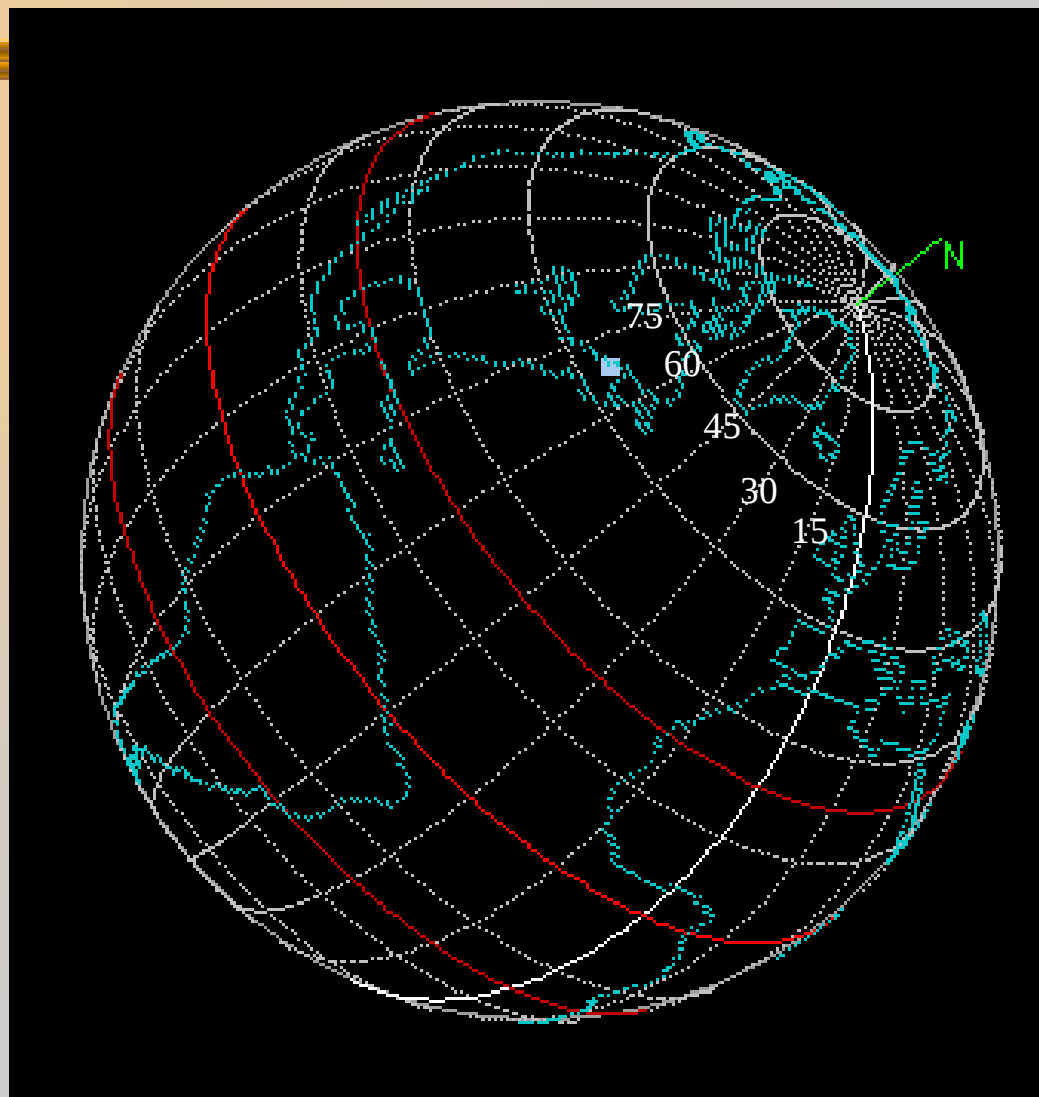


LE TEMPS

Quelle heure avez vous?

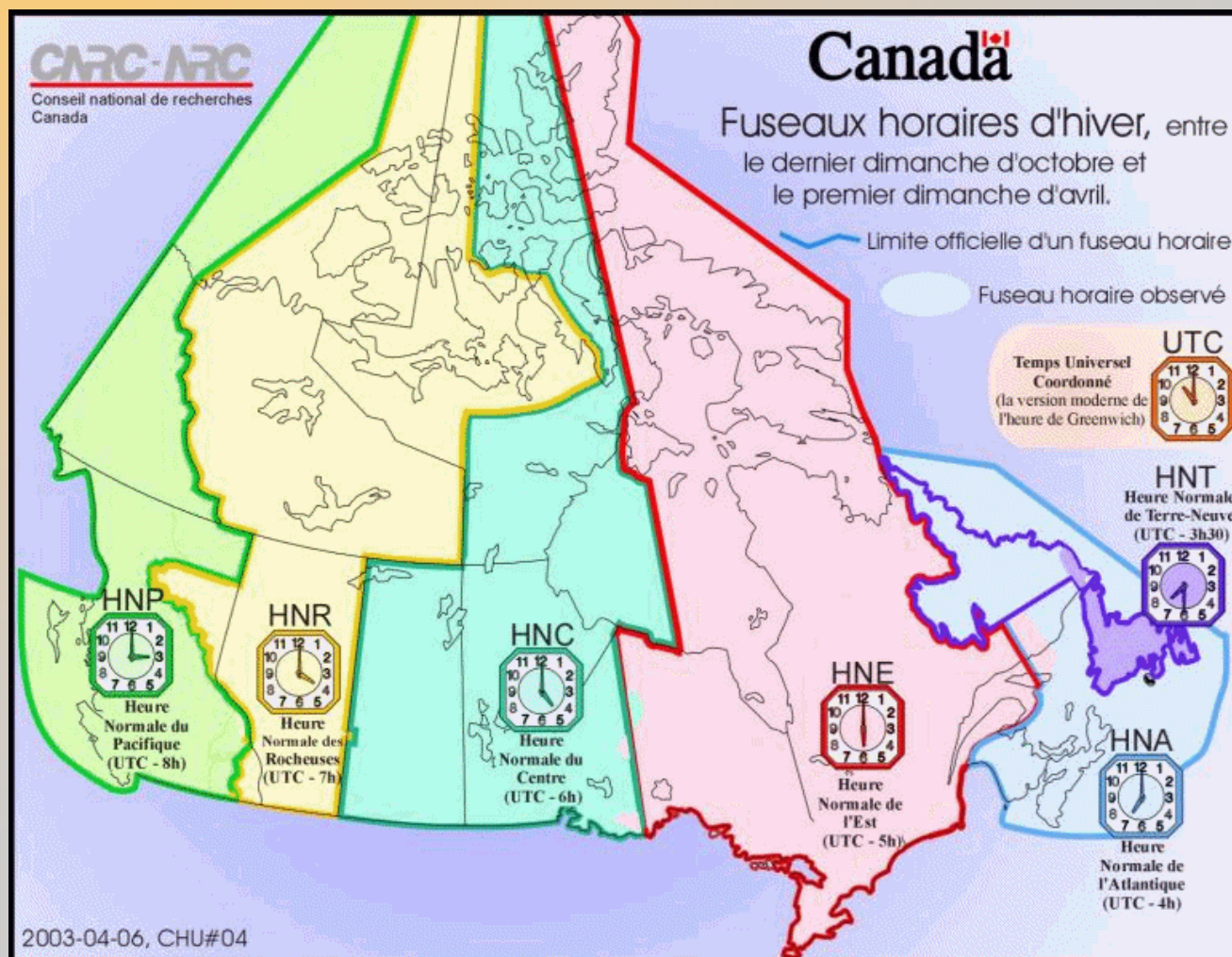
L'heure des nos montres est égale à l'heure solaire moyenne du méridien de référence, laquelle en occurrence est 75° ouest pour le Québec.

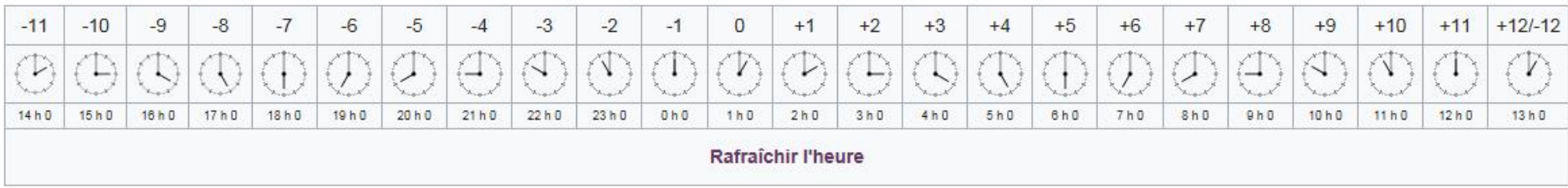
On parle de la correction du temps selon la longitude ouest.





LE TEMPS



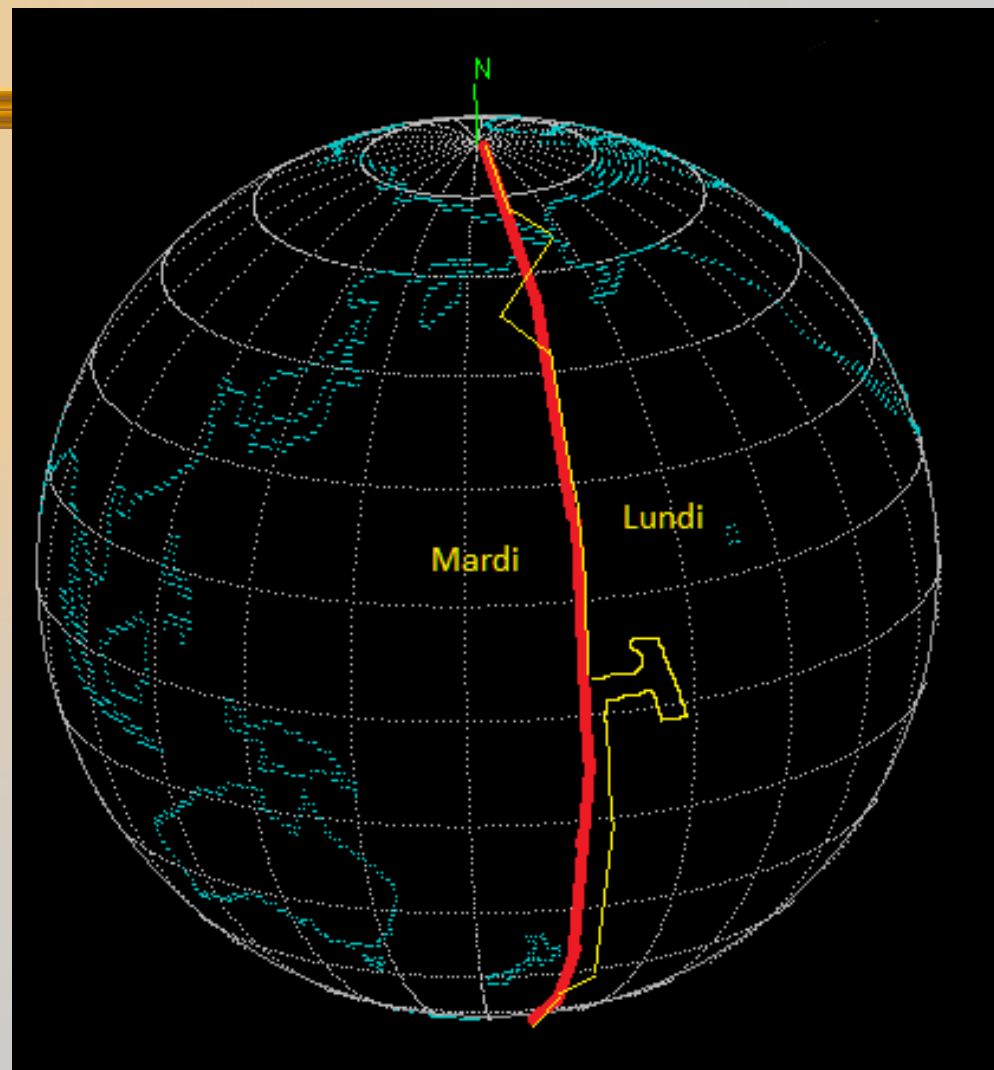




LE TEMPS

Ligne du changement de date

On a placé la ligne de changement de date dans le Pacifique, la région la moins peuplée de la planète.



<https://www.youtube.com/watch?v=He89BrD4qag>



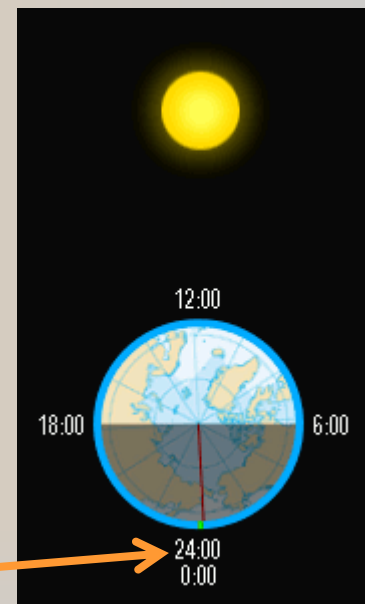
LE TEMPS

Ligne du changement de date

On a placé la ligne de changement de date dans le Pacifique, la région la moins peuplée de la planète.

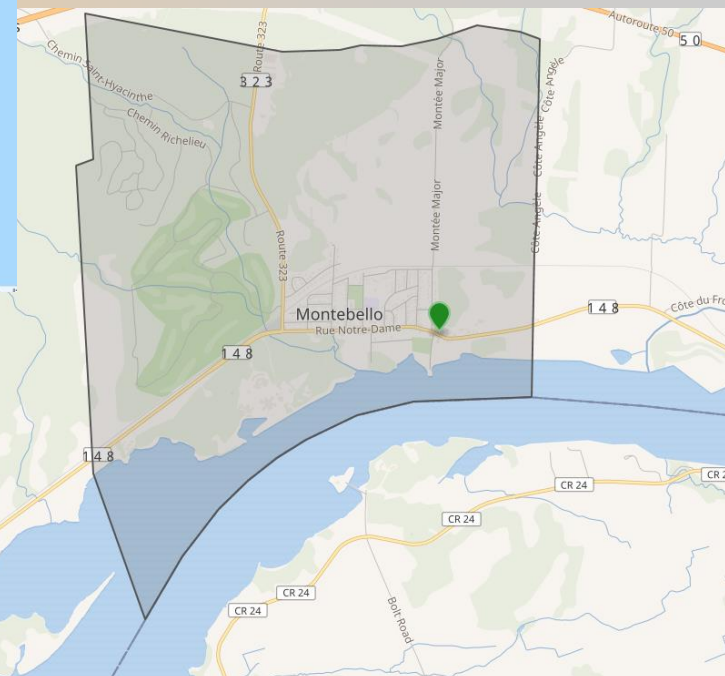
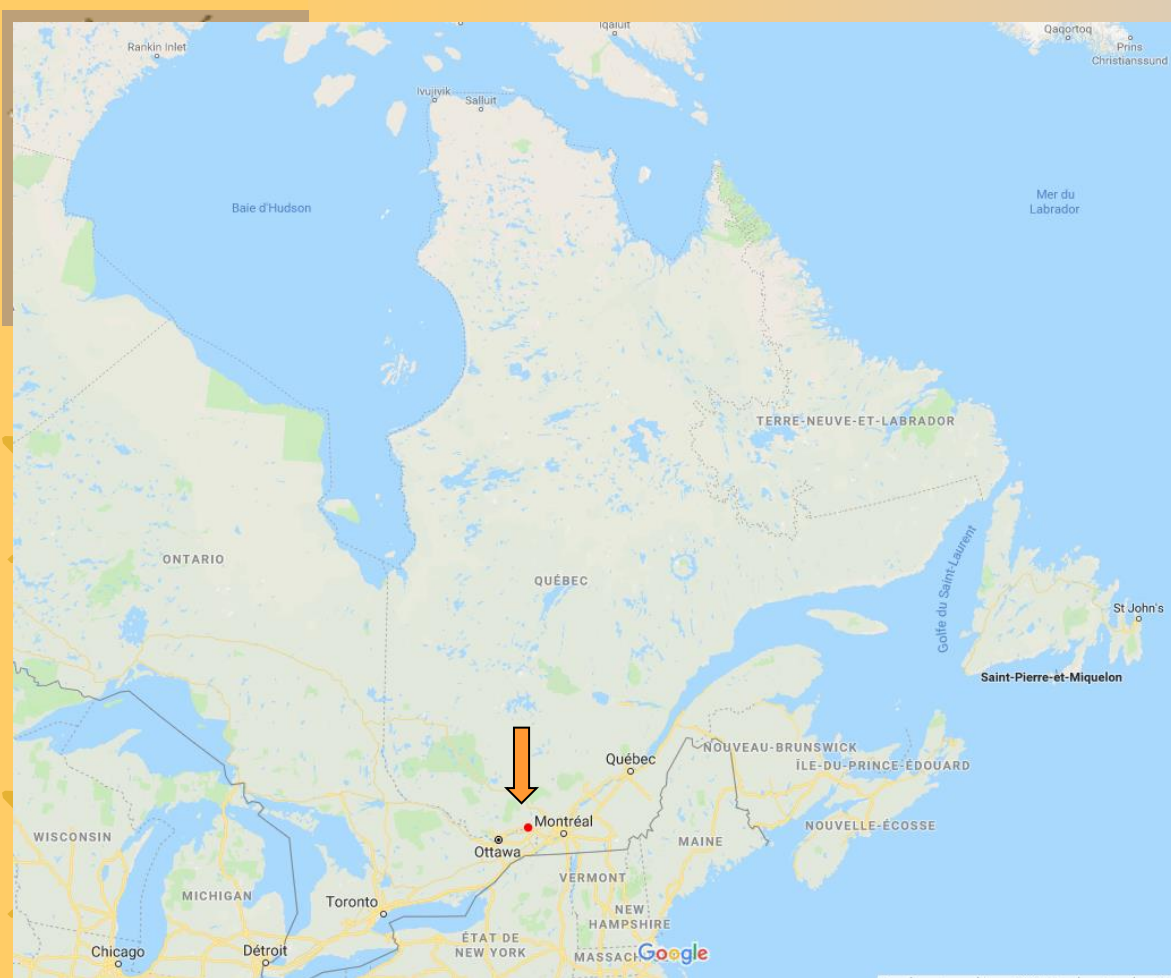
Le reste du temps une partie de la planète a une date du calendrier avec une journée d'avance sur le reste du monde, et ceci est dépendant de l'heure qu'il est à la ligne du changement de date.

Ceux qui passent ce point
(donc à minuit) changent de
date!



LE TEMPS

**UTC−05:00, Montebello
Québec.
(centre du fuseau horaire)**



45° 39' 00" nord, 74° 56' 00" ouest



LE TEMPS



Ville de **Greenwich**,

Méridien de référence.

00° 00' 00''

Un méridien se mesure en
degrés, minutes, secondes :

Ouest :

- 00-180 deg. 00-59 min 00-59 sec.

Est

+ 00-180 deg. 00-59 min 00-59 sec.



LE TEMPS



LE CALCUL DE L'HEURE



LE TEMPS

Quelle heure avez vous?

L'heure des nos montres est égale à l'heure solaire moyenne du méridien de référence, laquelle en occurrence est 75° Ouest pour le Québec.

Pour Rimouski une correction en longitude de -26 minutes est requise pour obtenir l'heure « solaire locale » (indiqué par un cadran solaire) . Cette correction se calcule comme suit:

Oublions pas : $360^\circ / 24\text{h} = 15^\circ / \text{h}$

Donc pour **Rimouski** $(68.5^\circ - 75^\circ) = -6.5^\circ = -26 \text{ minutes}$.

Donc l'heure réelle locale est :

Hivers : Heure montre – 26 minutes

Été : Heure montre – 26 minutes - 1h = -1h26 min.

En été il faut tenir compte de l'heure avancée.

Note : On définit l'heure légale, qui est l'heure du fuseau horaire (nos montres). L'heure légale = l'heure moyenne solaire si vous êtes à 75° de longitude (pour le Québec). Maintenant tout est réglé.... Enfin presque! Voyons la suite...



LE CADRAN SOLAIRE

Quelle heure avez vous?

C'est un cadran
solaire

À quoi ca sert.....

À indiquer l'heure,
franchement!

J'ai ma montre pour ca!
Une Rolex en plus...





LE CADRAN SOLAIRE

Type de cadran solaire

- LE CADRAN ÉQUATORIAL
- LE CADRAN POLAIRE
- LE CADRAN HORIZONTAL
- LE CADRAN HÉMISPHERIQUE
- LE CADRAN VERTICAL PLEIN SUD
- LES CADRANS DÉCLINANTS
- LE CADRAN ORIENTAL ET OCCIDENTAL
- CADRAN ANALEMMATIQUE





LE CADRAN SOLAIRE

Type de cadran solaire

Image de cadran solaire par Sylvain Levesque



Cadran solaire horizontal



Réplique d'un Siuan-ki Yü-hêng, ce disque permet de définir le cours des astres et donner l'heure locale la nuit



LE CADRAN SOLAIRE

Type de cadran solaire

Image de cadran solaire par Sylvain Levesque



Cadran solaire polaire



Cadran solaire cubique/polyédrique,
horizontal, vertical, orient et occident



LE CADRAN SOLAIRE

Type de cadran solaire

Image de cadran solaire par Sylvain Levesque



Cadran solaire polaire gravé recto verso



Cadran solaire ou horloge du berger



LE CADRAN SOLAIRE



On sais depuis longtemps que le Soleil ne culmine pas exactement à midi sur le méridien. Dans le passé tout comme aujourd'hui, c'est pourtant ce qui serait souhaitable. D'où viennent ces variations?



LE TEMPS



L'HEURE EXACTE



LE TEMPS

Pour avoir l'heure exacte

La formule est :

$$\begin{aligned} \text{Temps légal (montres)} &= \text{correction du temps selon la longitude Ouest} \\ &+ \\ &\text{correction si heure en été (-1h)} \\ &+ \\ &\text{Temps vrai (cadran solaire)} \\ &+ \\ &12 \text{ h (le jour vrai débute quand le Soleil passe} \\ &\quad \text{au méridien)} \\ &+ \\ &\text{Équation du Temps} \\ &+ \\ &\text{DUT1 (secondes intercalaires)} \end{aligned}$$

Note : DUT1 est 0.9 secondes (négligeable)



LE TEMPS

La seconde intercalaire?

Depuis le 1er janvier 1958. Le retard sur le temps atomique accumulé par la rotation de la Terre est de 35 secondes. Cette différence est due au ralentissement causé, en grande partie, par les océans et le noyau liquide de la Terre. Le frottement et le déplacement perturbent la rotation de la Terre.

Il a été défini que des corrections doivent être apportées dès qu'elles excèdent 0.9 seconde. Cette correction se fait le 1^{er} janvier de façon intermittente selon la nécessité de corriger ou pas.

Dans notre calcul, on peut négliger cet ajustement, mais il faut savoir qu'elle existe!

<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=bulletins&lang=fr>



LE TEMPS

Parlant de l'heure...

En français on indique souvent a.m. ou p.m.

Exemple : 10h20 a.m. ou 5h00 p.m. Nous définissons comme étant avant-midi et après-midi. Mais dans les faits...

C'est tout simplement parce que c'est dérivé d'une langue ancienne, probablement le grec et ça s'écrit a.m. = Ante Meridian et p.m. = Post Meridian.

Dans les livres d'histoire ou archéologie lorsqu'on parle du passé lointain on voit aussi

- B.C. pour Before Christ = avant le Christ

et

- A.D. pour Anno Domini = in the year of our Lord = année après le Christ



LE TEMPS

Le jour solaire vrai

La différence entre l'heure de nos montres et notre repère solaire (la position du Soleil à midi est la référence) est appelé équation du temps :

Causé par deux effets :

- Influence de l'inclinaison de l'axe de la Terre : **Réduction à l'équateur**

Le temps solaire moyen est défini comme étant le parcourt d'un Soleil fictif se déplaçant sur l'équateur alors que le Soleil se déplace le long de l'écliptique qui fait un angle avec l'équateur..

- Influence de l'excentricité de l'orbite de la Terre : **Équation du centre**

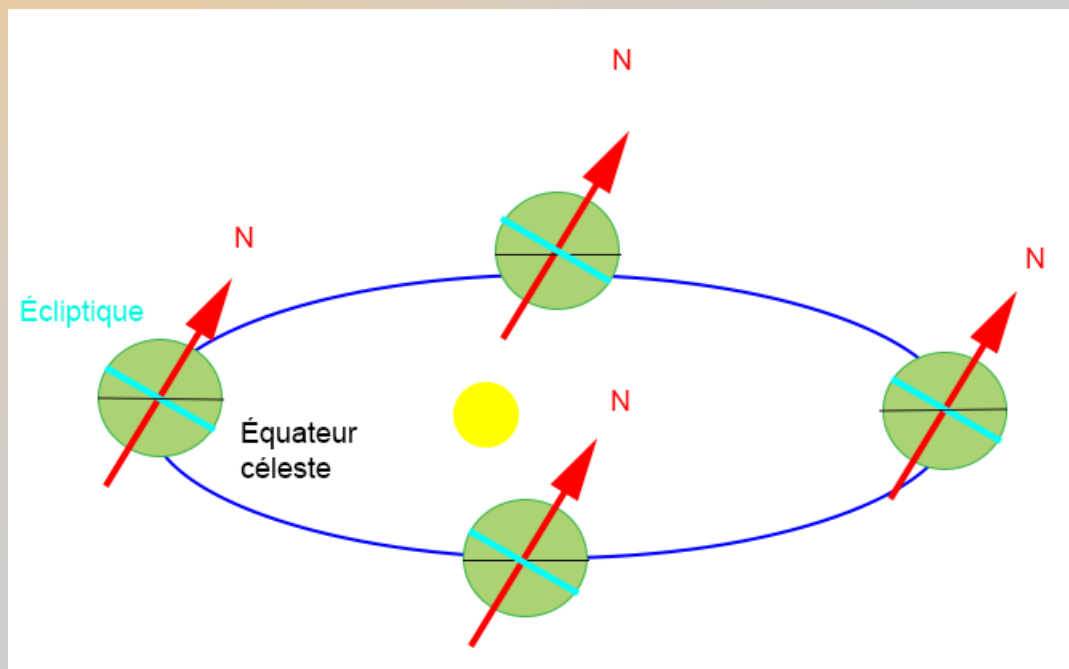
La Terre est sur une ellipse et pour cette raison son déplacement n'est pas uniforme durant l'année, sa vitesse varie. La position du Soleil à midi est donc influencée par ce mouvement.



LE TEMPS

Réduction à l'équateur

Est due uniquement à la variation de la déclinaison du soleil.
C'est la première composante de l'équation du temps nommée *réduction à l'équateur*, sa période est semestrielle et son amplitude de 9 m 52 s. Elle est uniquement fonction de la déclinaison maximale qui est d'environ $23,5^\circ$.

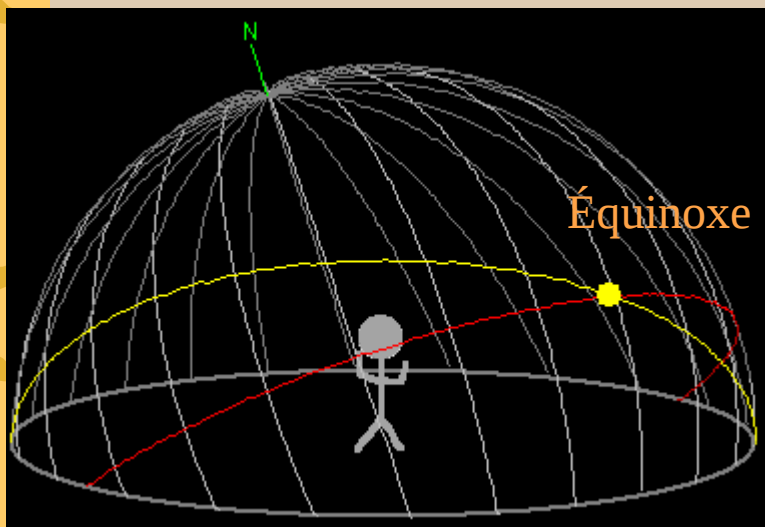
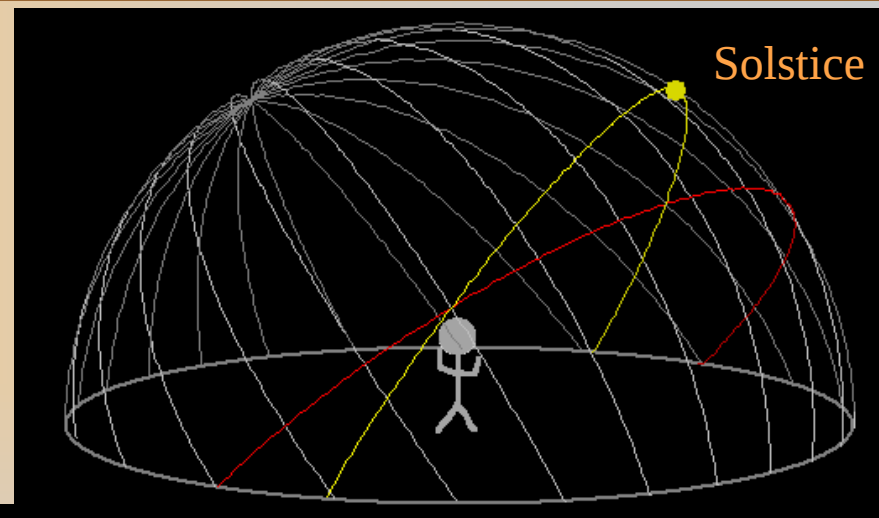




LE TEMPS

Réduction à l'équateur

Le Soleil parcourt plus vite les heures d'ascensions droites au moment des solstices.



.. Et moins vite durant les équinoxes.

Note : Par convention, le JSM Jour Solaire Moyen est le mouvement fictif du Soleil sur l'équateur céleste.



LE TEMPS

Réduction à l'équateur

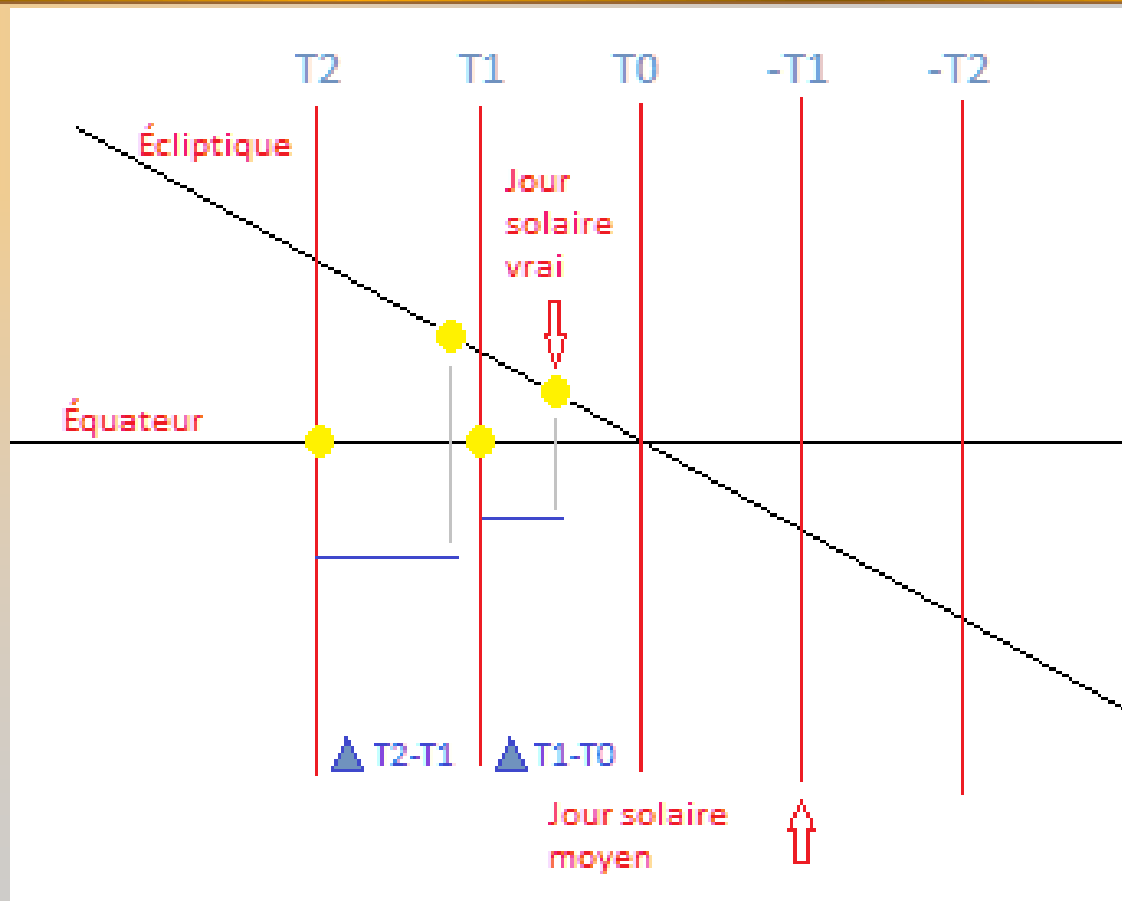
Explication :

Le début de l'équinoxe du 21 Mars le point de référence.

Donc : JSV-JSM = 0

Après quelques jours
 $JSM > JSV$

JSV = jour solaire vrai
JSM = jour solaire moyen





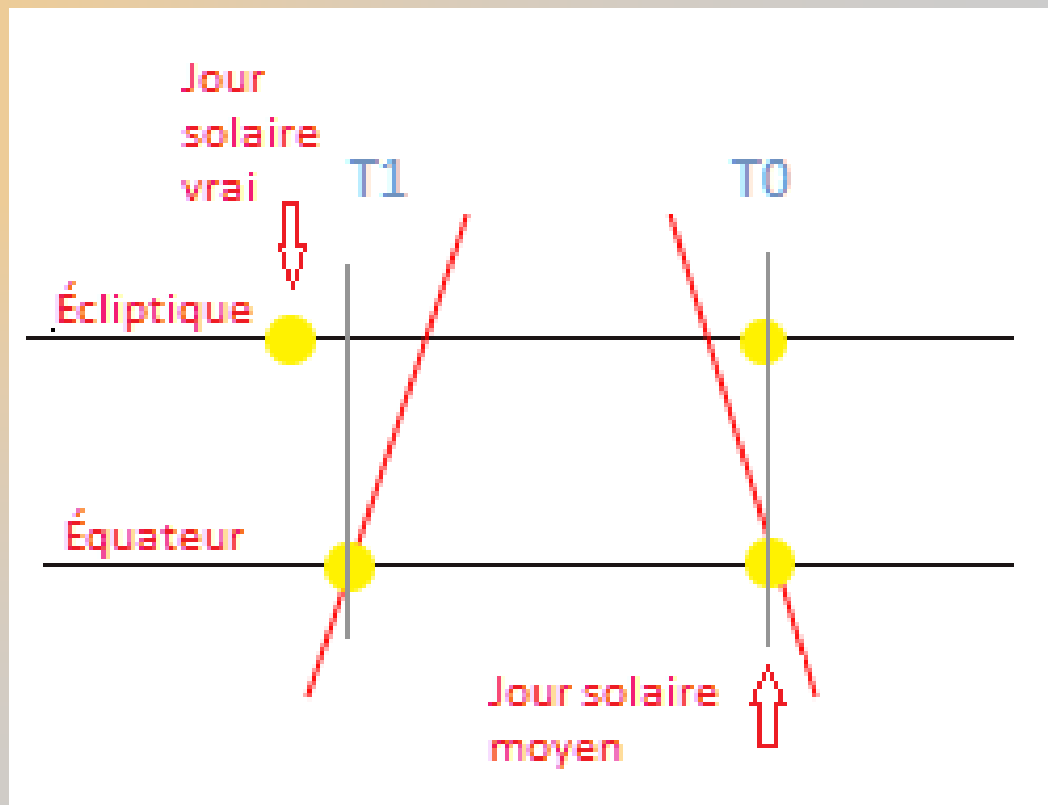
LE TEMPS

Réduction à l'équateur

Explication :

Au solstice du 21 juin

JSM < JSV



JSV = jour solaire vrai
JSM = jour solaire moyen

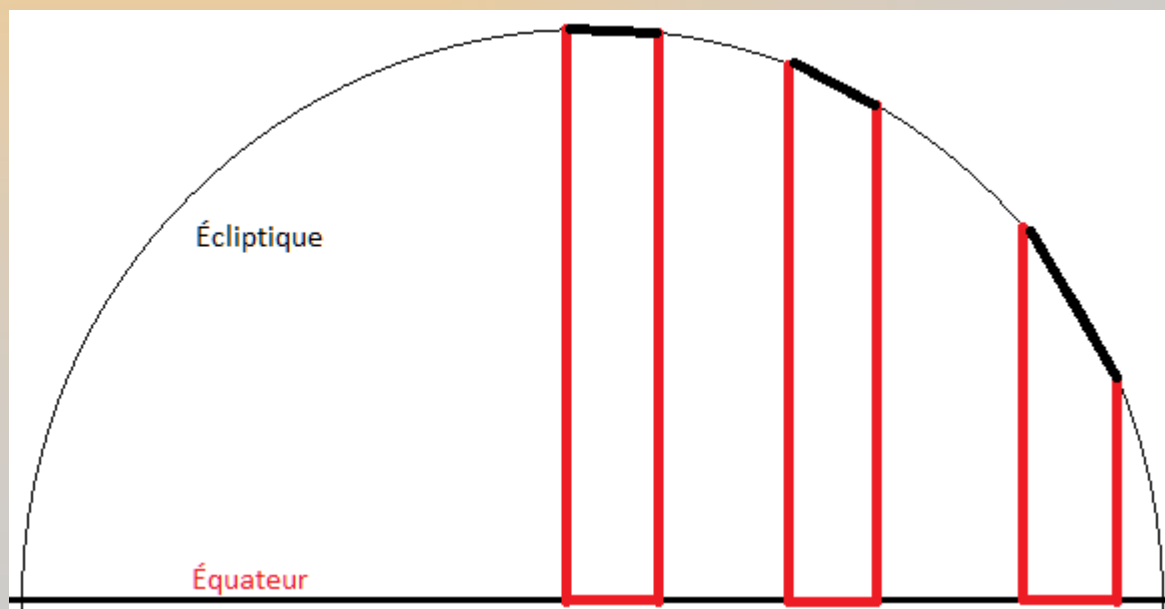
Note : Pour bien comprendre le phénomène il faut se rappeler que nous sommes sur la sphère céleste



LE TEMPS

Réduction à l'équateur

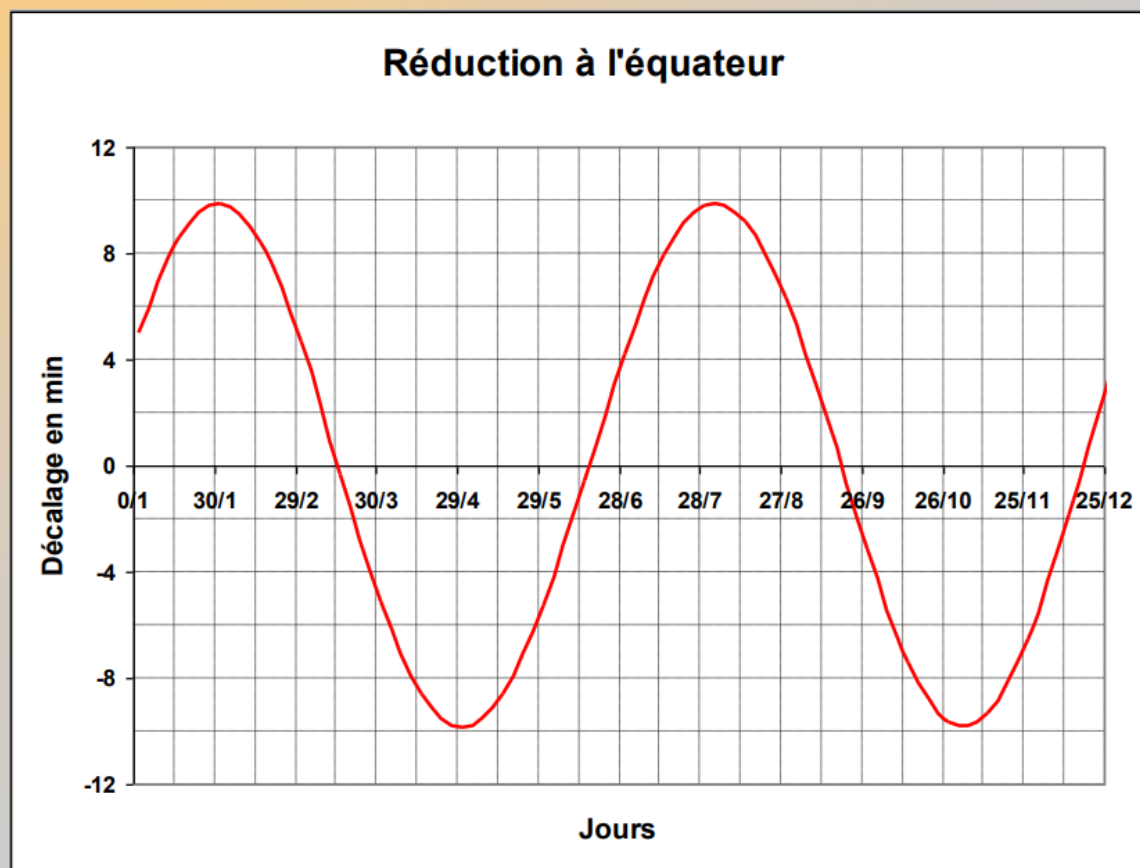
La distance parcourue est différente sur l'écliptique pour un même écart sur l'équateur.





LE TEMPS

Réduction à l'équateur



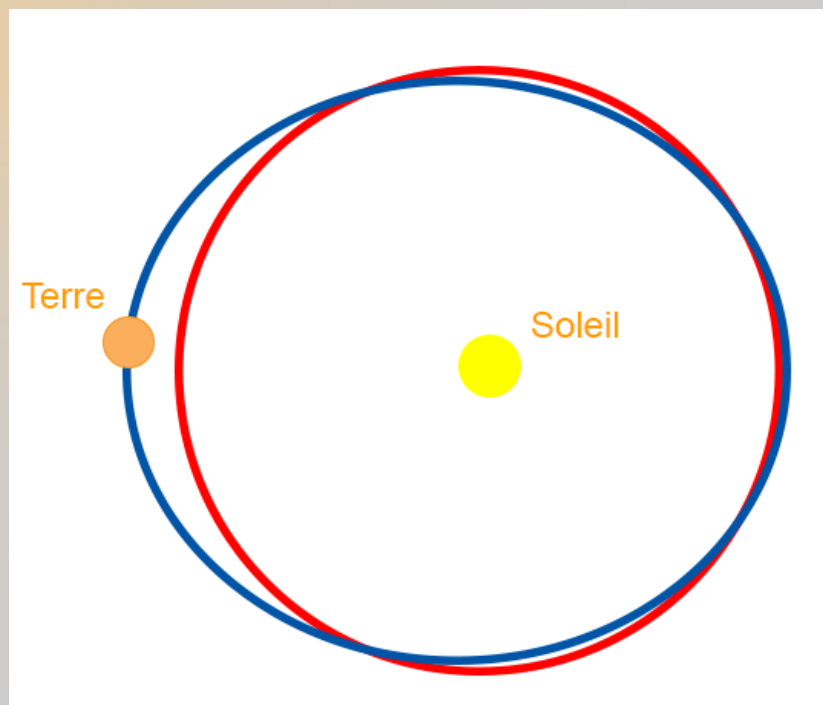


LE TEMPS

Équation du centre

L'excentricité de l'orbite de la Terre

Le jour solaire vrai (JSV) ne peut pas être utilisé comme référence tout simplement parce que la vitesse de révolution de la Terre est variable. La Terre décrit une ellipse et l'un des foyers est occupé par le Soleil.

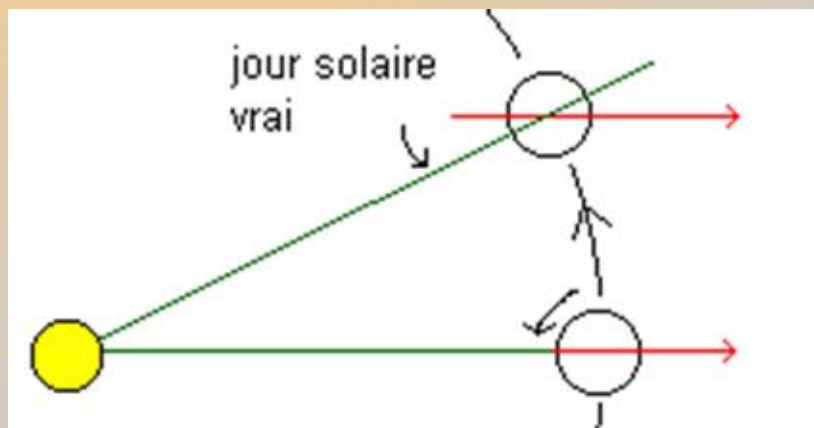




LE TEMPS

Équation du centre

Le jour solaire vrai est le temps écoulé entre deux passages successifs du Soleil au méridien.

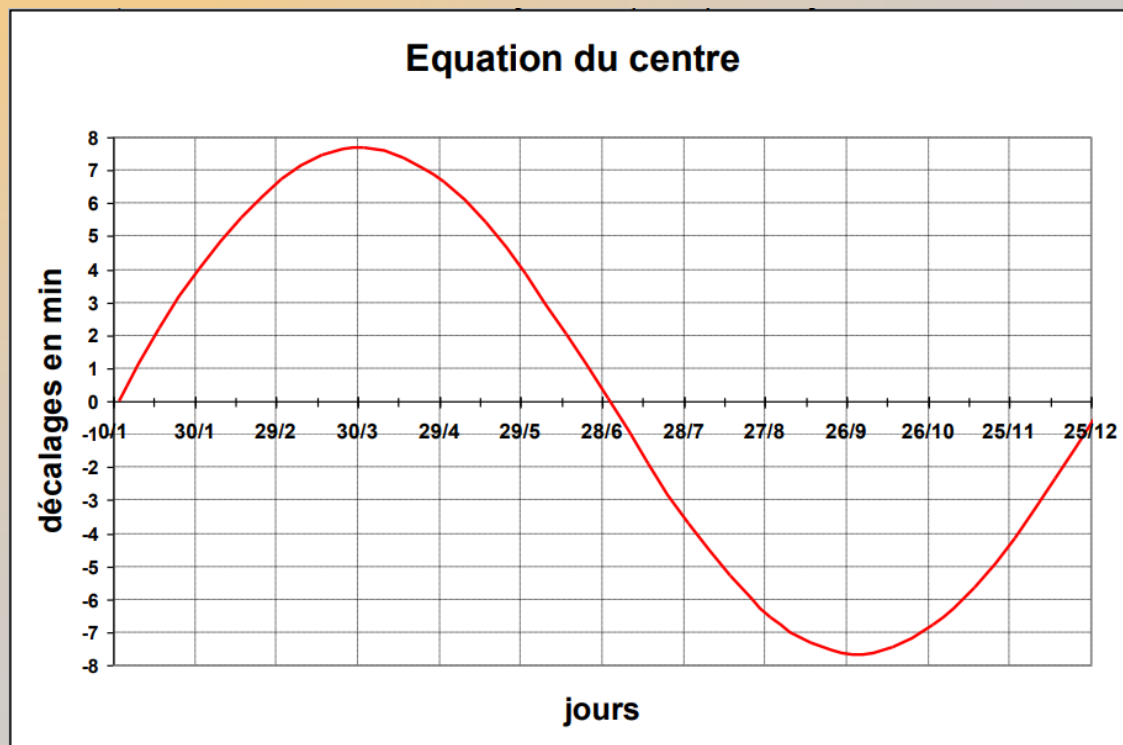


Comme nous sommes sur une ellipse et que la vitesse est variable la correction sera aussi variable selon la date.



LE TEMPS

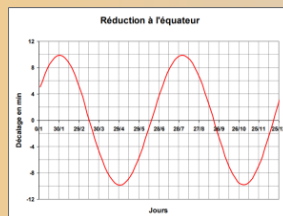
Équation du centre



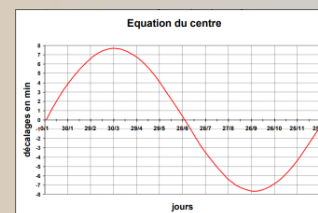


LE TEMPS

L'Équation du temps
est la somme de la
Réduction à
l'équateur et de
l'Équation du centre

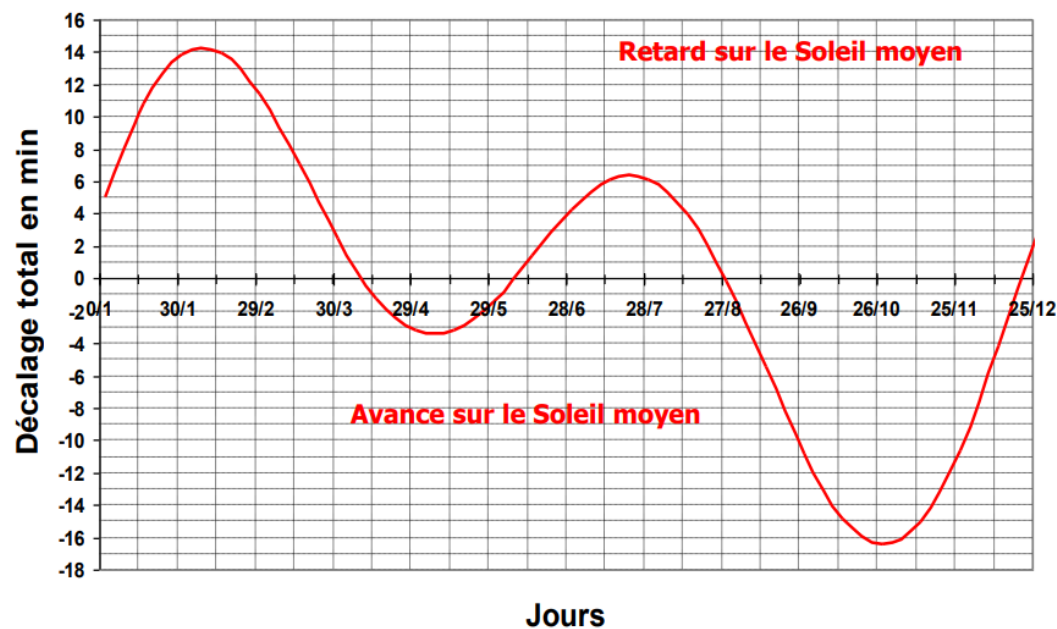


+



=

Equation du temps





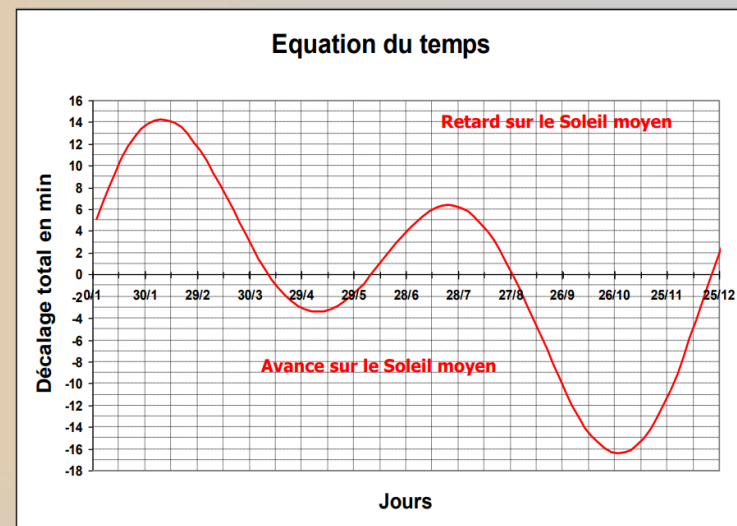
LE TEMPS

La courbe s'annule quatre fois par an :

- 15 avril
- 13 juin
- 1 septembre
- 25 décembre

Les valeurs extrêmes sont :

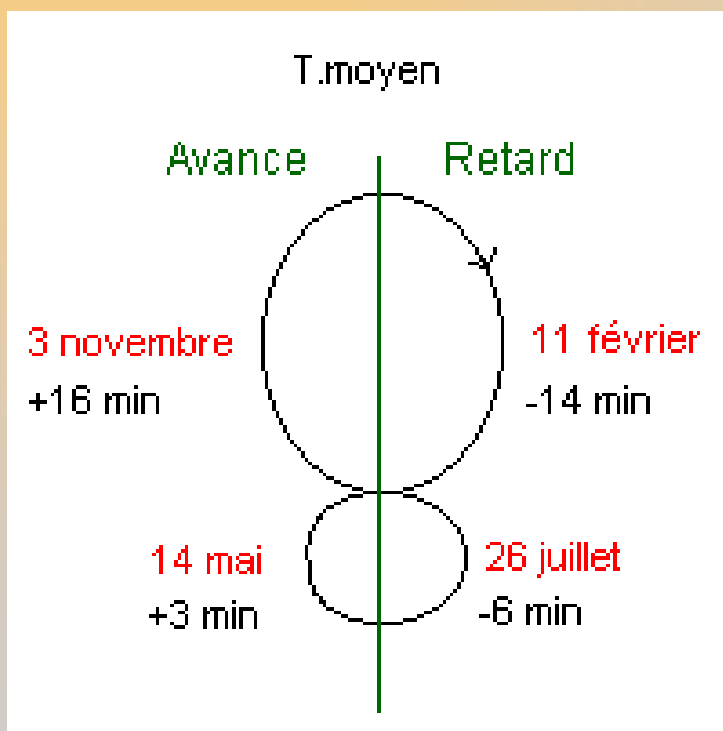
- +14 min 14 s le 11 février
- - 3 min 43 s le 14 mai
- + 6 min 31 s le 26 juillet
- - 16 min 26 s le 3 novembre



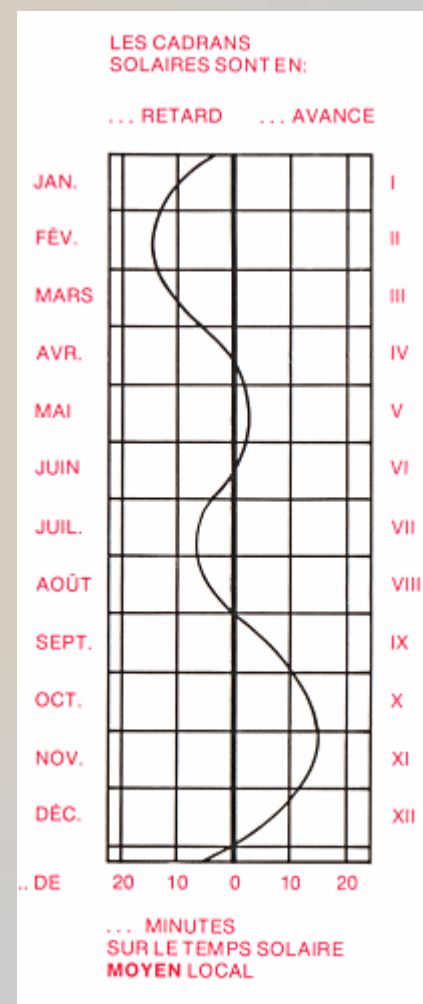


LE TEMPS

L'analème.



Le cadran solaire indique le temps solaire vrai.





LE TEMPS

L'analème.





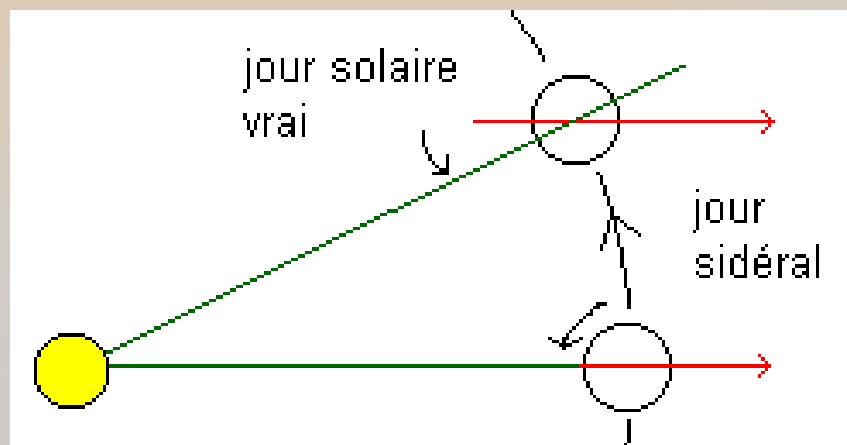
LE TEMPS

Encore plus...

Jour sidéral local et jour solaire vrai

Le jour sidéral est le passage successif d'une même étoile au méridien d'un lieu. Cette durée vaut 23h 56min. 4sec.

Le jour solaire vrai est le temps écoulé entre deux passages successifs du Soleil au méridien.





LE TEMPS

La durée du jour, le jour solaire vrai.

En moyenne, deux passages successifs du Soleil au méridien égalent une journée de 24 heures. Or la Terre fait un tour sur elle même en 23 h 56 min. 4 secondes. D'ou vient cette différence et comment en tenir compte?

La Terre parcourt 360° en 365.2422199 jours, donc 0.98564° / jour

Le Terre tourne de 15° / heure, ($360^\circ/24h$) en utilisant le rapport suivant nous obtenons:

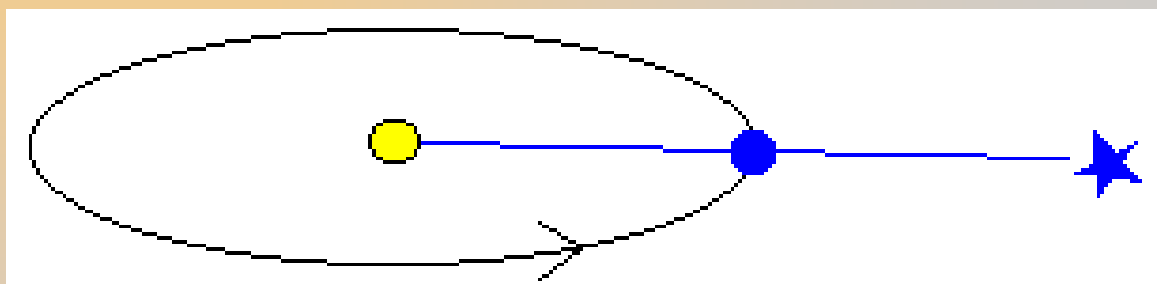
$$\frac{15 \text{ degrés}}{3600 \text{ secondes}} = \frac{0.98564 \text{ degrés}}{x}$$

où $x = 236$ secondes, soit 3 min. 56 sec. La Terre doit donc tourner de 3 min. 56 sec. de plus par jour pour que le Soleil revienne au méridien. C'est le jour solaire vrai.



LE TEMPS

Encore plus...
Année sidérale



L'année sidérale est donc définie comme étant la période de temps entre deux oppositions successives d'une étoile. C'est aussi exactement le temps de la révolution de la Terre autour du Soleil.



RÉFÉRENCES



Références

- <http://www.astrorimouski.net/membres/luc/astro/articles/terre/index.htm>
- <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/fuseaux-horaires-et-heure-legale>
- <http://horlogeatomiquesjp.e-monsite.com/pages/plan-du-tpe/principe-de-fonctionnement.html>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Temps_solaire
- https://irem.univ-lille1.fr/IMG/pdf/jour_solaire_vrai16.pdf
- <http://jean-paul.cornec.pagesperso-orange.fr/exemplescalcul.htm>
- <http://cadrans-solaires.scg.ulaval.ca/cadransolaire/p2v9no1.html>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_du_temps
- http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/outils_gno/eqt_complements.html
- <https://www.astrosaone.fr/spip/IMG/pdf/analemmev3.pdf>
- <http://astroaspach.fr/astroaspachV2/wp-content/uploads/2015/12/equation-du-temps.pdf>
- <http://www.astroclubmarsan.net/types%20de%20cadrans.htm>
- <http://tpegpshorlogeatomique.e-monsite.com/pages/l-horloge-atomique-un-element-meconnu-mais-utile/comment-fonctionne-t-elle-explications.html>
- <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/physique-fonctionne-horloge-atomique-7233/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_de_changement_de_date