Du cadran à la montre

Temps vrai et temps moyen

Le jour vrai, intervalle de temps compris entre deux passages consécutifs du soleil au méridien du lieu, est variable : entre 23h 58m 39s et 24h 00m 30s. Par rapport à une position moyenne, le Soleil passe donc au méridien soit en avance, soit en retard.

Pour que nos jours aient la même durée et donc que nos heures soient régulières, on a construit un soleil imaginaire qui reviendrait au méridien exactement au bout de 24 heures. C'est ce soleil fictif qui définira le Temps moyen.

L'équation du temps

C'est à un instant donné la différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai :

Temps moyen = Temps vrai + Équation du temps

L'équation du temps est la somme de deux effets. Le soleil se déplace sur l'écliptique, qui forme un angle de 23° 27' par rapport à l'équateur céleste. Or on mesure le passage du Soleil au méridien du lieu par rapport au plan équatorial terrestre, il faut donc projeter le soleil sur l'équateur céleste. Cette projection entraîne une première inégalité, la plus importante, dans le temps solaire.

Selon la première loi de Kepler, la terre décrit, autour du soleil, une ellipse dont le soleil est un des foyers. Selon la deuxième loi, le rayon vecteur qui lie la terre au soleil balaie des aires égales en des temps égaux. Quand la terre est plus proche du soleil, elle va plus vite que quand elle s'en éloigne. Si on considère que c'est le soleil qui tourne autour de la terre, la distance terre-soleil varie au cours de l'année et la vitesse du soleil n'est pas constante. Cette variation de vitesse entraîne la seconde inégalité dans le temps solaire.

Comme ces deux inégalités ont des amplitudes différentes et des périodes différentes, elles sont déphasées. Par conséquent, leur résultante n'est pas symétrique par rapport à la ligne zéro (figure 1). Elle présente un maximum de plus de 14 minutes début février et un minimum de -16 minutes début novembre ; elle a aussi un maximum et un minimum intermédiaires. Elle s'annule 4 fois par an : vers le 15 avril, le 15 juin, le 1er septembre et à Noël.

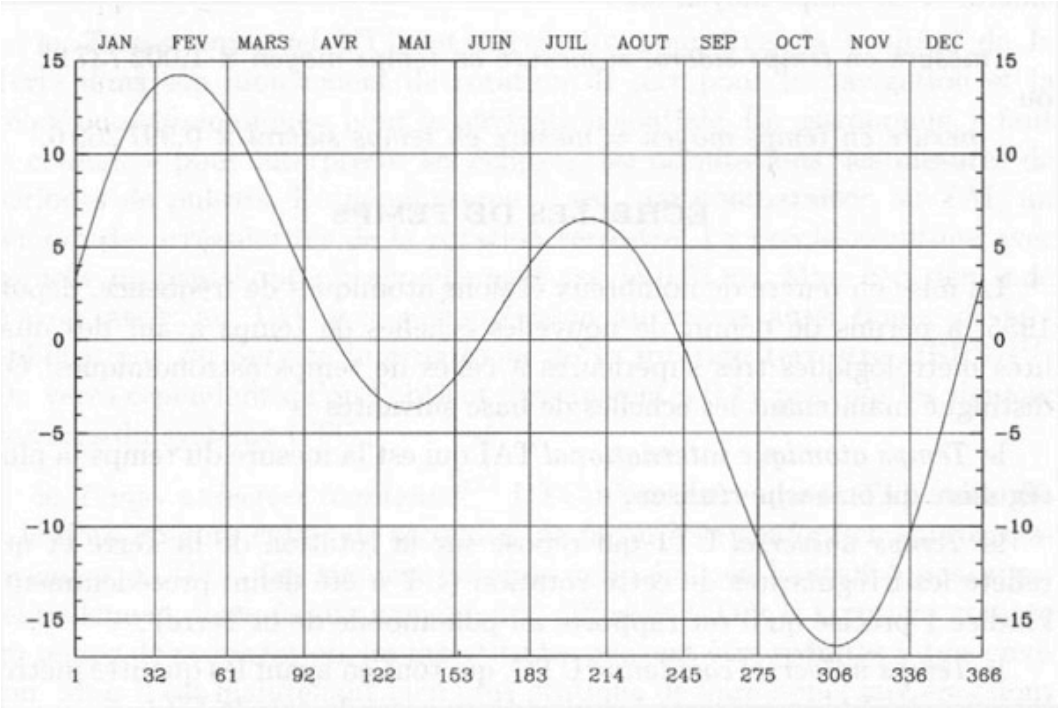

Fig. 1 [1]

[1] Extraite de http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/astronomie/Promenade/

Lorsque l'équation du temps est positive, cela signifie que le soleil passe au méridien après le soleil moyen. Par exemple, si le temps vrai est de 11h50 et que l'équation du temps est de 10', le temps moyen est de 12h, le soleil moyen est au méridien mais le soleil vrai n'y est pas encore. Au contraire, si l'équation du temps est négative, cela signifie que le soleil vrai passe au méridien avant le soleil moyen.

La variation de la durée du jour solaire au cours de l'année par rapport à 24 heures est donnée à la figure 2 (courbe verte, ordonnée de droite pour la durée du jour ; courbe bleue, ordonnée de gauche pour l'équation du temps). Lorsque l'équation du temps est croissante, le soleil vrai augmente son retard ou diminue son avance sur le soleil moyen. La durée du jour solaire vrai est donc supérieure à la durée du jour solaire moyen. Si elle décroissante, c'est l'inverse. Lorsque l'Equation du temps est à un extremum, le soleil n'augmente ni son retard ni son avance sur le soleil moyen, le jour solaire vrai dure donc 24 heures. C'est le cas, par exemple, du 1er novembre.

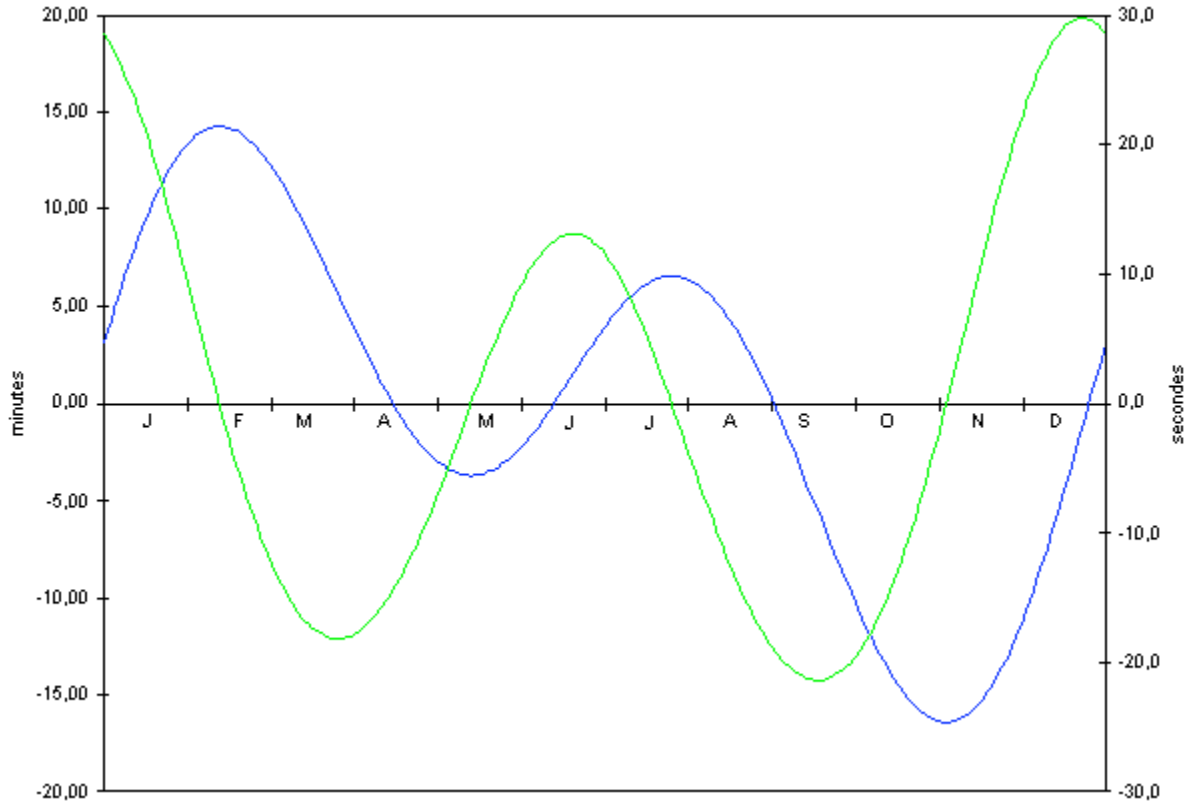

Fig. 2[2]

Premier effet

Considérons le mouvement du soleil sur la sphère céleste (que l'on prend de rayon 1) . Soit λ, l'angle que fait le soleil S avec le point vernal Γ dans le plan de l'écliptique et α son ascension droite c'est-à-dire l'angle que fait sa projection S' avec Γ dans le plan de l'équateur (figure 3). Si on mène t et t' les tangentes à l'écliptique et à l'équateur au point vernal, l'angle qu'elles forment entre elles est le même que celui de l'inclinaison de l'écliptique, c'est-à-dire ε.

Dans le triangle $T\Gamma P$:

$$|\Gamma P| = \tan\lambda$$

Tandis que dans le triangle $T\Gamma P'$:

$$|\Gamma P'| = \tan\alpha$$

Comme dans le triangle $P\Gamma P'$, rectangle également,

[2] Extraite de http://pagesperso-orange.fr/jean-paul.cornec/equation.htm

$$|\Gamma P'| = \cos\varepsilon |\Gamma P|$$

On a finalement :

$$\tan\alpha = \cos\varepsilon \tan\lambda \qquad (1)$$

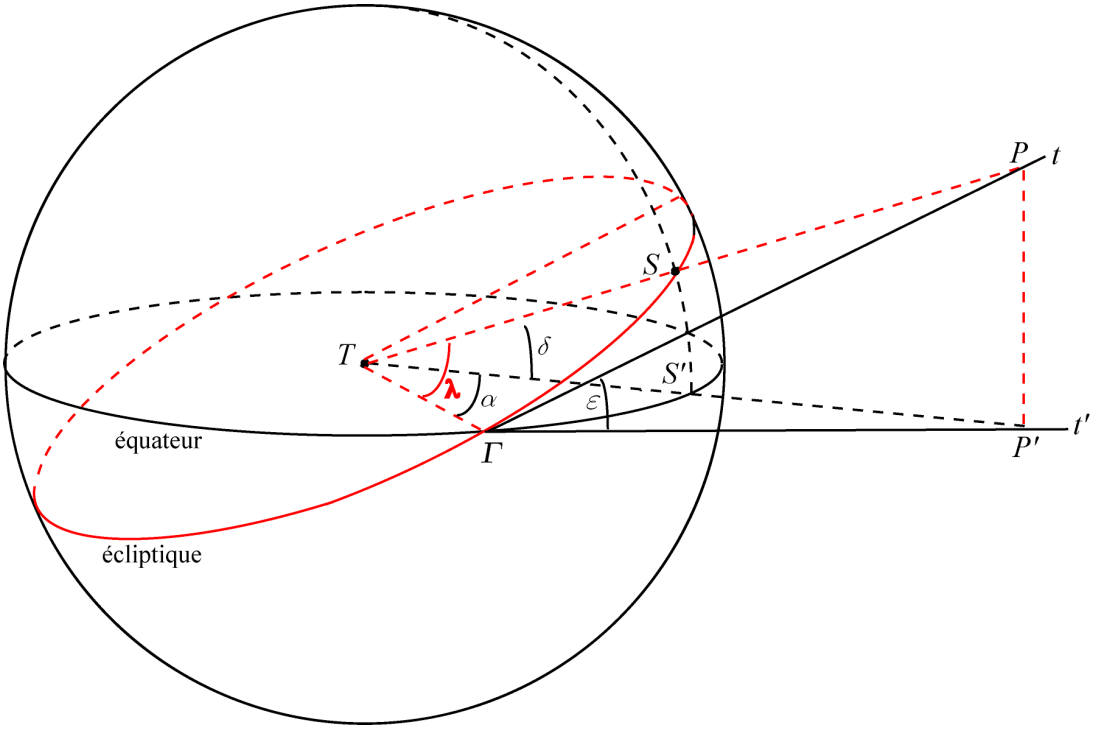

Fig. 3

En admettant, pour cette phase du raisonnement, que le soleil a une vitesse angulaire constante dans sa rotation apparente sur la sphère céleste, on a (t mesurant le temps en jours à partir de l'équinoxe de printemps[3]) :

$$\lambda = \frac{360°}{365,24} t \qquad (2)$$

Notre problème est ici de savoir comment varie α en fonction de t. A partir des expressions (1) et (2), on peut l'exprimer :

$$\alpha = \arctan(\cos\varepsilon \tan \frac{360°}{365,24} t)$$

où t varie de 0 à 91,31 , c'est-à-dire que λ varie entre 0° et 90°.
Pour les trois autres quarts du mouvement, on retrouve des situations symétriques.

Si α_m est l'ascension droite d'un soleil moyen dont la vitesse angulaire de la projection S' dans le plan de l'équateur est constante, on peut considérer que

$$\alpha_m = \frac{360°}{365,24} t$$

et que (en considérant toujours le même intervalle de temps)

$$\alpha - \alpha_m = \arctan(\cos\varepsilon \tan \frac{360°}{365,24} t) - \frac{360°}{365,24} t \qquad (3)$$

Entre les valeurs 0 et 91,31 :
- cet écart entre les ascensions droites du soleil et du soleil moyen est nul en 0 ;

[3] On considère l'année tropique, c'est-à-dire le temps qui sépare deux passages consécutifs du soleil au point vernal. Mais si celle-ci compte un peu plus de 365,24 jours, nous avons fait nos calculs avec cette approximation.

- comme on peut l'imaginer à partir de la figure 3, cet écart est également nul en 91,31 (λ vaut 90°), bien que la fonction de t n'est pas définie en cette valeur et qu'il faut passer à la limite à gauche (qui vaut 0) pour s'en convaincre ;
- le maximum est atteint quand t = 45,655 et il vaut 9,85 minutes[4].

En transposant ce quart de mouvement à la rotation complète, on obtient une courbe périodique d'une période de 182,62 jours (figure 4).

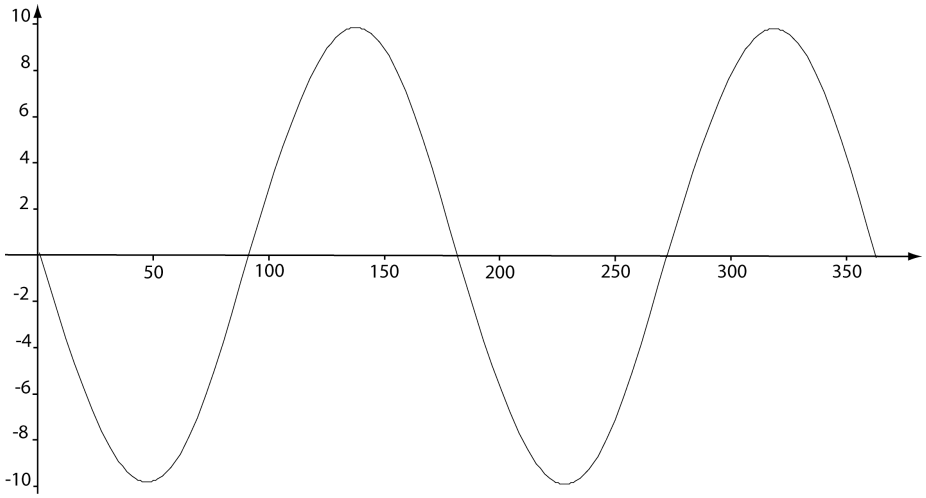

Fig. 4

Pour déterminer la vitesse de l'écart entre l'ascension droite α du soleil[5] et celle α_m d'un soleil moyen, il faut dériver l'expression (3), ce qui donne (k = 360°/365,24) :

$$\frac{d(\alpha-\alpha_m)}{dt}=\frac{k\cos\varepsilon(1+\tan^2 kt)}{1+\cos^2\varepsilon\tan^2 kt}-k \quad (4)$$

A la figure 5, on peut observer comment varie cette vitesse entre l'équinoxe de printemps et le solstice d'été. Elle est d'abord négative puis positive et augmente durant tout cet intervalle de temps. Entre le solstice d'été et l'équinoxe d'automne, elle sera par contre décroissante. Puis croissante… Et ainsi de suite…

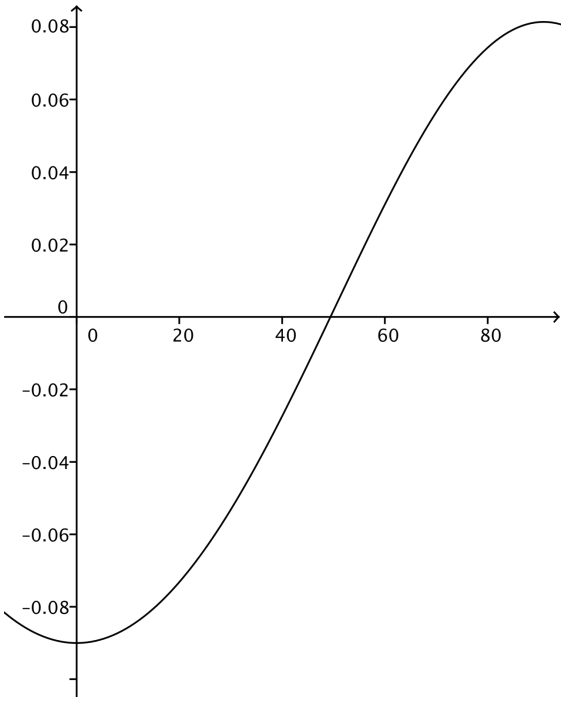

Fig. 5

Les fuseaux horaires

Le Temps Universel est défini à partir du méridien de Greenwich, c'est-à-dire qu'en Temps Universel (*TU*), il est midi partout sur Terre lorsque le soleil culmine sur le méridien de Greenwich. Afin d'obtenir des temps locaux, on a décidé de créer des fuseaux horaires, différents uniquement d'un nombre entier d'heures (figure 5).

Les fuseaux horaires sont définis de la manière suivante : comme une journée dure 24 heures, on divise la terre en 24 fuseaux dont la longitude diffère d'une heure, autrement dit d'un angle de 15°.

---

[4] Ce sont des minutes d'heures comme c'est le cas généralement pour la mesure des ascensions droites. La valeur utilisée pour l'inclinaison de l'écliptique est de 23 degrés 26 minutes 11 secondes.

[5] Il ne s'agit pas encore vraiment du soleil vrai mais d'un soleil dont la vitesse angulaire sur l'écliptique serait constante.

Le milieu de chaque fuseau impose l'heure pour celui-ci. Chaque pays se rattache ainsi au fuseau le mieux adapté et définit son heure légale ou standard comme

$$TU \pm N \quad (N \text{ est un nombre entier}).$$

Cela n'empêche pas certains pays d'ajouter une heure, ce qui est notre cas : +1 en hiver et +2 en été.

Les pays s'étalant sur plusieurs fuseaux horaires adaptent les fuseaux suivant leur territoire.

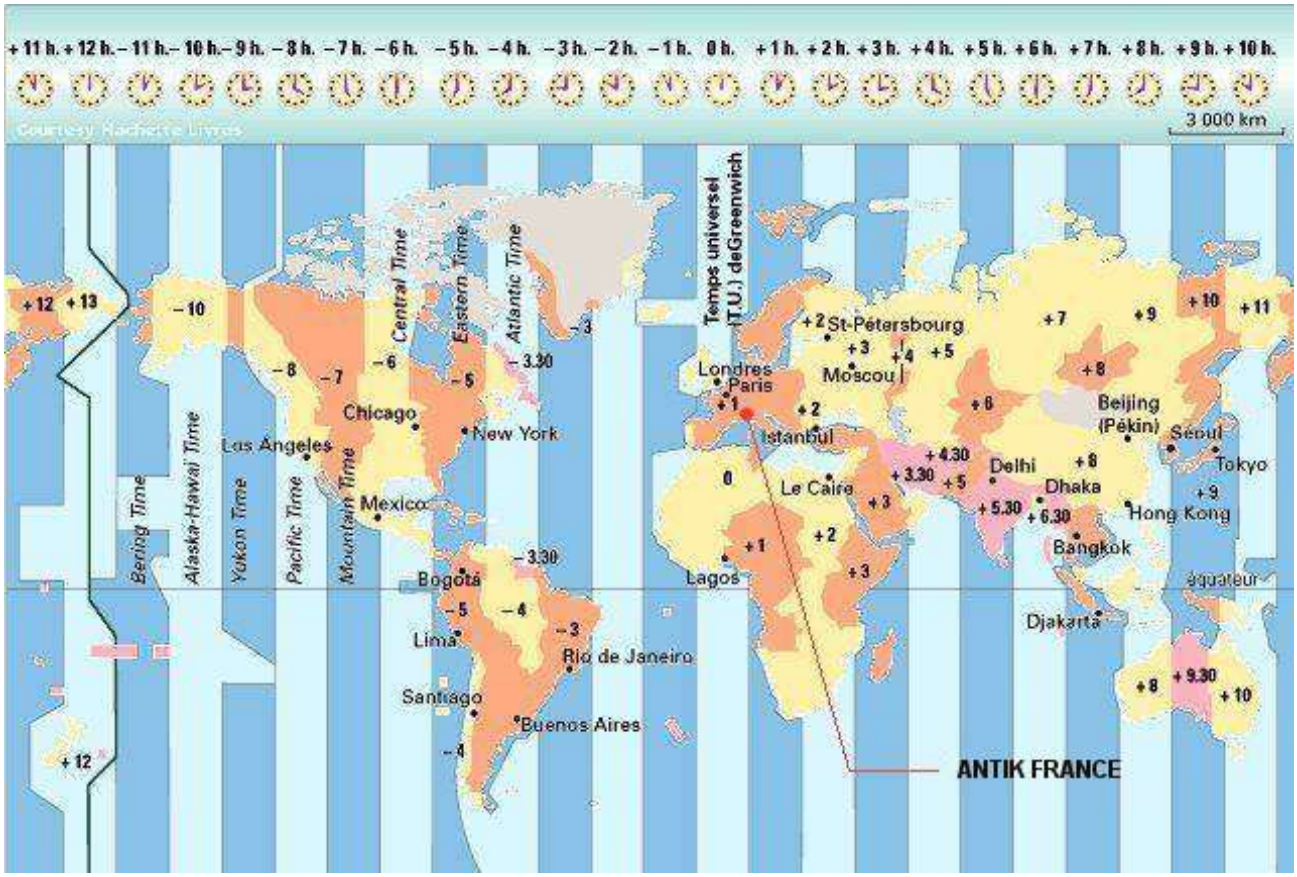

Fig. 5

En résumé, pour passer de l'heure indiquée par le cadran à l'heure légale de la montre, il y a plusieurs étapes :

1. Lire l'heure sur le cadran solaire et ajouter 12h pour avoir le temps solaire vrai.
2. Ajouter l'équation du temps. On obtient ainsi le temps solaire moyen local.
2. Tenir compte de la longitude du lieu. Pour Liège, alignée sur l'heure de Greenwich, il faut retirer à peu près 22 minutes du temps solaire moyen pour avoir le temps solaire moyen de Greenwich.
3. Ajouter une heure en période d'hiver et deux heures en période d'été pour obtenir l'heure de la montre.

Lignes de changement de date

Comme on l'a déjà souligné, le *Temps Universel* (TU) est défini à partir du temps moyen au méridien de Greenwich. Pour obtenir les temps locaux, il faut donc tenir compte des fuseaux horaires. Il existe grosso modo 24 fuseaux horaires (en fait 25 ou 26) dont la longitude diffère en moyenne d'une heure, c'est-à-dire de 15°.

Il existe une *ligne* (fixe) *de changement de date*. Quand à l'Est de cette ligne, il est 20h00 le 1 octobre ; à l'Ouest, il est 20h00 le 2 octobre.

Dans ce cas : à Bruxelles, on est le 2-10 et il est 9h00 ; à Moscou, on est le 2-10 et il est 11h00 ; à Djakarta, on est le 2-10 et il est 16h00 ; à Tokyo, on est le 2-10 et il est 18h00. A NewYork, on est le 2-10 et il est 3h00 ; à Los Angeles, on est le 1-10 et il est 24h00 ; en Alaska, on est le 1-10 et il est 22h00.

Il y a donc une deuxième ligne de changement de date, mais celle-là est mobile. Dans le cas précédent, à Los Angeles. Les deux lignes de changement de date correspondent quand il est 24h à la ligne de changement de date fixe.