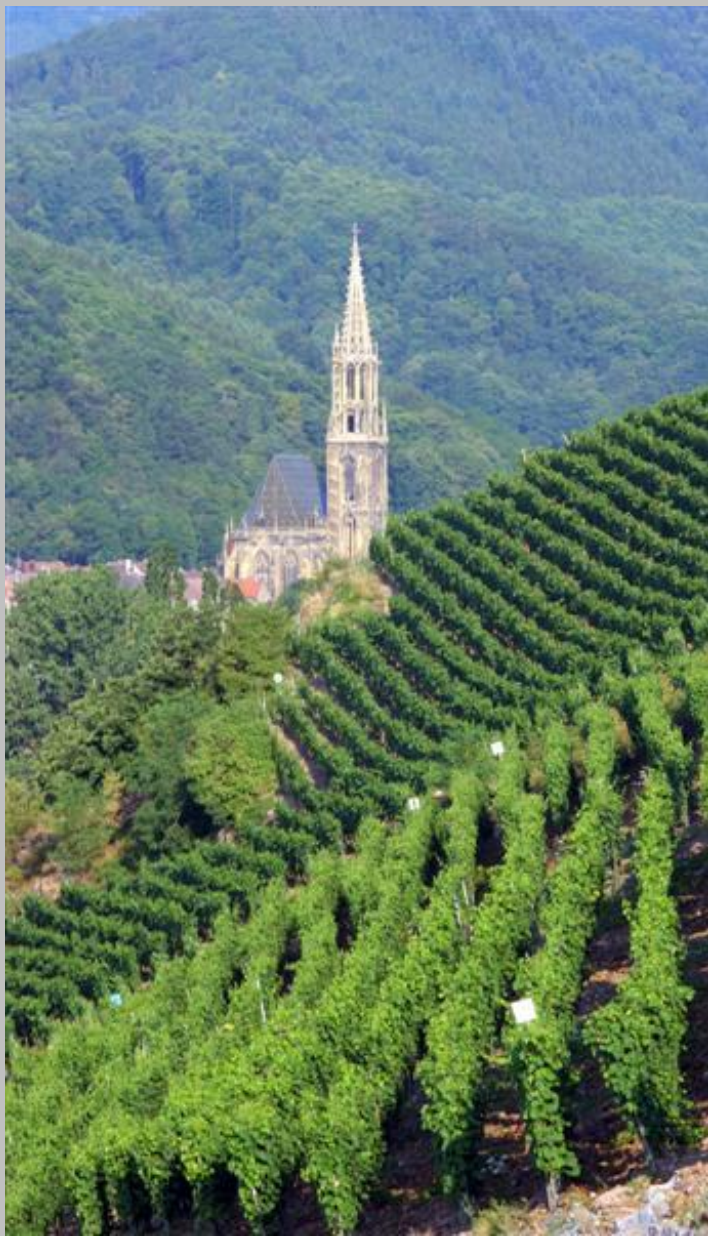


L'équation du temps



La vie était autrefois rythmée par les cloches du village ou de la ville





Les plus riches avaient une montre....

Les clochers furent ensuite équipés d'horloges



Qui avait une précision de l'ordre du $\frac{1}{4}$ heure par jour

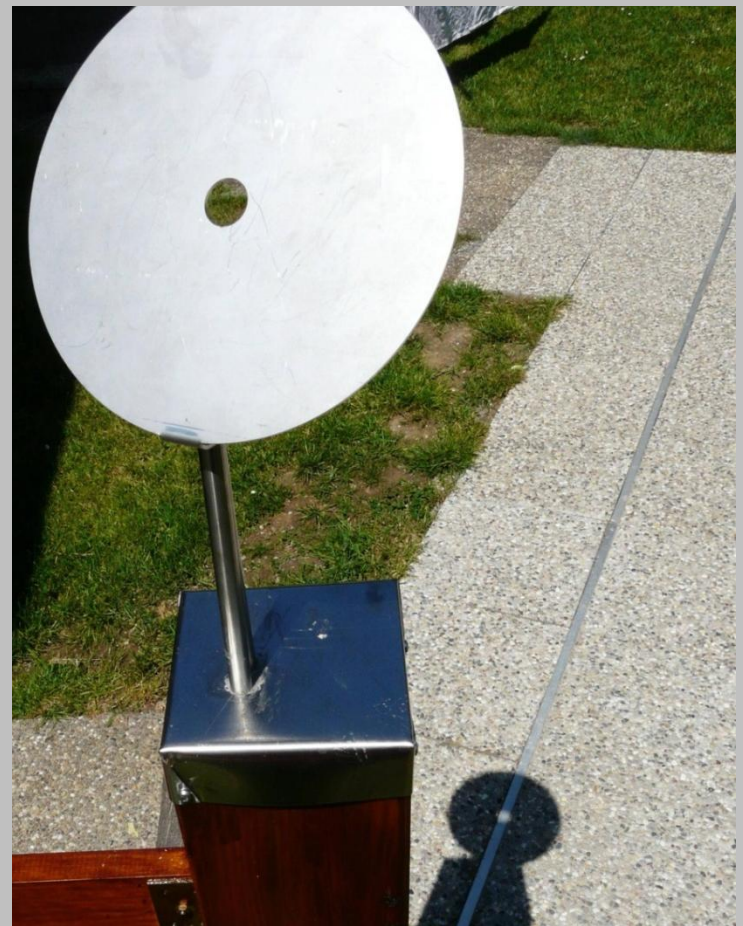
Il fallait donc souvent régler horloges et montres en utilisant une méridienne

Les méridiennes verticales



La méridienne de Riquewihr qui était utilisée

Les méridiennes horizontales



La méridienne d'Astroaspach construite par un original et totalement inutile...

Midi solaire vrai = Instant du passage du Soleil au méridien du lieu

Cette précision horaire s'est avérée insuffisante car :

1) Durée du jour entre deux passages du Soleil au méridien

20-21 mars → 23 h 59 min 42s

21-22 juin → 24 h 00 min 12s

22-23 sept → 23 h 59 min 36 s

21-22 décem → 24 h 00 min 30 s

2) Si on s'amuse à photographier

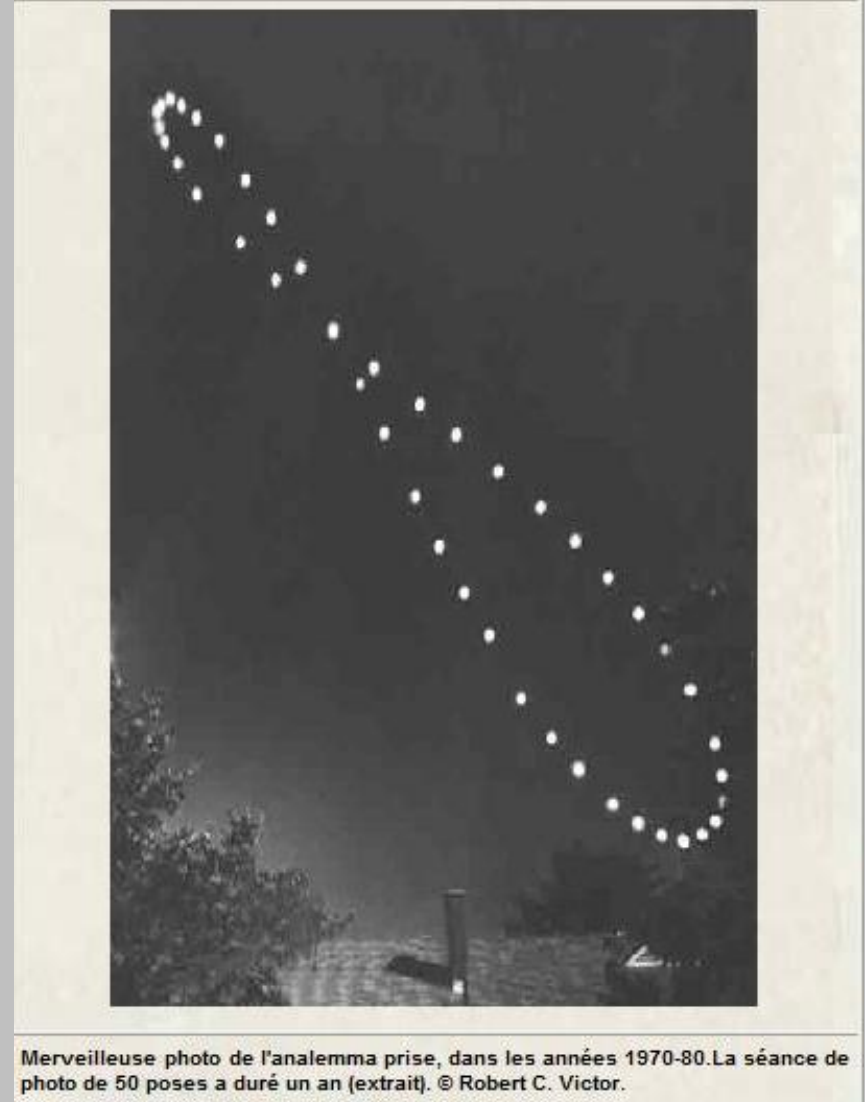
tous les jours de l'année, du même endroit
et à la même heure, le Soleil, voici ce qu'on obtient!

Le Soleil n'est pas tous les jours à la même heure
au même endroit dans le ciel!

En déclinaison (verticalement) on s'en doutait à
cause de l'inclinaison de l'axe de la Terre
provoquant les saisons.

Mais en ascension droite (horizontalement)?

Le mouvement du Soleil n'étant pas uniforme tout au
long de l'année, l'intervalle de temps entre deux
passages du Soleil au méridien fera **en moyenne 24h**

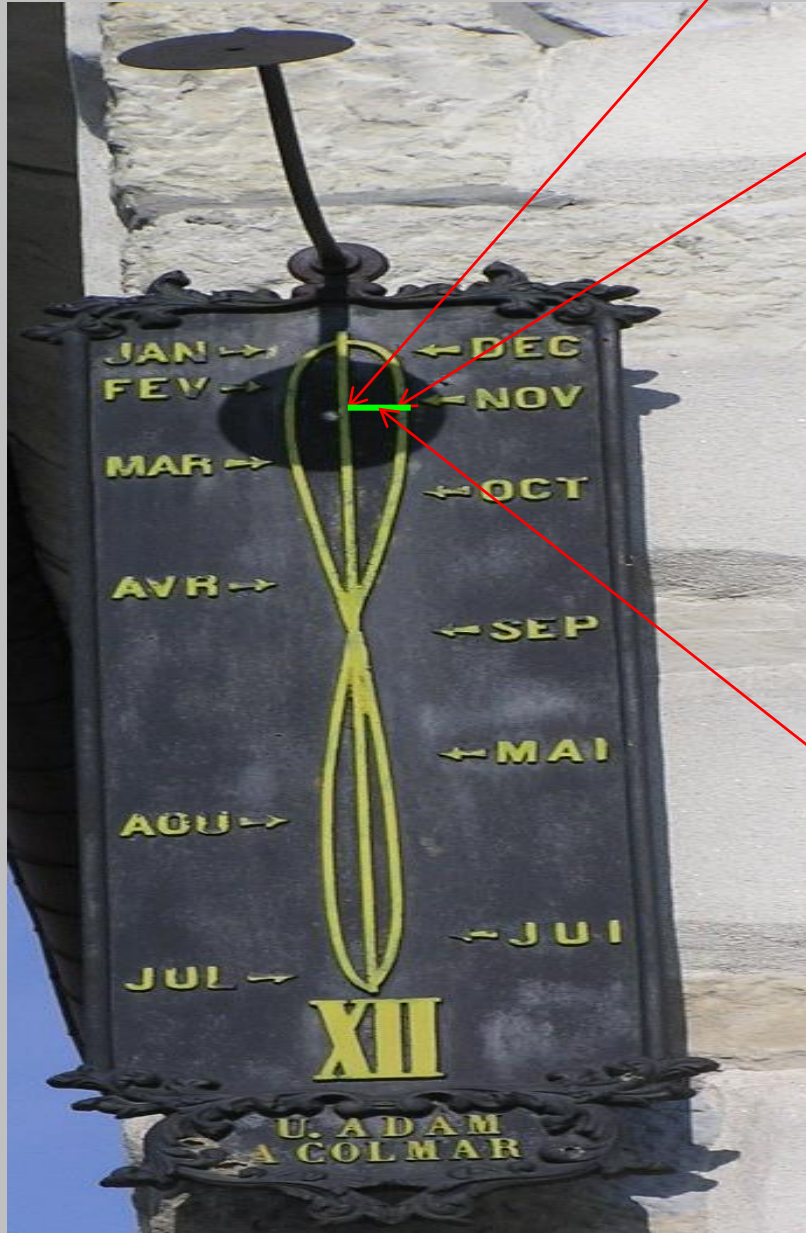


Merveilleuse photo de l'analemma prise, dans les années 1970-80. La séance de photo de 50 poses a duré un an (extrait). © Robert C. Victor.

Elles donnent :

le midi vrai

et le **midi moyen**



On peut donc imaginer le mouvement d'un Soleil fictif, appelé « **Soleil moyen** » qui parcourt l'écliptique en un mouvement régulier de 24h par jour alors que le « **Soleil vrai** » va plus ou moins vite

Certaines méridiennes permettent de visualiser cette différence de mouvements entre ces deux « Soleils »

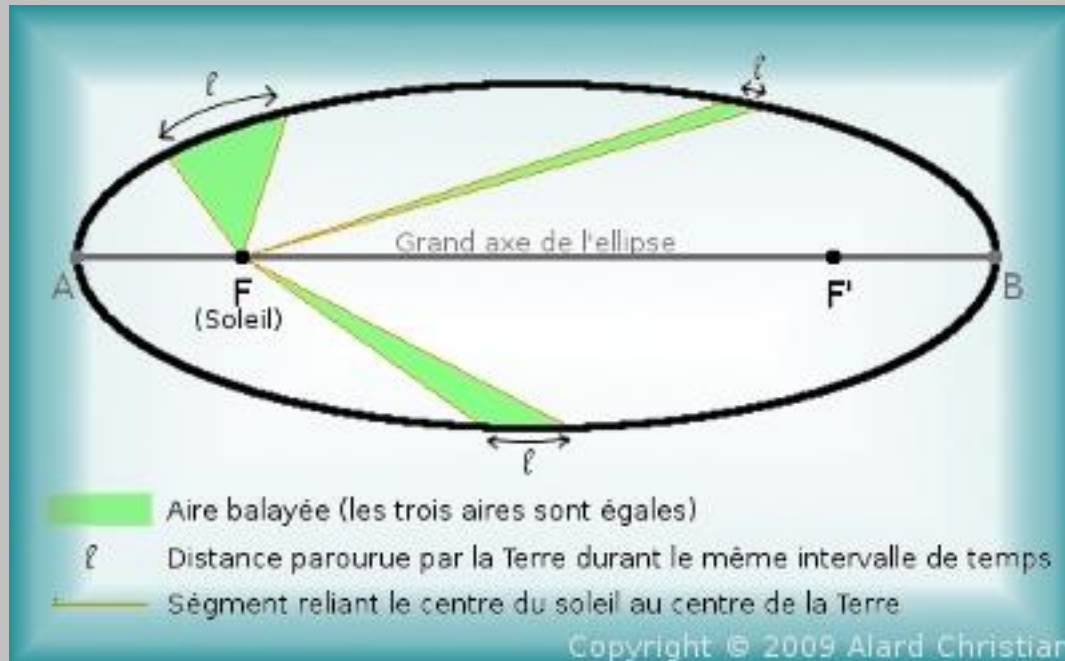
Cette différence entre midi vrai et midi moyen est appelée « **Equation du temps** »

Equation du temps = Soleil vrai – Soleil moyen

De quel(s) phénomène(s) astronomique(s) cette « équation du temps » résulte-t-elle?

1) L'équation du centre:

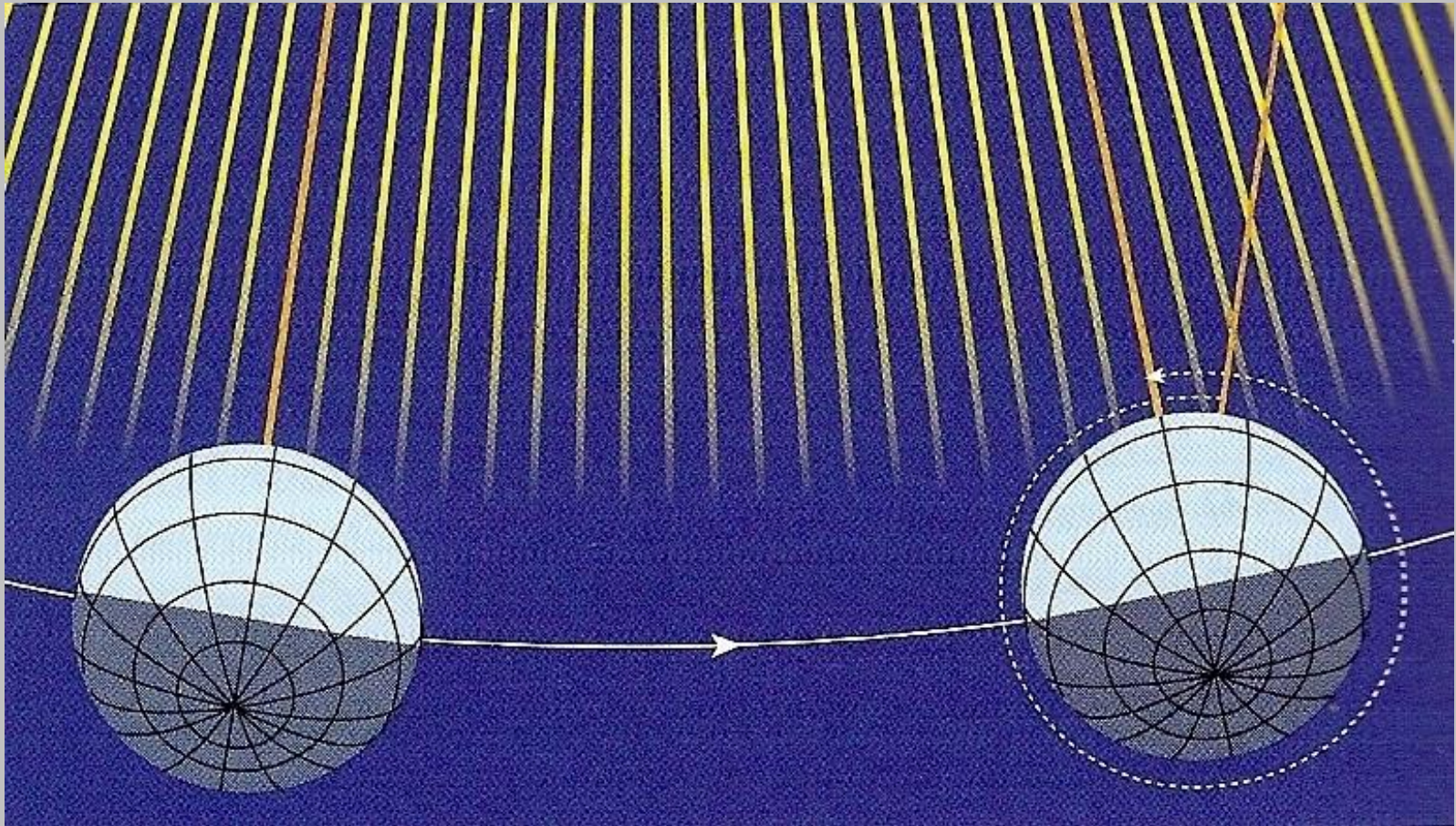
C'est une conséquence de la 2^{ème} loi de Képler appelée aussi « loi des aires »



Au périhélie la Terre va plus vite et à l'aphélie elle va plus lentement d'après ces relations:

$$V_{\text{périhélie}} = V_{\text{moyenne}} \times \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \quad \text{et} \quad V_{\text{apogée}} = V_{\text{moyenne}} \times \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

En quoi cette variation de vitesse de la Terre sur son orbite a-t-elle une incidence sur la durée d'une journée?



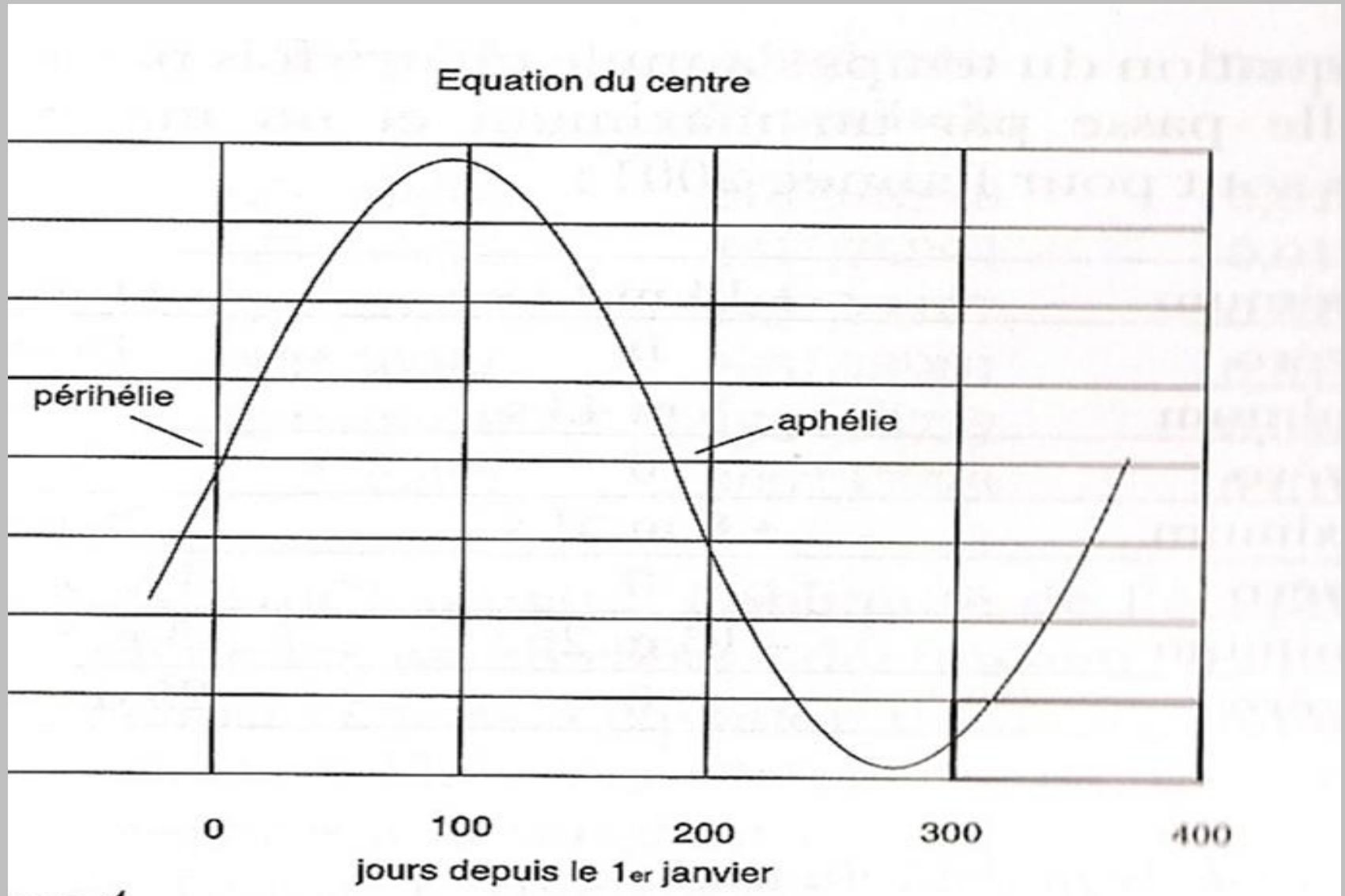
Plus la Terre va vite autour du Soleil, plus l'intervalle entre deux passages du Soleil au méridien augmente

Vu depuis la Terre le Soleil ne se promène donc pas de manière uniforme sur l'écliptique

Il parcourt sur l'écliptique 360° en 365,256... jours soit **en moyenne $0,985\ 645\ 83^\circ$ par jour avec** une vitesse journalière maxi de $1,02^\circ$ vers le 2 janvier au moment du périhélie et de seulement $0,952^\circ$ début juillet au moment de l'aphélie

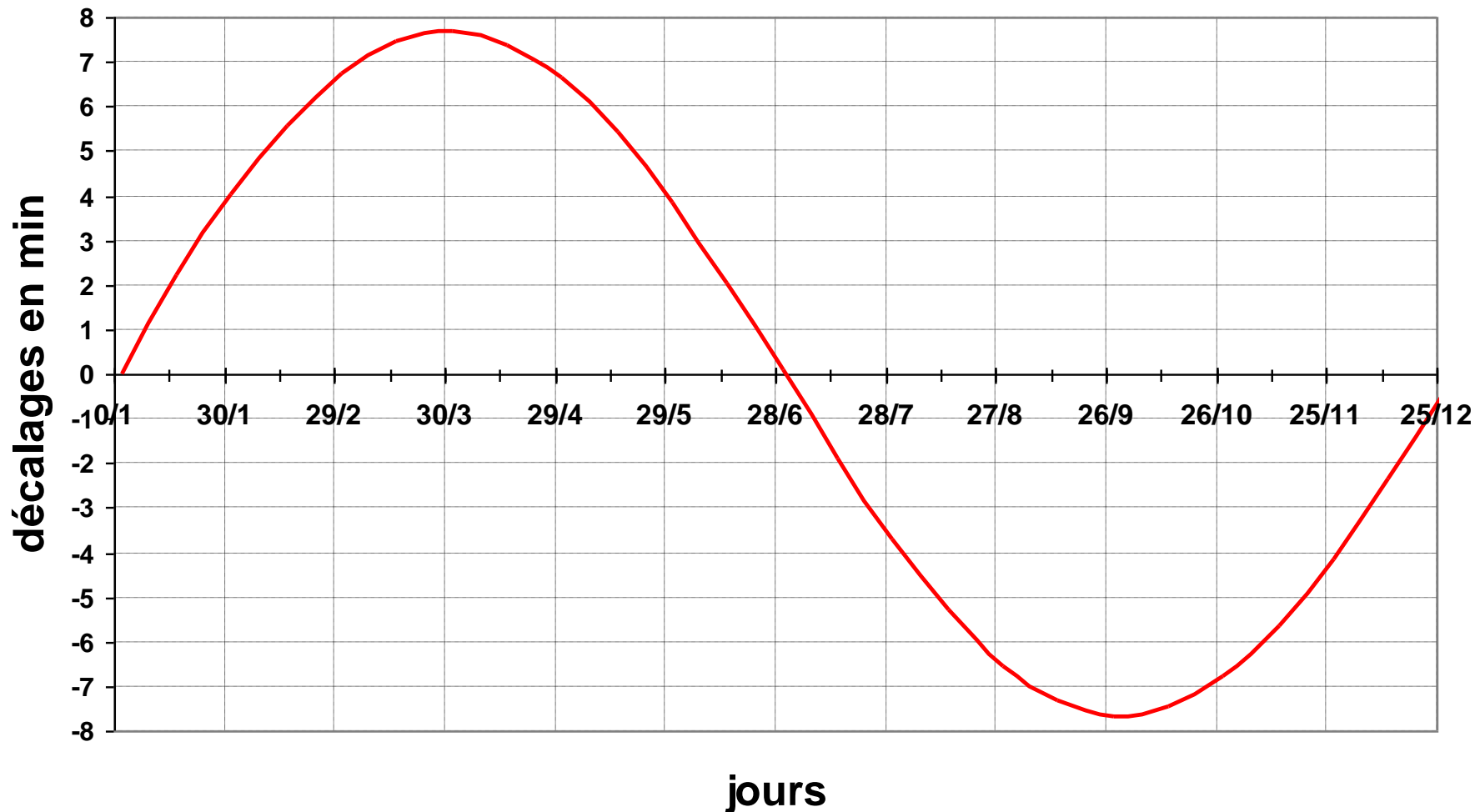
Ces différences journalières, appelées « **équation du centre** », s'accumulent et donnent des avances ou des retards de la position du Soleil par rapport à la moyenne.

Ce phénomène périodique se traduit sensiblement par une sinusoïde



L'équation de cette courbe (décalage en minutes) est: **$C = 7,667 \sin Nt$**
où $N = 0,985\ 645\ 83$ et t est le nombre de jours compté depuis le 2 janvier

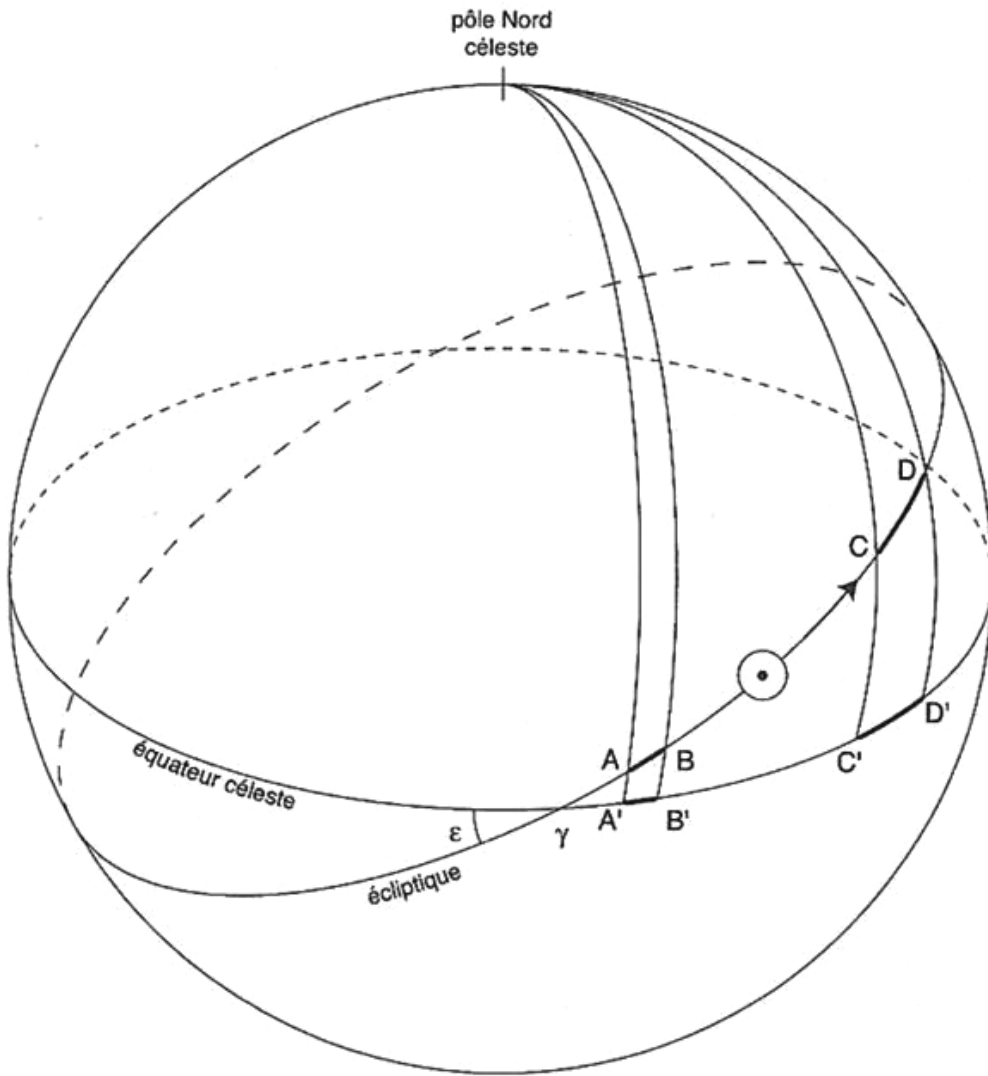
Equation du centre



Elle s'annule deux fois par an et ses valeurs sont comprises entre $-7\text{min}40\text{s} = -7,66\text{min}$ et $+7\text{min}40\text{s} = 7,66\text{min}$

2) La réduction à l'équateur:

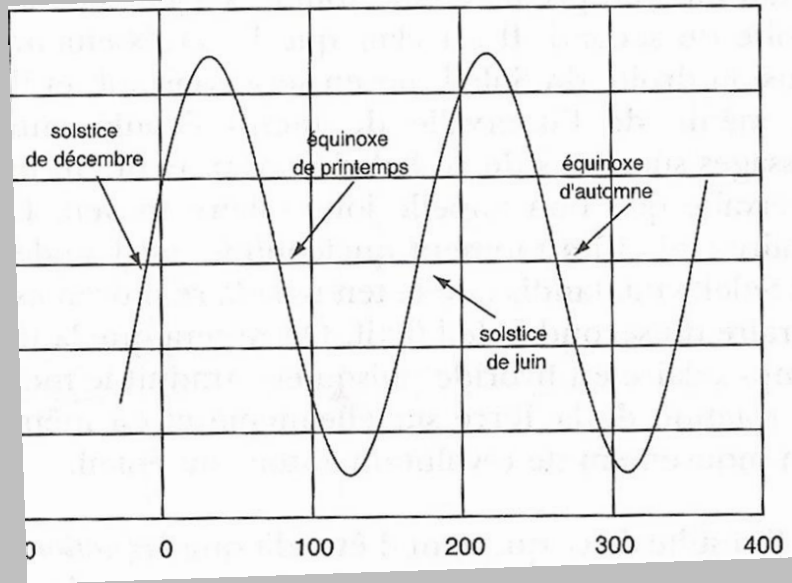
Elle est due au fait que le Soleil parcourt l'écliptique et non l'équateur



Chaque variation journalière en longitude sur l'écliptique donne lieu à une autre variation sur l'équateur en ascension droite

La réduction à l'équateur sera la différence entre l'ascension droite équatoriale (A'B' sur la figure) et la longitude du Soleil sur l'écliptique (AB sur la figure)

L'équation de cette réduction à l'équateur est : $R = -9,867 \sin 2l$ (R décalage en min)
 l étant la longitude du Soleil comptée à partir du 2 janvier, jour de passage au périhélie.
 La courbe ressemble à cela:



Mais par ailleurs la longitude au 2 janvier varie :
 * de 50" par an par le phénomène de précession des équinoxes
 * de 11" par an par le mouvement propre du périhélie

La longitude l de la formule précédente sera donc calculée par l'expression:

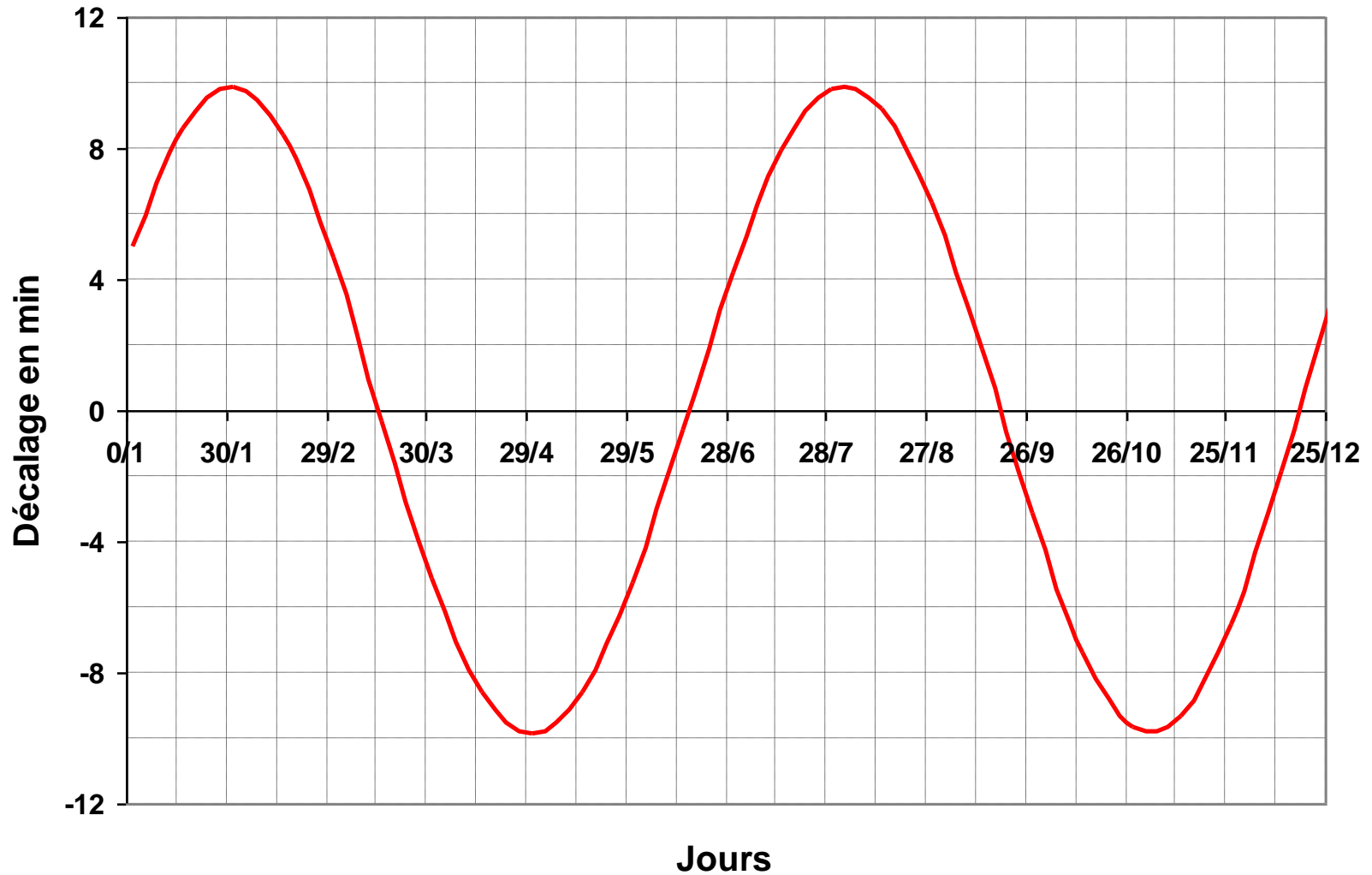
$$l = l_a + Nt + 7,667 \sin Nt \quad l \text{ sera alors en degrés}$$

Avec $N = 0,985\ 645\ 83$ (comme précédemment) t nombre de jours à partir du 2 janvier

l_a (longitude au 2 janvier de l'année)= 283,14° en 2012

La valeur de la réduction à l'équateur pour une année dépend de la longitude le 2 janvier de l'année en cours, donc l'équation du temps change (un peu) d'une année à l'autre

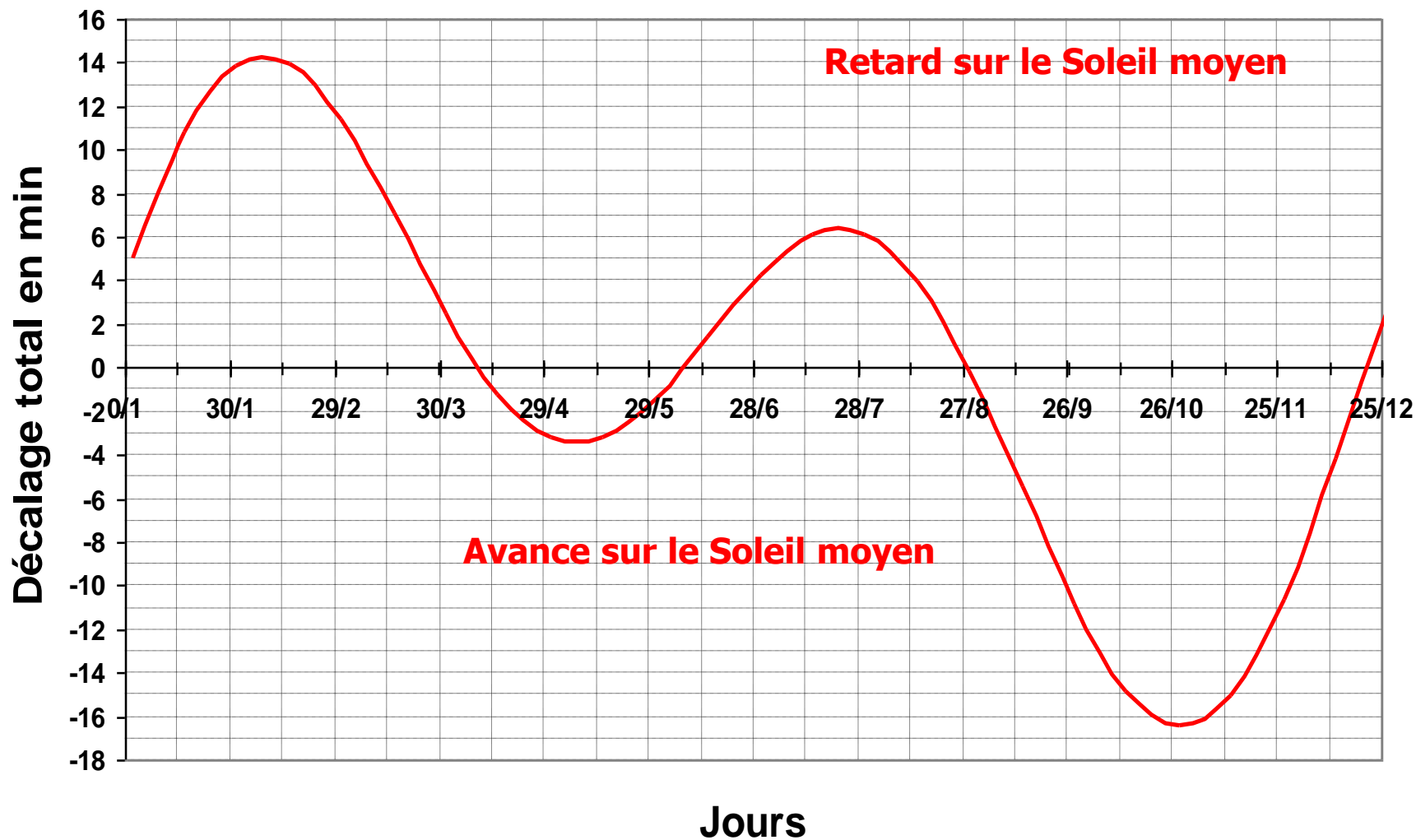
Réduction à l'équateur



Elle s'annule 4 fois, aux solstices et aux équinoxes Ses valeurs varient entre -9min52s et + 9min52s

Equation du temps = équation du centre + réduction à l'équateur

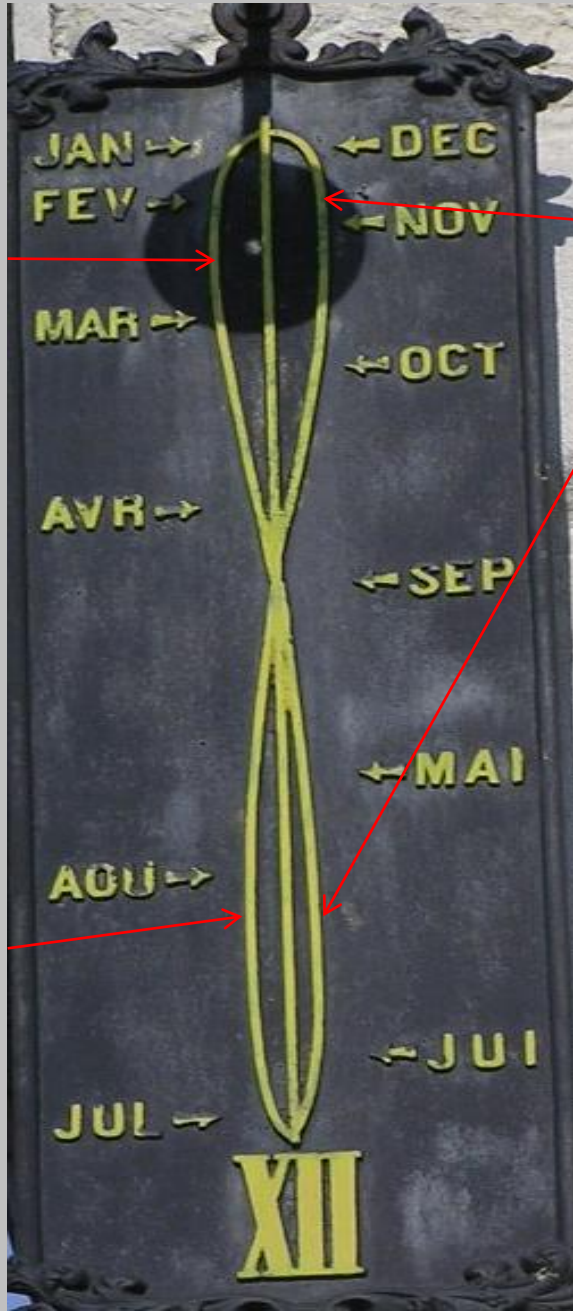
Equation du temps



L'équation du temps s'annule 4 fois et a 4 extremum

Retard sur le
Soleil moyen

Avance sur le
Soleil moyen

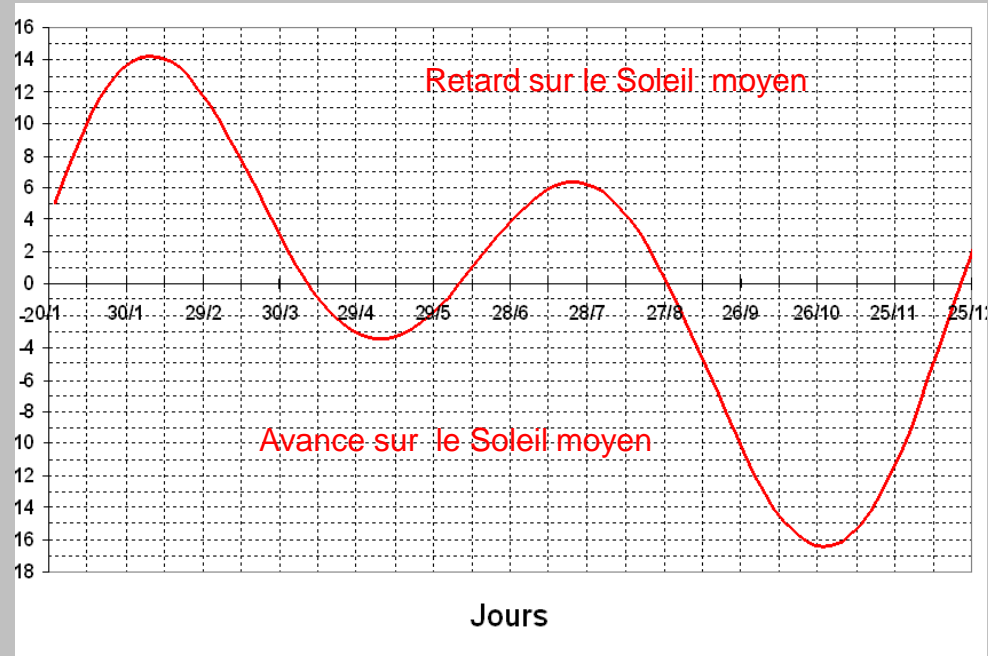


11 fév : 14min 22s

4 nov : 16min 23s

15 mai : 3min 47s

27 juil : 6min 23s



Ces deux composantes de
« l'équation du temps »
apparaissent dans le système de
correction dit des « équations solaires »
de l'horloge astronomique
de la Cathédrale de Strasbourg

Disque ayant le « profil » de la
réduction à l'équateur

Disque ayant le profil de
l'équation du centre

Mécanisme les « associant »

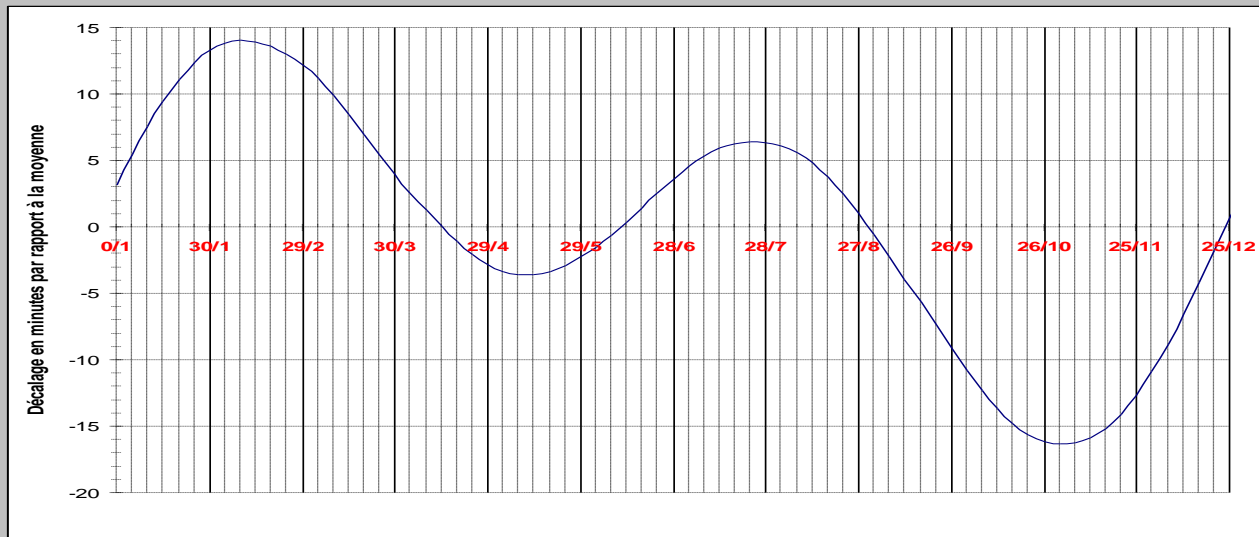


Equations
solaires

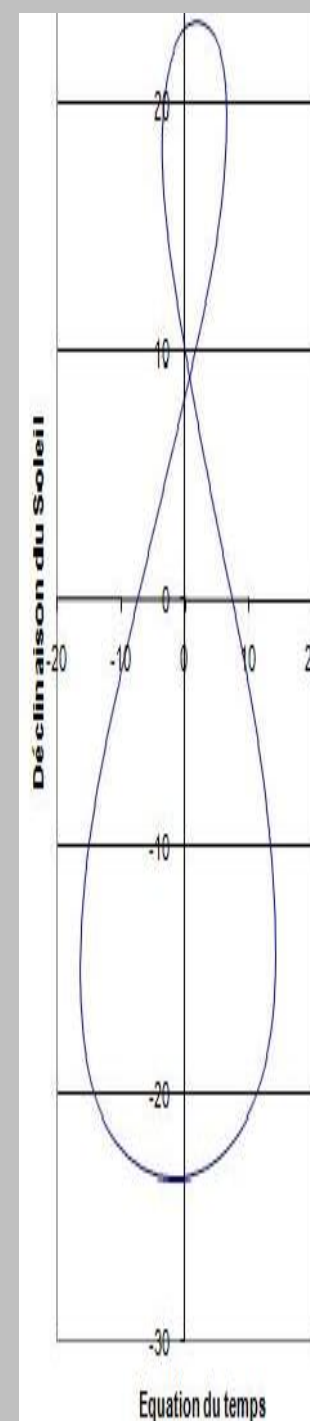
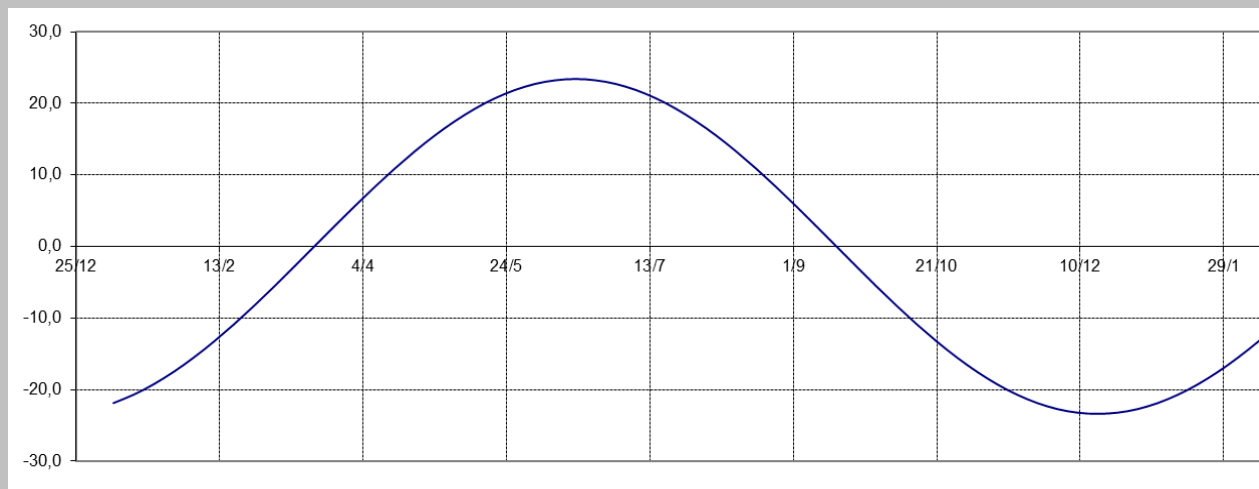
Equations
lunaires

Equation de la
ligne des noeuds

Si on combine la courbe « équation du temps »



avec la courbe de la déclinaison du Soleil



On retrouve l'analeme **tracé par le Soleil dans le ciel**, à condition d'utiliser sur les axes des échelles cohérentes!

Abscisses : durées en minutes Ordonnées : angles en degrés

24h → 360° donc 1h → 15° donc 1° → 4min donc 1 min → 15' et ici **20min → 300' = 5°**

Correction de toutes les heures par l'ajout d'équations du temps



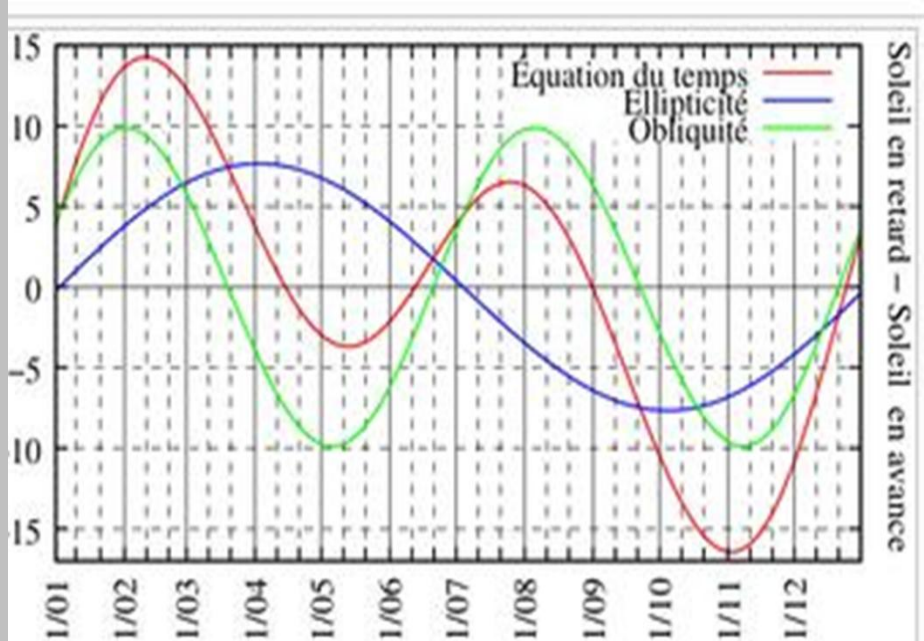




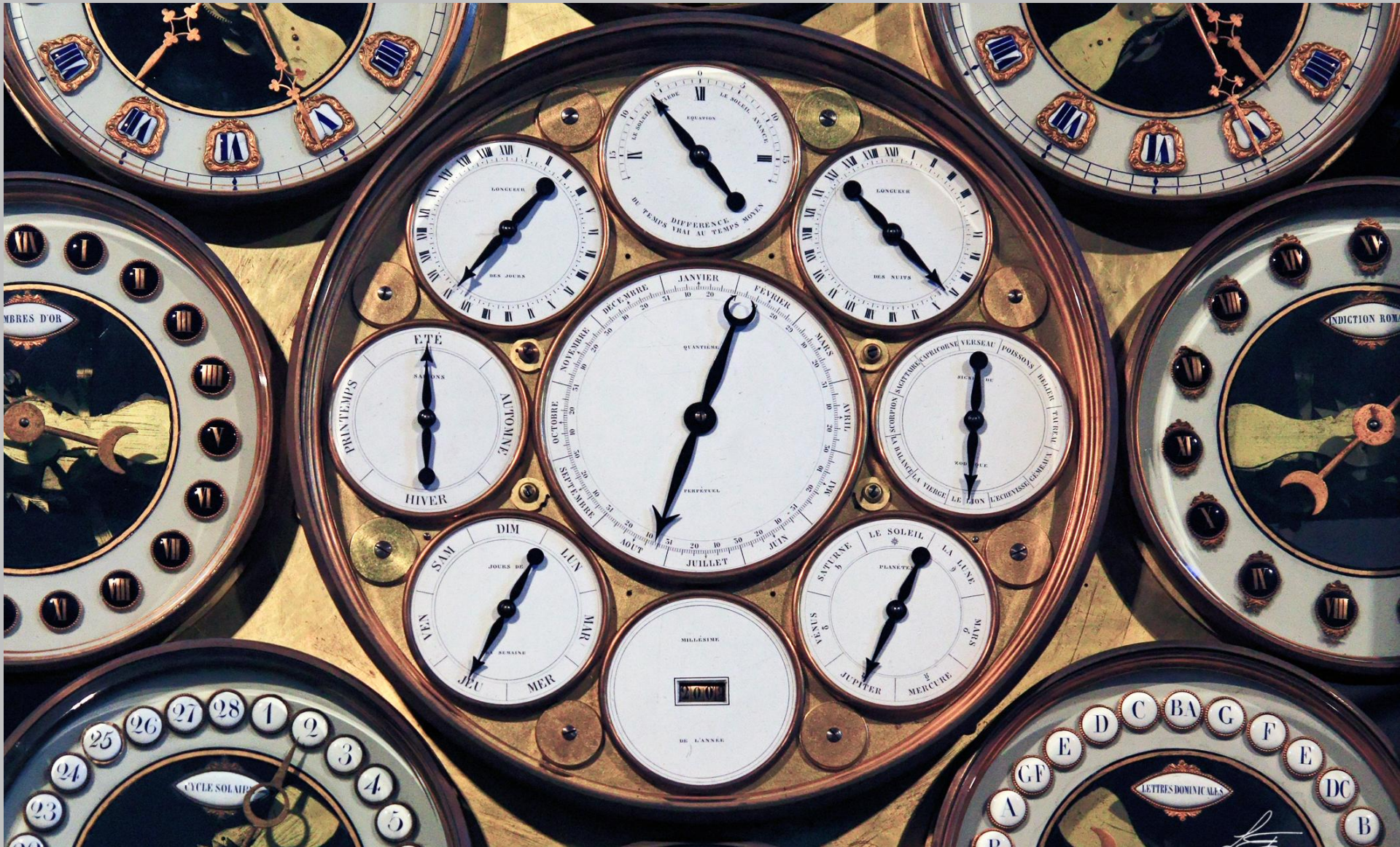
Blancpain rejoint une fois de plus les hautes sphères de la complication horlogère en créant L'Equation Marchante. Cela signifie que le cadran est doté de deux aiguilles des minutes coaxiales dont l'une indique le temps solaire moyen (celui des horloges) et l'autre le temps solaire vrai (celui des cadrans solaires). L'utilisateur visualise d'un seul coup d'œil l'écart entre le rythme de la nature et celui adopté par nos sociétés, lequel peut atteindre 16 minutes à certains moments de l'année.

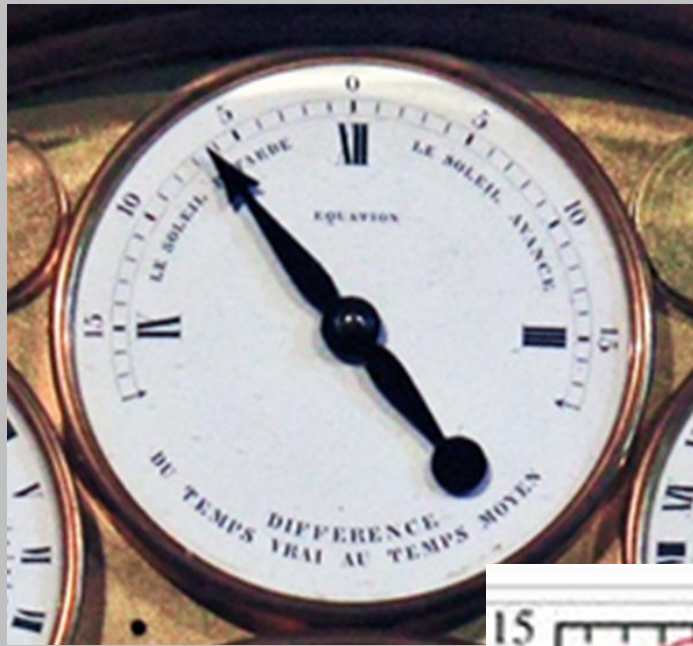


J'ai raté ma vie: j'ai 77 ans et ma Rolex n'a pas l'équation du temps!...



Quelques cadrans de l'horloge astronomique de Besançon





La photo a été prise le 6 août ; d'après elle, le Soleil retarde de 6min20s environ. Est-ce vrai?

