



AAP – Astro Pratique

L'équation du temps

Historique - pourquoi l'heure ?

Antiquité

- besoin de connaître l'heure « exacte » pour les observations astronomiques
- Ptolémée est déjà conscient que le temps n'est pas uniforme (Almageste - II^e siècle)
- apparition d'outils de mesure du temps (cadrans solaires, horloges hydrauliques, clepsydes, sablier, ...)



Historique - pourquoi l'heure ?

Moyen-Âge

- besoin de connaître l'heure surtout pour des raisons religieuses (prières)
- pas de nécessité d'une précision extrême
- Les outils de mesure du temps deviennent plus rudimentaires



Historique - pourquoi l'heure ?

Renaissance

- à nouveau besoin de connaître l'heure avec une grande précision
- les outils de mesure deviennent de plus en plus précis : apparition du style polaire
- besoin de connaître l'heure aussi de nuit \Rightarrow nocturlabe



Cathédrale de Strasbourg - 1493



Nocturlabe - XVI^e siècle

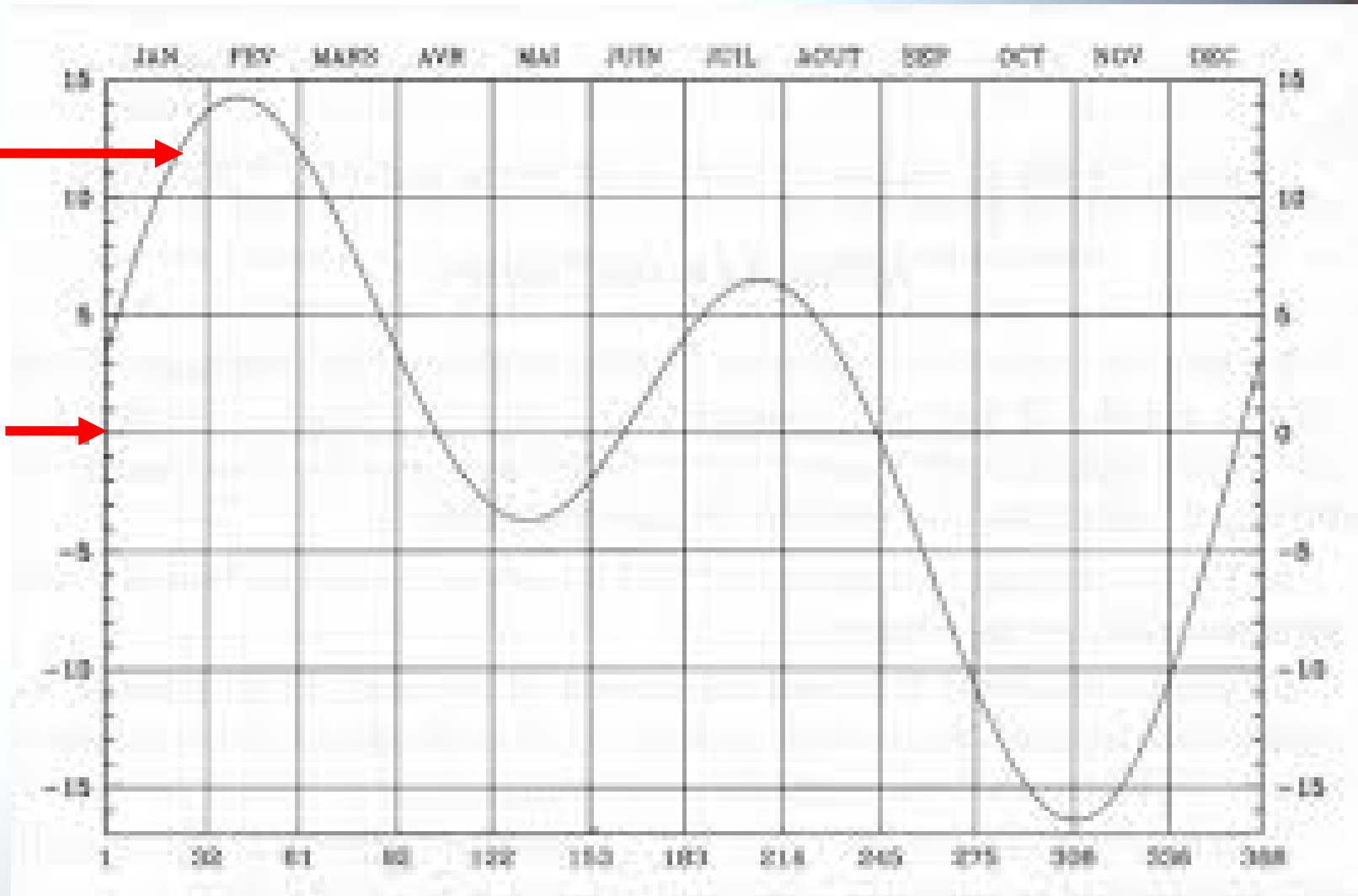
Historique

- on s'aperçoit à nouveau que le TSV n'est pas uniforme (~XVII^e siècle)
- néanmoins régularité annuelle (« remise à zéro » de la différence)
- mise en place d'un TSM (Temps Solaire Moyen)
- 1 jour ↔ 24 heures
 - 1 heure ↔ 60 minutes
 - 1 minute ↔ 60 secondes
- 1 heure ↔ 3600 secondes
- 1 jour ↔ 86400 secondes

Historique

Temps vrai →

Temps moyen →



Historique - pourquoi ce temps moyen ?

- nécessité d'« automatiser » le temps, de le « mécaniser »
 - naissance de l'horloge
 - mouvement mécanique \Rightarrow demande de la régularité
 - plus tard, arrivée du train

Définition de l'ÉdT

- L'équation du temps (ÉdT) marque la différence entre le TSV et le TSM
- Le TSV est le temps tel que rapporté par l'observation du Soleil. Les cadrans solaires, les quadrants, les astrolabes, ... mesurent du TSV (en fait, ils indiquent l'angle horaire du Soleil, ce qui correspond à du TSV)

Définition

- le TSM est l'idéalisation du mouvement (apparent) du Soleil autour de la Terre
- on imagine donc un Soleil fictif que l'on fait « tourner » de manière uniforme autour de la Terre sur l'équateur selon une trajectoire circulaire
- chaque jour moyen va donc faire exactement 24 heures
- le terme « équation » n'est donc pas à prendre dans le sens commun où l'on cherche à déterminer la valeur d'une (ou plusieurs) inconnue(s)
- il faut le prendre dans son sens premier : « terme que l'on ajoute à une grandeur moyenne pour trouver sa valeur vraie »

$$\mathbf{TSM = TSV + \acute{E}dT [+ fuseau horaire]}$$

TSV : Temps Solaire Vrai (à Greenwich)

TSM : Temps Solaire Moyen (à Greenwich)

ÉdT : Équation du Temps

Définitions

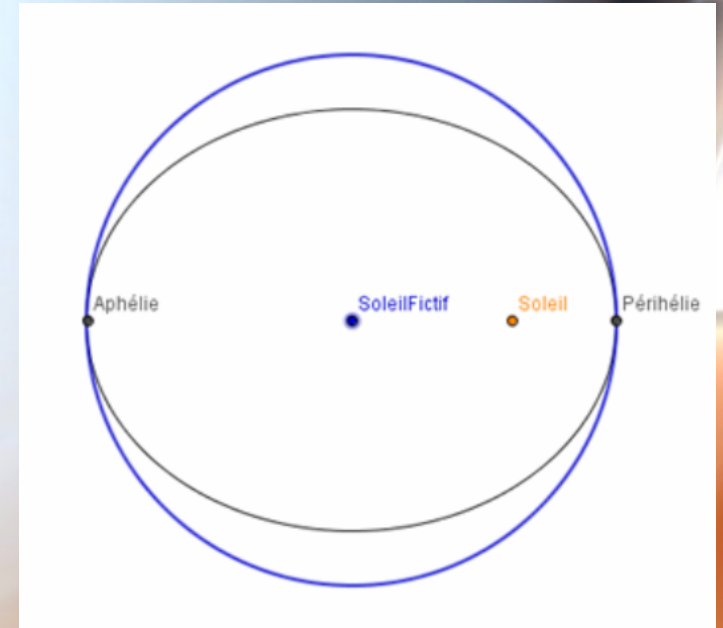
TSV = angle horaire (à Greenwich) du centre du Soleil (vrai)

TSM = angle horaire (à Greenwich) d'un Soleil Moyen qui se déplacerait à hauteur de l'équateur sur un cercle

L'angle horaire (H) est l'angle qui sépare un astre à un moment donné par rapport à son passage au méridien local considéré

H est négatif avant midi (passage du centre du Soleil - vrai ou moyen selon l'angle envisagé - et positif après

1 jour = intervalle de temps qui sépare deux passages consécutifs du centre du Soleil à un méridien donné



Pourquoi cette différence ?

combinaison de deux raisons :

- la Terre a une orbite elliptique (donc non circulaire) autour du Soleil

Ellipticité ⇒ équation du centre (C)

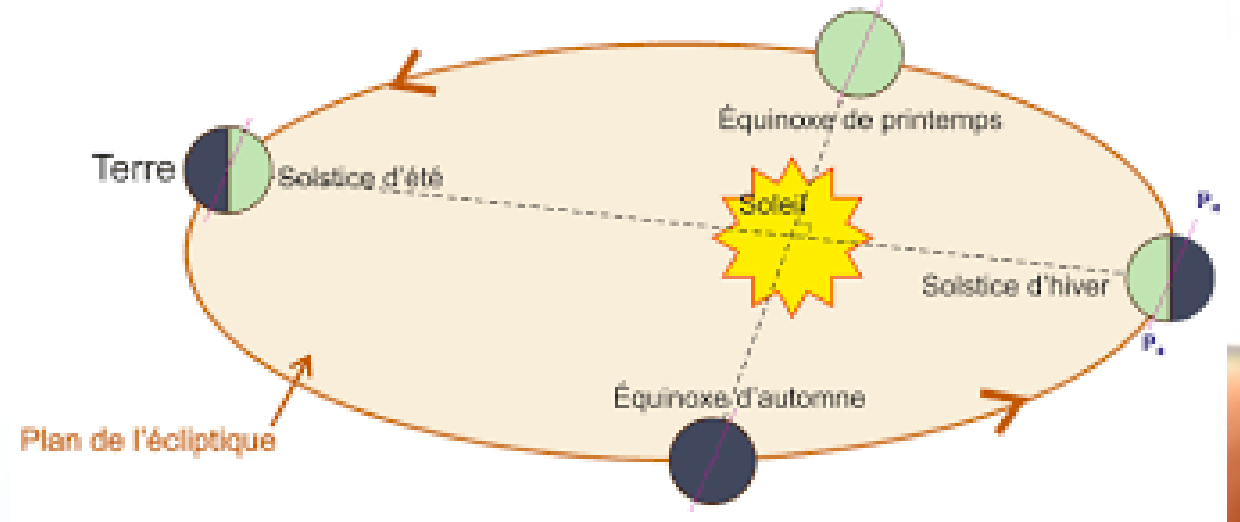
- le plan de révolution de la Terre (écliptique) ne coïncide pas avec le plan de l'équateur

Obliquité ⇒ réduction à l'équateur (R)

La Terre a une orbite elliptique

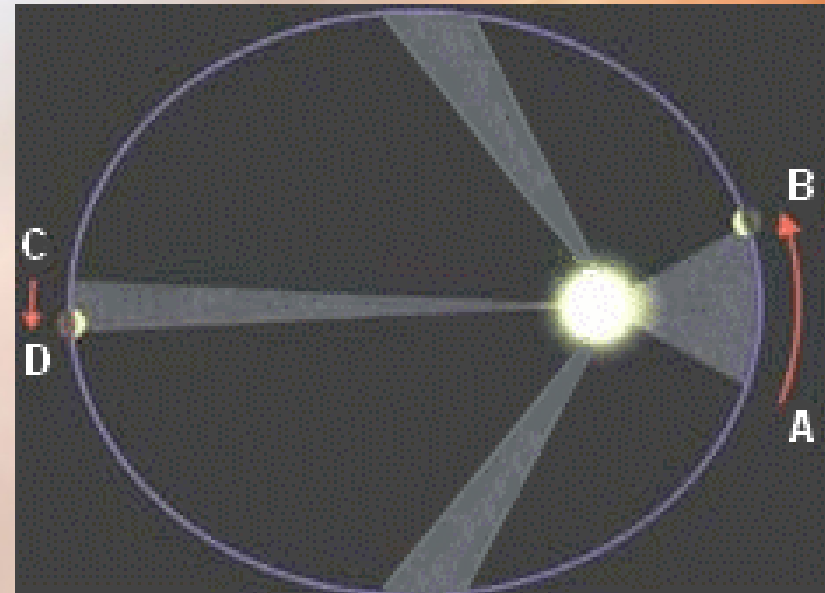
- la Terre n'a pas un mouvement uniforme dans sa trajectoire autour du Soleil
- première loi de Kepler :
 - les planètes ont des orbites elliptiques autour du Soleil et ce dernier en occupe un des foyers
- deuxième loi de Kepler :
 - Le rayon vecteur Soleil-planète balaye des aires égales en des temps égaux

Première loi de Kepler

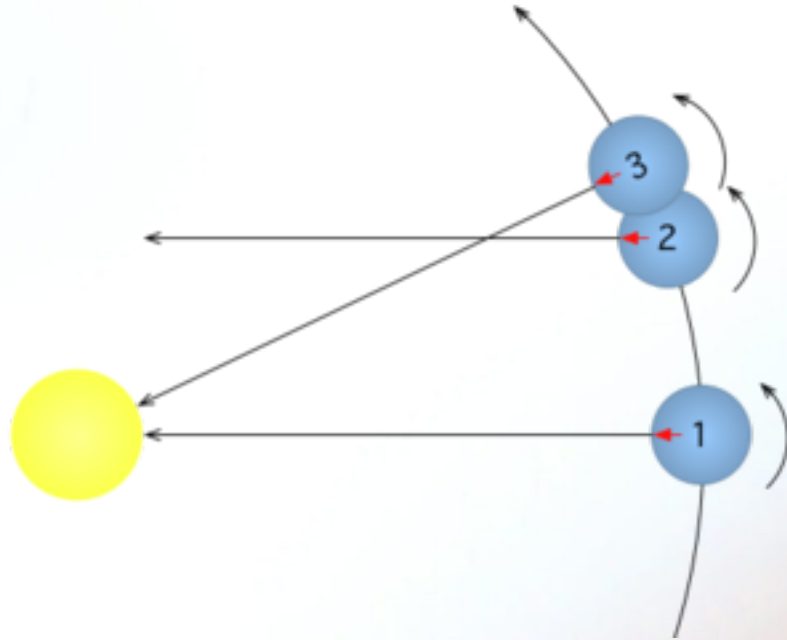


Deuxième loi de Kepler

« loi des aires »

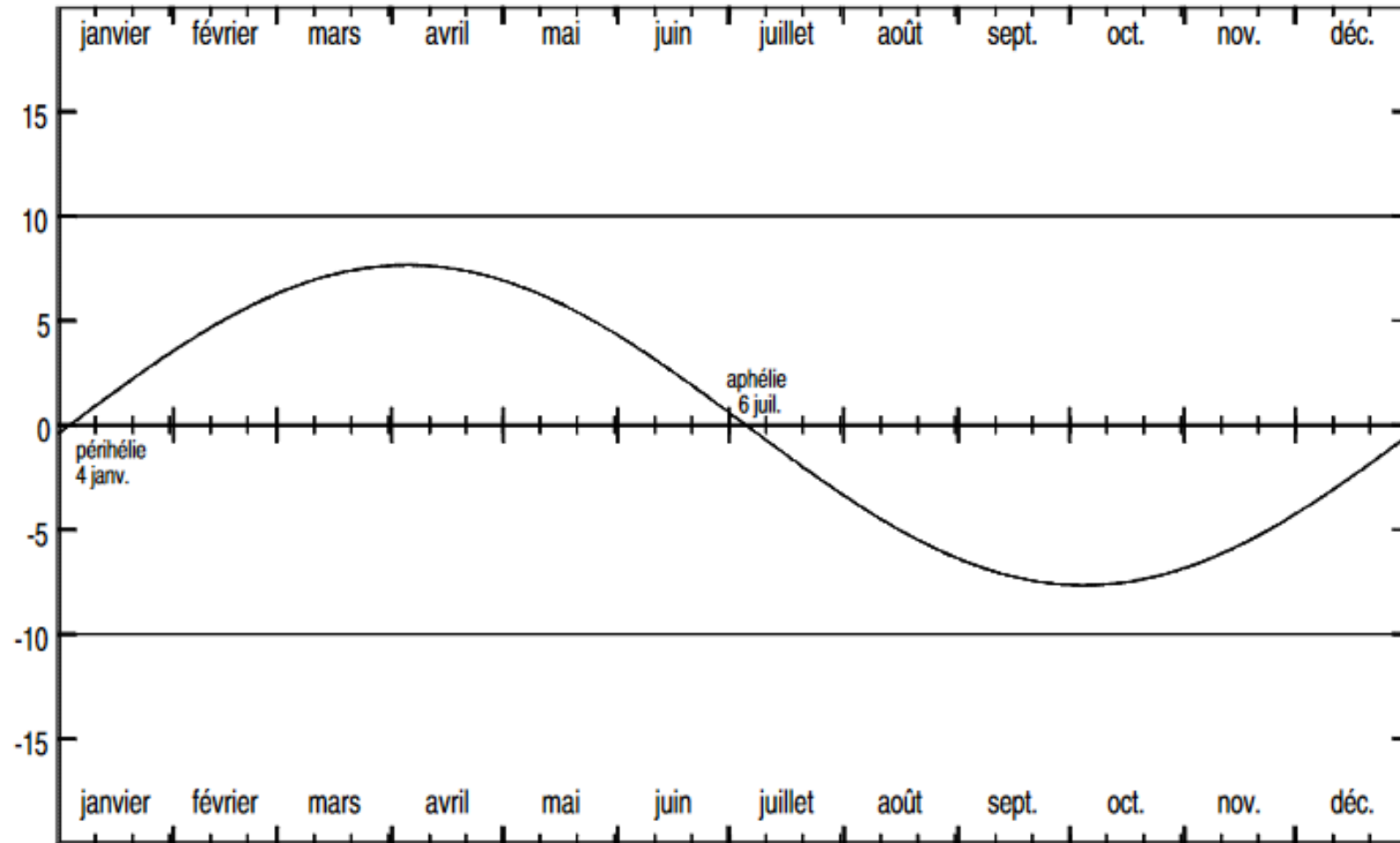


Équation du centre (C) ou ellipticité



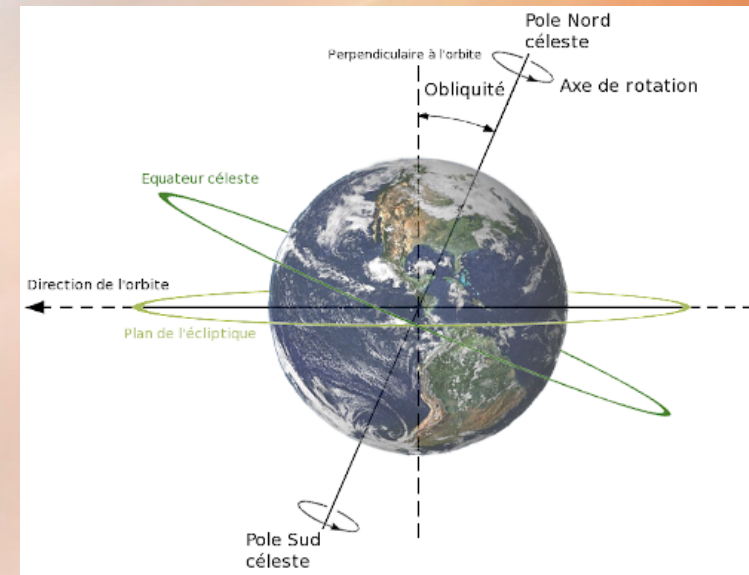
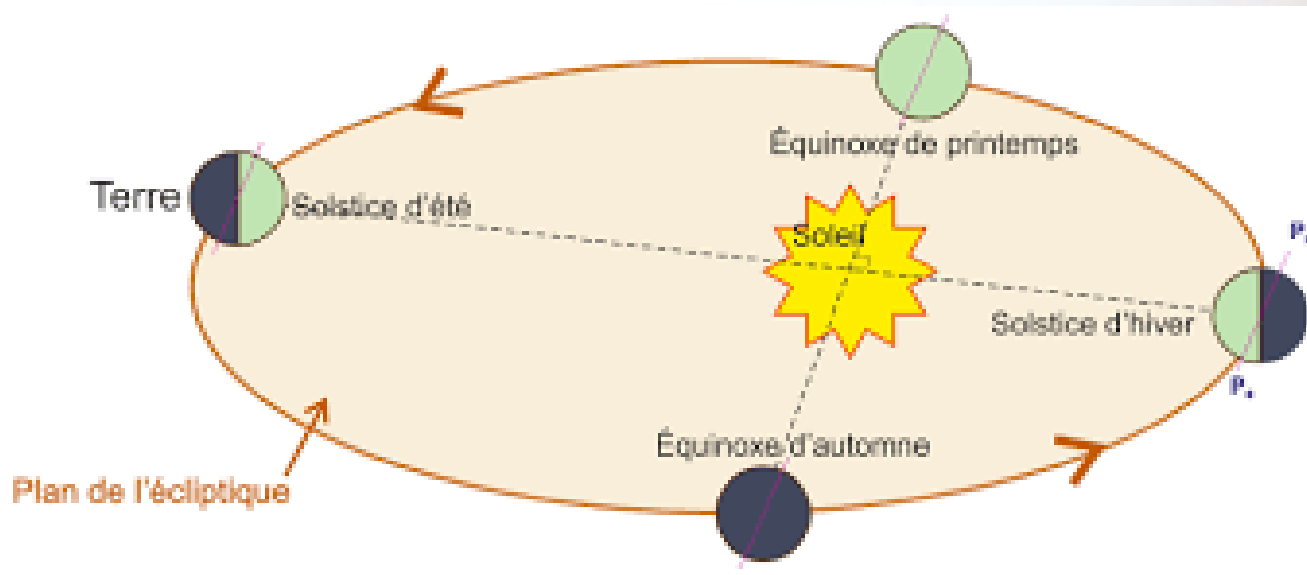
pendant que la Terre a fait un tour sur elle-même (rotation), elle s'est aussi déplacée sur son orbite (révolution)
comme la vitesse de révolution n'est pas constante, la Terre se déplace plus ou moins loin sur son orbite et doit donc effectuer une petite rotation supplémentaire plus ou moins importante \Rightarrow le jour solaire n'est pas constant

Équation du centre (C) ou ellipticité



Inclinaison du plan de l'orbite

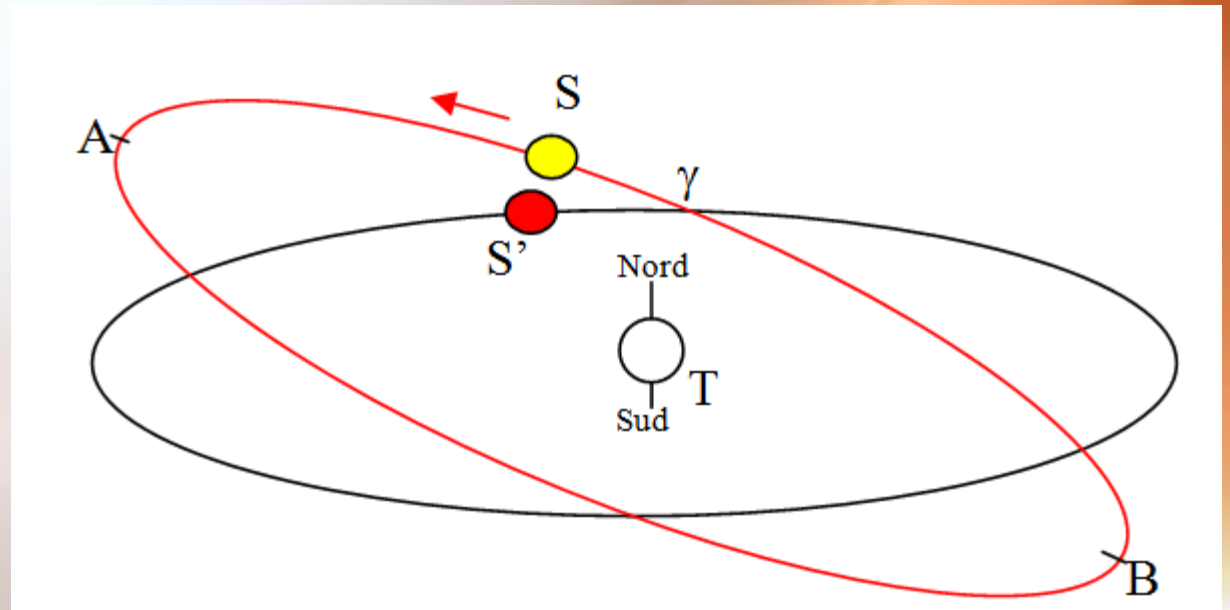
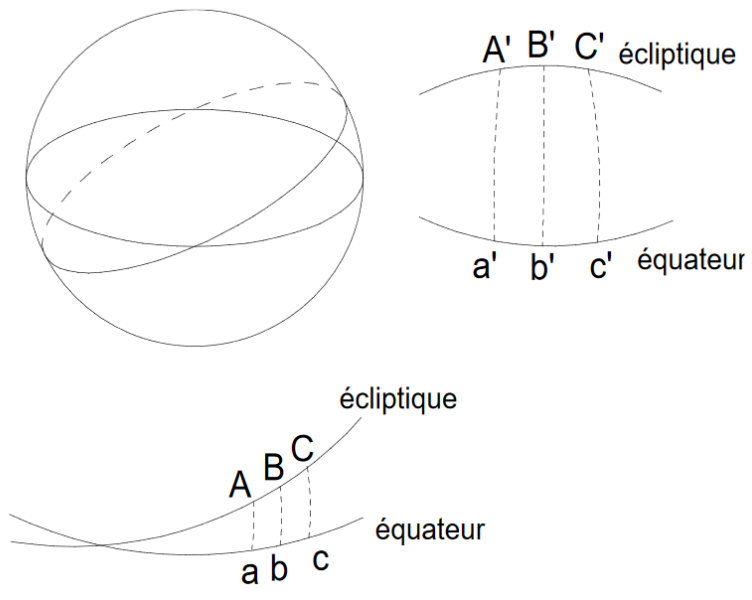
- comment mesure-t-on le temps ?
- un cadran solaire mesure l'angle horaire du Soleil (il est midi local lorsque l'angle horaire local du Soleil vaut 0°)
- cet angle horaire est **mesuré sur l'équateur**
- **or** la Terre tourne autour du Soleil dans le plan de l'écliptique



Inclinaison du plan de l'orbite

le soleil fictif que nous avons créé pour la loi des aires :

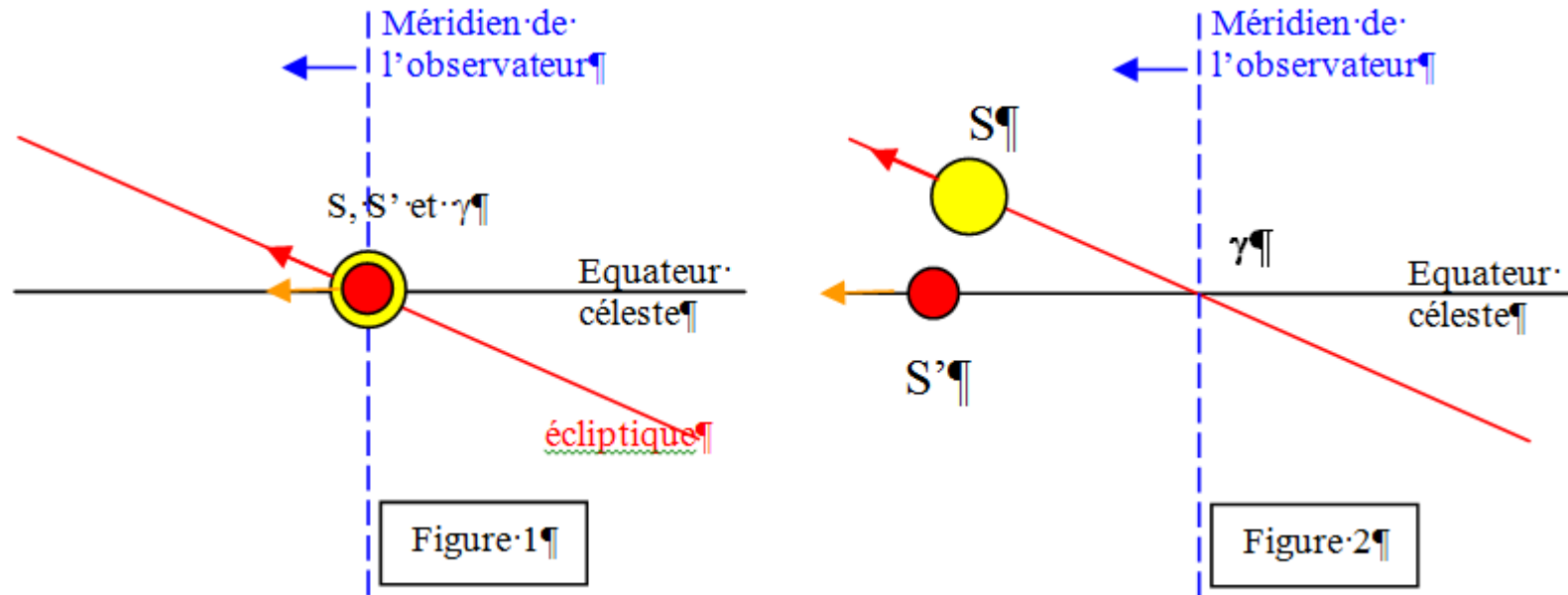
- on va le faire tourner dans le plan de l'équateur (pour comparer des angles, il faut le faire dans un même plan)
- ainsi, il donne vraiment une heure uniforme au cours de l'année



Disque rouge : Soleil fictif
Disque jaune : Soleil réel

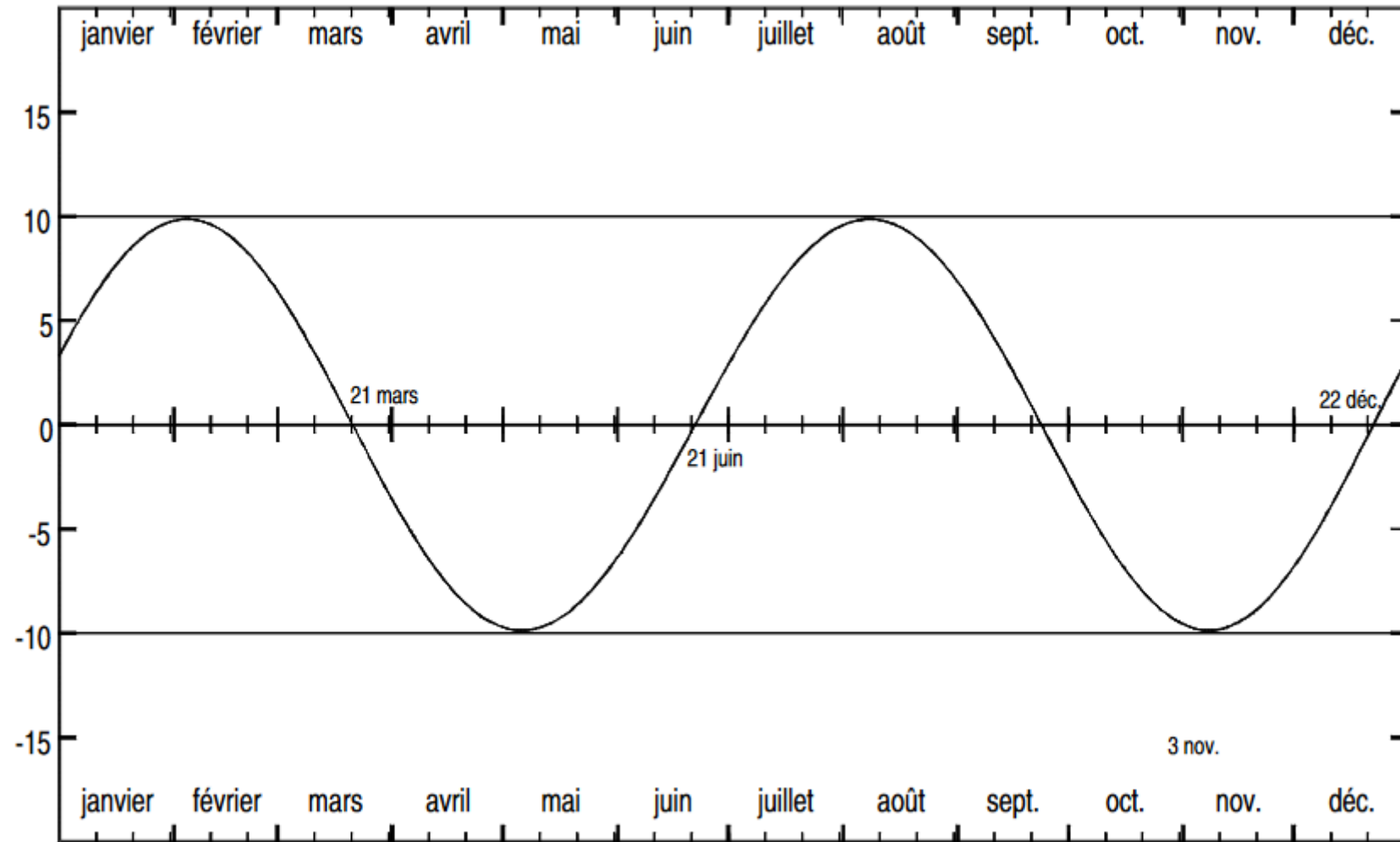
Ellipse noire : plan de l'équateur
Ellipse rouge : plan de l'écliptique

Inclinaison du plan de l'orbite



Disque rouge : Soleil fictif
Disque jaune : Soleil réel

Effet de l'obliquité



Courbe de l'ÉdT

combinaison des deux effets

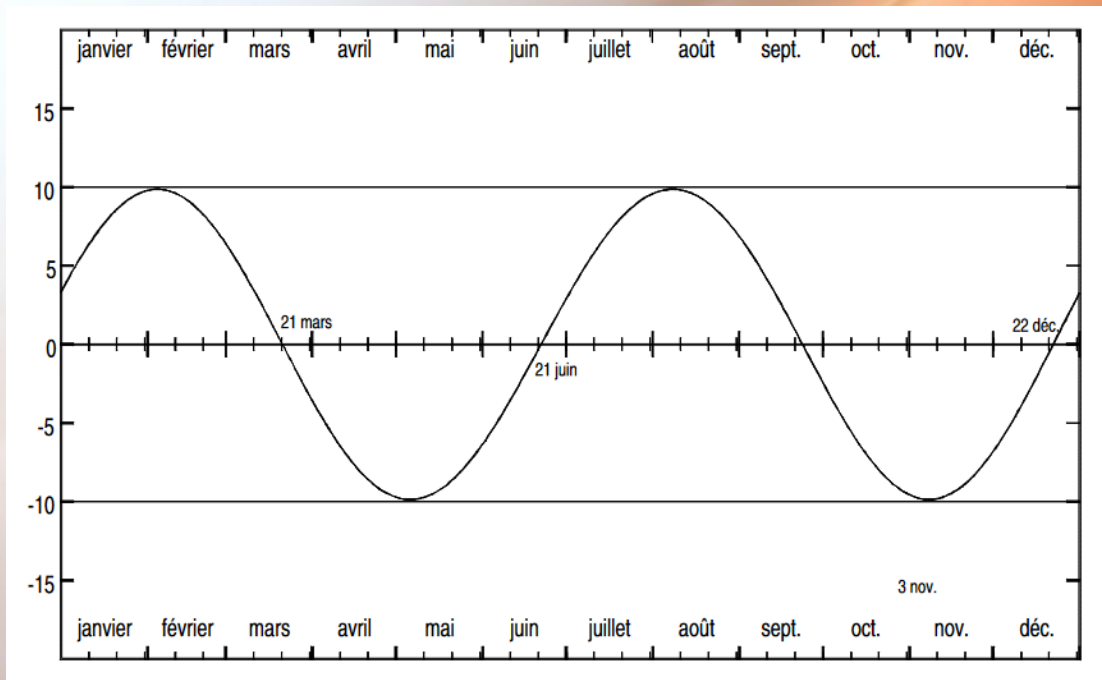
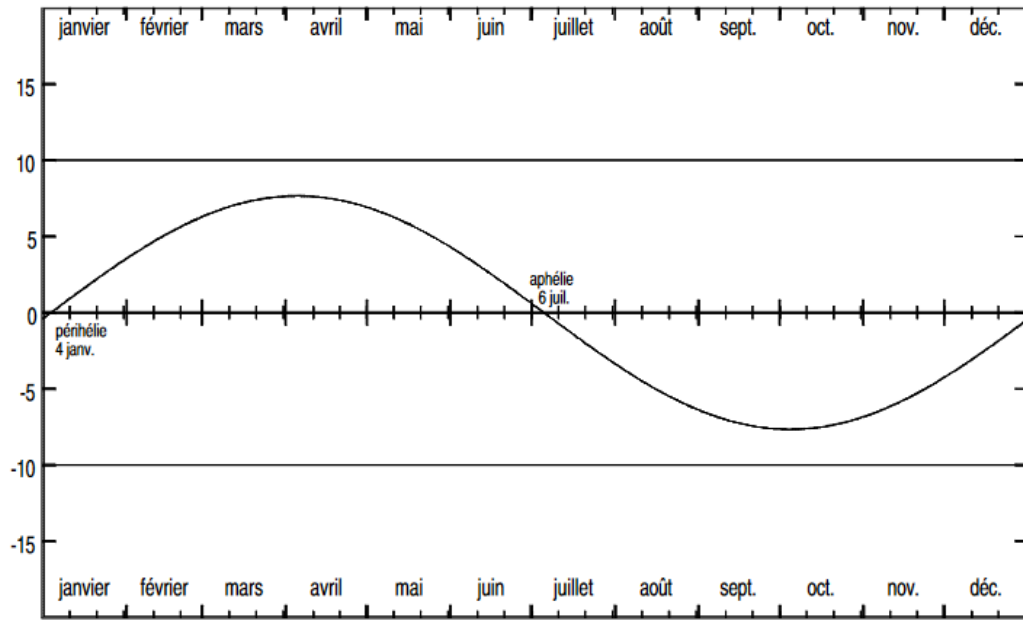
- la Terre a une orbite elliptique (donc non circulaire) autour du Soleil

Ellipticité \Rightarrow équation du centre (C)

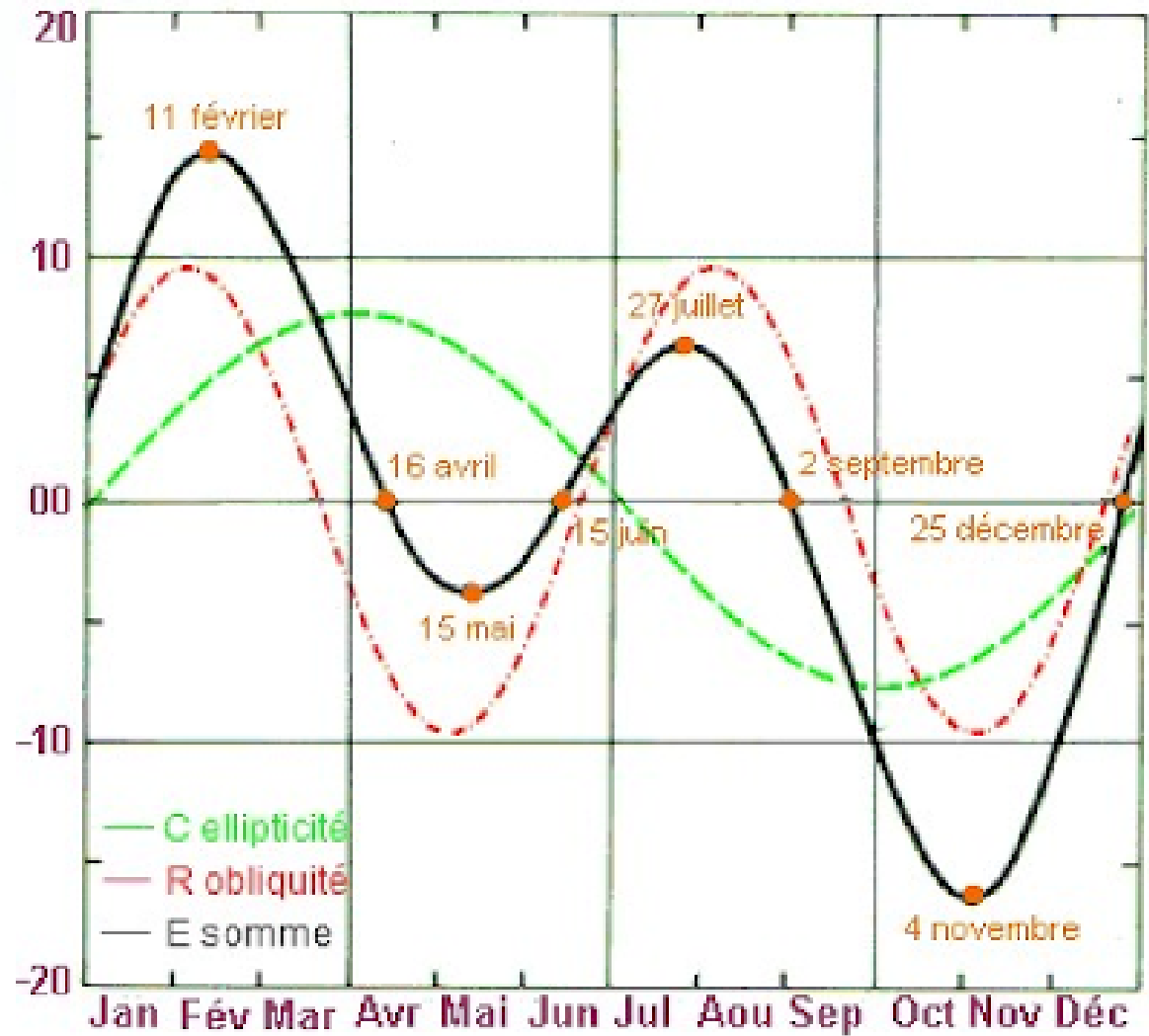
- le plan de révolution de la Terre (écliptique) ne coïncide pas avec le plan de l'équateur

Obliquité \Rightarrow réduction à l'équateur (R)

Combinaison des deux courbes



Somme des deux courbes

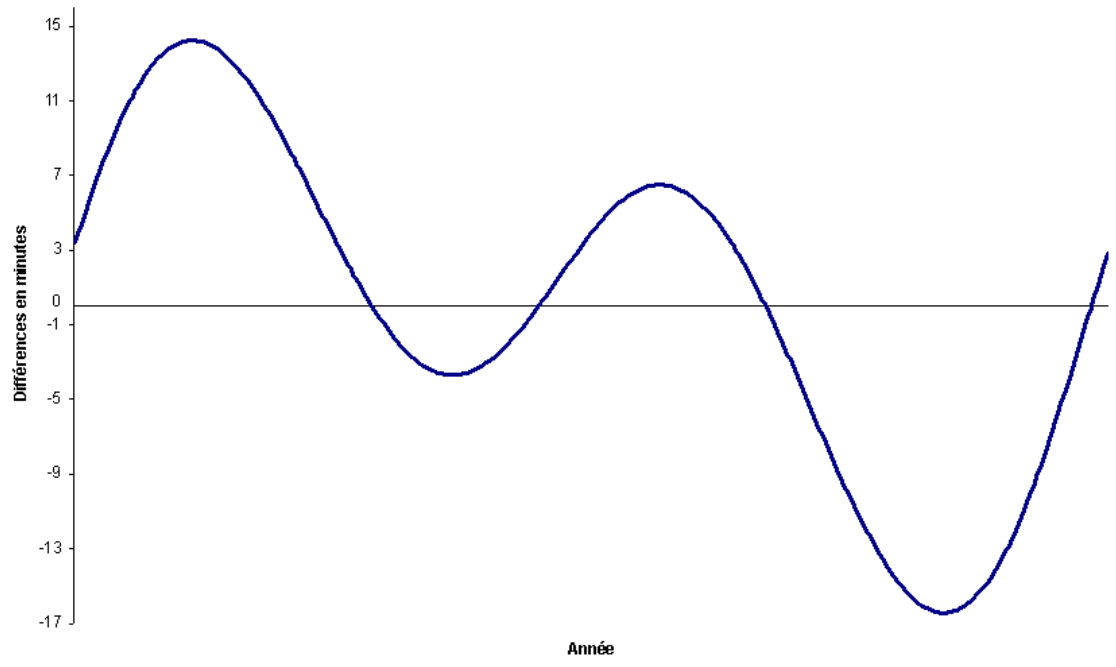


$$\underline{E = R + C}$$

Evolution des valeurs de l'ÉdT

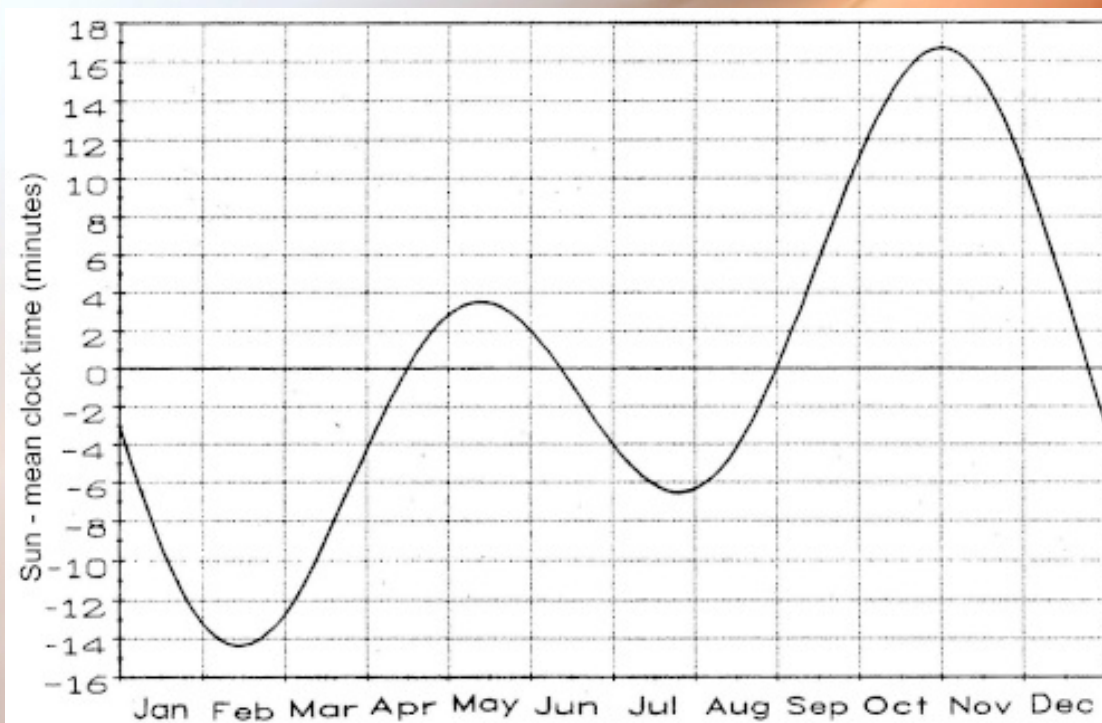
Année	Premier maximum	Premier minimum	Deuxième maximum	Deuxième minimum
- 2000	+ 18 min 33 s, 31 janvier	- 12 min 45 s, 20 mai	+ 2 min 06 s, 10 août	- 9 min 30 s, 26 octobre
- 1000	+ 18 min 18 s, 3 février	- 10 min 14 s, 21 mai	+ 2 min 06 s, 6 août	- 11 min 45 s, 27 octobre
0	+ 17 min 27 s, 6 février	- 7 min 44 s, 20 mai	+ 2 min 57 s, 1 ^{er} août	- 13 min 45 s, 29 octobre
+ 1000	+ 16 min 04 s, 9 février	- 5 min 27 s, 18 mai	+ 4 min 30 s, 29 juillet	- 15 min 20 s, 1 ^{er} novembre
+ 2000	+ 14 min 15 s, 11 février	- 3 min 41 s, 14 mai	+ 6 min 30 s, 26 juillet	- 16 min 25 s, 3 novembre
+ 3000	+ 12 min 08 s, 14 février	- 2 min 37 s, 10 mai	+ 8 min 41 s, 25 juillet	- 16 min 57 s, 6 novembre
+ 4000	+ 9 min 52 s, 15 février	- 2 min 24 s, 6 mai	+ 10 min 48 s, 25 juillet	- 16 min 54 s, 9 novembre
+ 5000	+ 7 min 38 s, 15 février	- 3 min 00 s, 3 mai	+ 12 min 38 s, 26 juillet	- 16 min 17 s, 12 novembre

Différentes représentations



représentation « européenne »

représentation « anglo-saxonne »



La courbe de Fouchy

si on prend les différentes valeurs de l'ÉdT au cours de l'année et qu'on les reporte sur un tableau avec une heure quelconque de référence pour axe de symétrie, on obtient une courbe en forme de 8 appelée « courbe de Fouchy » du nom de l'astronome français, le premier à la dessiner en 1730 (rem : les Anglo-Saxons l'appelle « Analemme » et ce terme a tendance à faire son apparition dans ce sens en français, bien qu'il désigne en fait tout autre chose

