Durée du jour solaire ; Heures de lever et coucher du Soleil.

Frédéric Faure

(I) Durée du jour solaire

Appelons la durée du jour solaire comme la durée entre deux passages du soleil au méridien d'un lieu.

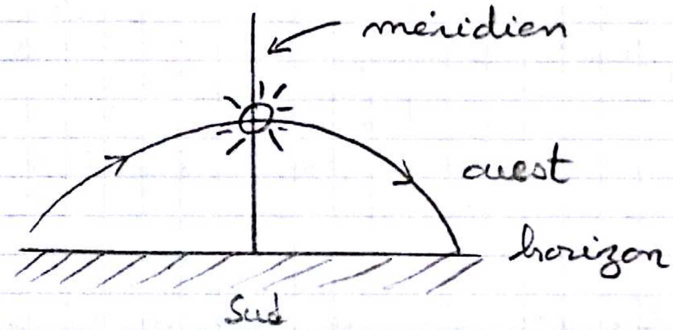


fig 1-1

c'est à dire la durée entre deux midi solaires.

Nous allons voir que cette durée varie au cours de l'année (elle vaut en moyenne 24^h : durée du jour solaire moyen)

Dans le premier modèle l'orbite terrestre sera circulaire avec une vitesse de rotation constante. Dans le 2^e modèle, l'orbite sera elliptique (cela corrigera les résultats).

(orbite : trajectoire de la Terre autour du soleil)

1^er modèle : (simple mais suffisant)

- la Terre tourne sur elle même autour de l'axe Nord-Sud fixe, avec une vitesse constante de 1 tour par jour

$$\omega_T = 1 \text{ tour / jour sidéral}.$$

- La Terre tourne autour du Soleil sur une orbite circulaire dont le Soleil est le centre, avec une vitesse constante de : $\omega_S = 1$ tour /an.

__schéma :__

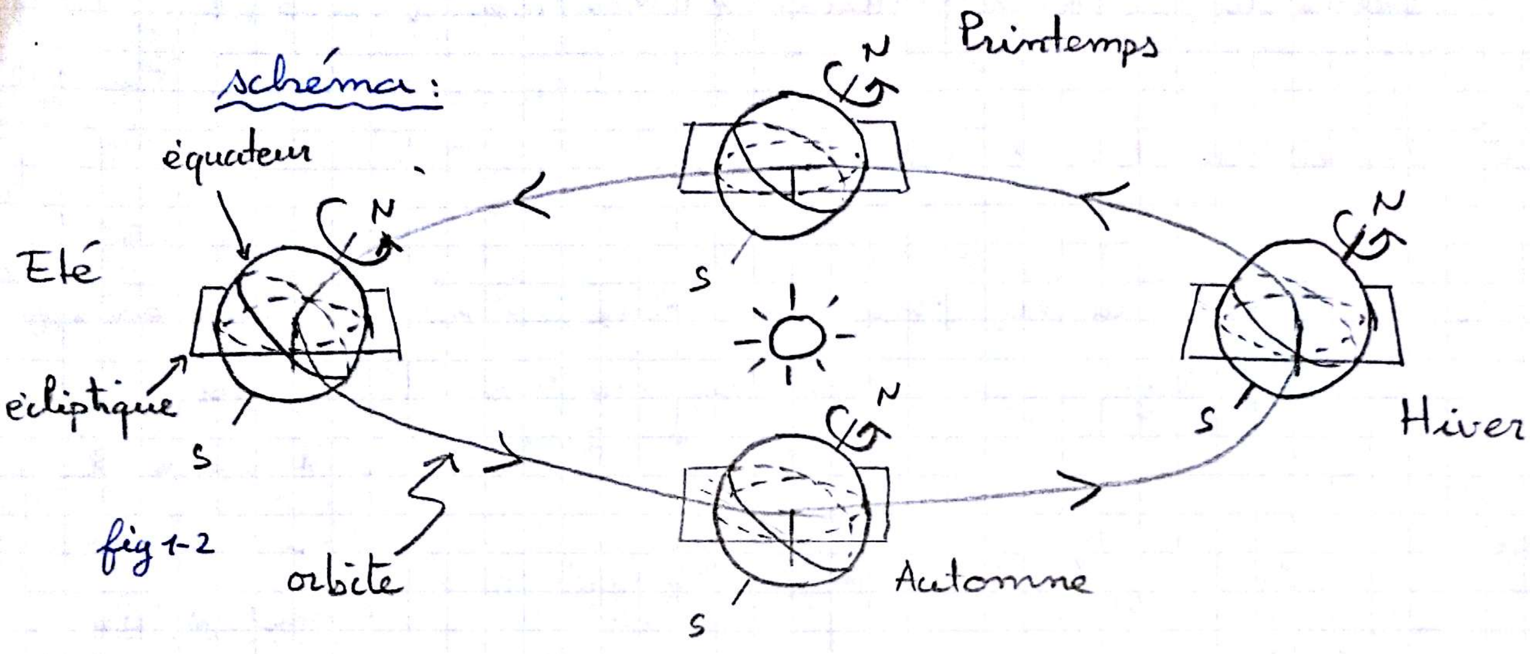


fig 1-2

Le plan de l'orbite Terrestre s'appelle le __plan de l'écliptique__.
Le plan orthogonal à l'axe Nord-Sud s'appelle le __plan de l'équateur__.
L'intersection de ces deux plans s'appelle l'__axe vernal__ γ.
La direction de cet axe est fixe par rapport aux étoiles.
L'angle entre ces deux plans est l'__obliquité__ : $\varepsilon \simeq 23°$.
Dans le __référentiel géocentrique__ (centré sur la Terre, avec des axes fixes par rapport aux étoiles) voici le même schéma:

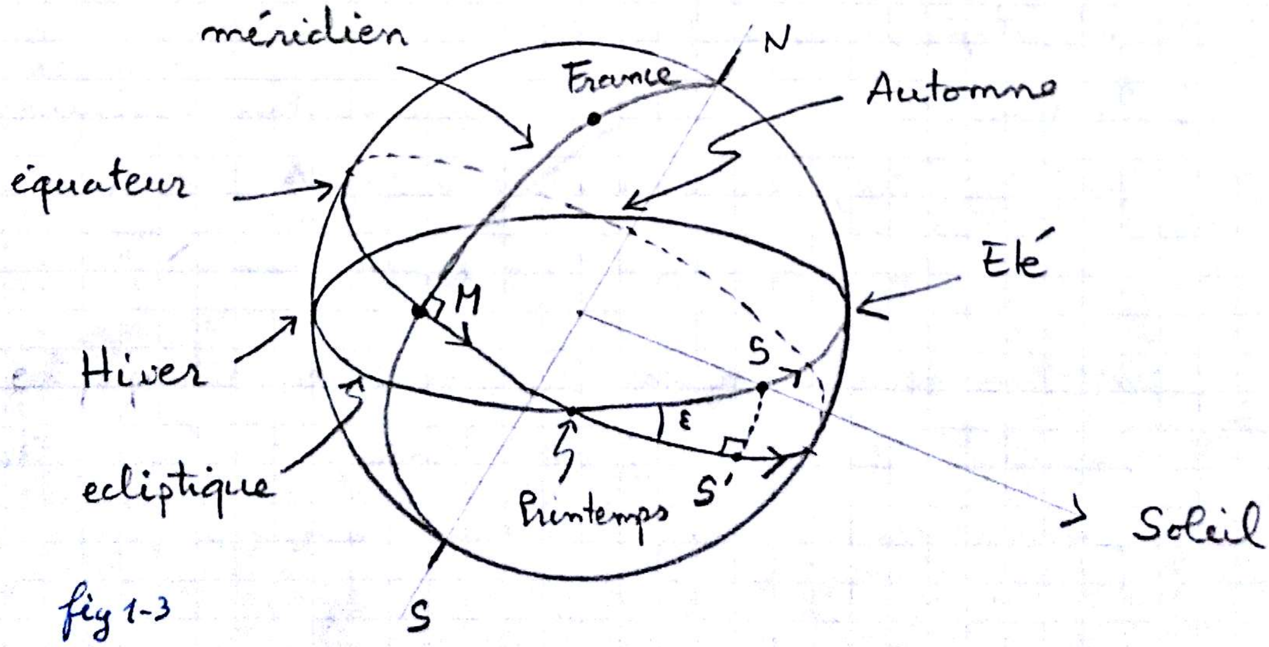


fig 1-3

- Soit M l'intersection entre le méridien et l'équateur, sur la sphère terrestre.
  Le point M tourne sur l'équateur à vitesse constante ω_T

- Soit S le point situé sur l'axe O (centre de la Terre) Soleil, et sur la sphère Terrestre. Le point S tourne sur le cercle écliptique à vitesse constante ω_S.

- (~~Comme $\omega_T > \omega_S$~~) il est midi solaire lorsque S se trouve sur le méridien.
  Comme $\omega_T > \omega_S$, le méridien tourne plus vite que le point S, et il est midi solaire lorsque le méridien "rattrape" S.

- Soit S′ la projection de S sur l'équateur, selon un méridien.
  Ainsi il est midi solaire lorsque M rattrape S′.

Toute la subtilité vient du fait que si S a une vitesse constante, alors son projeté S′ n'a pas une vitesse constante, à cause de l'obliquité ε. Voici un schéma "déroulé" :
(coordonnées sphériques)

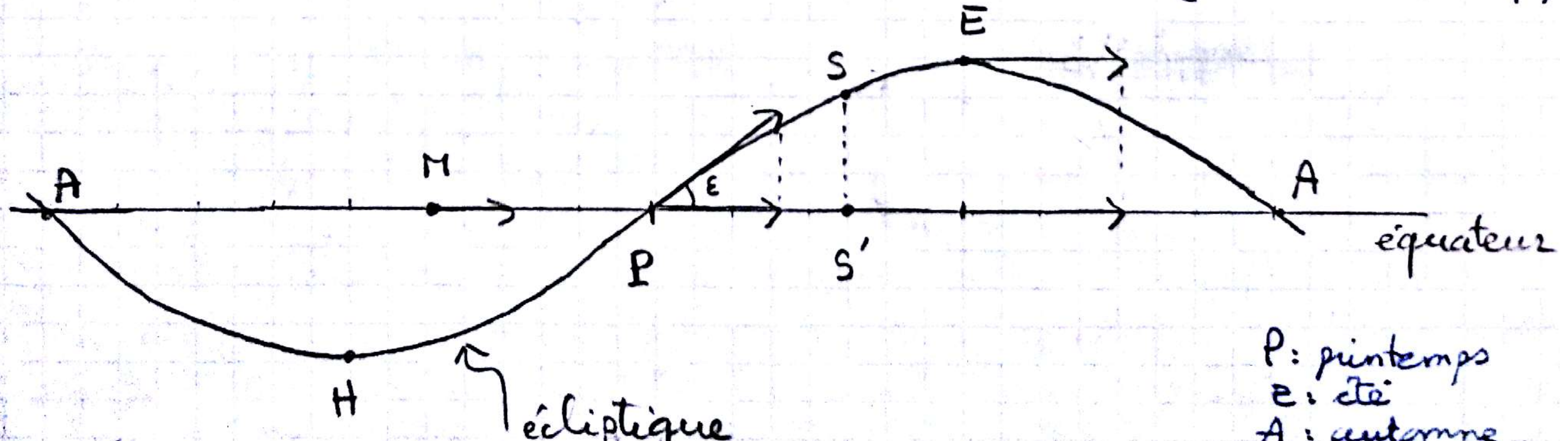


fig 2-1

à cause de la projection, la vitesse V de S' est maximum l'été et l'hiver. La vitesse est minimum au printemps et à l'automne (réduite par le facteur $\cos\varepsilon \simeq 0{,}92$)
Donc l'été et l'hiver, le point π mettra plus de temps à rattraper S' que au printemps ou à l'automne.

<u>Conclusion</u>: la durée du jour solaire est minimum aux équinoxes (printemps, automne) et maximum aux solstices (été, hiver).

<u>Remarque</u> : on peut facilement estimer la différence de durée Δt:

$$\frac{\Delta t}{1\text{ jour}} \simeq \left(\frac{1\text{ jour}}{1\text{ an}}\right)(1-\cos\varepsilon)$$

ce qui donne : $\Delta t \simeq (1\text{ jour}) \cdot \frac{1}{365}\,(1-\cos 23°)$

$\simeq 19$ secondes.

Donc :

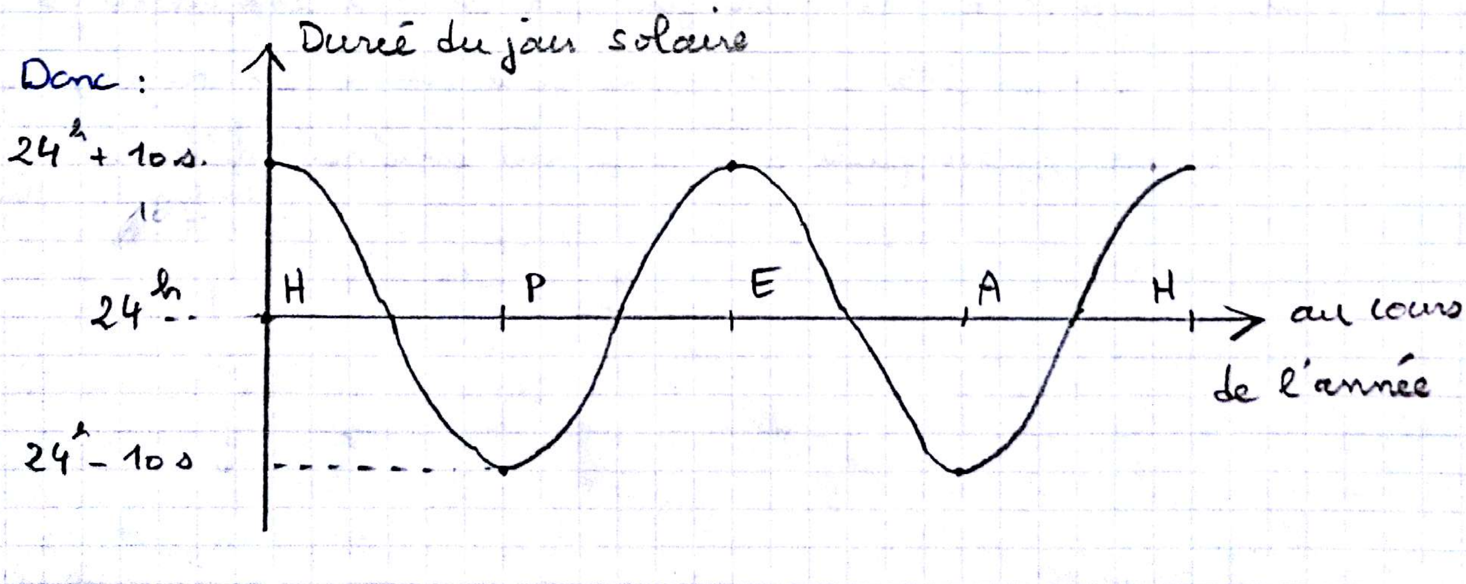


fig 2-2

II Trajet du soleil dans le ciel.

2e modèle :

La Terre tourne autour du Soleil sur une ellipse; elle est au plus proche du Soleil (le périhélie) vers le 3 janvier. Sa vitesse de rotation angulaire est maximum au périhélie. et minimum à l'aphélie.

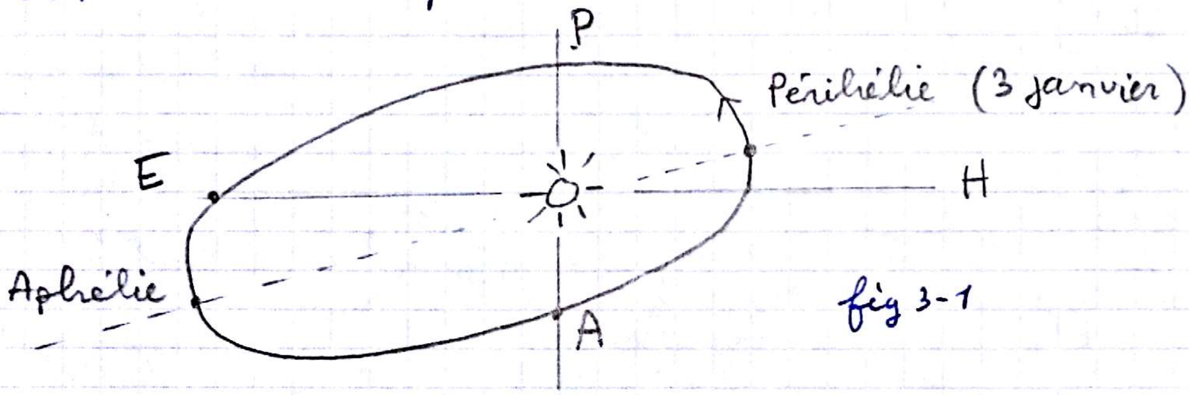


fig 3-1

Conséquence: le point S précédent n'a plus une vitesse constante mais une modulation :

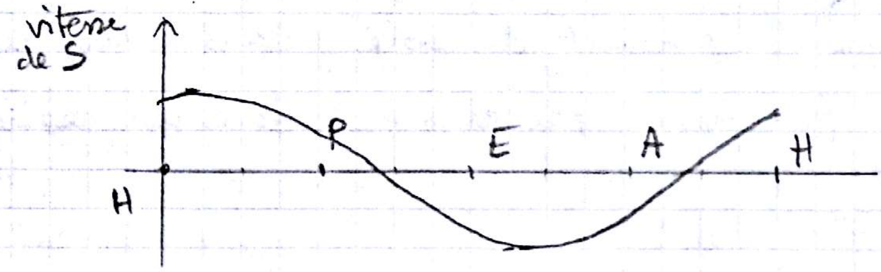


fig 3-2

Cela apporte une correction à la vitesse de S' précédente et donc à la durée du jour solaire; voici la figure 2-2 corrigée :

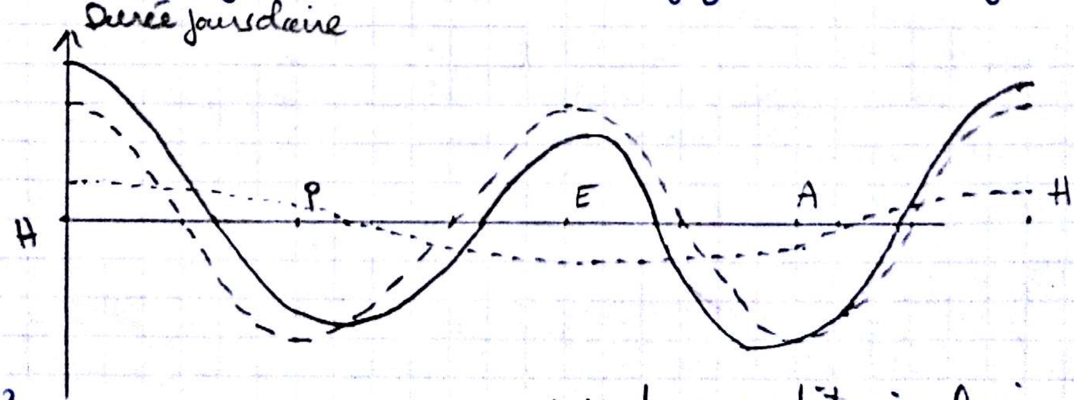


fig 3-3

------ : courbe avec orbite circulaire
.... : correction
—— : résultat

II Trajet du Soleil dans le ciel

a) au cours d'une journée

D'après la figure 1-2, en négligeant le mouvement de la Terre sur son orbite, on observe que le Soleil parcourt un cône dans un repère Terrestre (: la Terre est fixe, le soleil tourne autour en 24 h.)

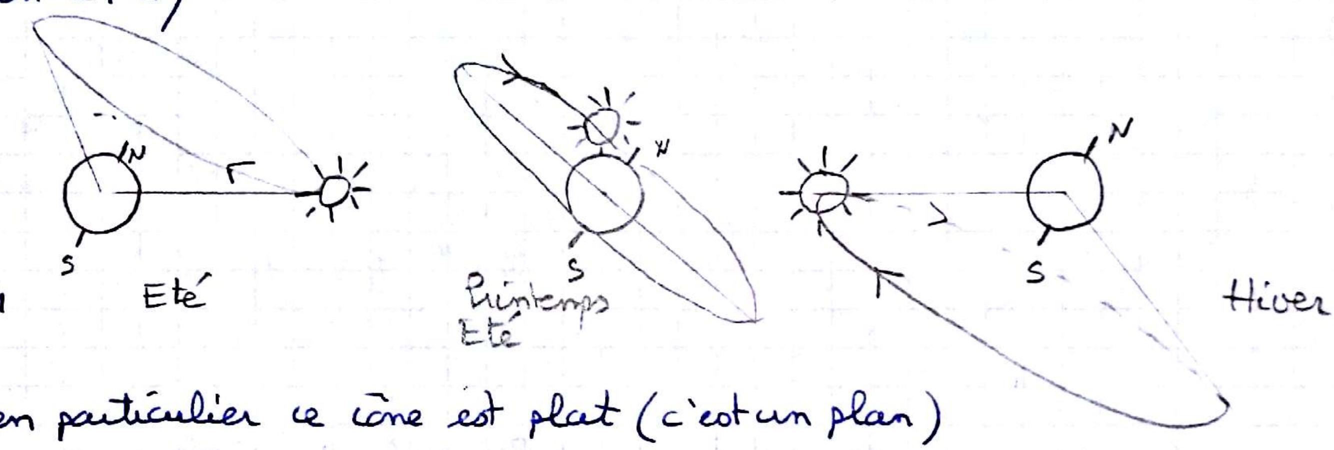


fig 3-4

en particulier ce cône est plat (c'est un plan) aux équinoxes.

Voici donc le parcourt du Soleil dans le ciel au cours d'une journée (en France par exemple), dans un repère horizontal :

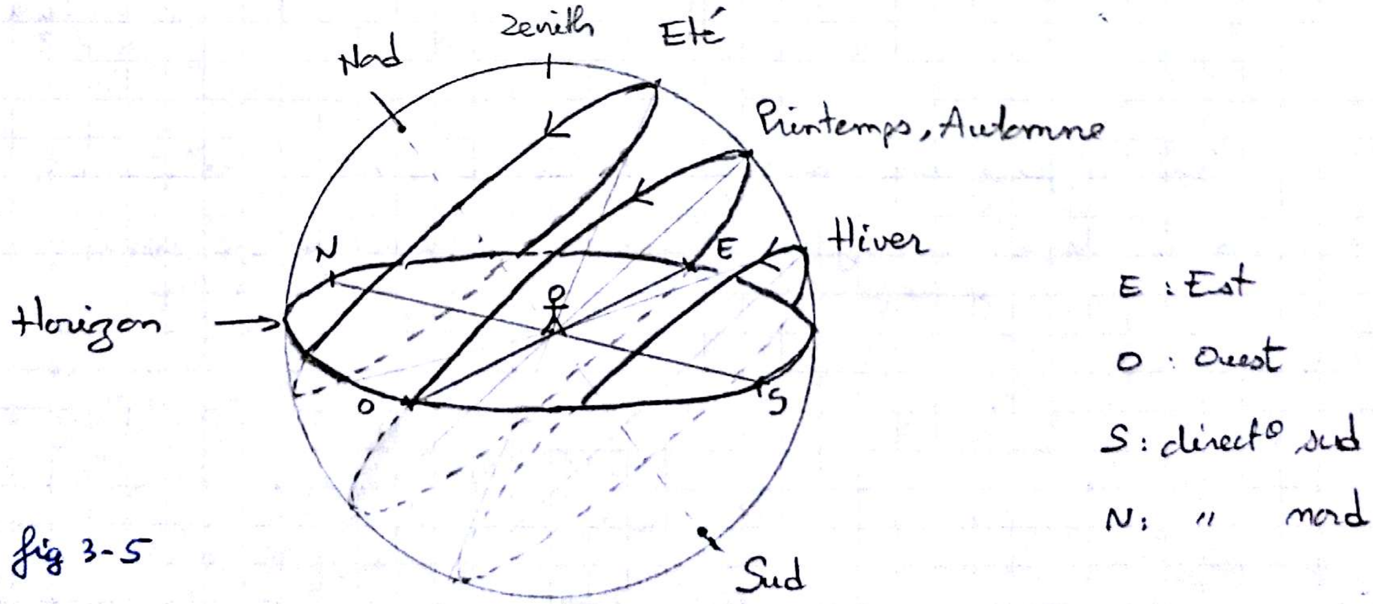


fig 3-5

b) Trajet

On peut repérer la direction du Soleil dans le repère horizontal par deux angles (coordonnées sphériques) l'azimut a et la hauteur h :

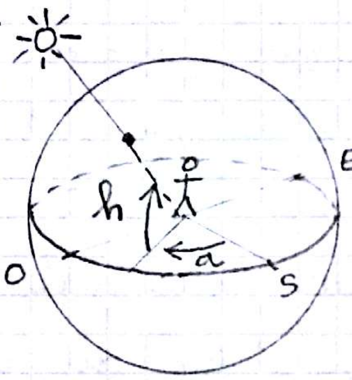


fig 4-1

$-90° \leq h \leq 90°$

$-180° \leq a \leq 180°$

rem : a est positif vers l'ouest.

Voici le trajet du soleil de la figure 3-5 représenté dans les axes azimut, hauteur :

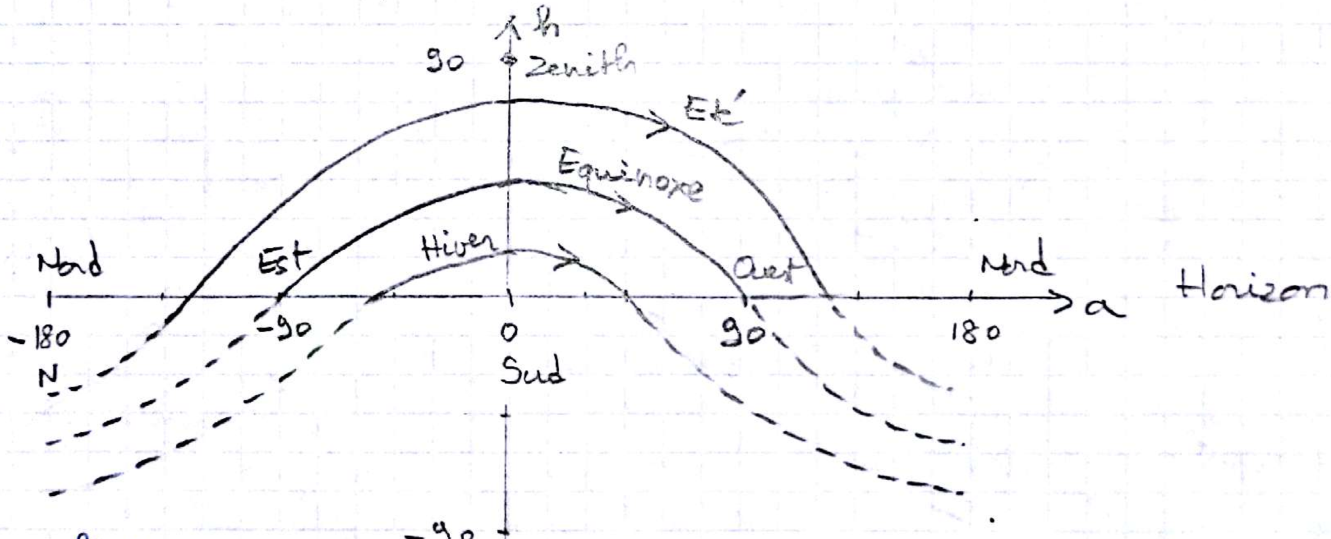


fig 4-2

b) Trajet du soleil dans le ciel à une heure fixée.

Intéressons nous à une heure fixée, par exemple 12^h, jour après jour au cours de l'année.

S'il s'agit de <u>l'heure solaire</u>, nous avons vu que à 12^h solaire, le soleil est sur le méridien. Au cours de l'année il parcourt donc un segment dans le ciel. De la même manière, pour une autre heure fixée le parcourt est un autre segment obtenu par une rotation du précédent :

Schéma sur la sphère du repère horizontal et dans les axes (a, h) :

(cf figures 3-5 et 4-1)

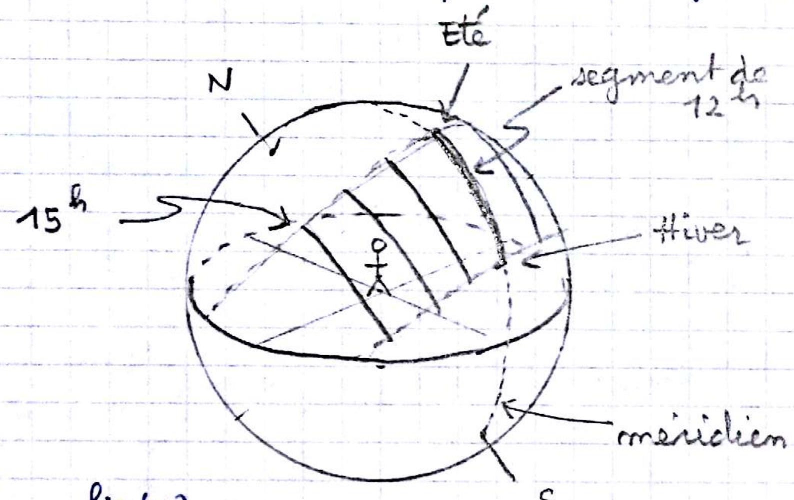
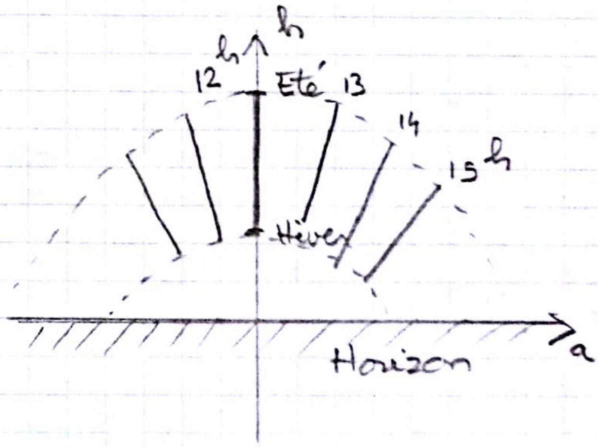


fig 4-3

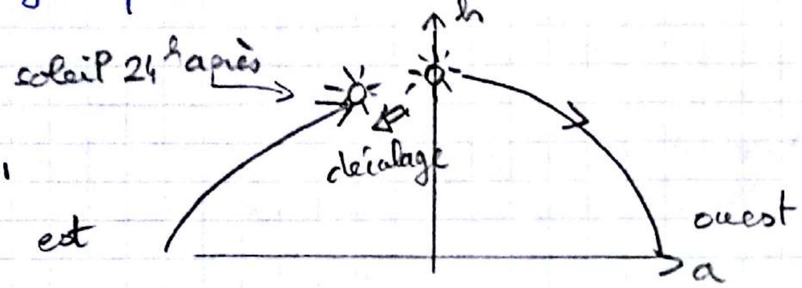


Par contre s'il s'agit de l'heure de la montre (heure moyenne ou heure légale) le trajet ne sera pas le même car nous avons vu que l'heure solaire n'est pas régulière : tantôt elle avance, tantôt elle retarde.

<u>Question</u> : à quoi ressemble le trajet du soleil au cours de l'année à 12^h fixée (heure de la montre) ?

Pour répondre, nous avons obtenu que la durée du jour solaire dépasse 24 h aux solstices (fig 2-2) ; donc en 24 h le soleil n'a pas encore rejoint sa place de la veille dans le ciel.
Le trajet que l'on recherche est donc vers l'est aux solstices.

fig 5-1



: Eté ou Hiver

Par contre aux équinoxes, la durée du jour solaire est moins que 24 h, donc en 24 h le soleil dépasse sa position de la veille, et se décale vers l'ouest.
En combinant ces décalages (est-ouest) avec le mouvement en hauteur du soleil entre l'été et l'hiver on répond à la question : le trajet du Soleil à 12 h de la montre a l'aspect d'un "huit" dans le ciel :

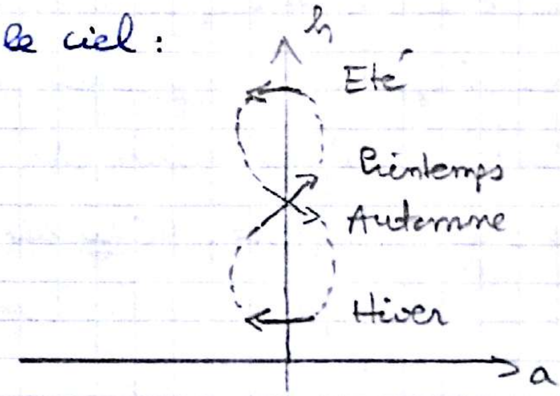


fig 5-2

La largeur de ce huit qui correspond au retard accumulé de l'heure solaire pendant plusieurs mois (qques sec. par jour) atteint 15 minutes.

D'après fig 3-3, à cause de l'orbite elliptique de la Terre, le décalage est amplifié l'hiver, et réduit l'été.
L'aspect du huit est donc plutot :

fig 5-3

Pour d'autre heures (13^h, 14^h, ...), il y a des huits identiques décalés dans le ciel. La figure 4-3 est donc modifiée et donne pour l'heure de la montre :

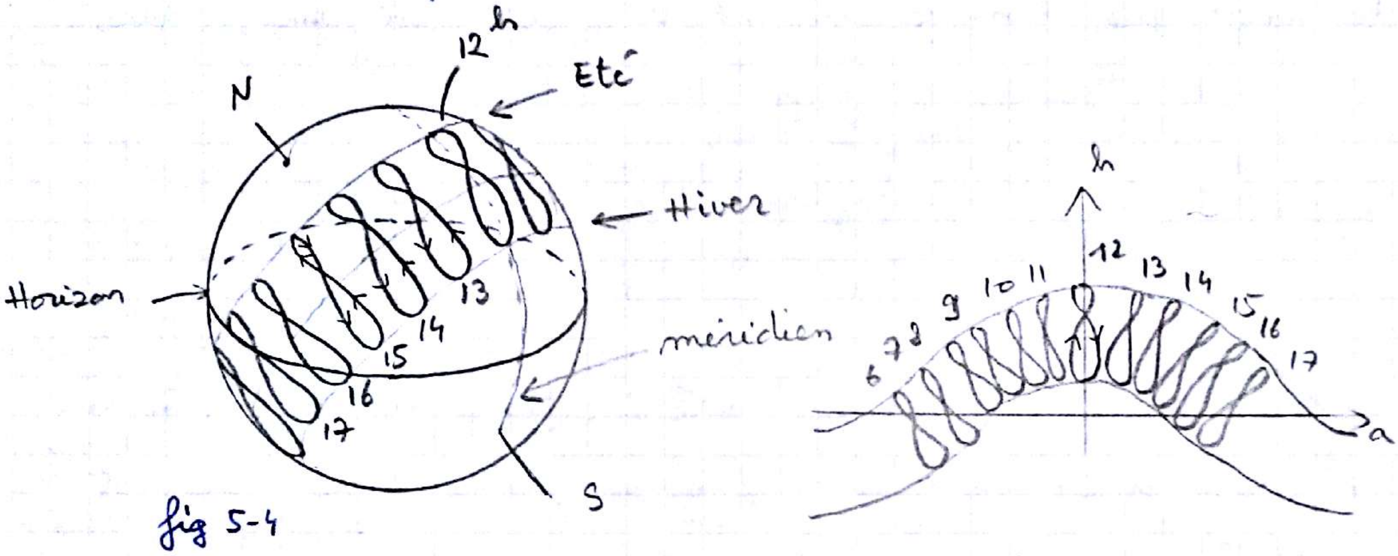


fig 5-4

Remarque : le décalage entre un point sur le "huit" et un point sur le segment correspondant de la figure 4-3 correspond à la différence entre l'heure de la montre et l'heure solaire. Cette différence s'appelle l'<u>équation du temps</u>.
Nous avons compris qu'elle résulte de l'obliquité de l'axe nord-sud de $\varepsilon = 23°$ (appelée <u>réduction à l'équateur</u>) et l'ellipticité de l'orbite.

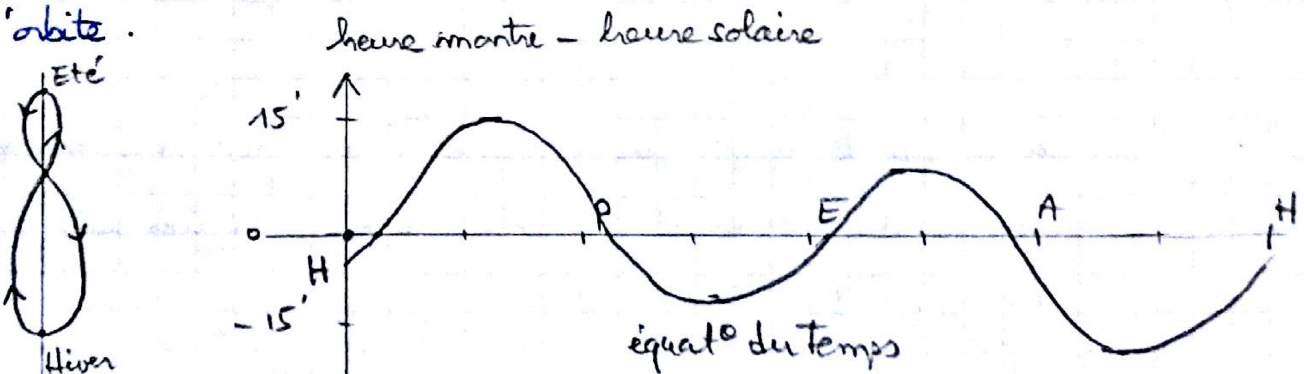


fig 5-5

III Heures de Lever et coucher du Soleil

En inspectant la figure 5-4, on peut déduire l'allure qualitative des heures de lever et coucher du Soleil au cours de l'année : il faut regarder l'intersection des huit avec la ligne d'horizon.

En particulier l'heure la plus tardive et l'heure la plus tôt du lever du soleil correspondent à des huit qui sont tangent à la ligne d'horizon :

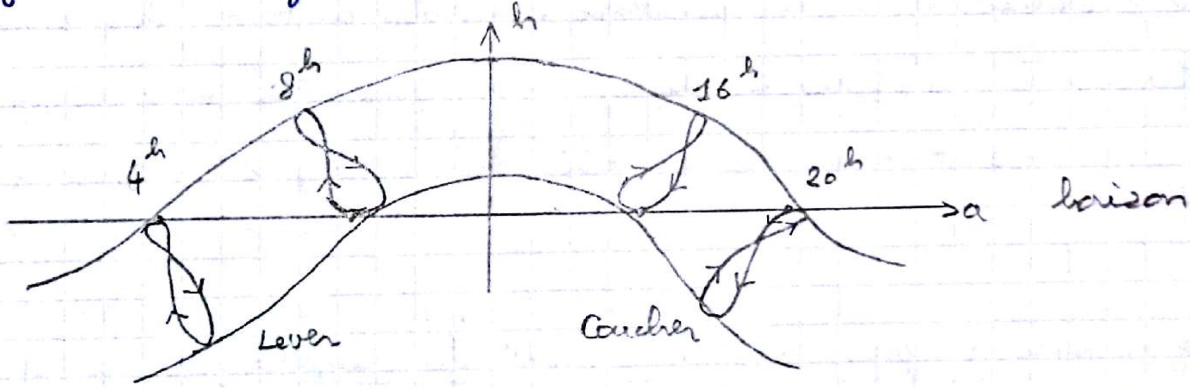


fig 6-1

Un effet interessant est que les points tangents au huit ne coïncident pas avec les extrémités du huit que sont l'été et l'hiver. (solstices)

En exagérant :

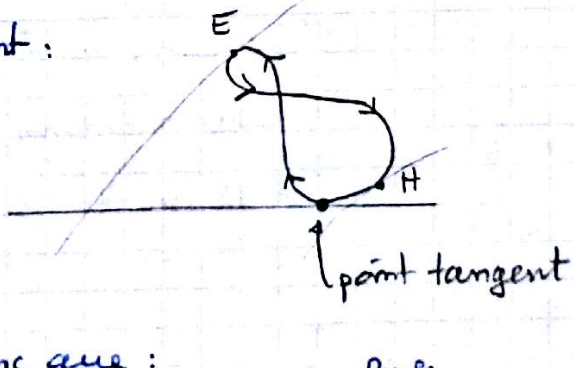


fig 6-2

On observe donc que :

- l'heure la plus tardive du lever est après l'hiver (solstice) ≈ 1 janvier
- l'heure la + tôt du lever est avant l'été (solstice) ≈ 15 juin
- l'heure la + tôt du coucher est avant l'hiver ≈ 11 déc
- l'heure la + tardive du coucher après l'été ≈ 25 juin

schéma :

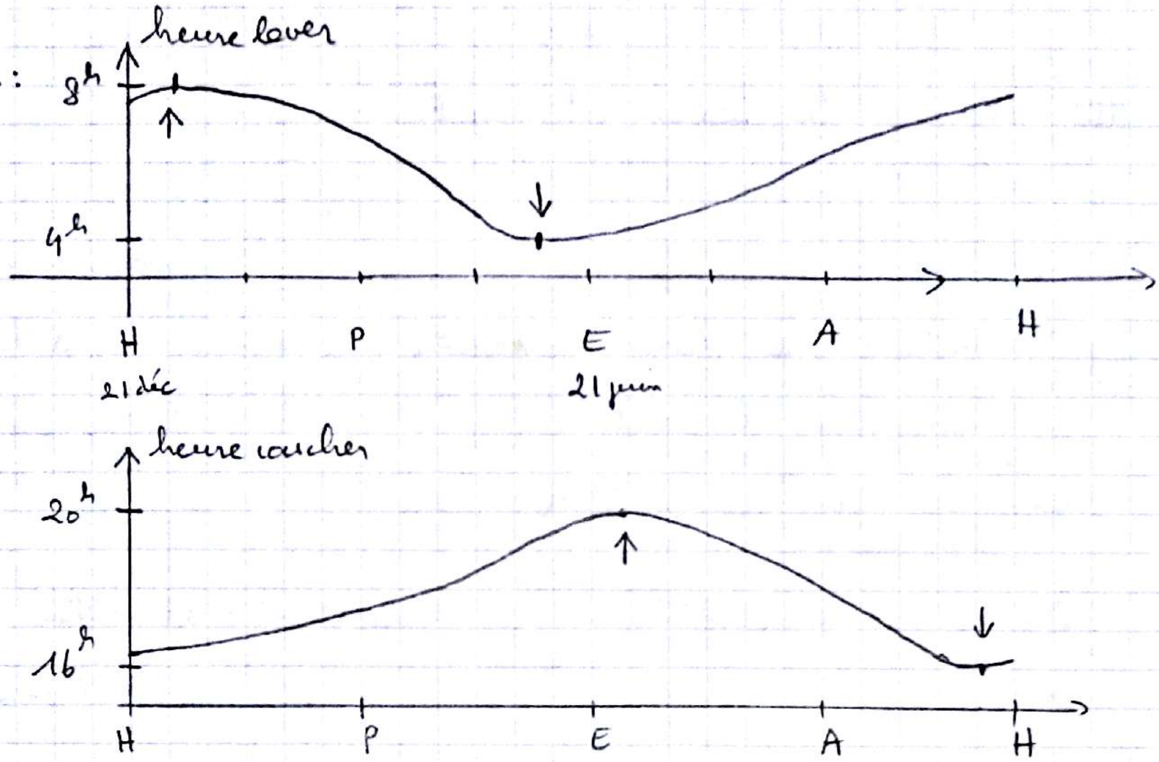


fig 6-3

Il y a clairement un décalage des dates autour des solstices.
Par contre d'après la fig 5-4, les jours le + court et le plus long correspondent aux extrémités du huit, soit aux solstices.

<u>Remarque</u> : pour un <u>habitant de l'équateur</u> la fig 5-4 est plutôt :

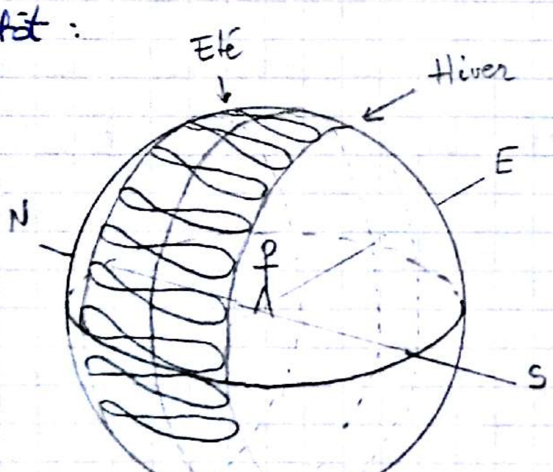


fig 6-4

Cette fois ci il y a deux "huit" tangents et supérieurs à la ligne d'horizon, montrant qu'il y a deux moments de l'année où le soleil se lève le + tard (localement).

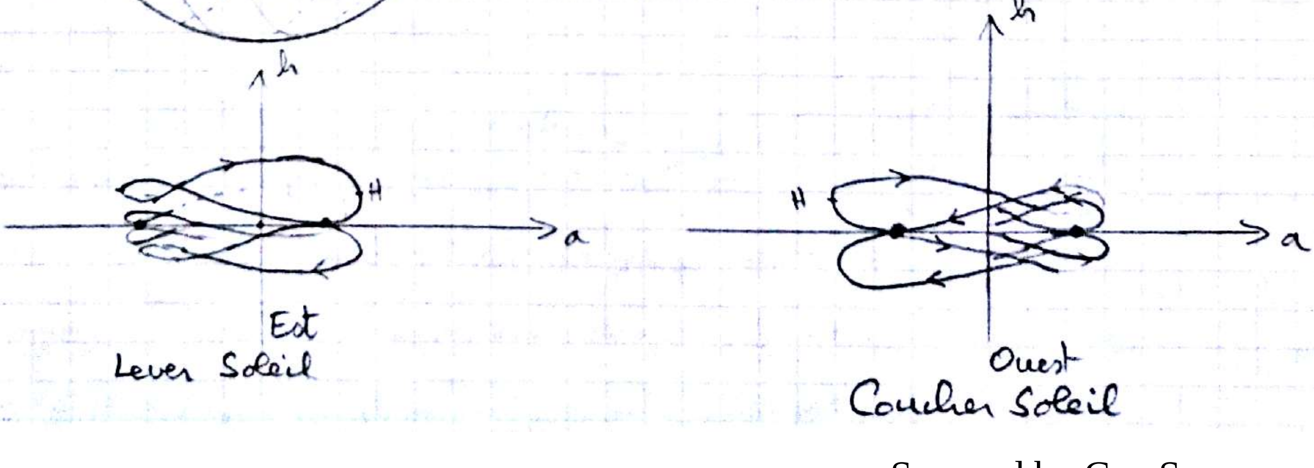


fig 6-5

Donnant les courbes d'heure et coucher suivantes :

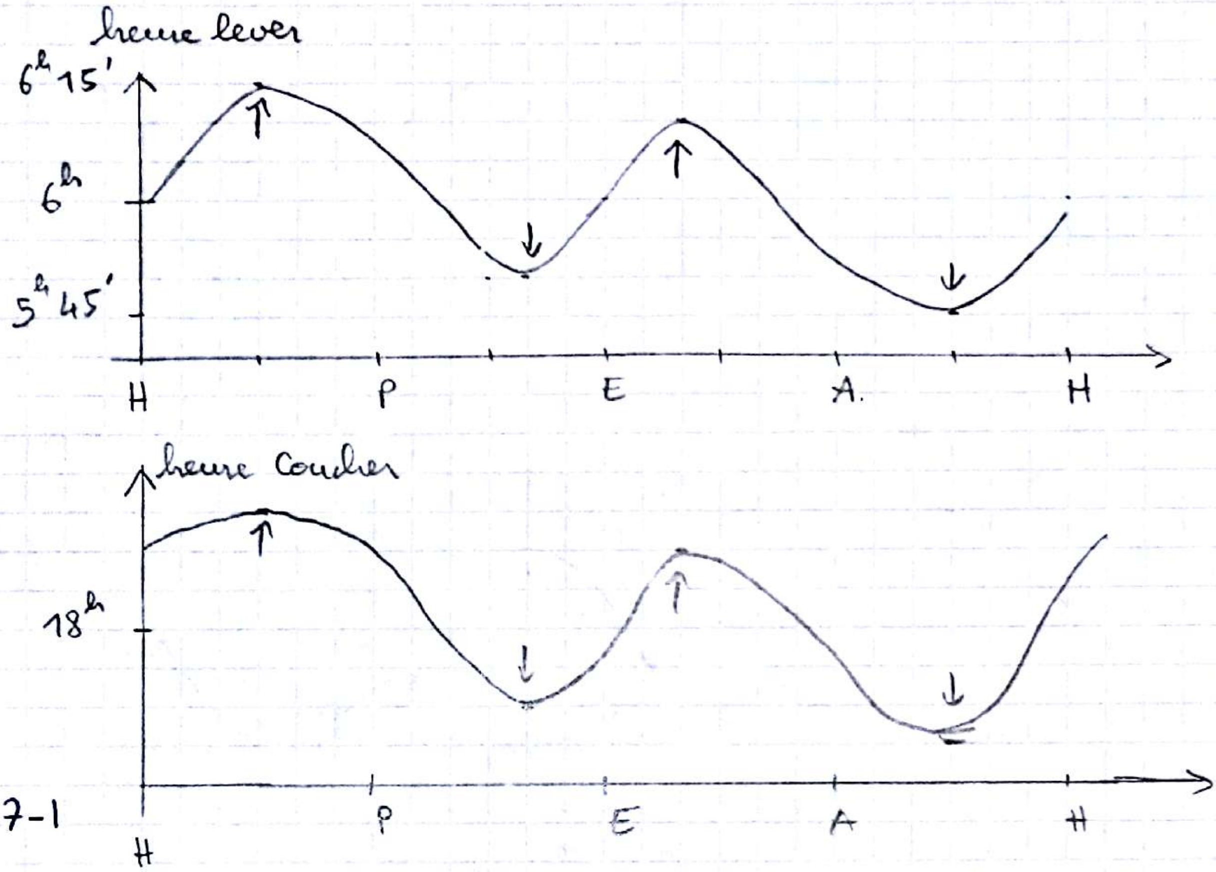


fig 7-1

Remarques : • Les courbes d'heure du lever et du coucher s'identifient avec l'équation du temps fig 5-5

• Lorsque l'on monte en latitude de l'équateur à la France, l'amplitude des courbes augmente (de 30' à 4h) et à une certaine latitude intermédiaire, les deux extrémaux près de l'été disparaissent.
Au contraire si l'on se déplace vers l'hémisphère sud, ce sont les deux extrémaux proches de l'hiver qui disparaissent.

Le jour solaire- résultats par ordinateur

janvier 2001.

Remarque : les paramètres astronomiques sont à vérifier : erreurs possibles des résultats.

programme : c++/cadran/cadran.cc

rapport :c++/cadran/rapport/joursol.lyx

Fig 3-3 : Durée du jour solaire au cours de l'année. (Seule la variation par rapport à 24h est marquée) :

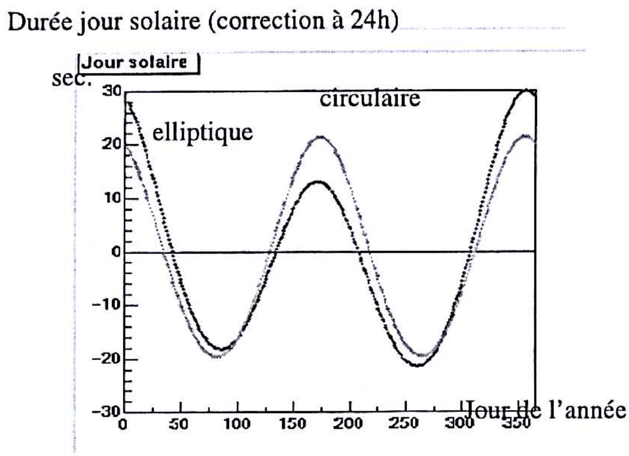


Fig 5-4 :Placement du soleil dans le ciel de Grenoble (coordonnées a,h), pour chaque heure : 0h à 23h, au cours de l'année :

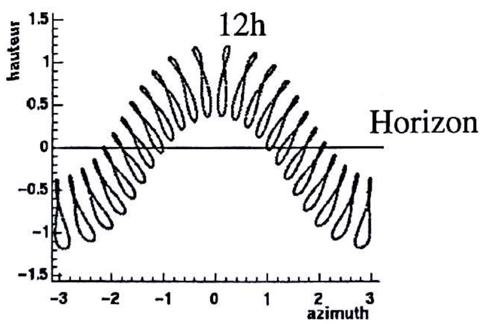
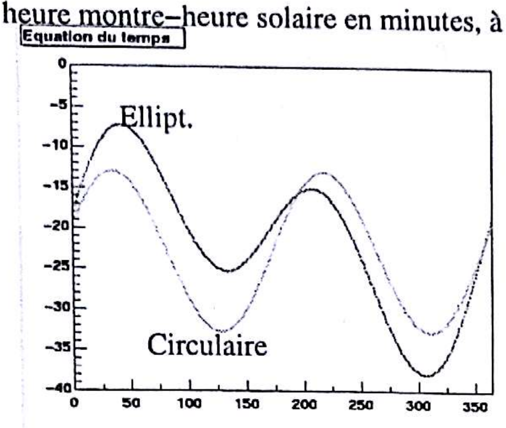


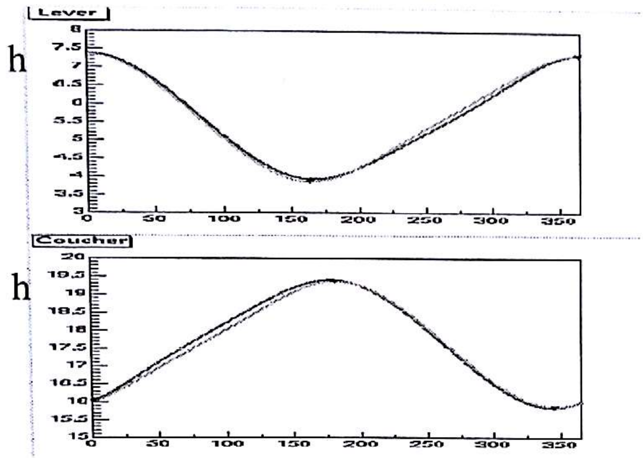
Fig 5-5 :Equation du temps. Le décentrage est due à la longitude de Grenoble :

heure montre–heure solaire en minutes, à Grenoble



Jour de l'année

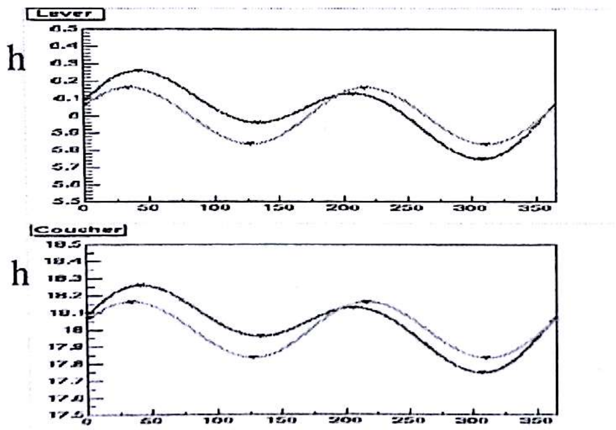
Fig 6-3 :Lever et coucher du soleil à Grenoble :



Jour de l'année

à Grenoble

Fig 7-1 :Lever et coucher du soleil à l'équateur :



Jour de l'année

à l'équateur (Long=0, lat=0)