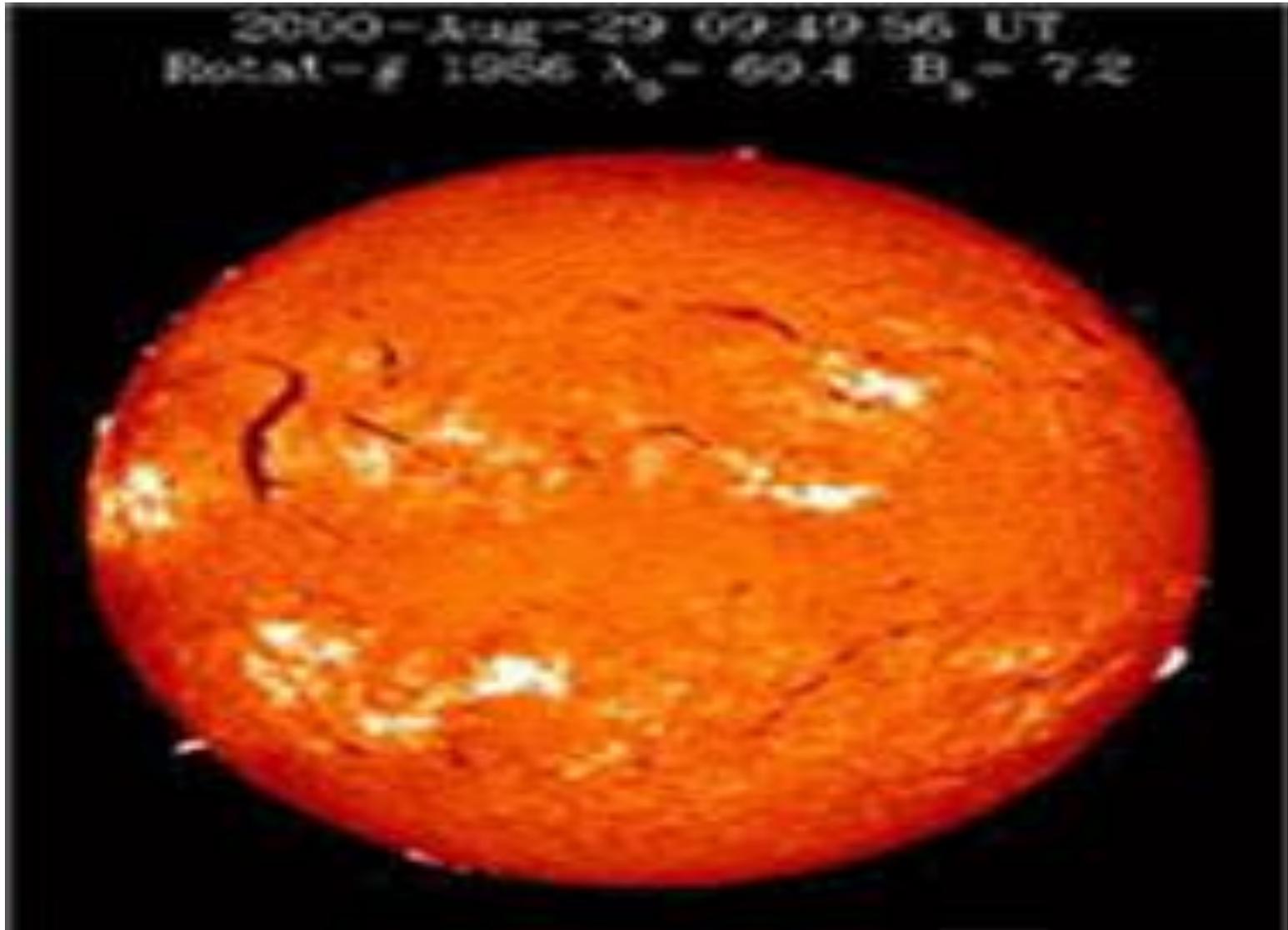


# Environnement et énergie renouvelables



# L'énergie solaire



# L'énergie solaire

C'est la quantité d'énergie lumineuse que fournit le soleil à notre terre, couvre dix mille fois le besoin en énergie nécessaire pour alimenter tous les habitants de la planète. Cependant, la forme sous laquelle nous recevons cette énergie ne nous permet pas de l'utiliser de manière active et efficiente. Il faut donc se servir d'un processus ou dispositif appelé système solaire qui convertit cette énergie solaire en énergie utilisable (énergie électrique ou thermique).

## **Caractéristiques du l'énergie solaire :**

On définit souvent l'énergie solaire comme abondante, renouvelable, non polluante et gratuite.

# Introduction

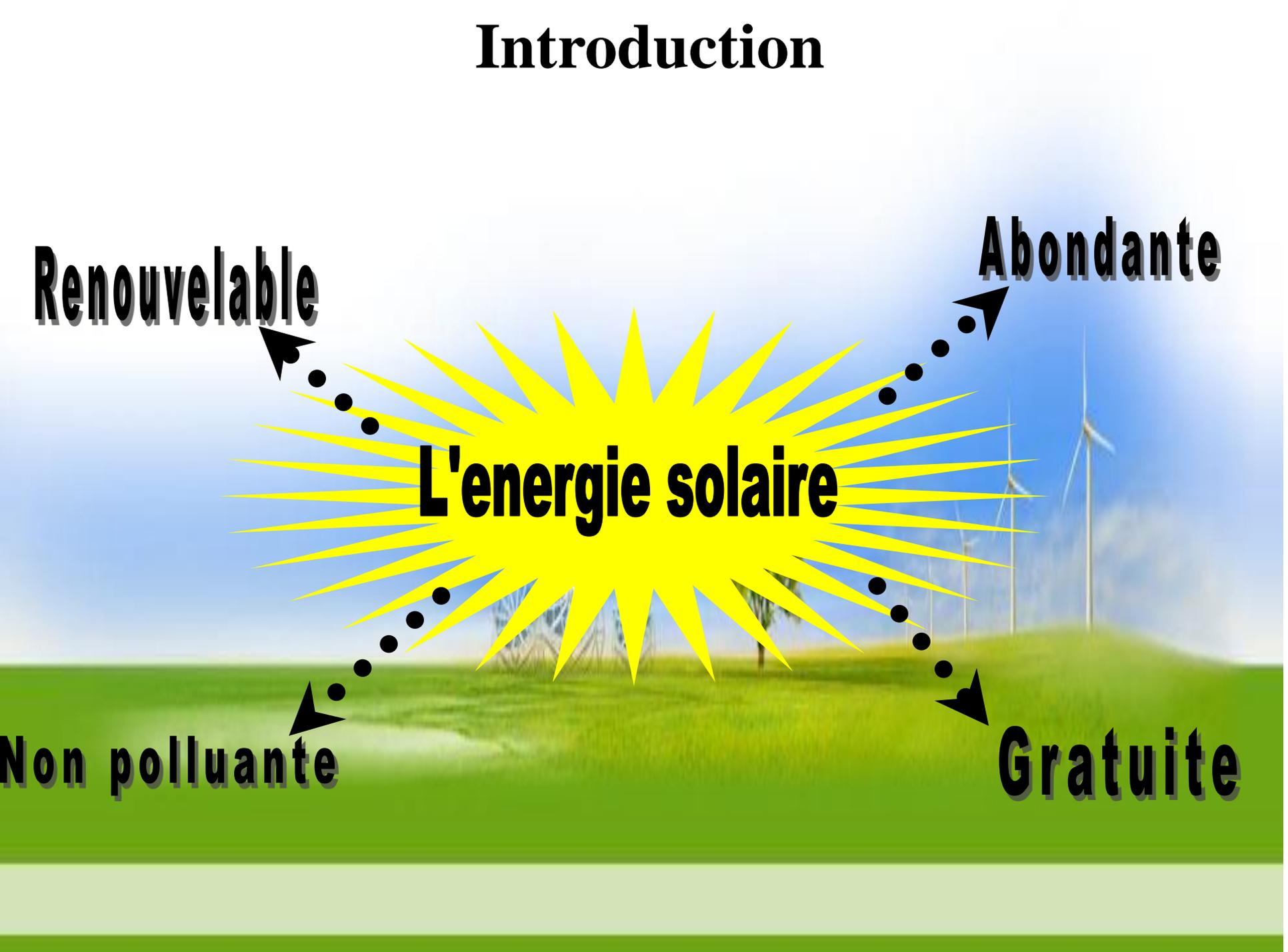
**Renouvelable**

**Abondante**

**L'énergie solaire**

**Non polluante**

**Gratuite**



# Le soleil

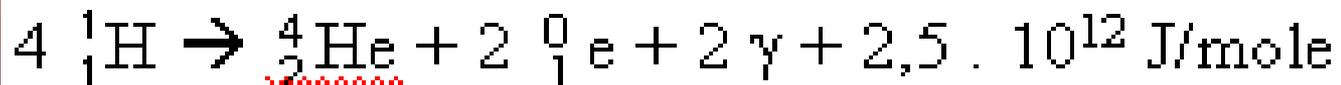
**Diamètre:** 1400000km

**Distance terre soleil:** 150000000km

**Température au centre:** plusieurs millions de degrés

**Pression au centre:** plus d'un milliard d'atmosphères

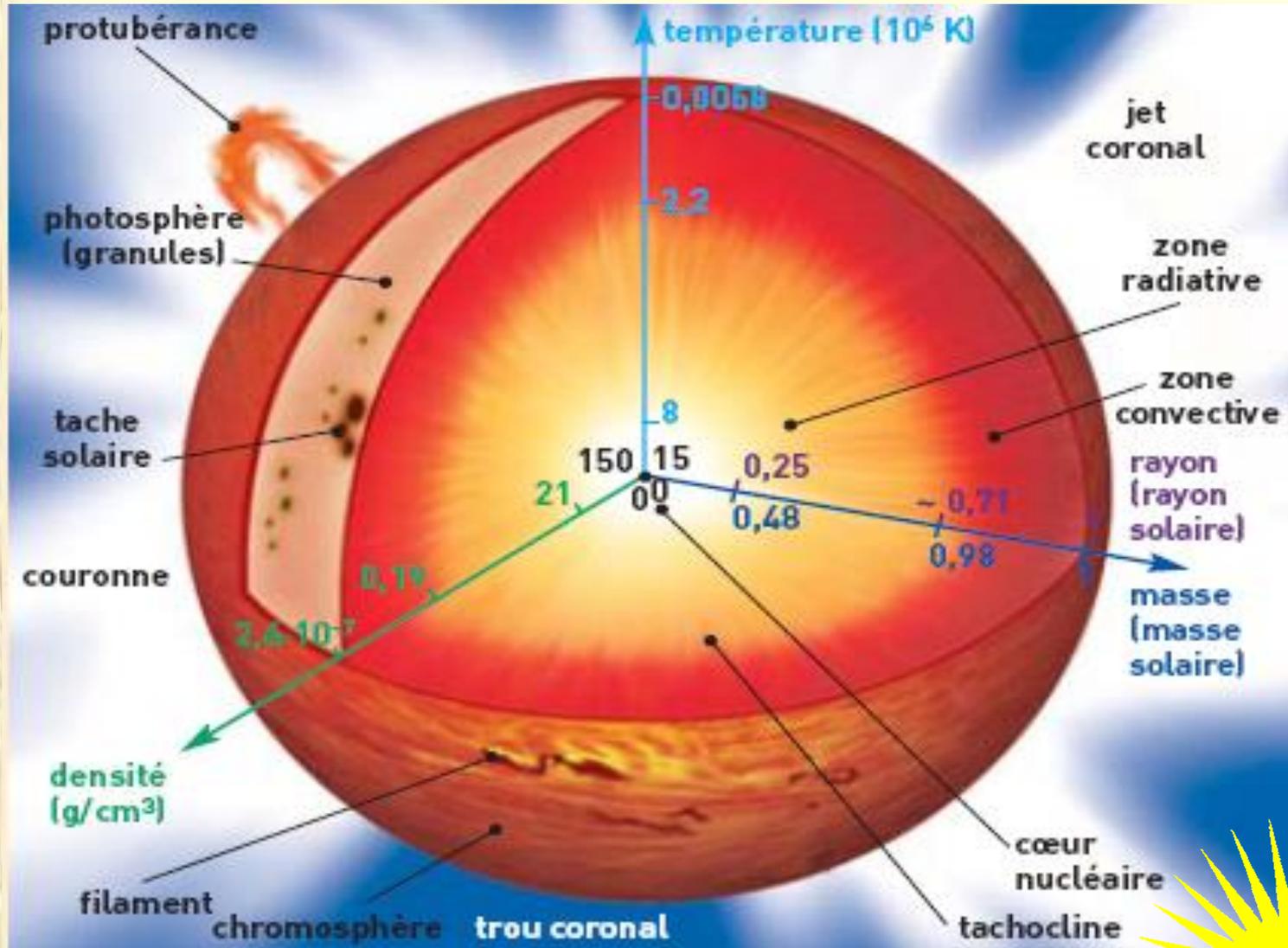
**fusion nucléaire:**



Consommation de 576 millions de tonnes  
d'hydrogène à la seconde

# Carte d'identité de l'étoile Soleil *Le Soleil en chiffres :*

- Constante solaire (ou puissance totale reçue au niveau de l'orbite de la Terre) :  $1\,367\text{ W/m}^2$



# Une coupe schématique du Soleil

## Couronne :

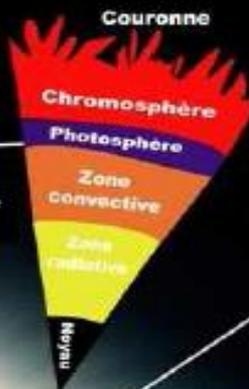
Atmosphère externe du soleil sans limite définie.

## Chromosphère :

Couche très hétérogène.  
Épaisseur 2 000 à 3 000 km.

Domaine visible

Domaine invisible

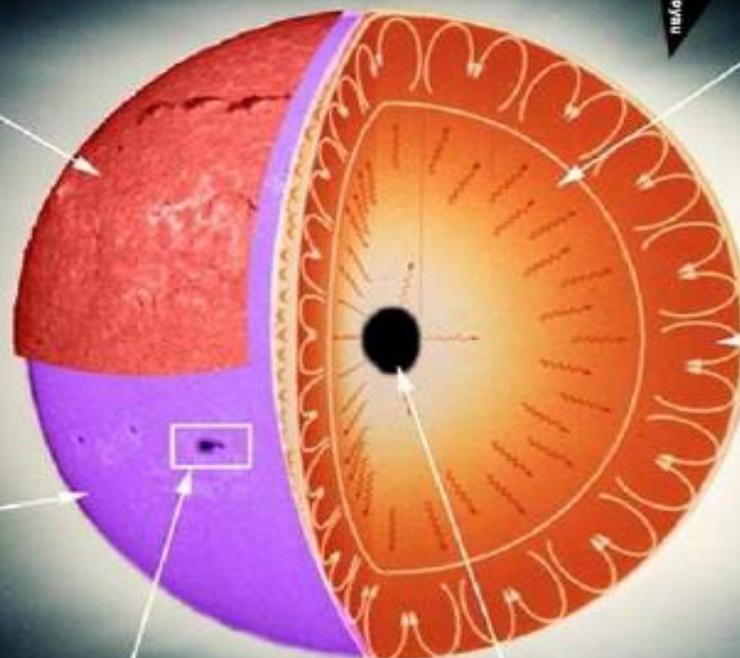


## Zone radiative :

Transfert de l'énergie par rayonnement.

## Zone convective :

Évacuation de l'énergie par mouvement (bouillonnement).



## Photosphère : et "surface" solaire.

Observable en lumière blanche ou dans la raie du calcium ionisé (K1v).  
Structure de petits grains brillants (1 000 km)

## Taches :

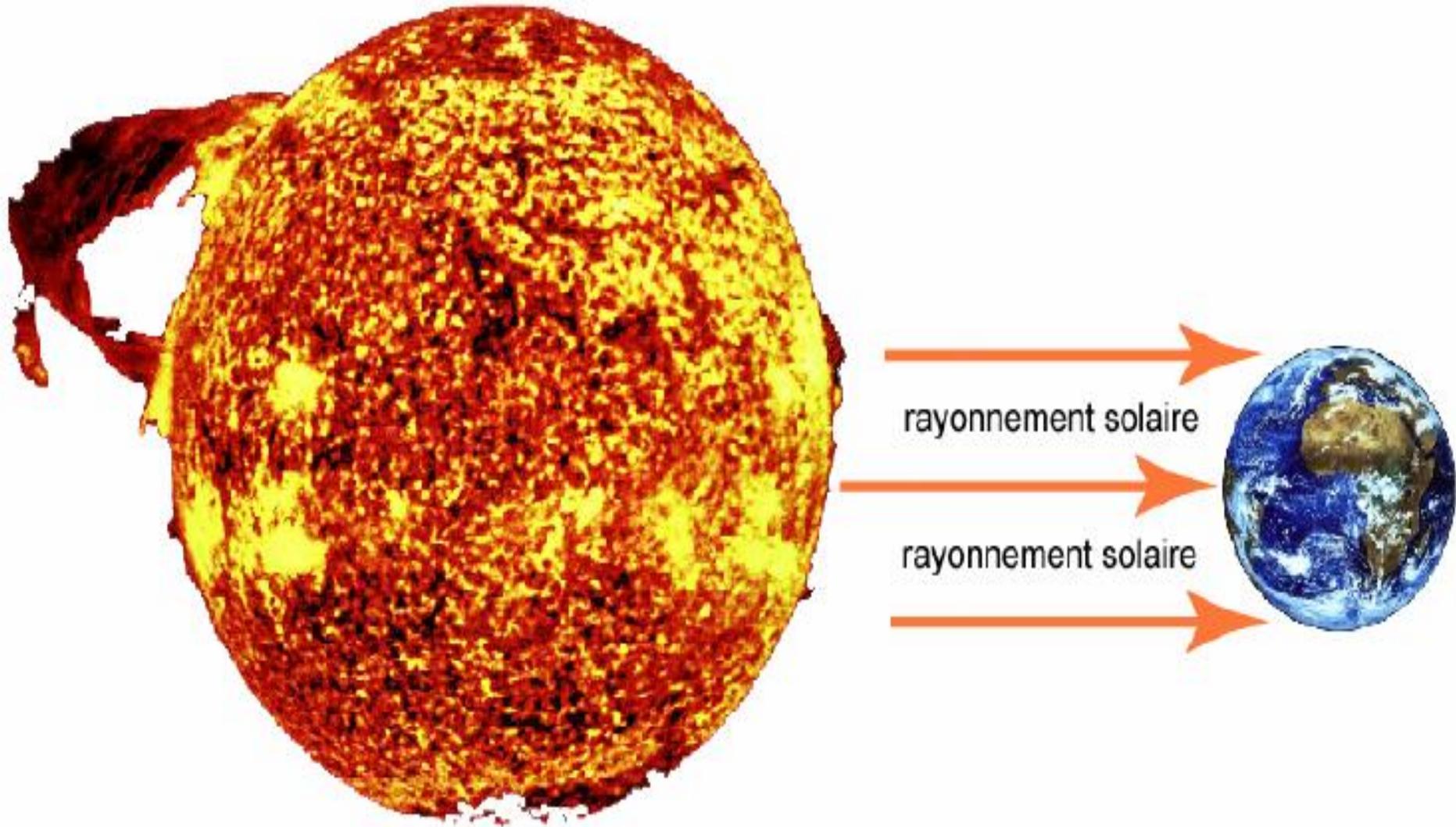
Région sombre car plus froide, dû au champ magnétique plus fort. Plusieurs milliers de kilomètres.

## Noyau :

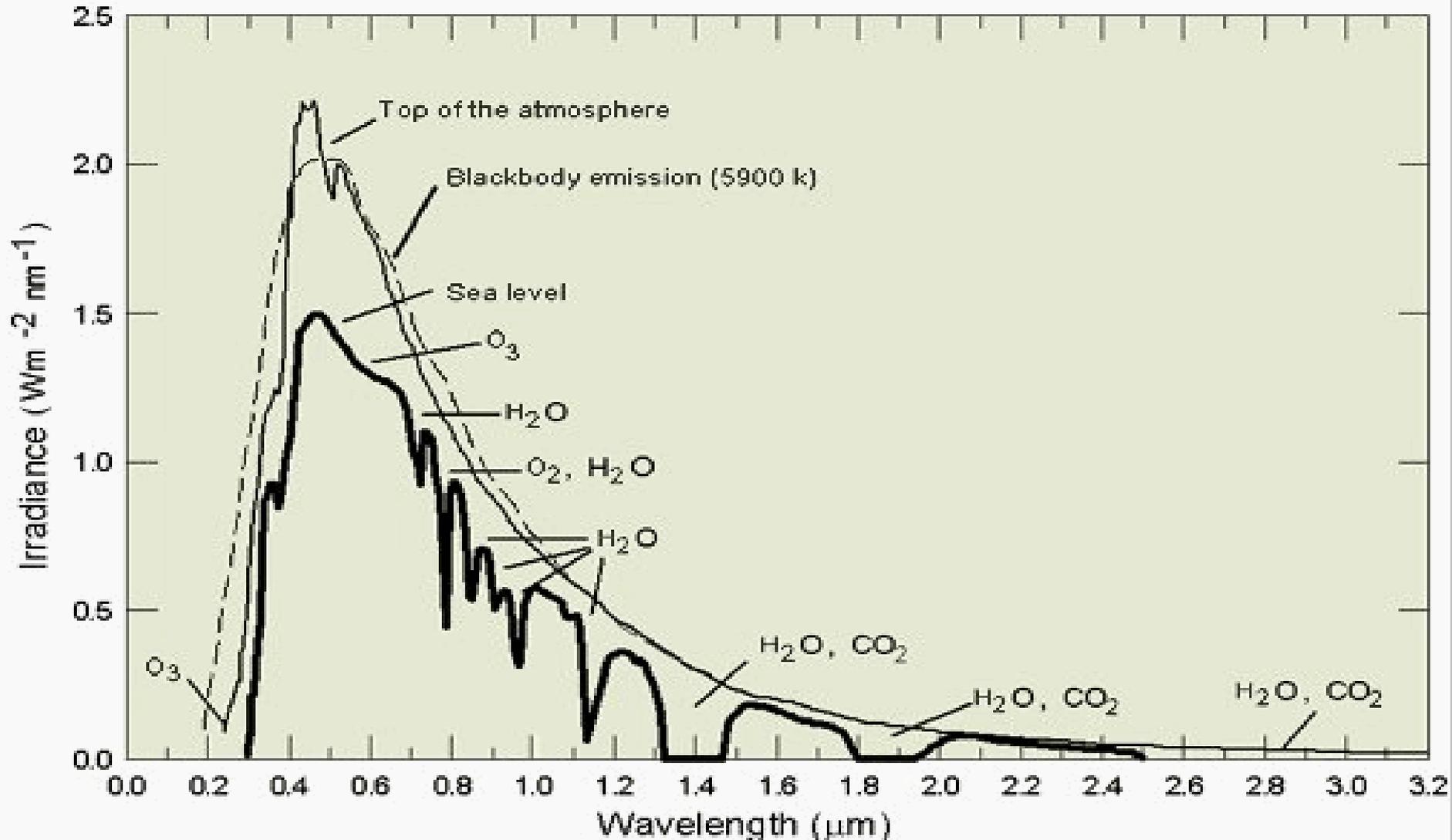
Très dense, très chaud; siège des réactions nucléaires qui fournissent l'énergie du soleil.



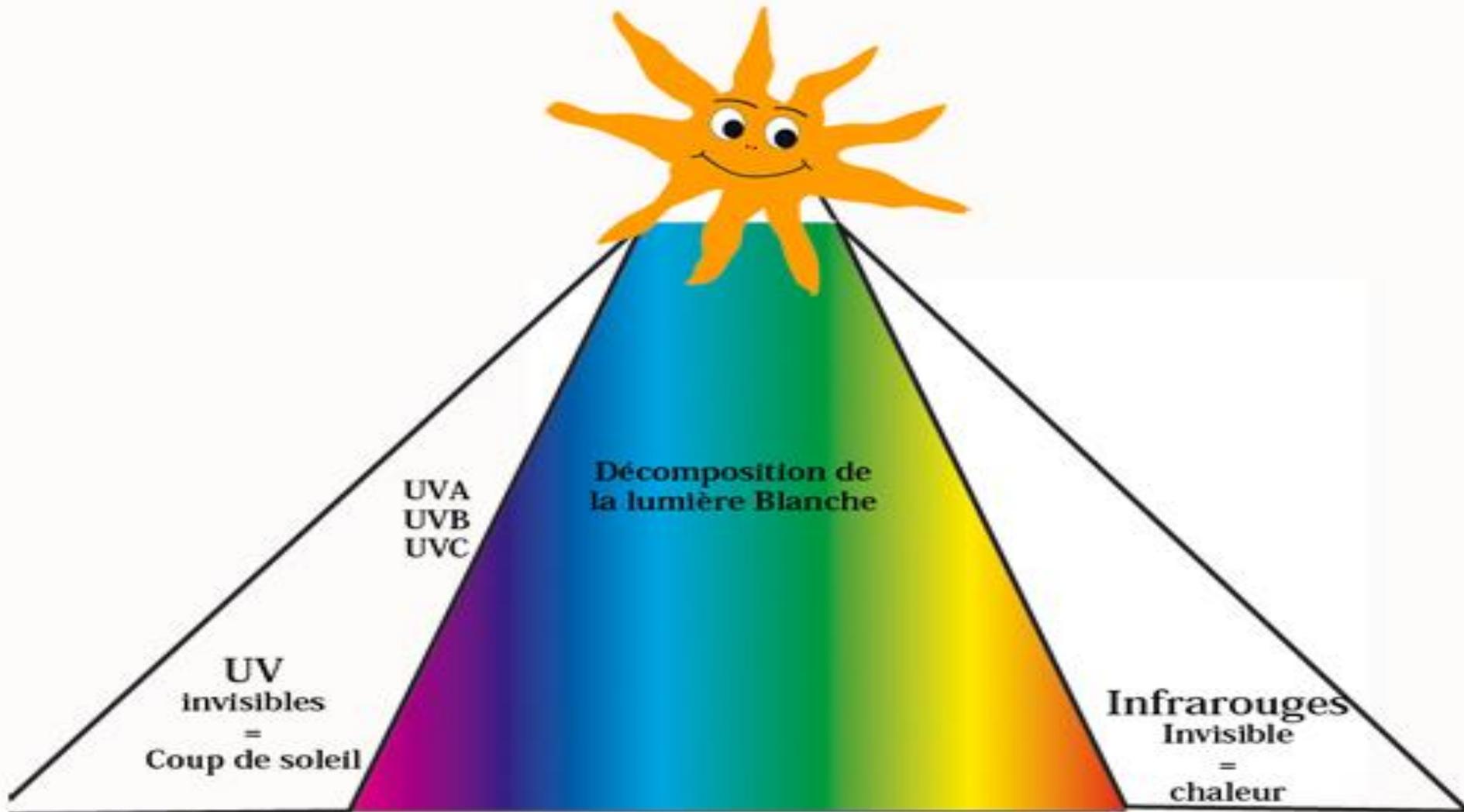
# Le rayonnement solaire



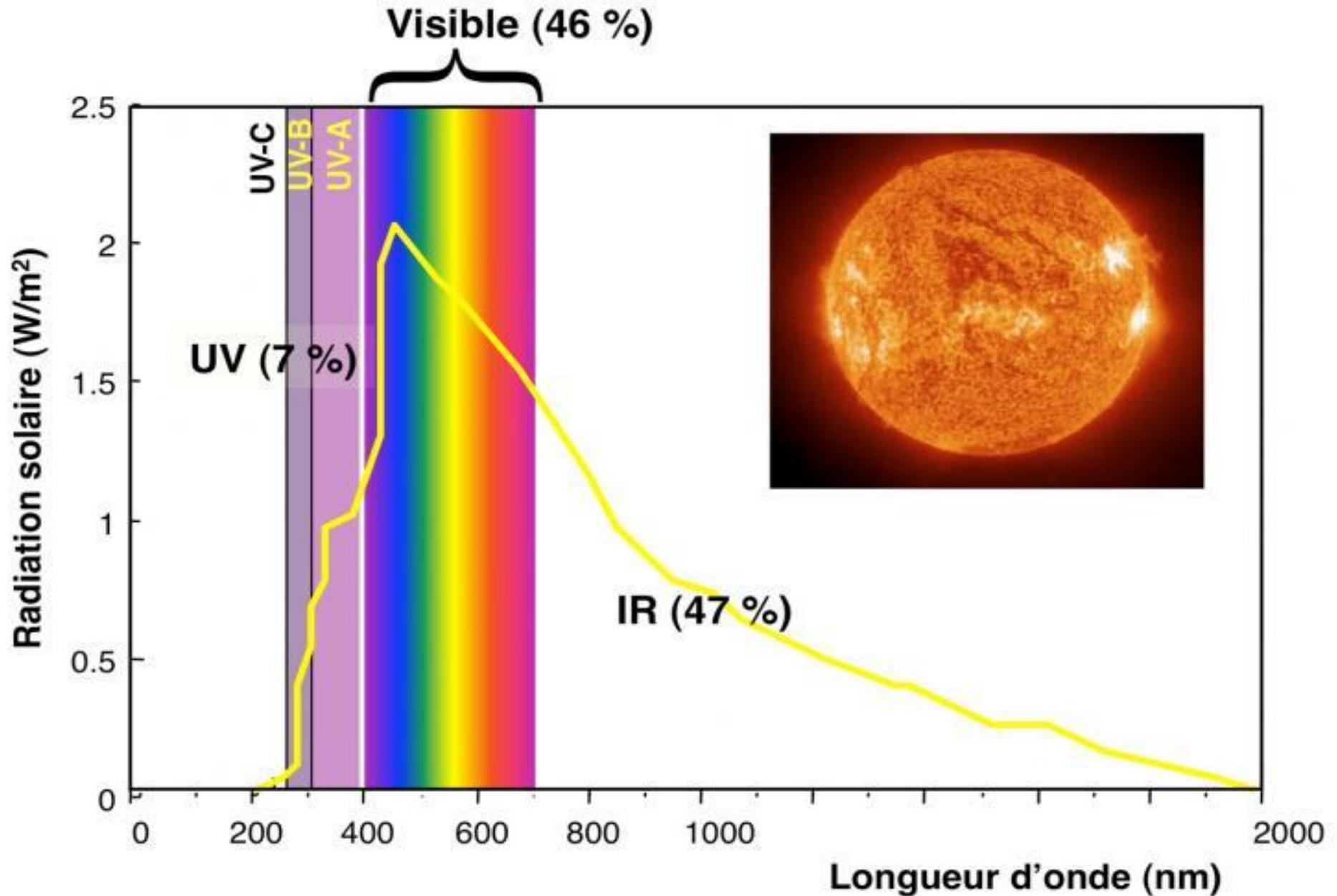
# Le soleil rayonne comme un corps noir à 5800K

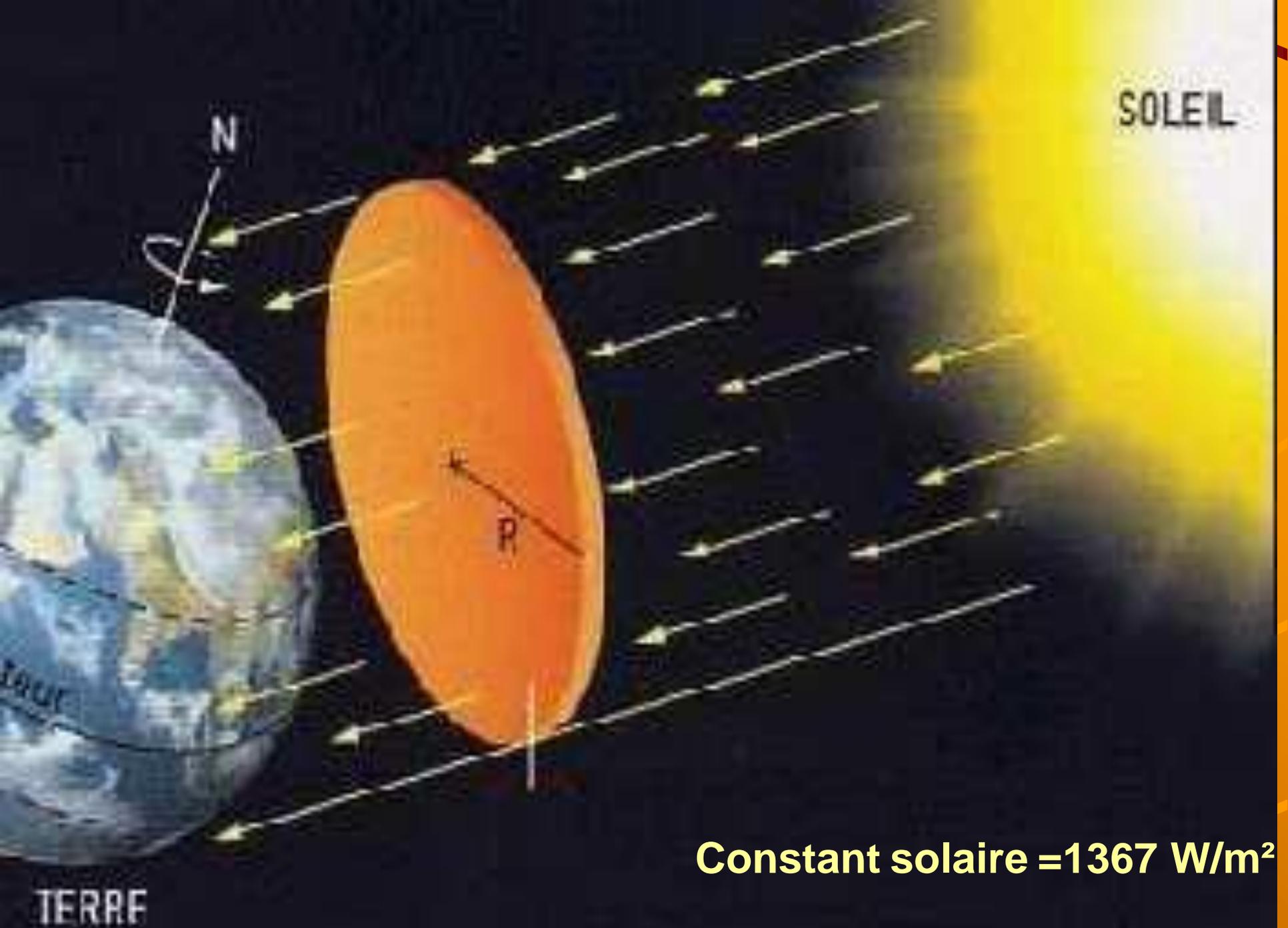


# Composition du rayonnement solaire



# Répartition spectrale du rayonnement solaire





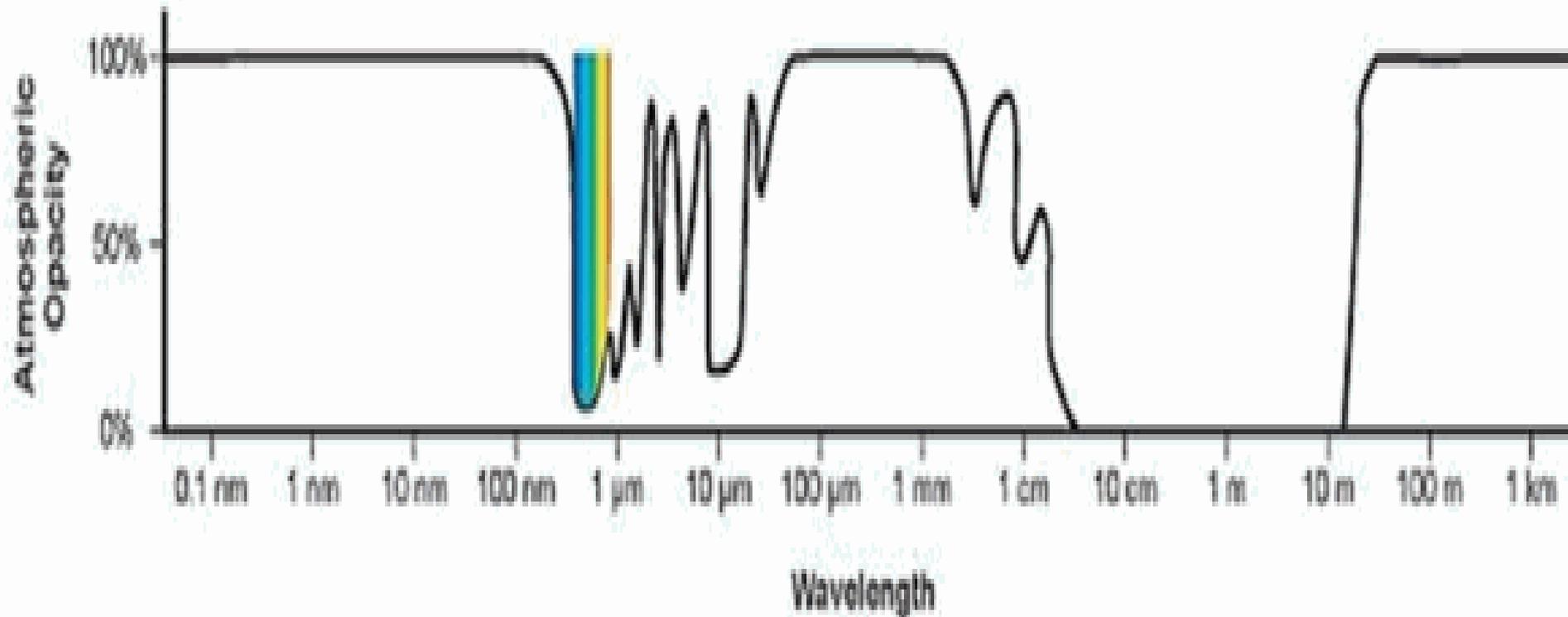
**Constant solaire =  $1367 \text{ W/m}^2$**

TERRE

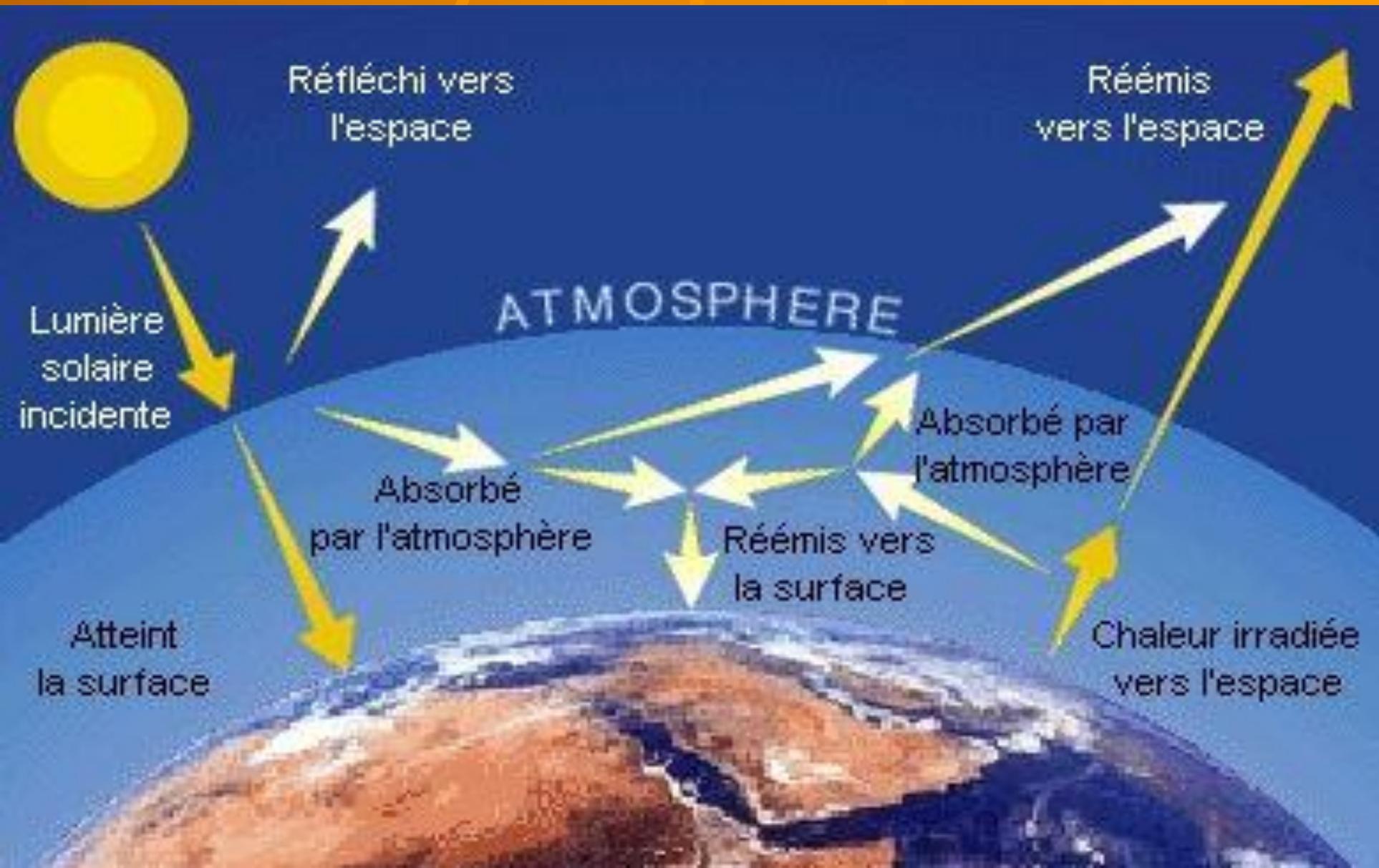
# constante solaire

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée **la constante solaire**. La constante solaire a été estimée à  $1367 \text{ W.m}^{-2}$

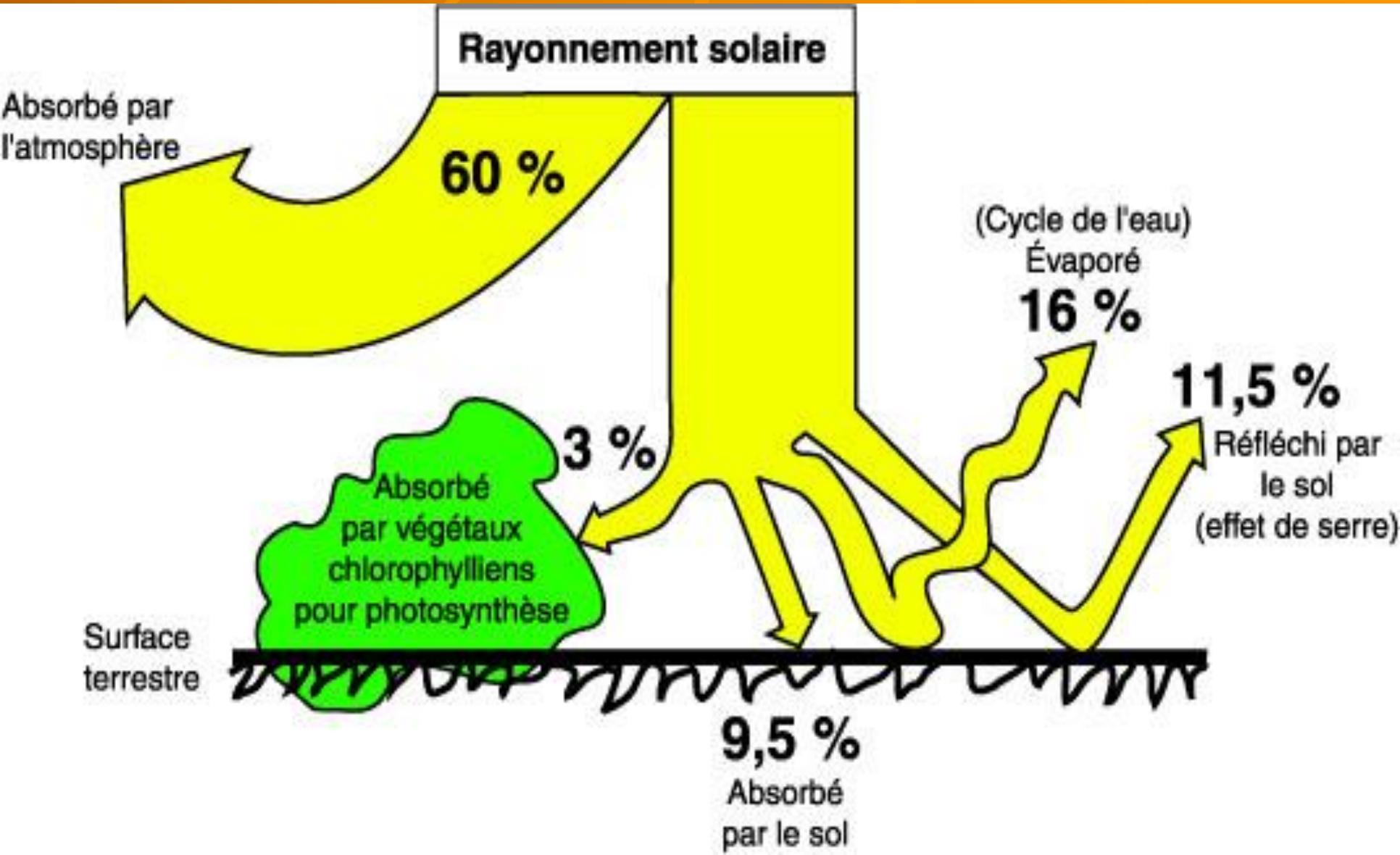
# Courbe représentant l'opacité de l'atmosphère terrestre au rayonnement électromagnétique



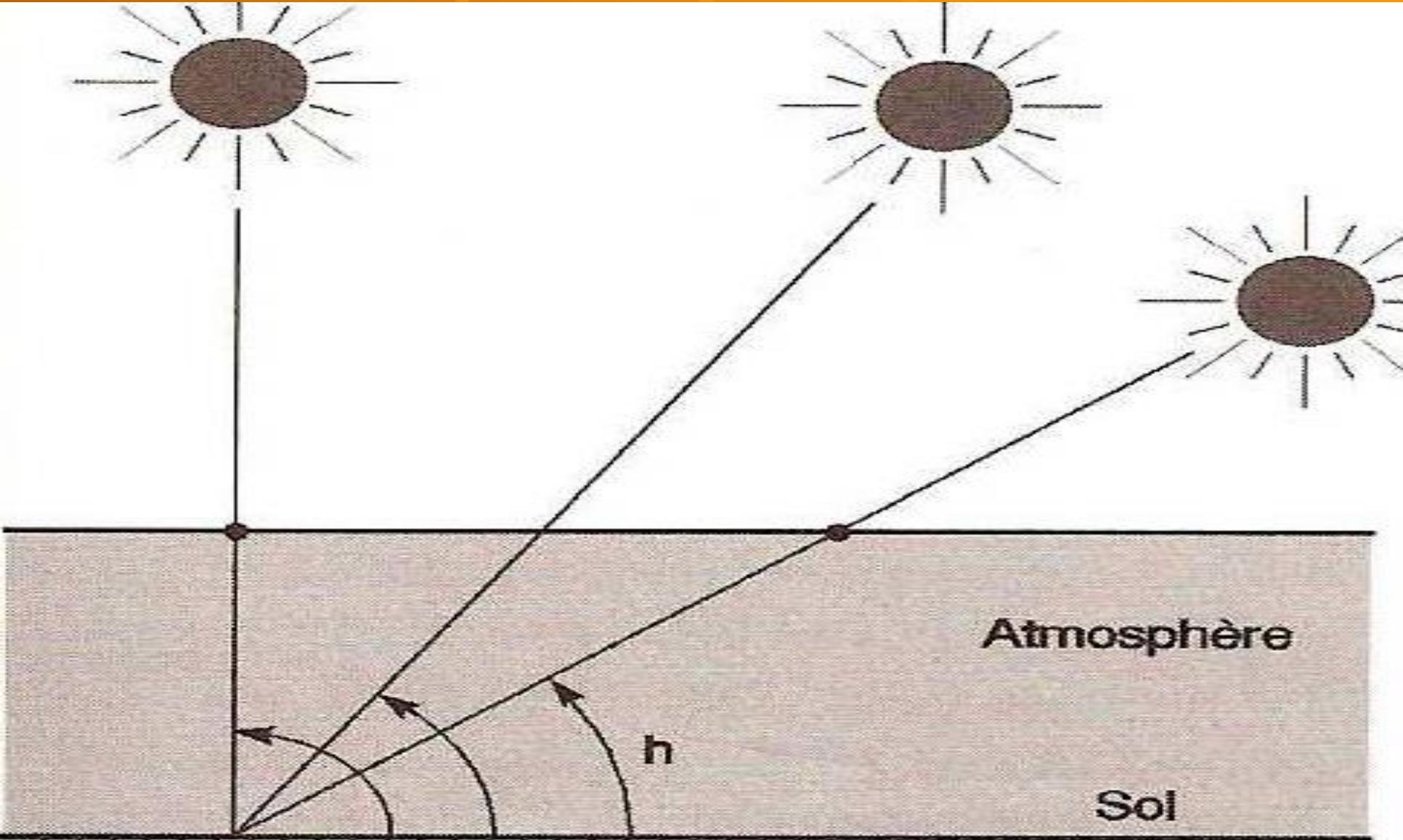
# La propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère

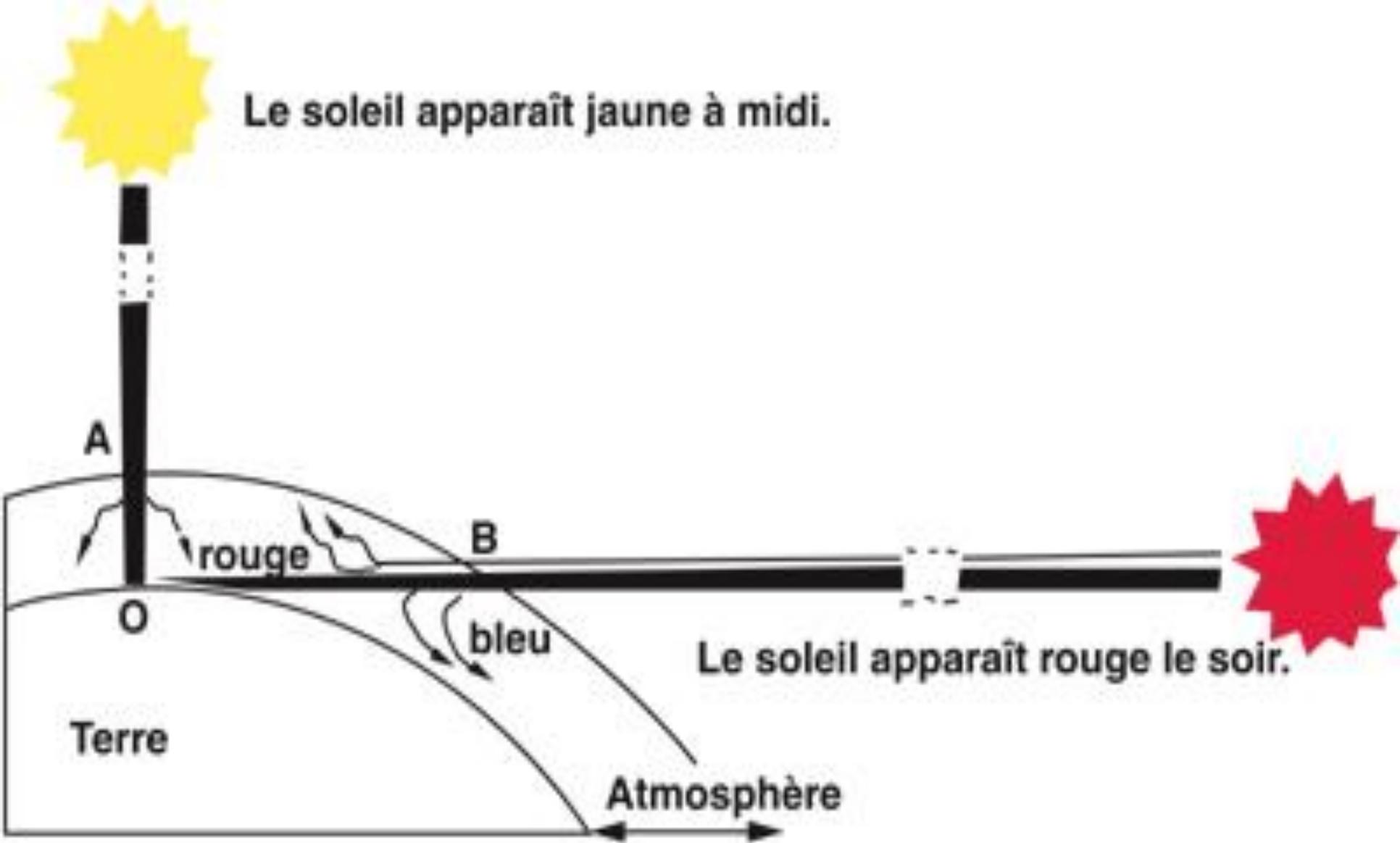


# Partition rayonnement solaire dans l'atmosphère



La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser

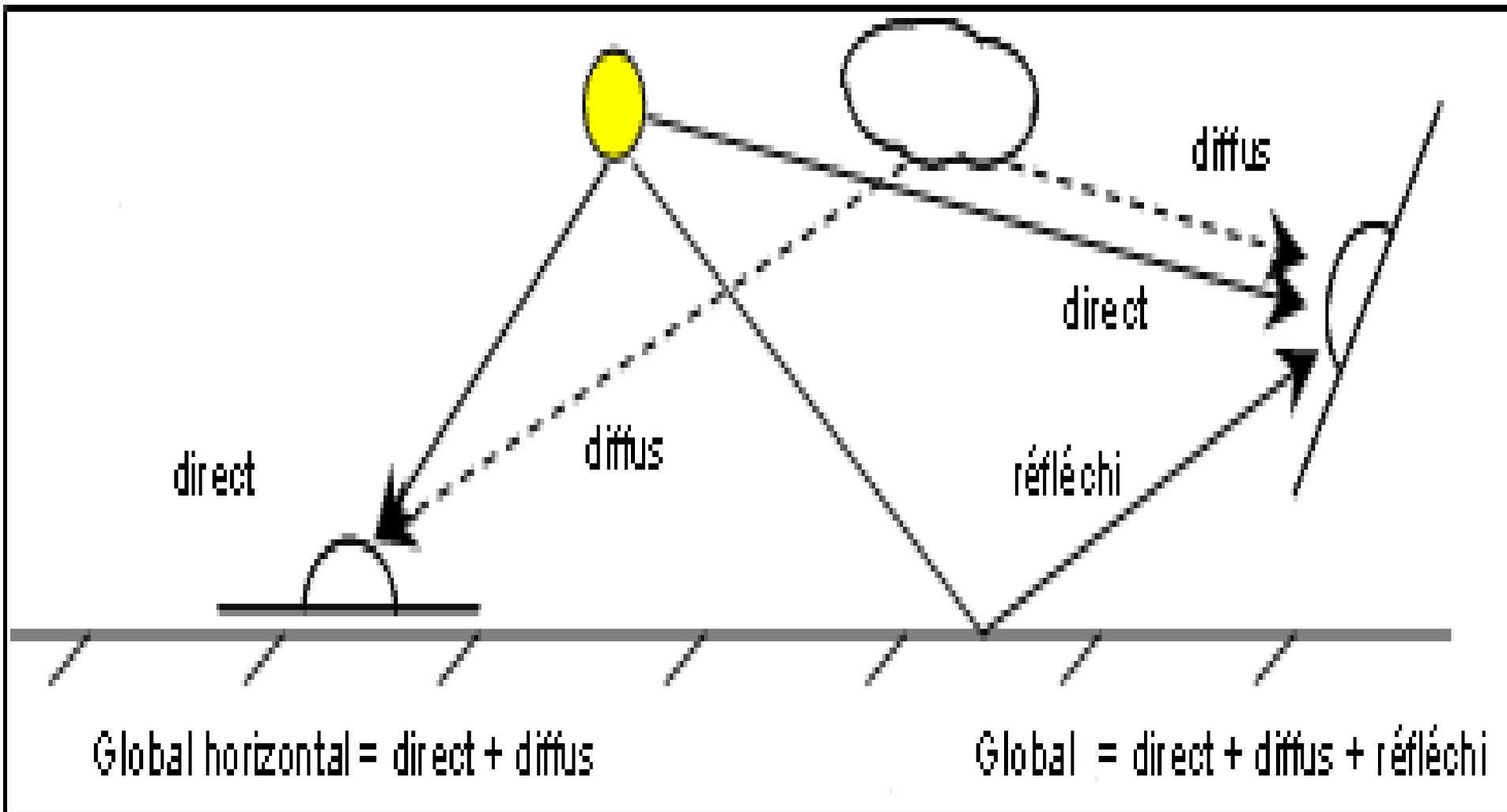




O : lieu de l'observation

A  
B } trajets de la lumière dans l'atmosphère terrestre

# Les composants du rayonnement solaire au sol



# Mesure du rayonnement solaire

## 1. Le spectromètre :



**Figure :** Spectromètre SOSP

la longueur d'onde de 300 nm à 2500 nm.



**Figure :** spectromètre DOAN

la longueur d'onde de 300 à 850 nm.



# Mesure du rayonnement solaire

## 2. Le pyrromètre



(IR) émis par l'atmosphère et le sol.



## 3. Le pyranomètre :



**Figure:** Pyranomètres

300 (seuil du domaine visible) à 3000 nm  
de 300 à 320 nm (domaine de l'ultraviolet).



**Figure :** pyranomètre d'Eppley  
le rayonnement global (direct + diffus)  
0.3 à 3 $\mu$ m

# Mesure du rayonnement solaire

## 4. Le pyréliomètre :

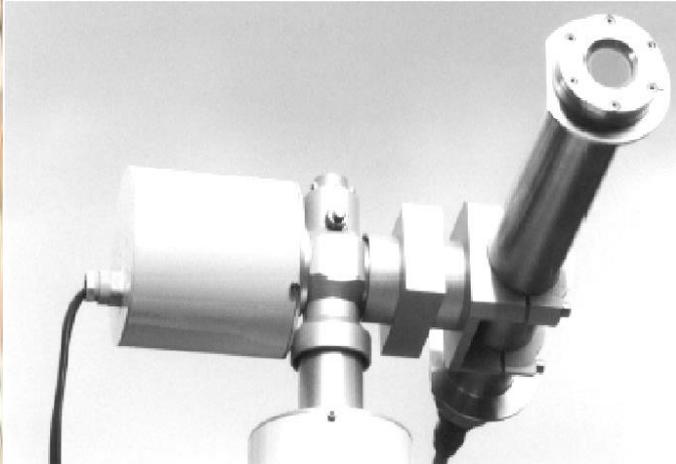


Figure : Pyréliomètre  
irradiations directes



Figure :Pointeur



Figure :Héliographe permettant de  
mesurer la durée d'insolation  
(en pratique plus de  $120 \text{ W/m}^2$ )



# Mesure du rayonnement solaire

## 5 . Sonde de radiation globale



**Figure I.28:** Sonde de radiation globale

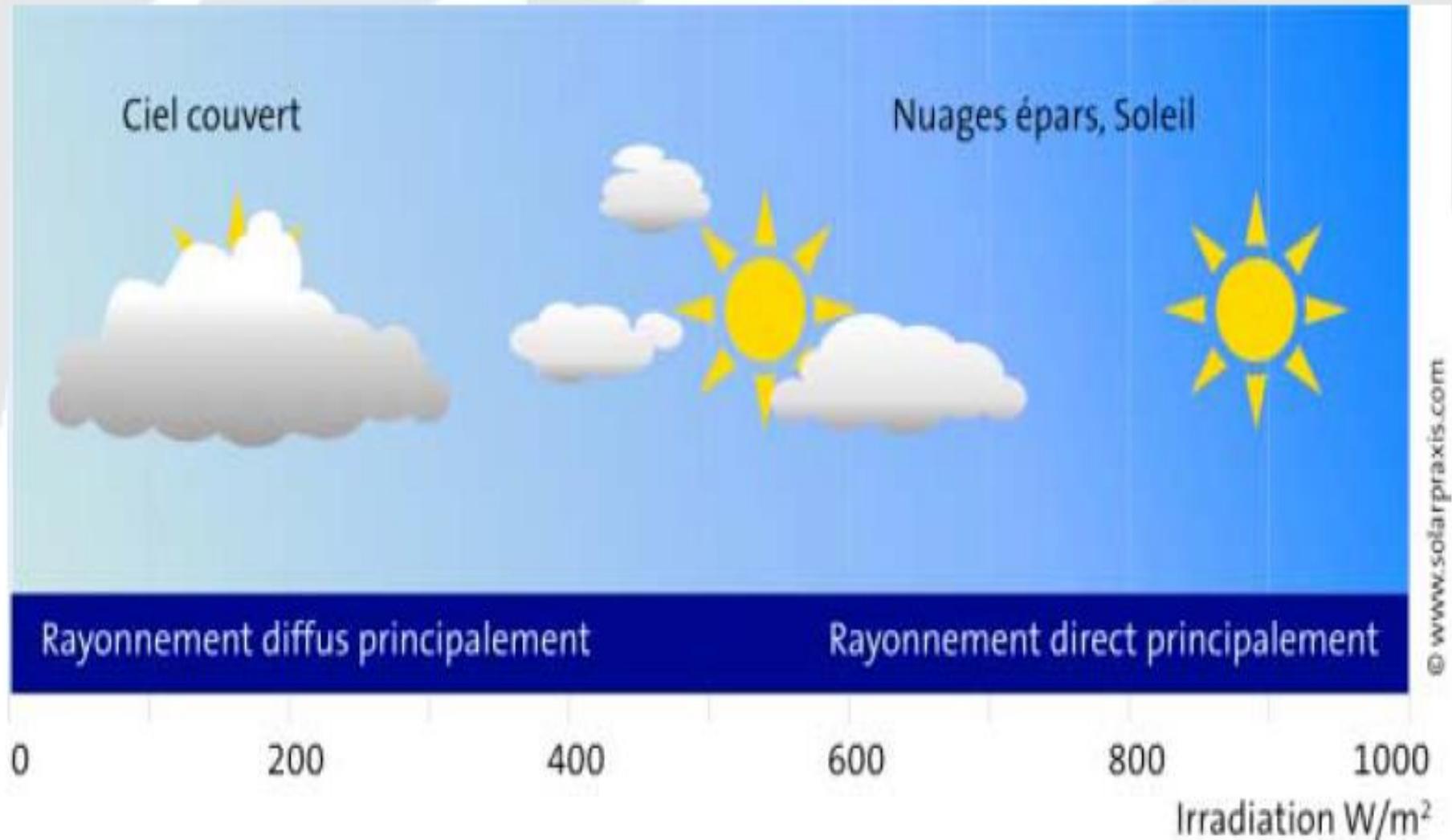


**Figure I.29:** Sonde de radiation globale Type n°6004.0000

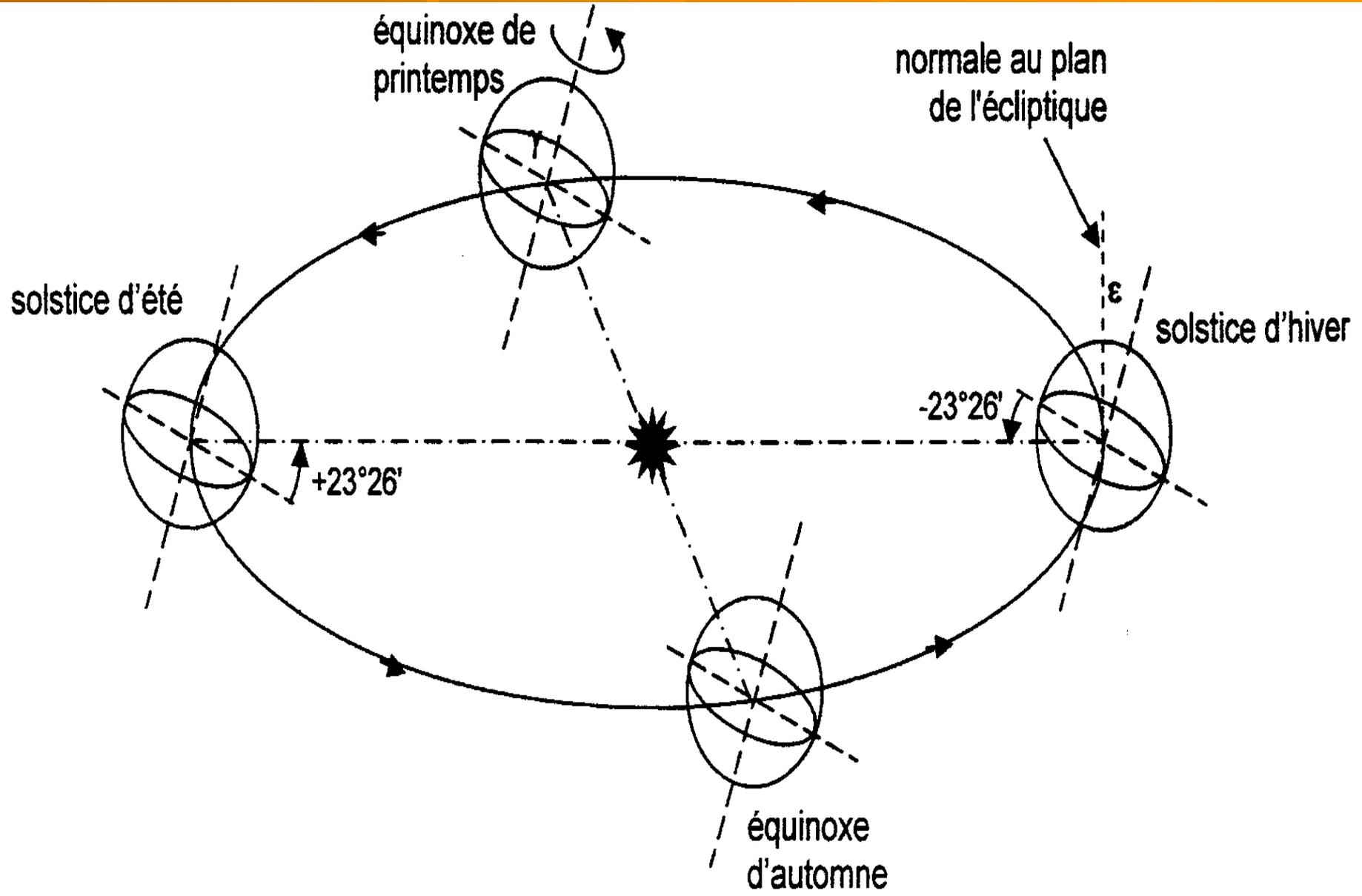
Adaptée comme moyen de référence dans les installations photovoltaïques

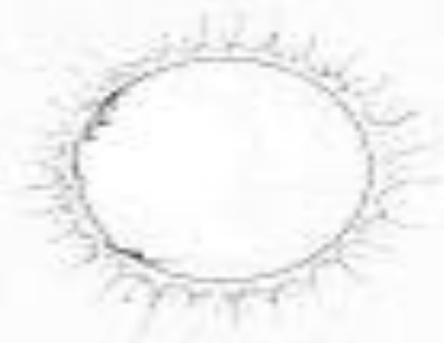


# Les variations du rayonnement au sol

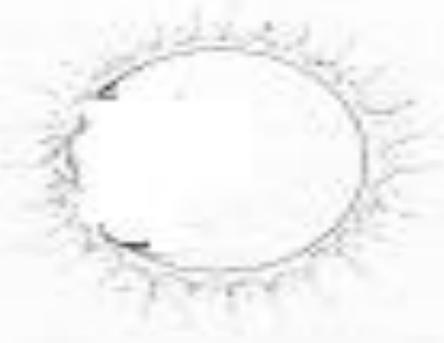
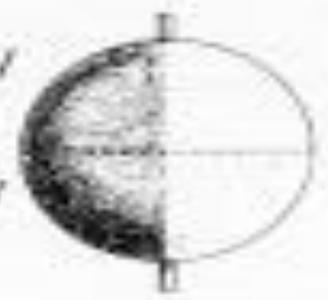


# Trajectoire de la Terre autour du Soleil

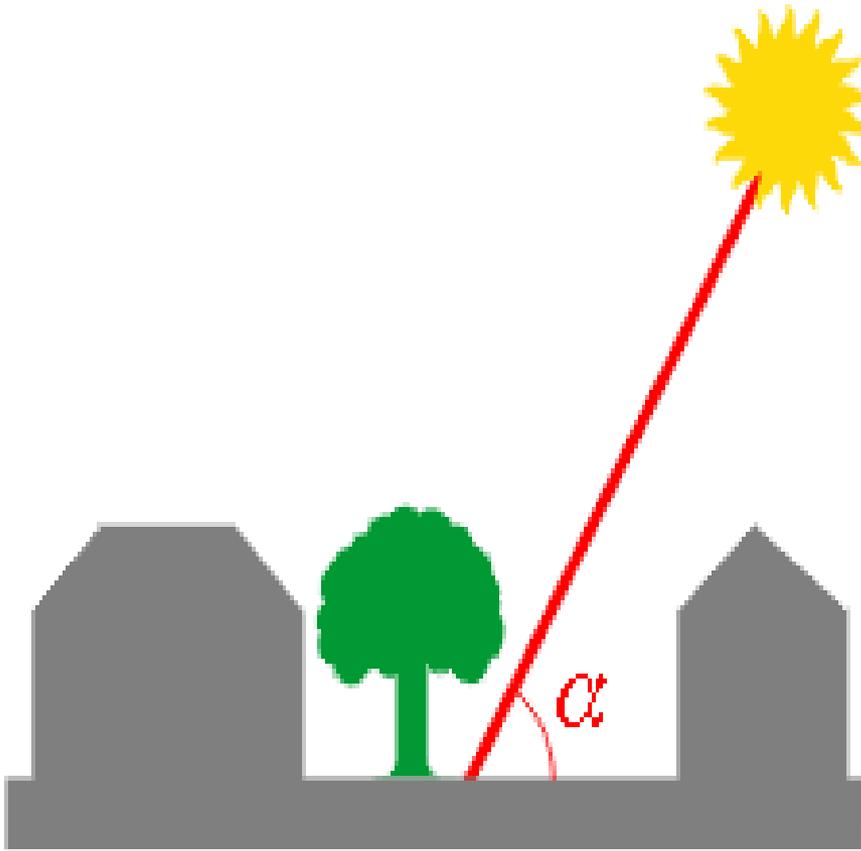




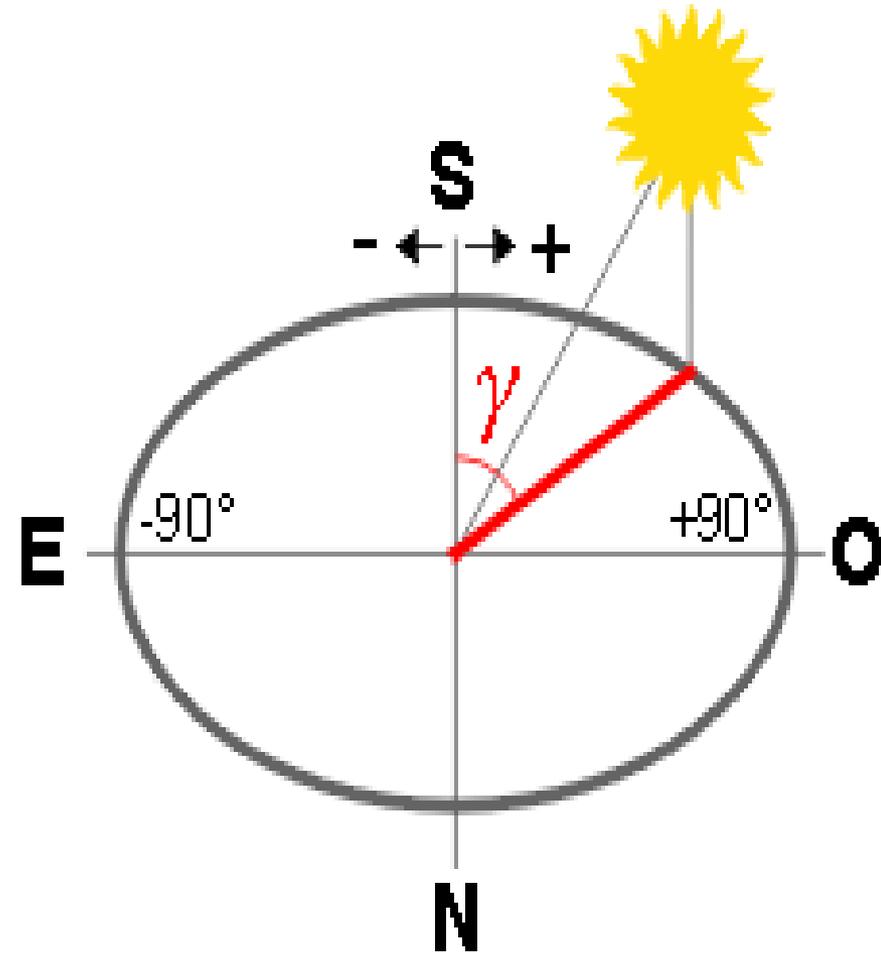
PRINTEMPS/  
AUTOMNE  
AUTOMNE/  
PRINTEMPS



# Repérage du soleil



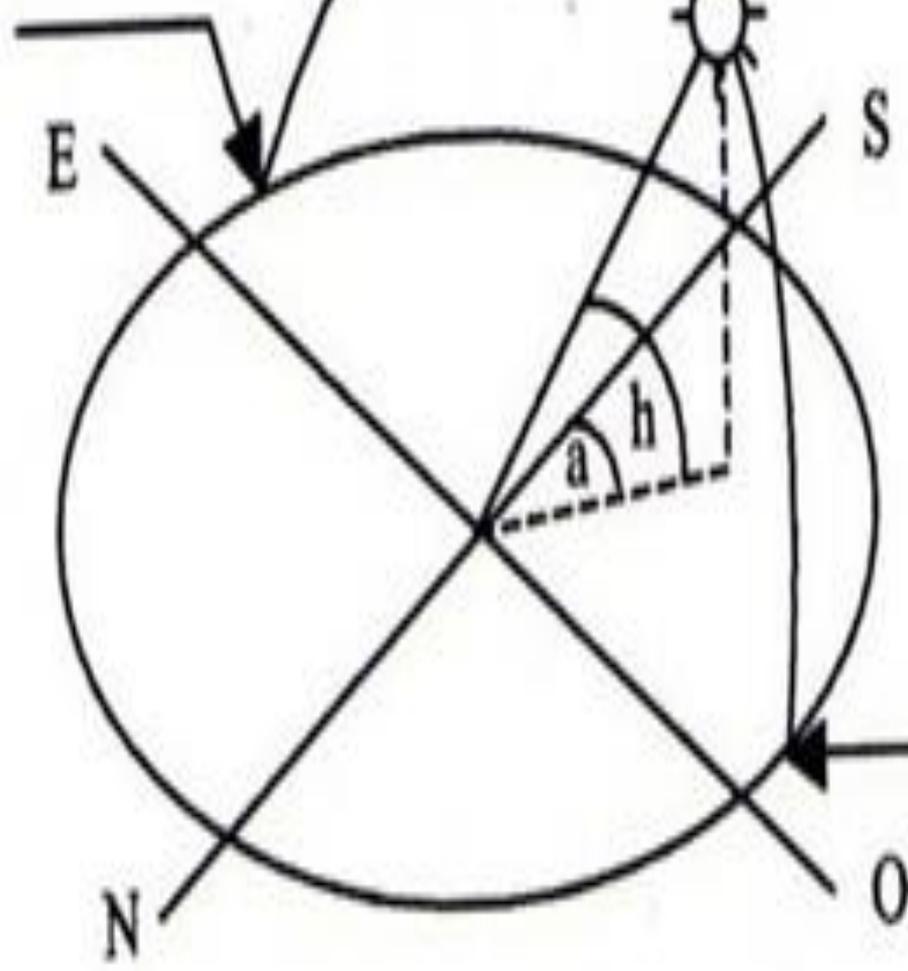
Hauteur du soleil



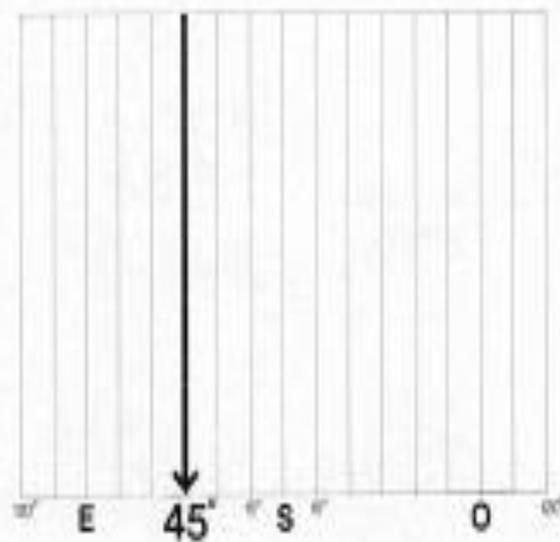
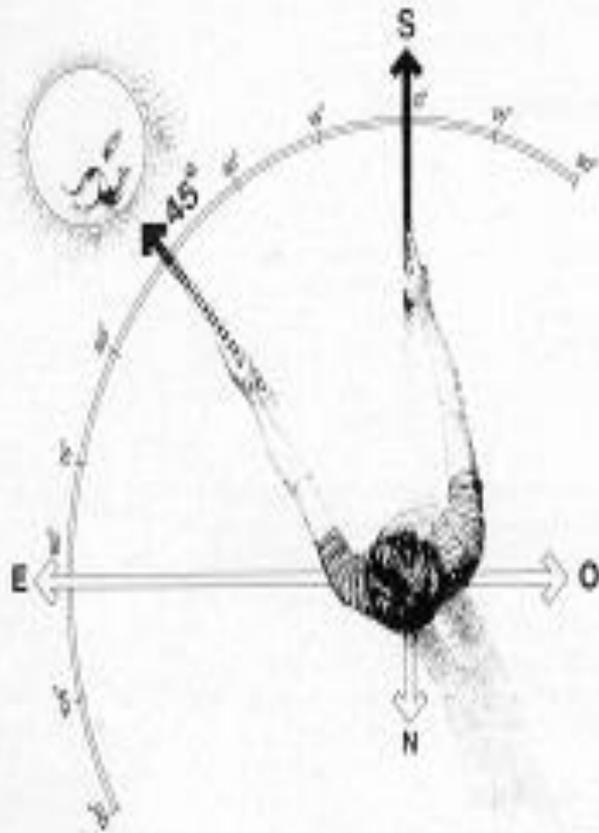
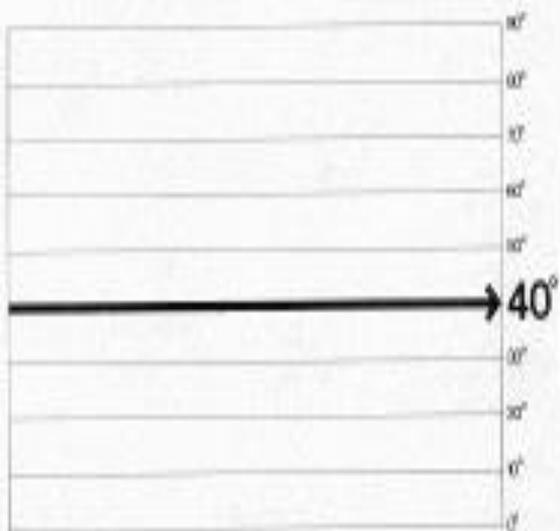
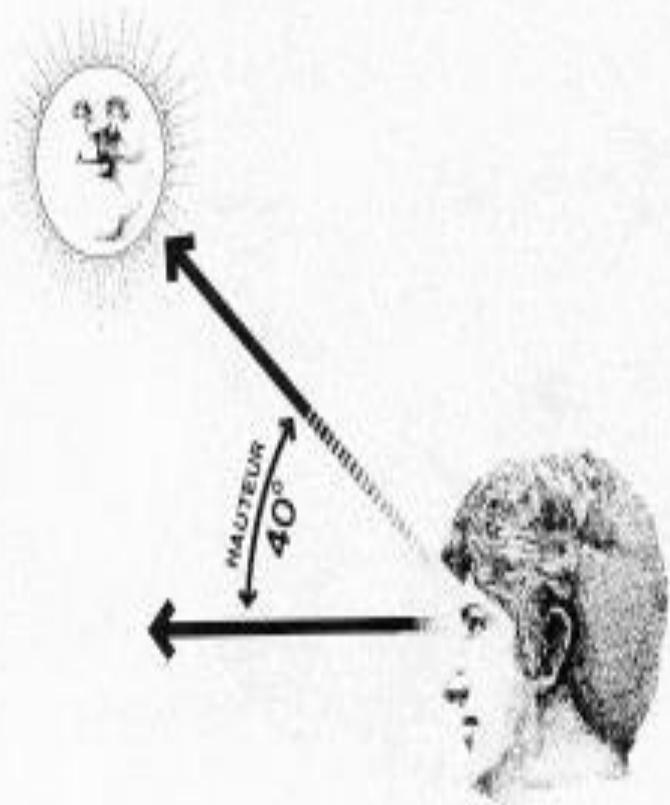
Azimut du soleil

Lever du Soleil

Trajectoire apparente du Soleil



Coucher du Soleil



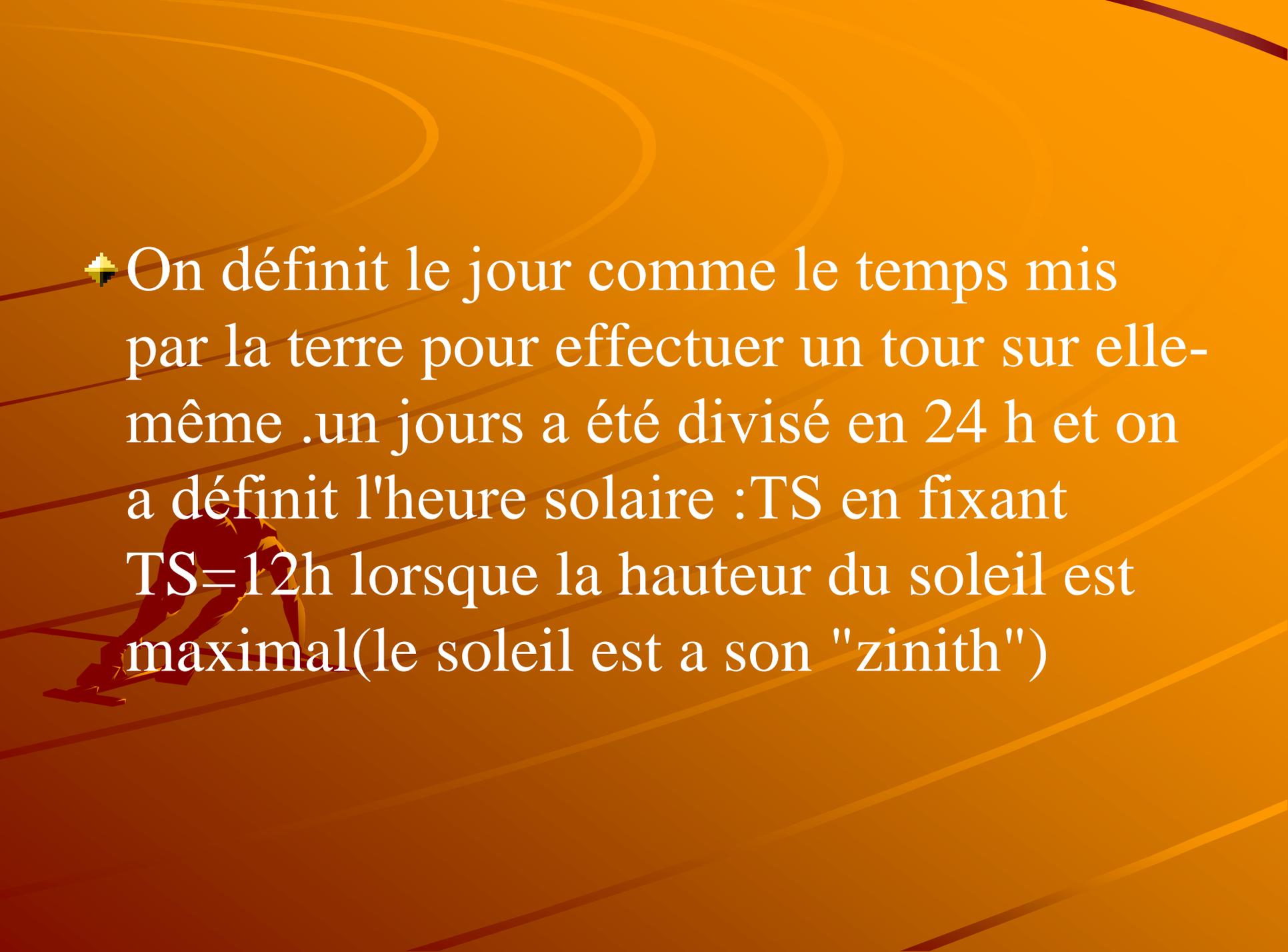
Ces deux angles sont fonction de :

- la latitude  $L$  du lieu 📍
- la date  $j$  (numéro du jour de l'année) 📅
- l'heure solaire  $TS$  dans la journée 🕒



✦ La latitude  $L$  et la date  $j$  servent à déterminer la trajectoire du soleil dans le ciel , et l'heure  $TS$  donne ma position instantanéé sur cette trajectoire.





✦ On définit le jour comme le temps mis par la terre pour effectuer un tour sur elle-même .un jours a été divisé en 24 h et on a définit l'heure solaire :TS en fixant  $TS=12h$  lorsque la hauteur du soleil est maximal(le soleil est a son "zinith")

# L'angle horaire

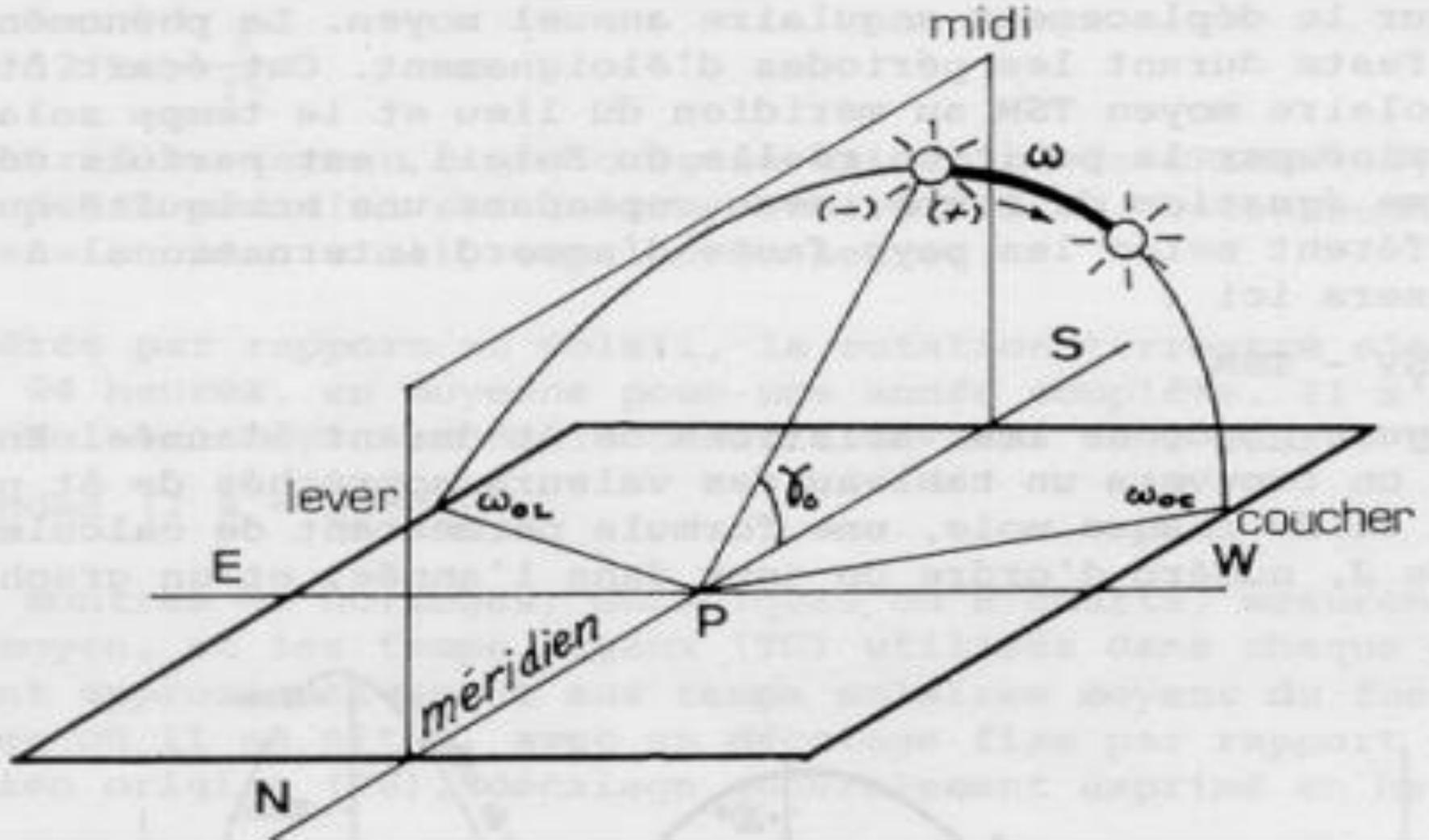
L'angle horaire:  $w$ : elle est définit :

$$w = 15^\circ (\text{TS} - 12)$$

$w$  est compté positivement à l'après-midi



# angle horaire $\omega$ du soleil



# *Hauteur angulaire*

C'est l'angle  $h$  formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil.



la hauteur  $h$  du soleil peut être déduire de la relation :

$$\sin(h) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(\omega)$$

- ✦  $\delta$ : est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial ,elle varie au cours de l'année entre  $-23.45^\circ$  et  $+23.45^\circ$  .Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre)et maximale aux solstice d'été (21 juin) et minimale aux solstice d'hiver (21 décembre).

$\delta$ : est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial ,elle varie au cours de l'année entre  $-23.45^\circ$  et  $+23.45^\circ$  .Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre)et maximale aux solstice d'été (21 juin) et minimale aux solstice d'hiver (21 décembre).

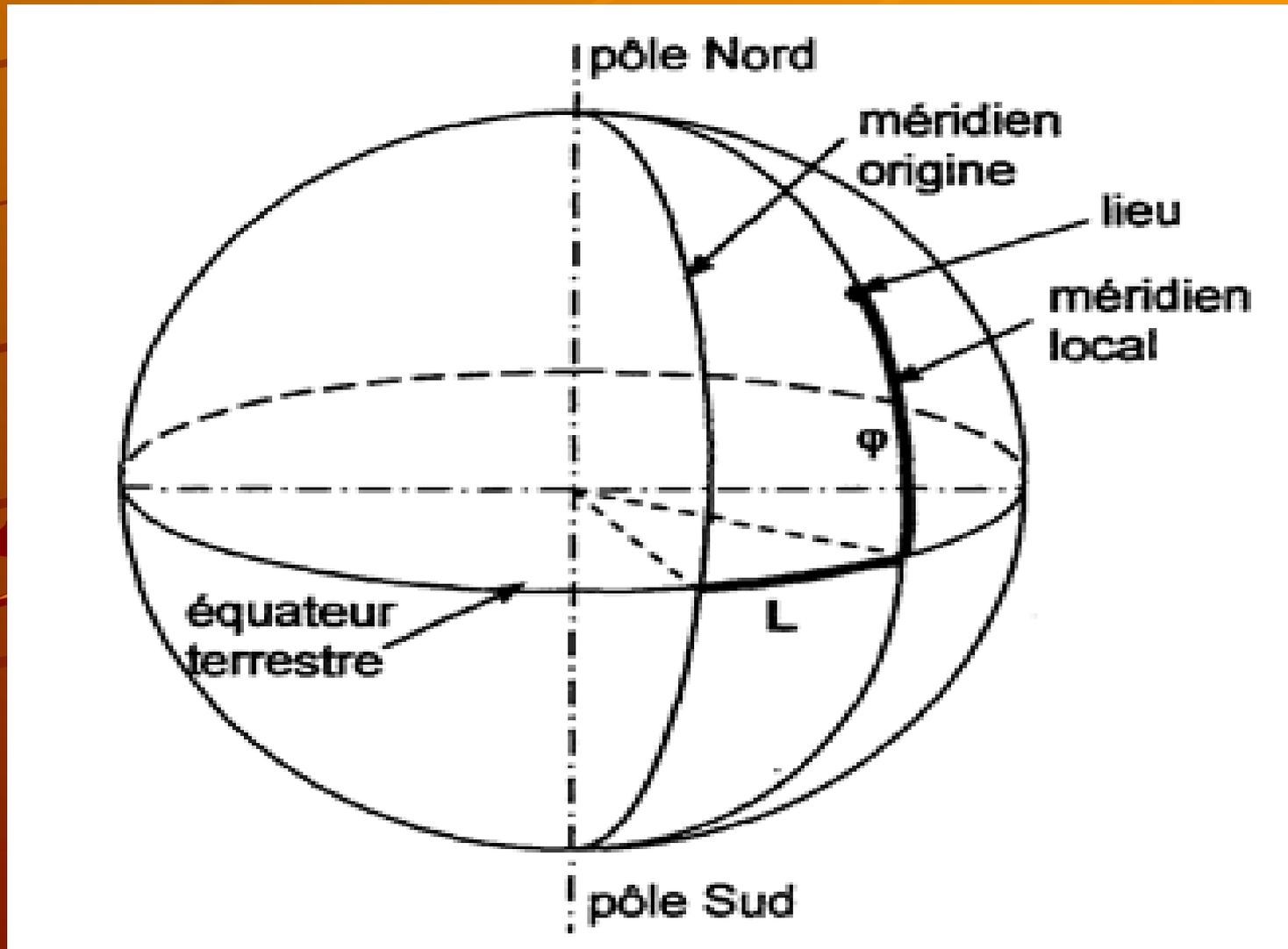


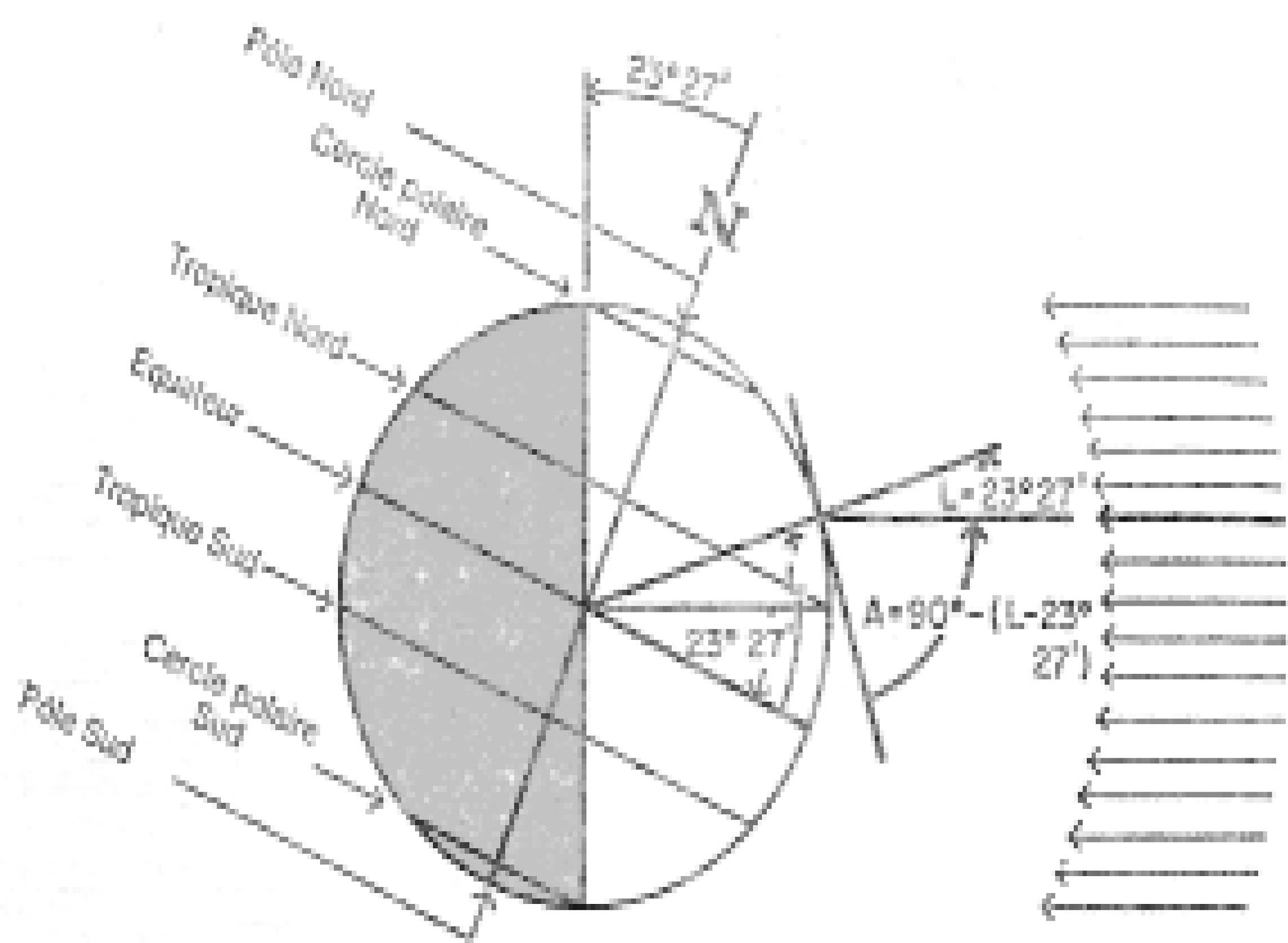
# l'azimut

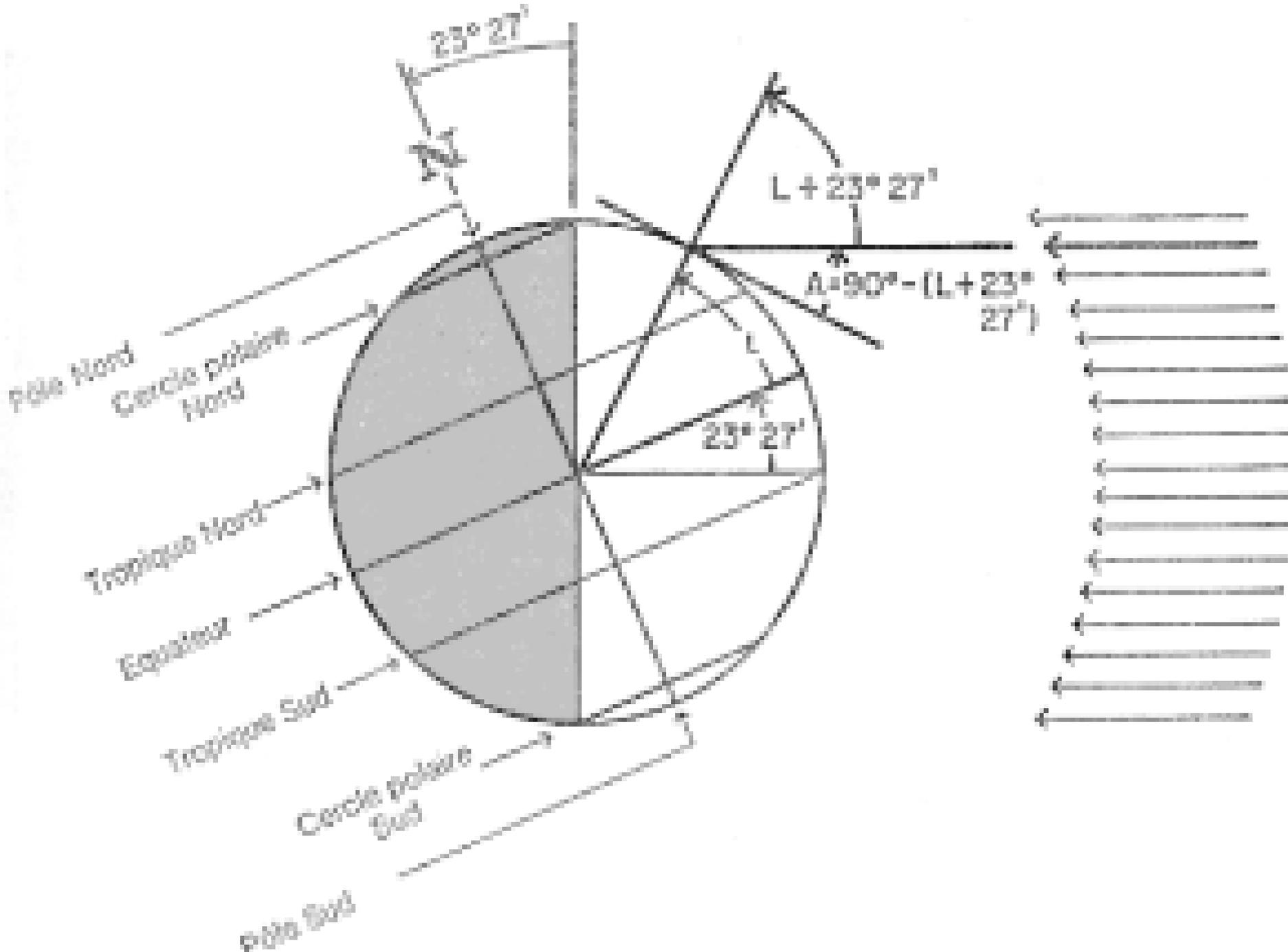
C'est l'angle  $a$  compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil.


$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)}$$

# Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné







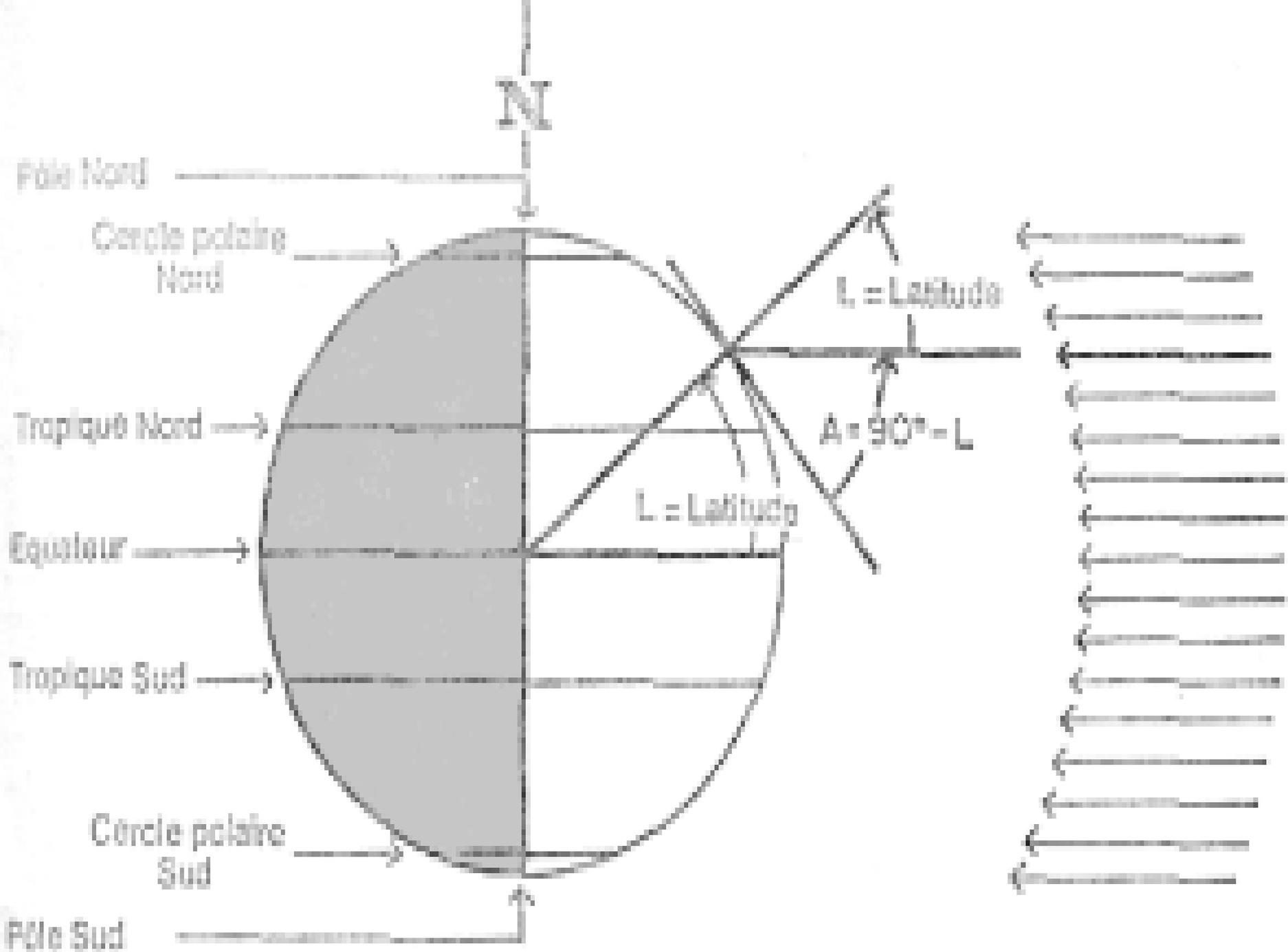


Diagram illustrating the relationship between latitude (L) and the angle of incidence (A) of solar radiation on Earth's surface.

# Mouvement apparent du soleil observé d'un point de latitude L

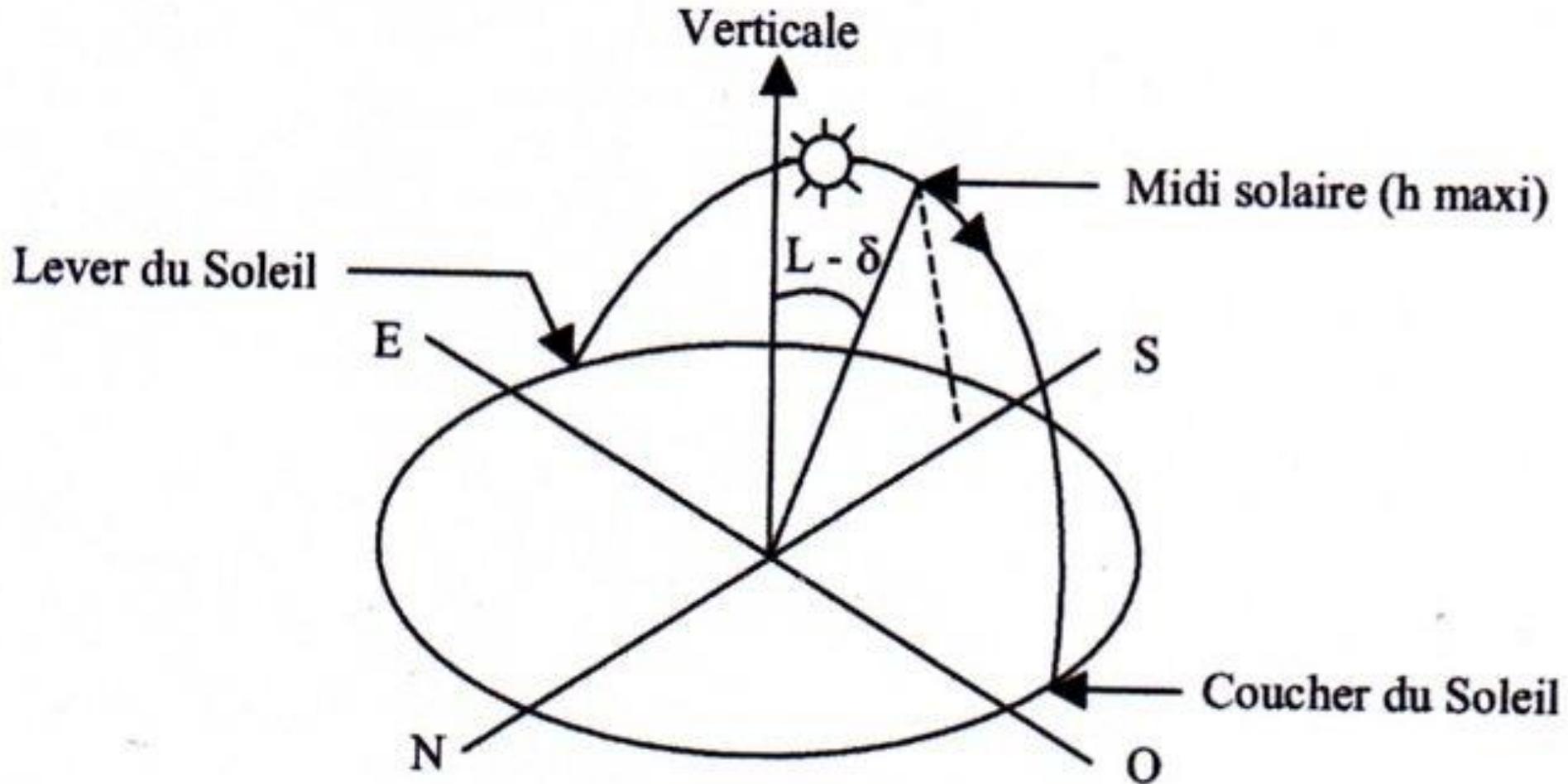
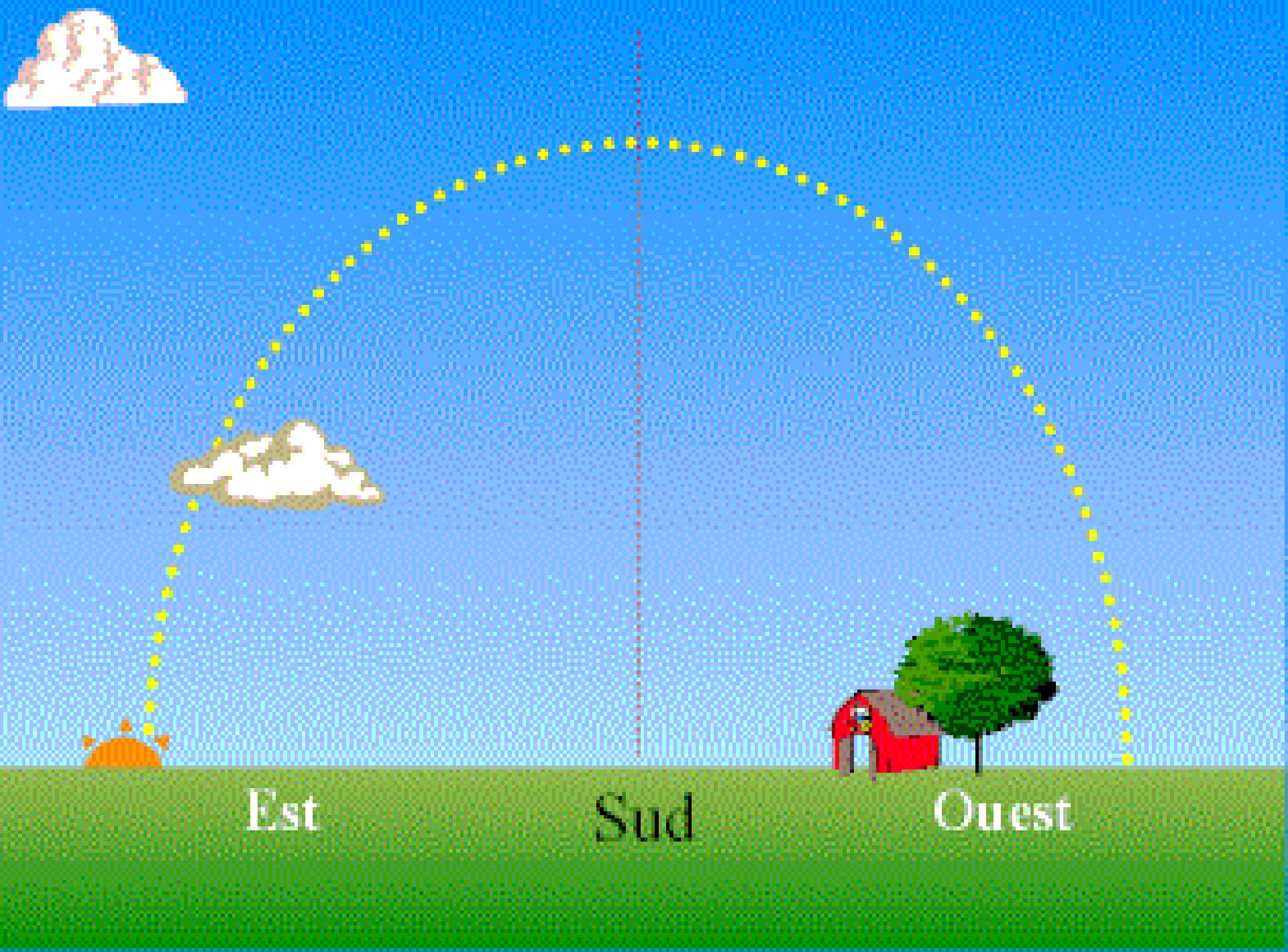


Figure 2.3 : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

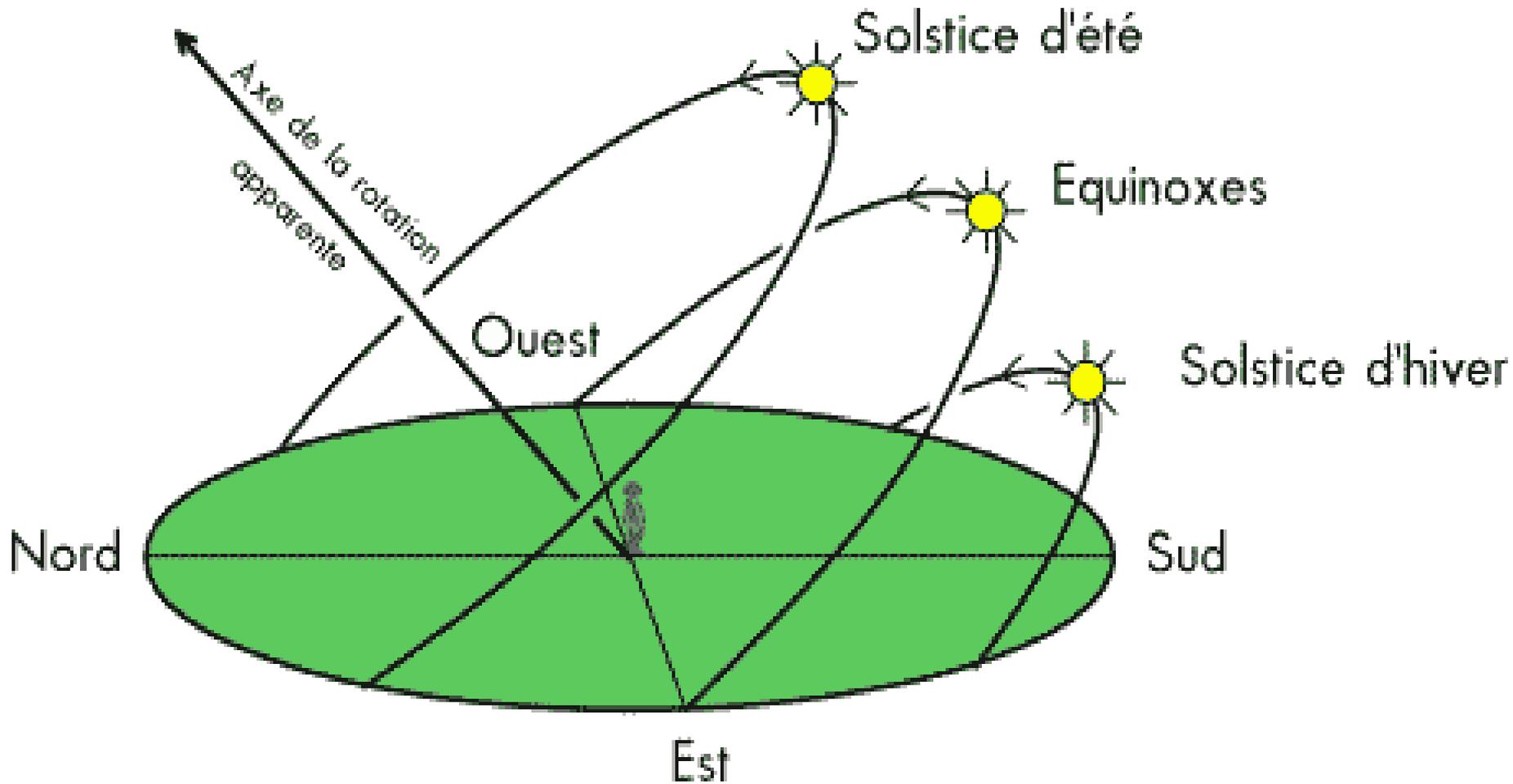


Est

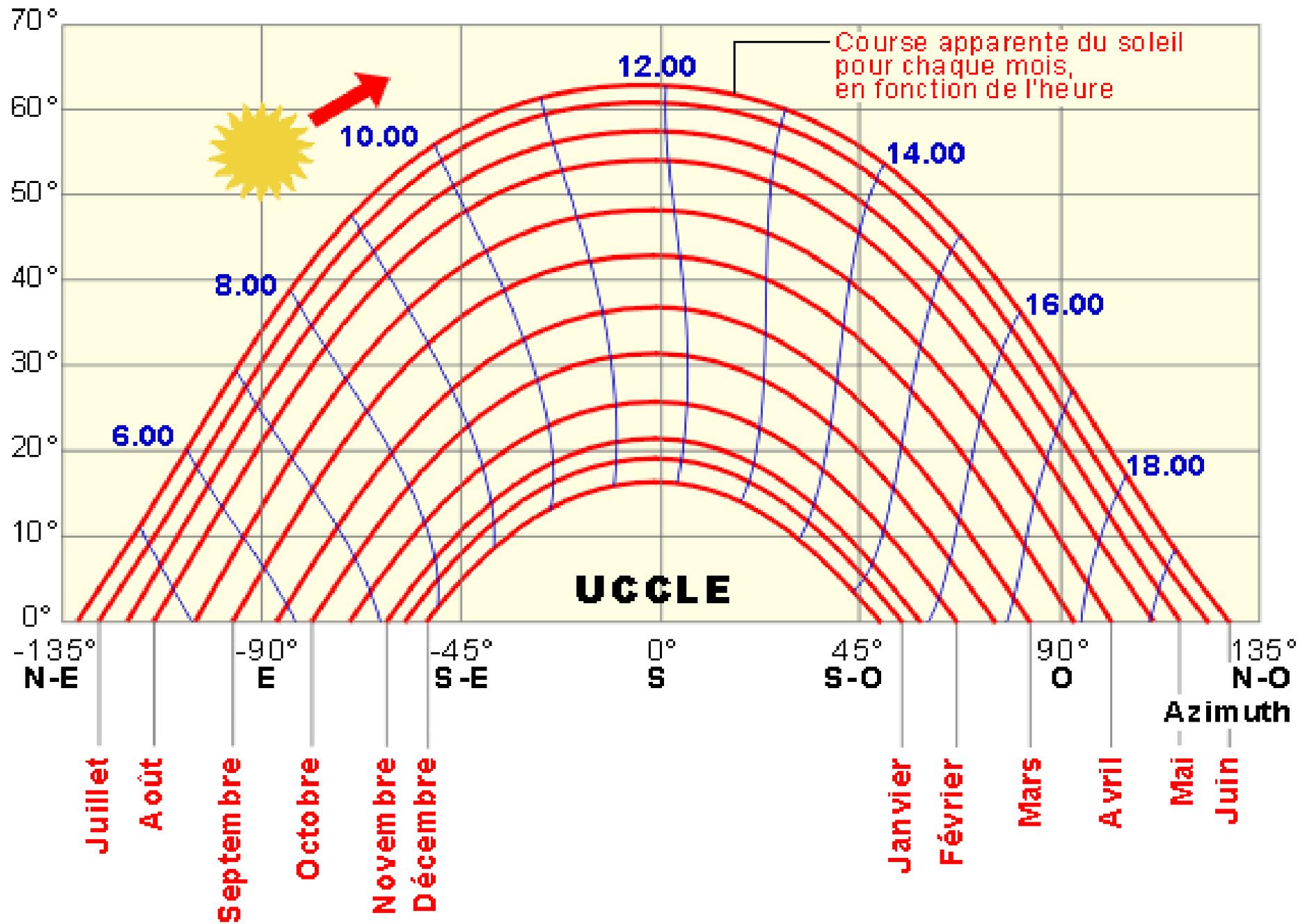
Sud

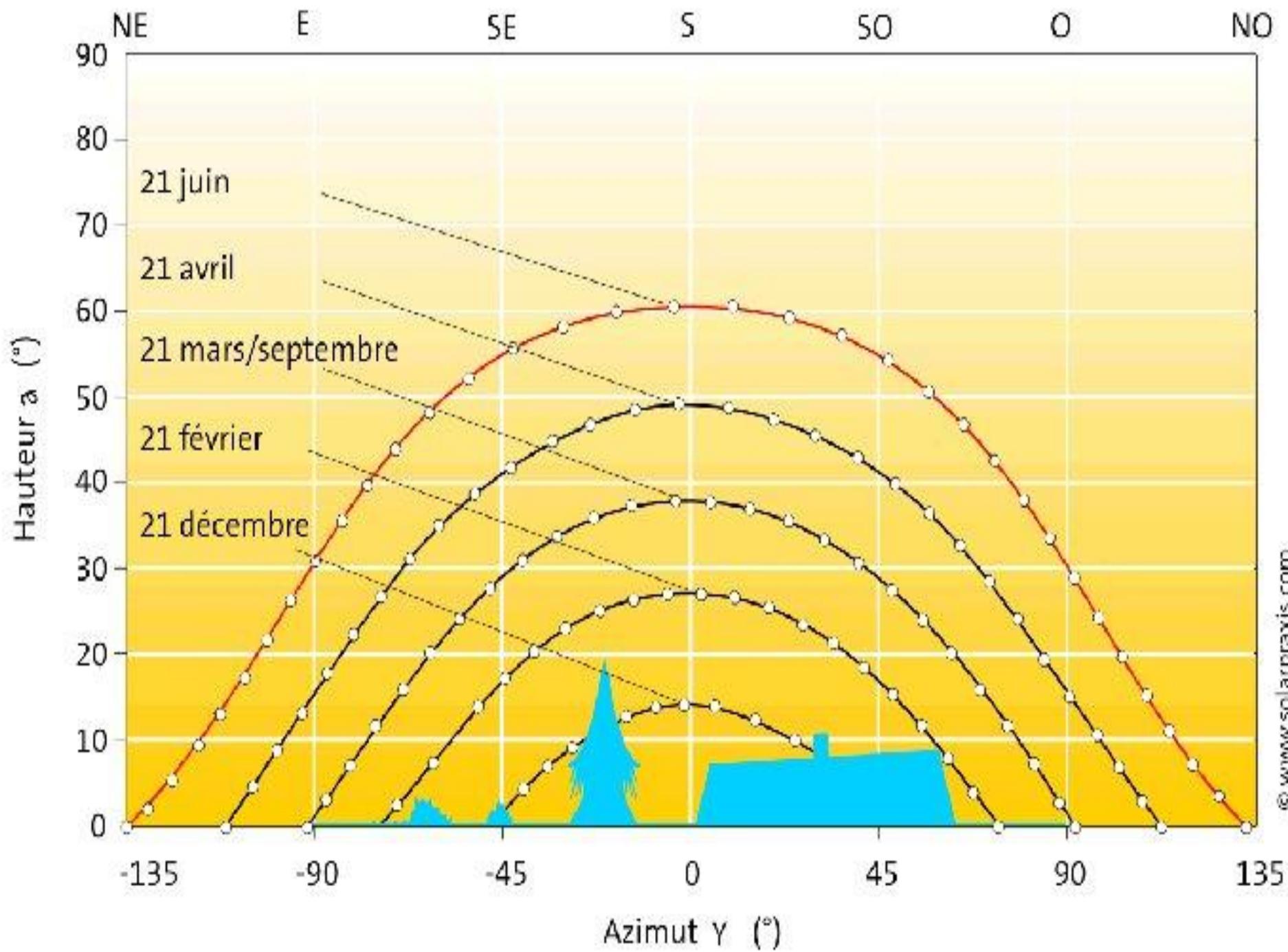
Ouest

# Trajectoire du soleil en fonction des saison



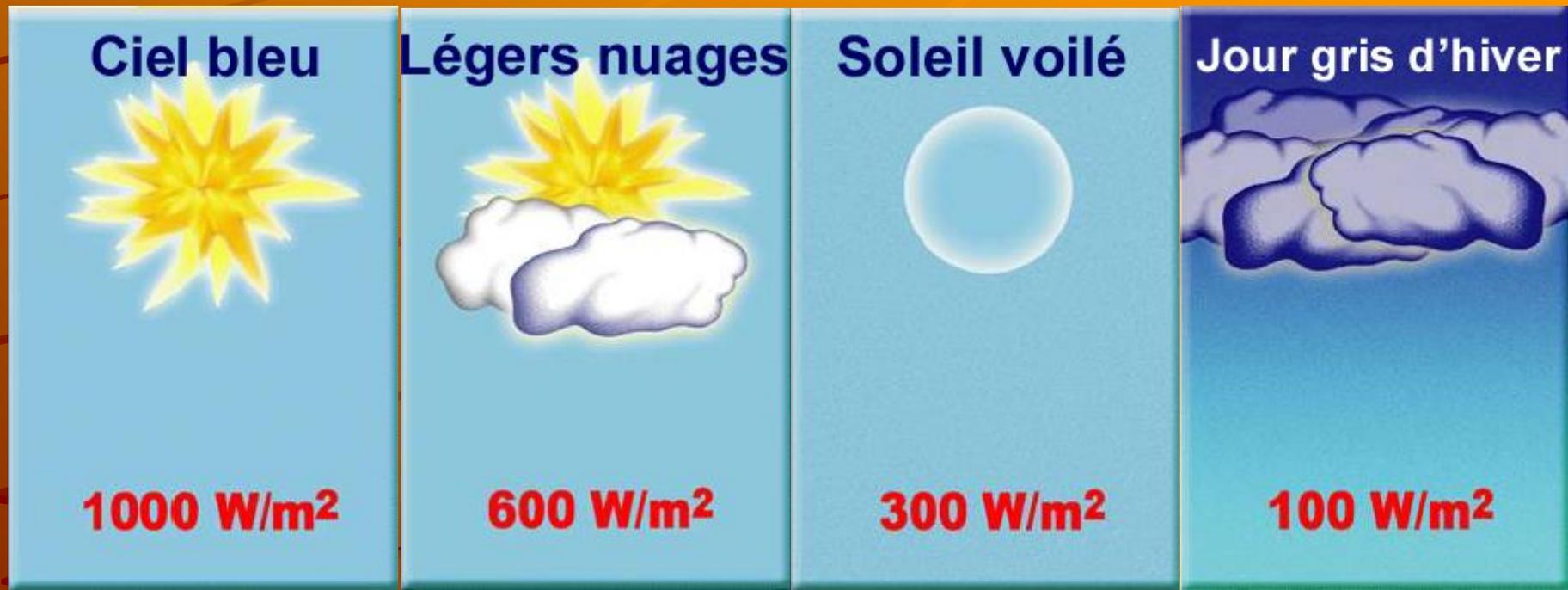
# Hauteur





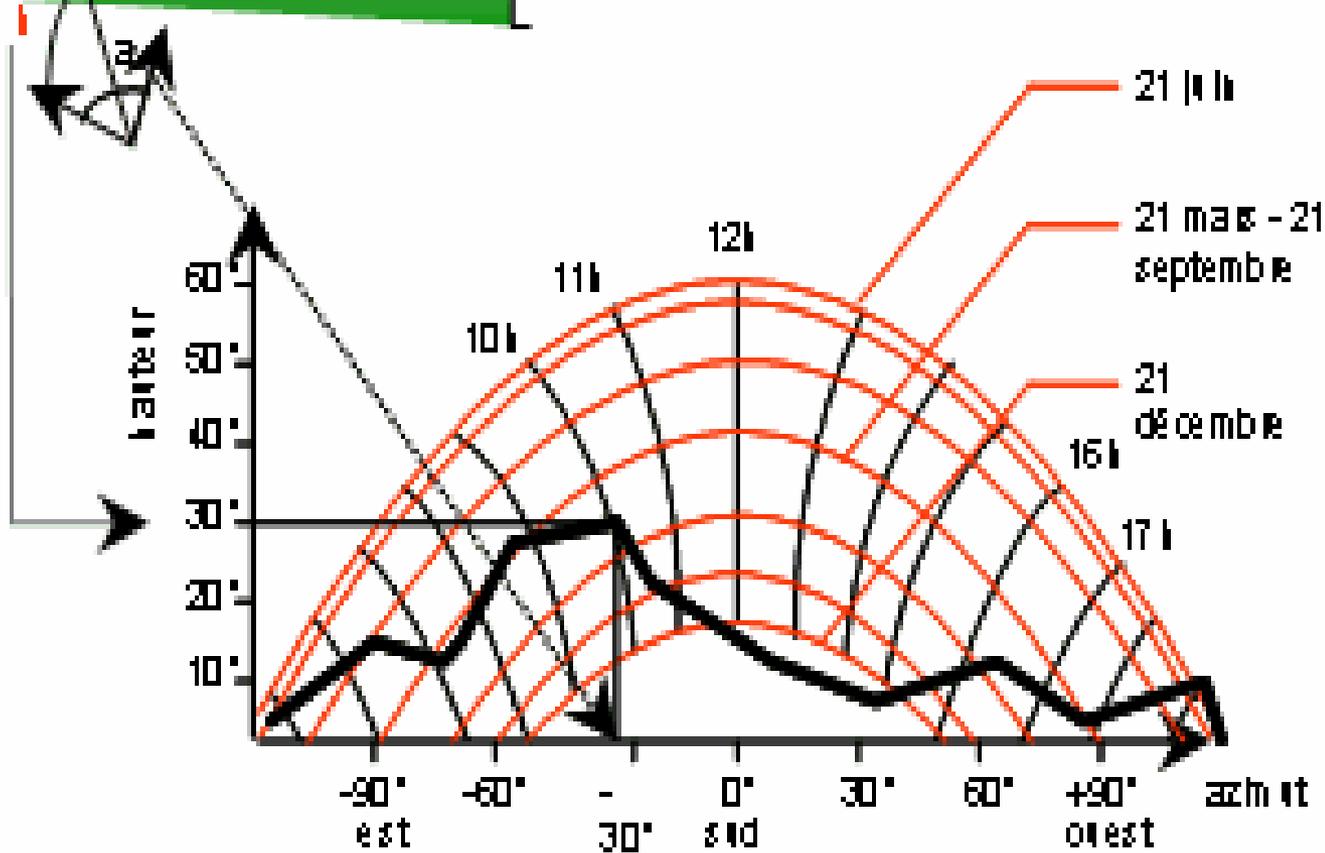
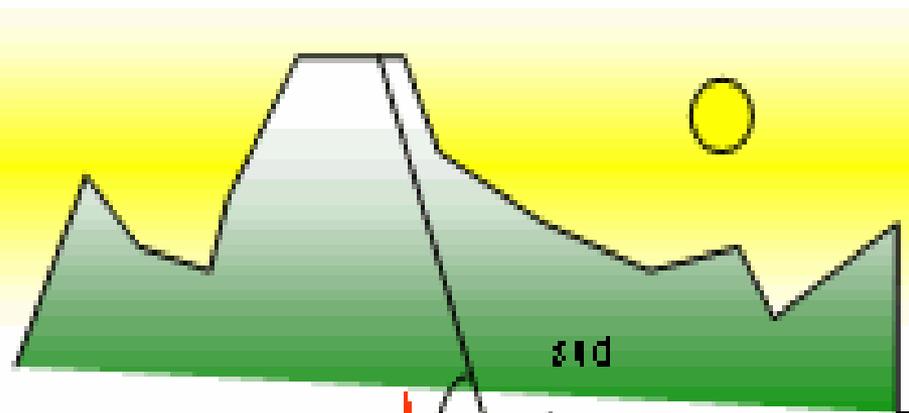


# La puissance en fonction de la météo



Les énergie maxi disponible peut atteindre 1000 W/m<sup>2</sup>  
et min disponible peut atteindre 100 W/m<sup>2</sup>

# Les masques



# La durée d'insolation

Pendant la quel le rayonnement direct  
est supérieur à  $105\text{w/m}^2$

(certains proposent  $200\text{w/m}^2$ )



# La fraction d'insolation

La fraction d'insolation, égale au réelle d'insolation (durée effective) sur la durée théorique rapport de la durée du jour (durée maximale). Elle est souvent notée sigma.

*Exemple :*

*Chambéry :  
223h de soleil en  
mars 2003 pour  
362h de jour :*

$$\sigma = 0,62$$

## L'INFLUENCE DE LA SURFACE

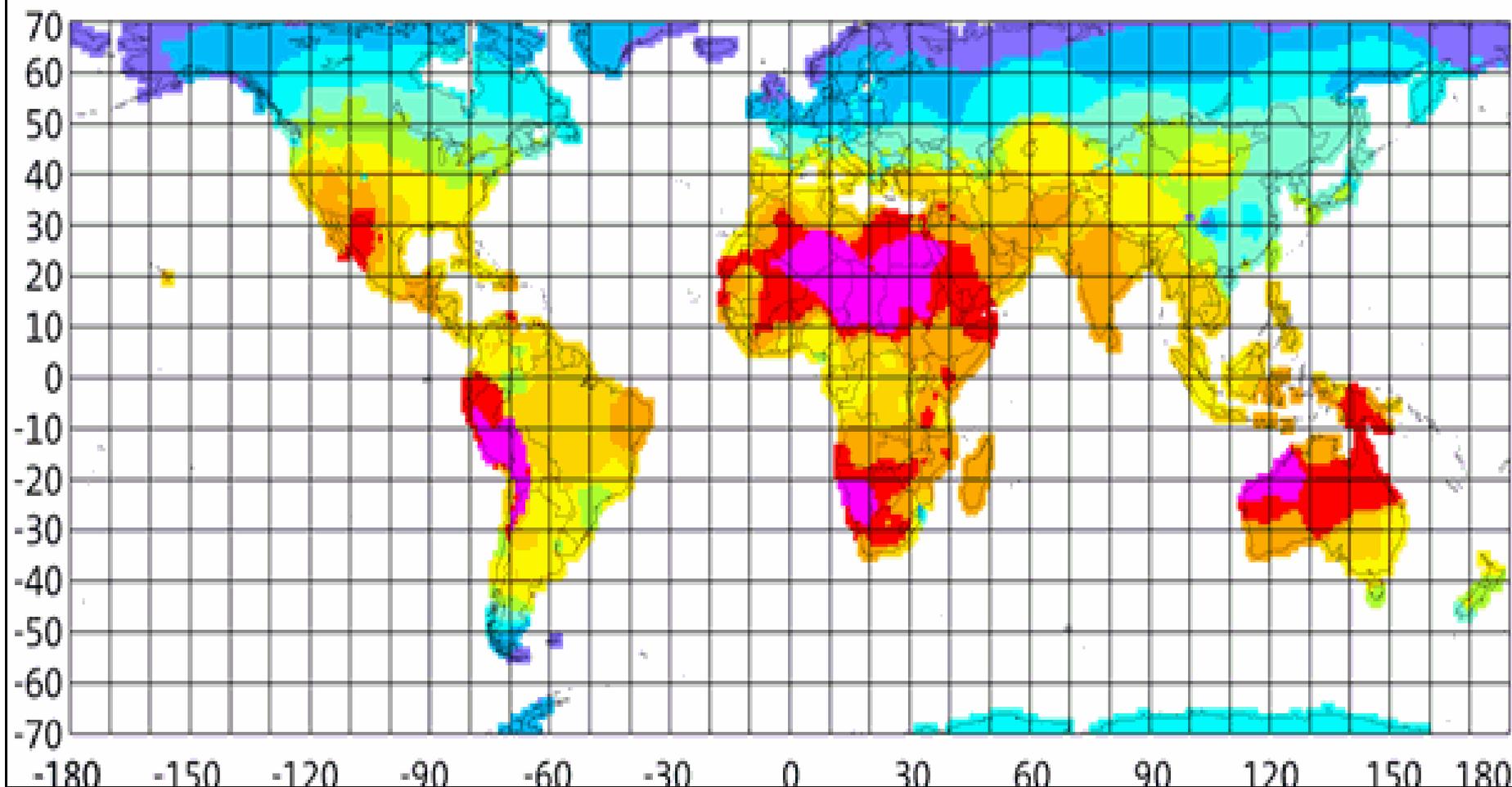
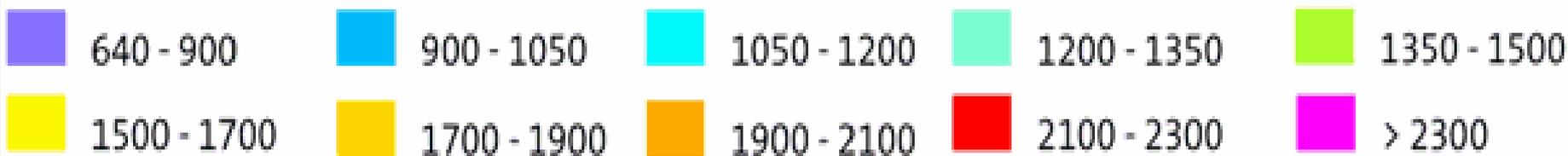
### ALBEDO

Coefficient de réflexion du sol

sol	a
neige	0.75
eau	0.07
Herbe verte-sèch	0.26-0.2
béton	0.22
goudron	0.13
Peintures claires	0.6

# Carte mondiale de l'irradiation globale.

kWh/m<sup>2</sup>.a



# Variation du productible en fonction de l'orientation et de l'inclinaison

