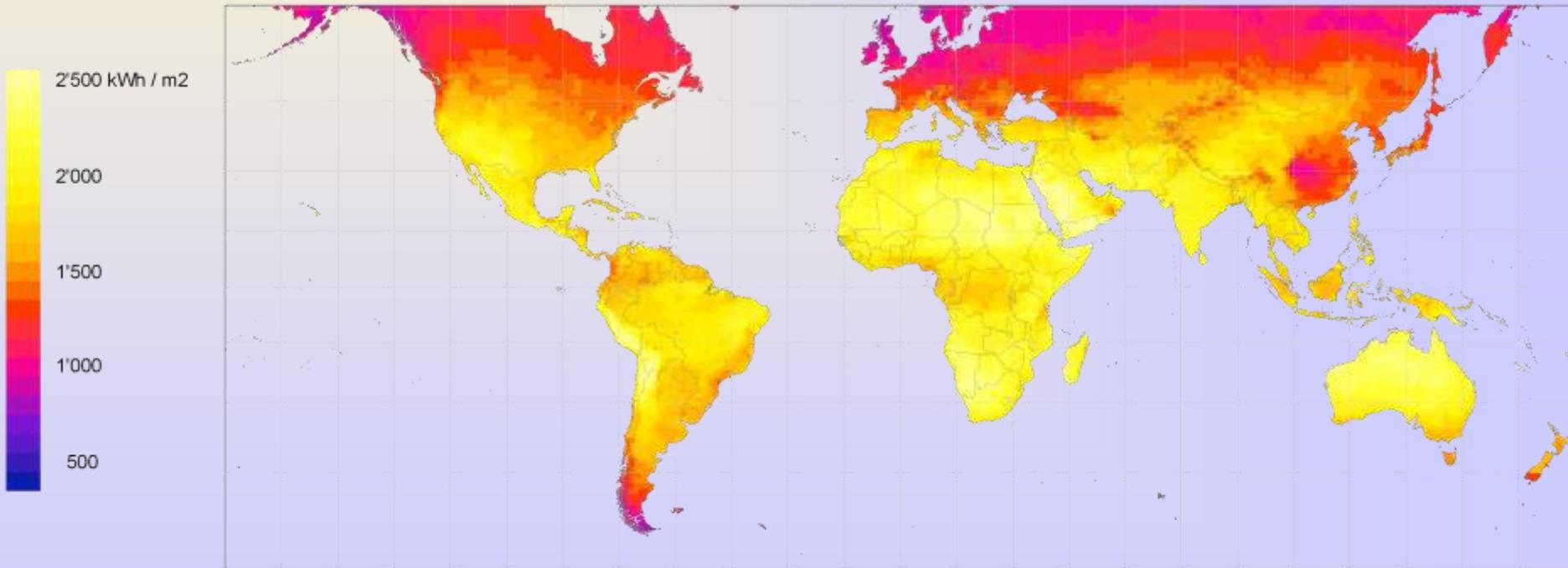




ENERGIE SOLAIRE



Source: Meteonorm 6.0 (www.meteonorm.com)



Le soleil



Distance avec la terre : 150 millions de kilomètres

Rayon équivalent à 109 fois celui de la Terre :

696 000 km / 6 370 km

Température du noyau : 15 millions de degrés

Température de la couche externe du soleil : 5 800 K

Réaction thermonucléaire du soleil

Transformation chaque seconde de 564 millions de tonnes d'hydrogène (34 % du noyau actuellement) en 560 millions de tonnes d'hélium.

Toute disparition de masse m entraîne une production d'énergie : $E = mc^2$

Perte de masse du soleil : $4,28 \cdot 10^9$ kg/s

Energie émise par seconde par le soleil : $3,85 \cdot 10^{26}$ W

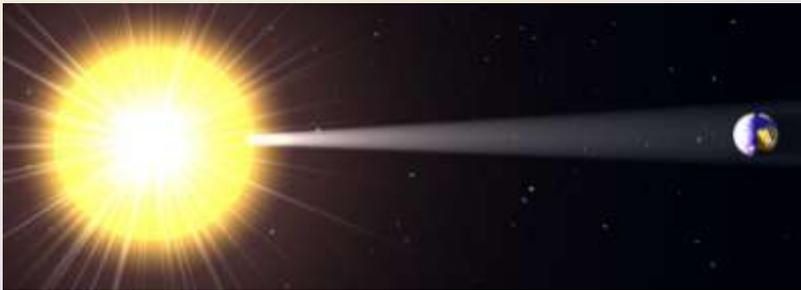
(équivalent à $3 \cdot 10^{17}$ réacteurs nucléaires de 1300MW)

Durée de vie prévisible du Soleil : 5 milliards d'années



Eclairement énergétique

Puissance reçue sous forme de rayonnement par unité de surface
(les Anglo-saxons utilisent le terme « **irradiance** »)



Il faut 8 minutes et 19 secondes pour atteindre notre atmosphère.

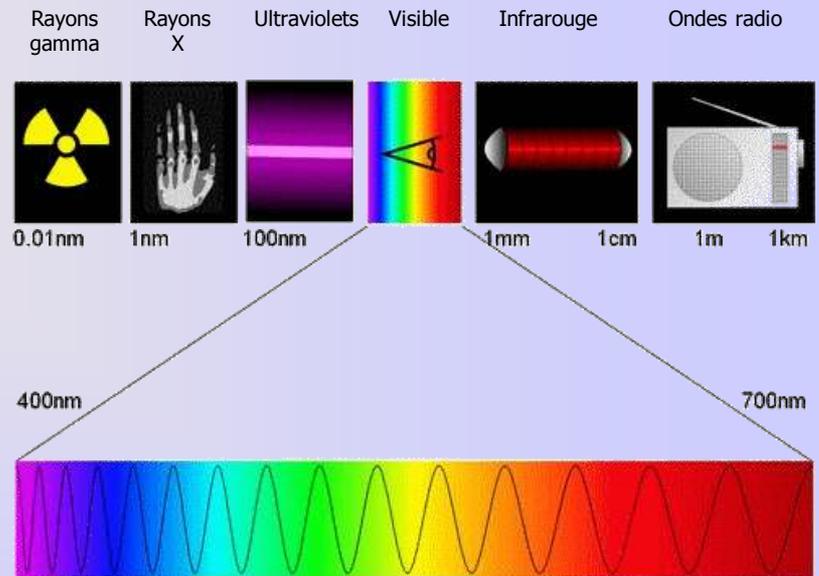
Constante solaire :

A l'extérieur de l'atmosphère terrestre,
l'éclairement énergétique est constant :

1 367 W/m²

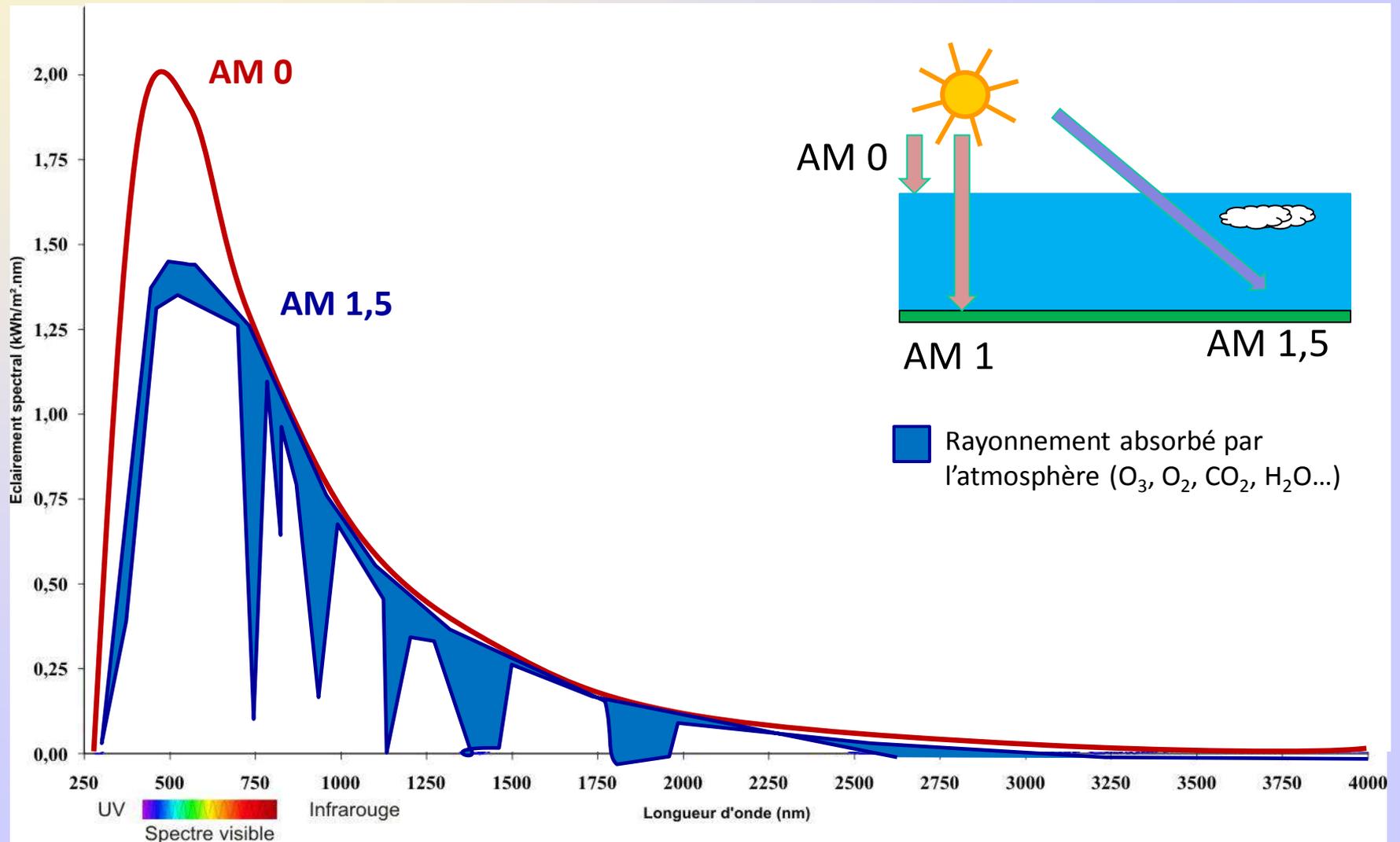
(surface perpendiculaire au rayonnement)

Spectre du rayonnement électromagnétique

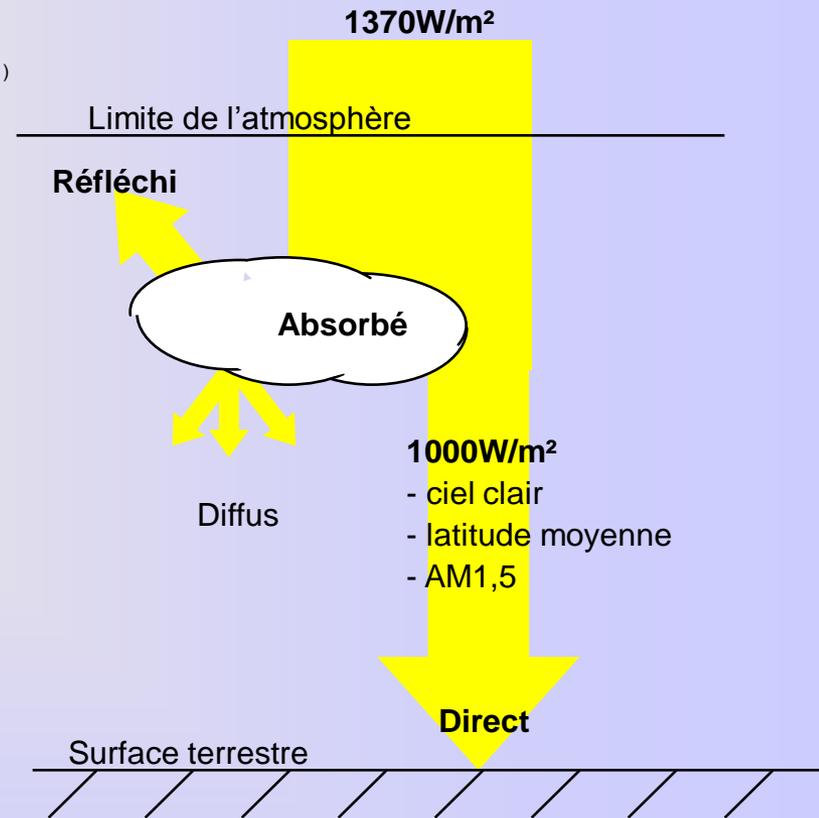
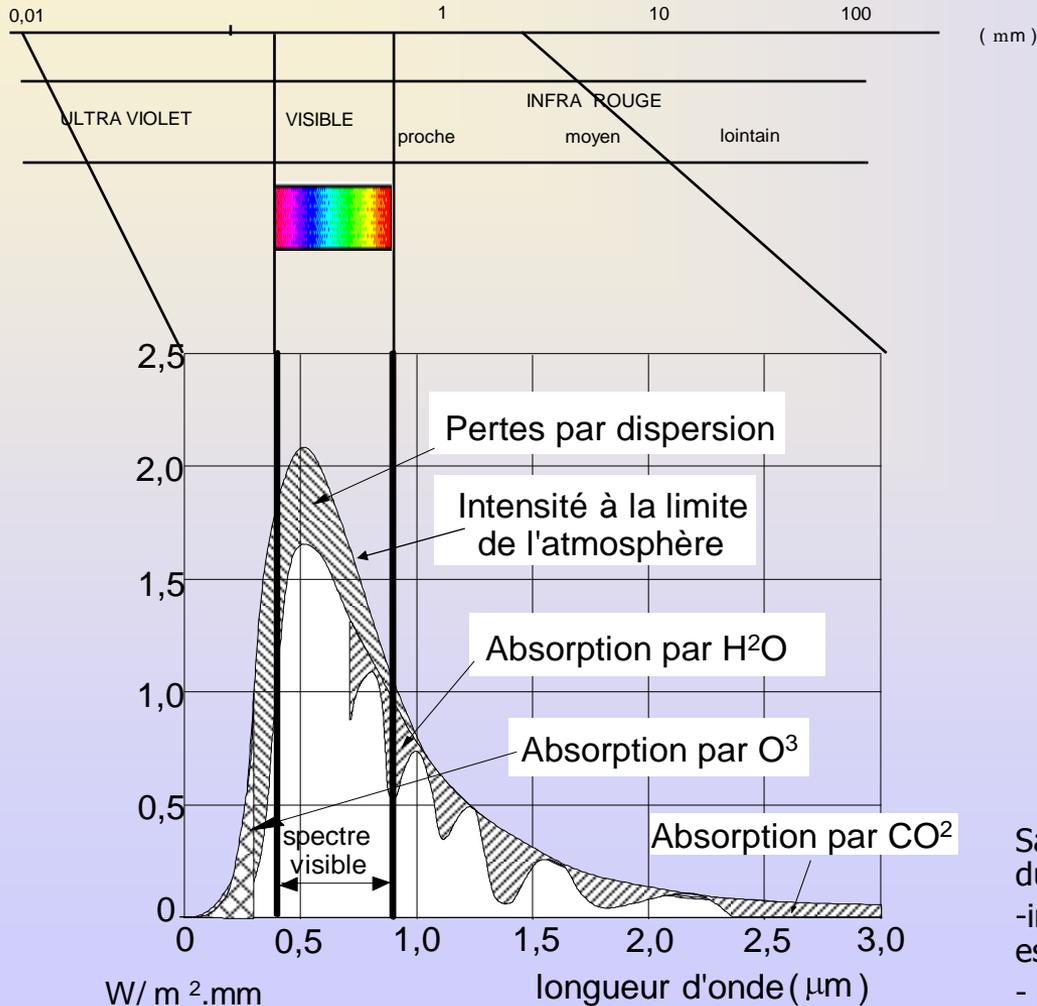


Région spectrale	Longueurs d'onde (µm)	Éclairement énergétique (W.m ⁻²)	Pourcentage (%)
Infrarouge	> 0,70	695	50,8
Visible	0,40 à 0,70	559	40,9
UV-A	0,32 à 0,40	86	6,3
UV-B	0,28 à 0,32	21	1,5
UV-C	< 0,28	6	0,4

Rayonnement absorbé



Effets de l'atmosphère terrestre

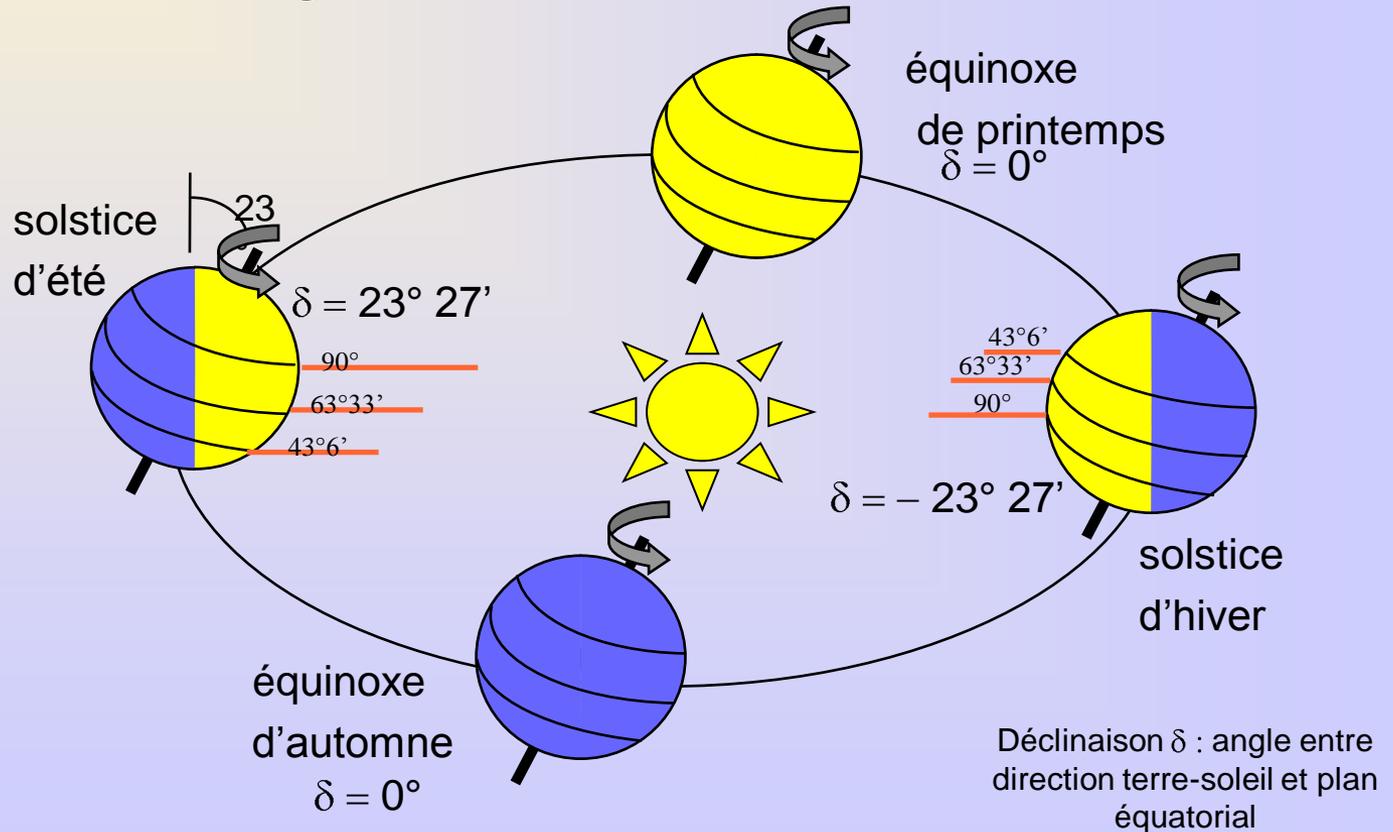


Sans nuage et par ciel limpide, l'éclairement énergétique du rayonnement diffus est :

- inférieur à 10% du rayonnement direct lorsque le Soleil est proche du zénith
- peut atteindre 50% du rayonnement direct pour une hauteur du Soleil inférieure à 30 degrés.

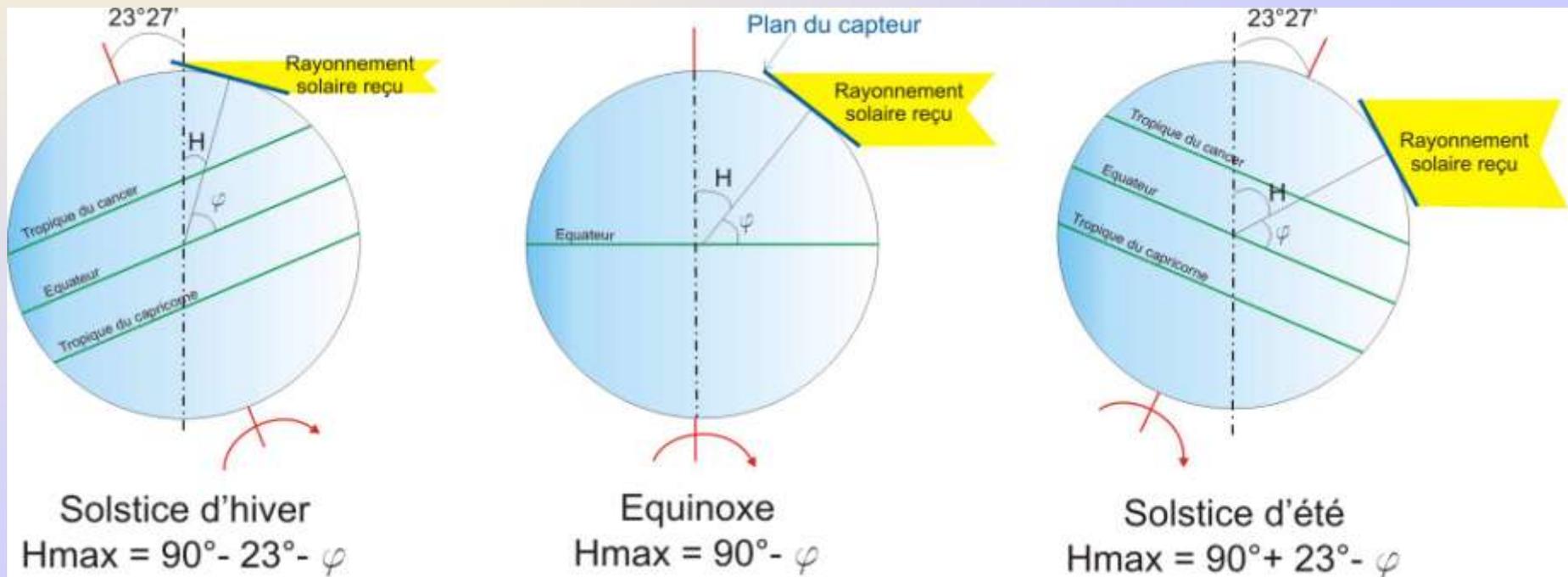
Mouvement de la terre autour du soleil

La terre tourne autour du soleil en décrivant une ellipse de faible excentricité et de période 365 jours et $\frac{1}{4}$



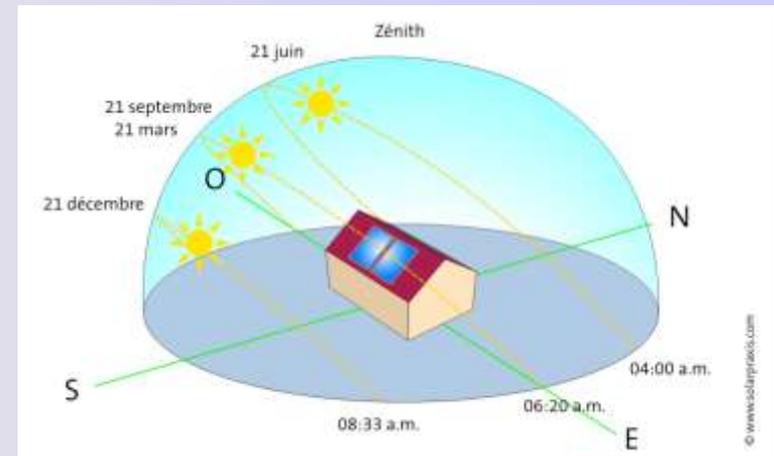
Rayonnement reçu sur le sol

Le rayonnement reçu sur une surface au sol varie en fonction des saisons



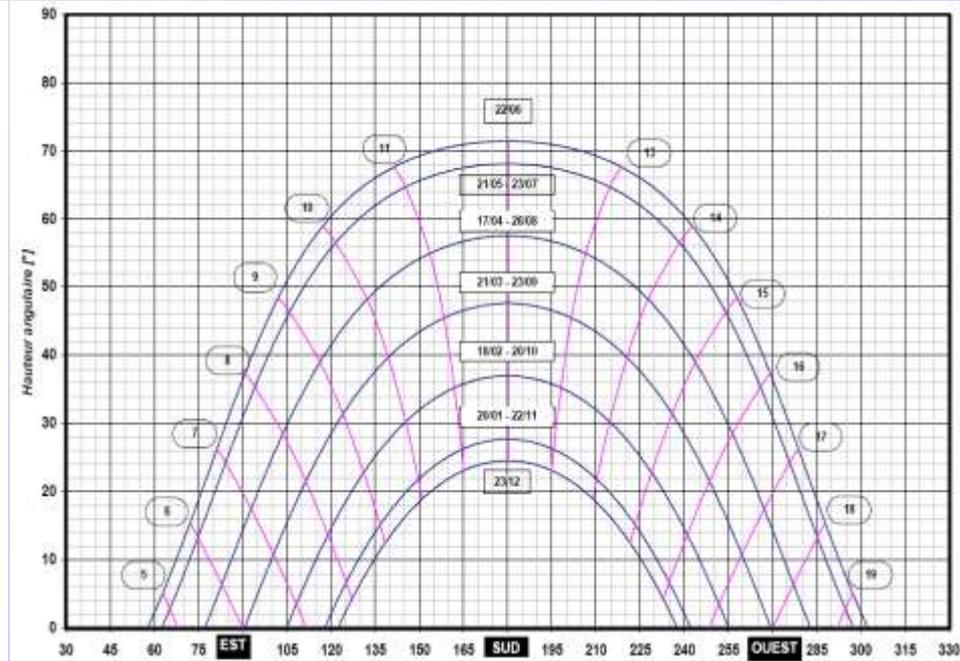
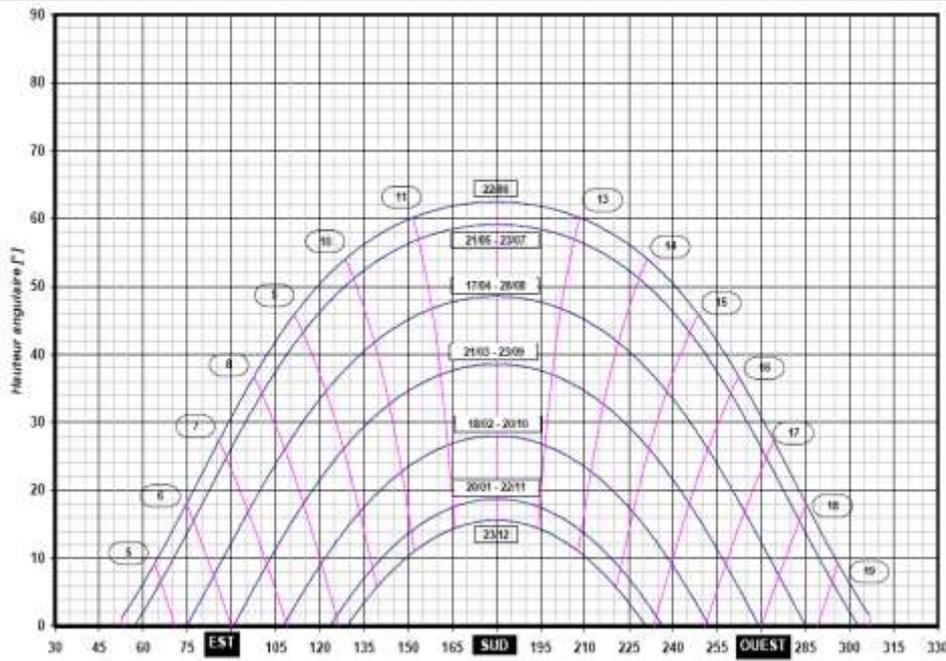
H_{\max} = hauteur du soleil à midi
 φ = latitude du lieu

Course du soleil



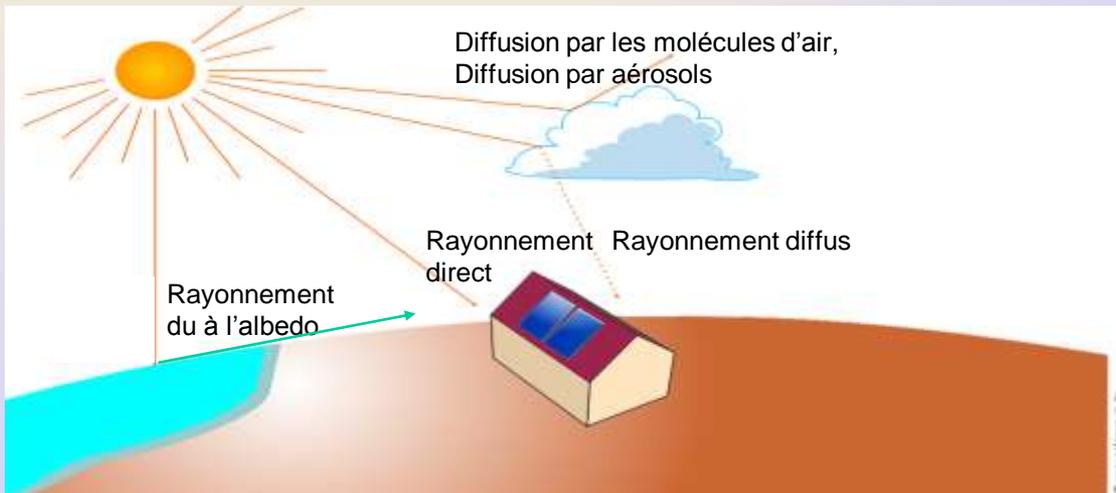
Calais, Dunkerque (51°N)

Ajaccio (42°N)



Influence des nuages et du sol

La présence de nuages modifie sensiblement l'importance respective des rayonnements diffus et direct (milieu diffusant additionne)



Le rayonnement diffus auquel est soumise une surface réceptrice non horizontale fait intervenir réflexion et diffusion sur le sol et sur les obstacles environnants

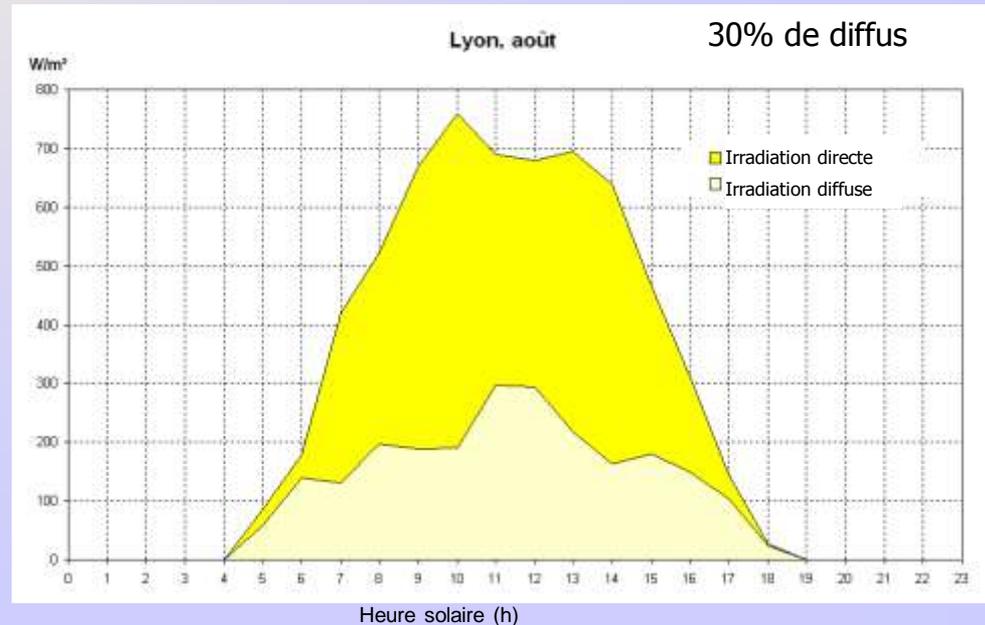
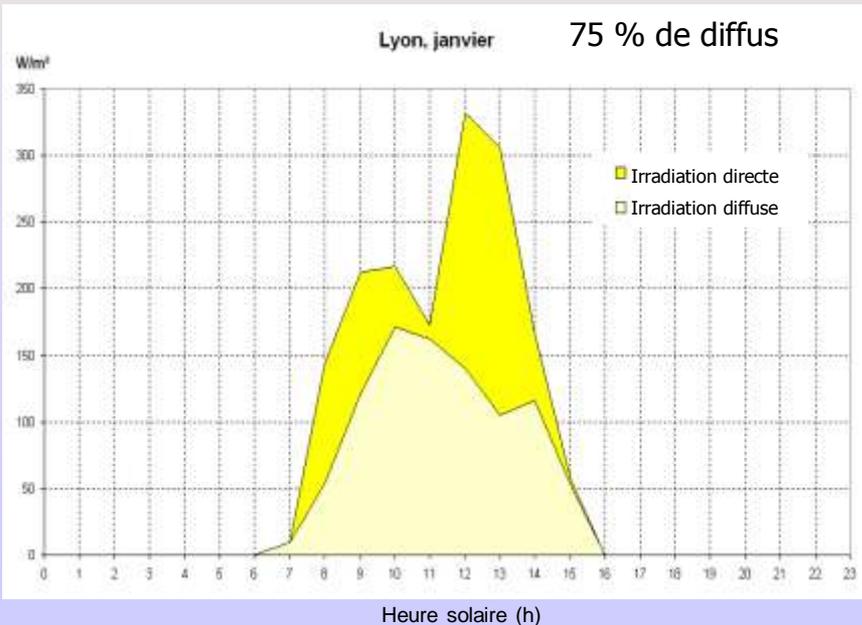
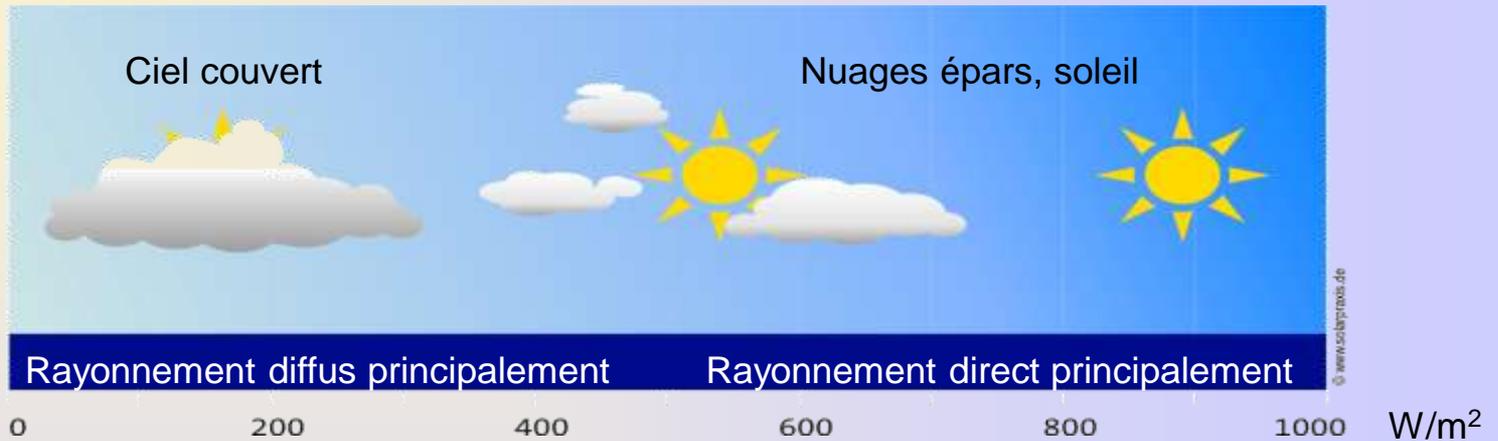
Neige fraîche	0,8 à 0,9
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Sol rocheux	0,15 à 0,25
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Forêt	0,06 à 0,20
Étendue d'eau	0,05

Albédo : fraction de rayonnement réfléchi par le sol

$$\text{Rayonnement Global} = \text{Rayonnement direct} \\ + \text{Rayonnement diffus} \\ + \text{Rayonnement réfléchi} *$$

**(albédo x rayonnement total horizontal)*

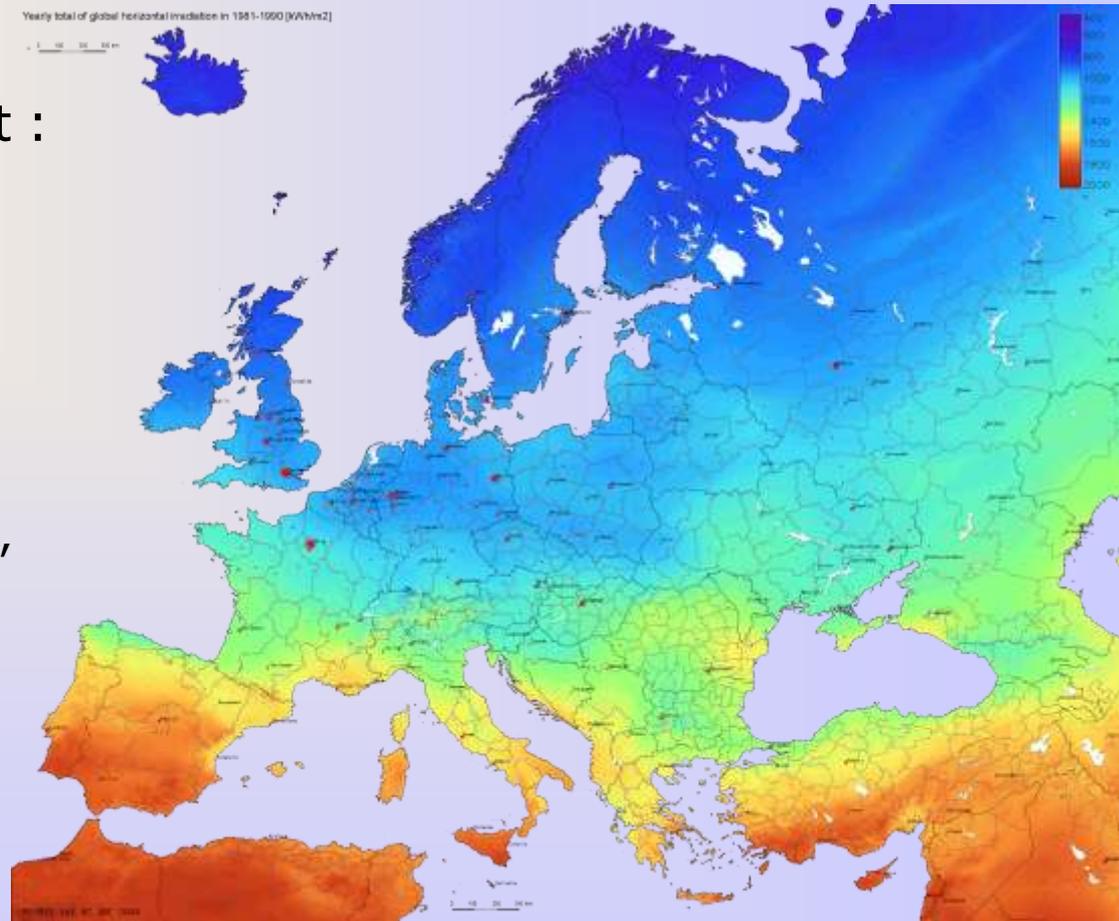
Irradiation diffuse



Energie reçue sur un plan horizontal

Rayonnement solaire
extrêmement variable suivant :

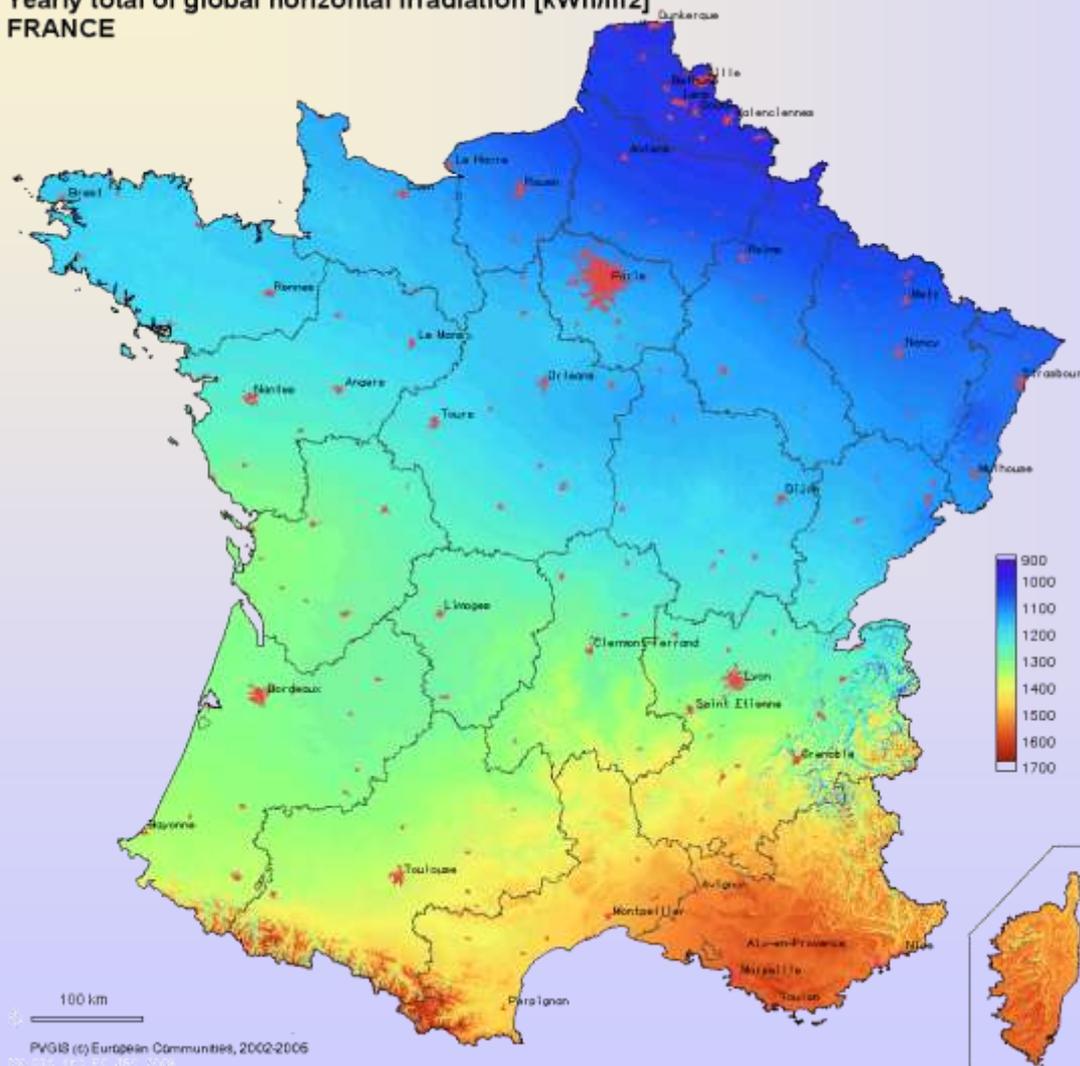
- La latitude du site : en France métropolitaine 42° à 51°
- La saison : durée d'ensoleillement, hauteur du soleil, proportion diffus/direct
- Les conditions météo : nébulosité, poussières, humidité ...
- L'altitude : brouillard de plaines et vallées
- L'heure de la journée : hauteur/azimut du soleil



En France sur 1m² de surface horizontale le gisement solaire est de 1000 kWh/an à 1700 kWh/an

Rayonnement solaire en France

Yearly total of global horizontal irradiation [kWh/m²]
FRANCE



Rayonnement solaire en France



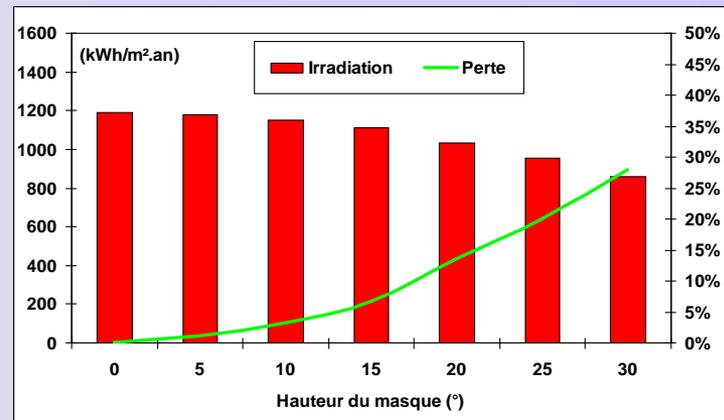
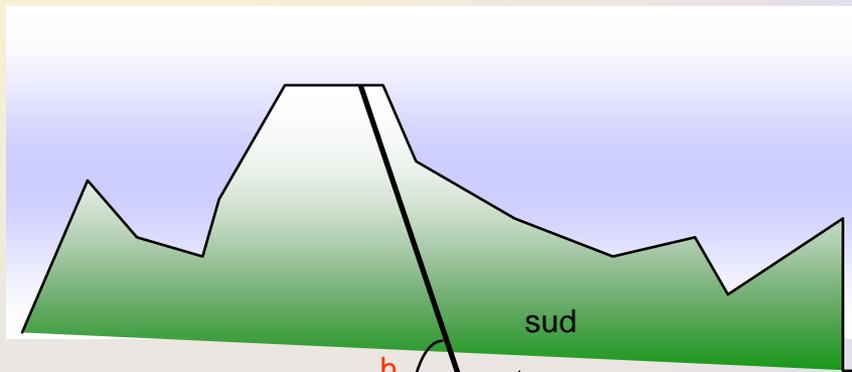
Moyenne annuelle de l'énergie reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude (en kWh/m².jour) d'après l'Atlas Européen du rayonnement solaire – Commission des Communautés Européennes.

Influence de l'orientation et de l'inclinaison

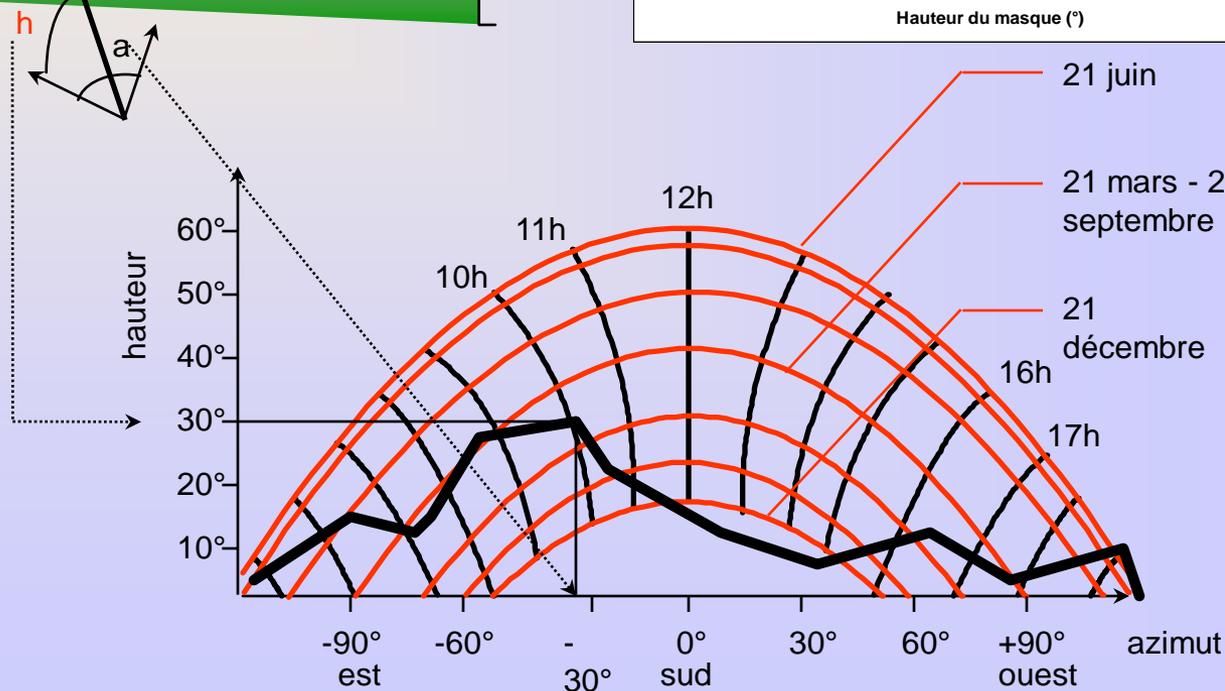
Facteurs de correction du gisement solaire selon une inclinaison et une orientation données des panneaux pour Dijon (logiciel Calsol)

Orientation \ Inclinaison	O	SO	S	SE	E
0°					
30°					
60°					
90°					

Masques solaires



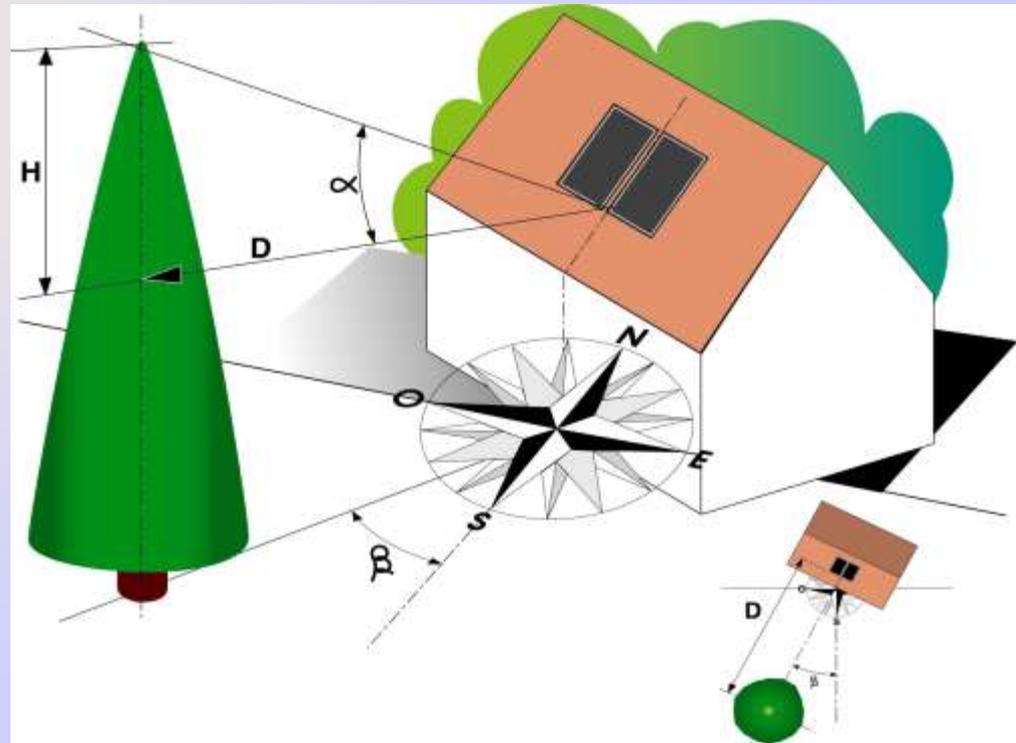
A Noël, il n'y a du soleil que de midi (solaire) à 15h00, alors qu'en juin, la montagne ne le cache pas de la journée.



Relevé d'un masque solaire

Les étapes pour la détermination du masque d'une installation solaire :

1. Repérage de la présence d'obstacles limitant l'ensoleillement
2. Identification de points clés devant représenter la globalité des obstacles (courbe enveloppe)
3. Mesure des angles (azimut et hauteur angulaire) de chacun de ces points
Report des mesures dans le diagramme solaire correspondant au lieu
4. Estimation visuelle du risque de diminution des performances de l'installation
5. Report des mesures dans un logiciel de dimensionnement (éventuellement)



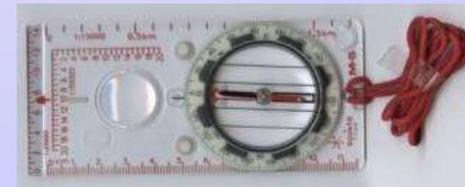
Outils de relevé de masque



Indicateur de trajectoire du soleil



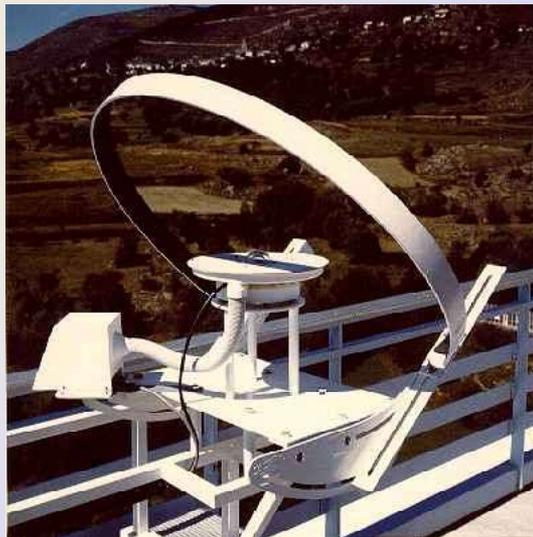
Boussoles avec clinomètre



Mesure de l'irradiation solaire



Pyranomètre pour la mesure d'irradiation globale



Pyranomètre pour mesure d'irradiation diffuse



Pyranomètre pour mesure de l'albedo

Points à retenir

Éclairement énergétique ou irradiance : G exprimé en W/m^2

Rayonnement ou énergie incidente : H exprimé en Wh/m^2

Constante solaire = $1370 W/m^2$

Irradiation directe par temps clair = $1000 W/m^2$

Rayonnement global = Rayonnement direct + rayonnement diffus + rayonnement réfléchi (albédo)

Influence de la position des panneaux

Influence du masque

