

Chapitre 1

Energie solaire

I. Gisement solaire

1.L'atmosphère

1.1.Définition

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse (couche d'air), entourant la Terre. Sans elle, la vie n'est plus possible sur notre planète, elle protège la vie sur Terre en filtrant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par la rétention de chaleur grâce au phénomène de l'effet de serre, et en réduisant partiellement les écarts de température entre le jour et la nuit. C'est au niveau de cette enveloppe que se produisent les processus météorologiques.

1.2.Composition de l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches:

Azote (N_2): 78 %

Oxygène (O_2) : 21 %

Argon (Ar): 0.9 %

Dioxyde de carbone (CO_2) : 0.03 % et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau (H_2O) dans la troposphère et une mince couche d'ozone (O_3) dans la stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons ultraviolets les plus durs. L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante. La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes /m²; elle équivaut à 7.8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales: T=0°C; p=1 013 mbar.

1.2.Structure de l'atmosphère

En se fondant sur les variations de température, on divise l'atmosphère en quatre couches distinctes : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère. Au-delà se trouve l'exosphère, une couche qui assure la transition entre l'atmosphère et l'espace interplanétaire et dans laquelle les particules présentes se trouvent en si faible densité que la notion de température météorologique n'a plus de sens.

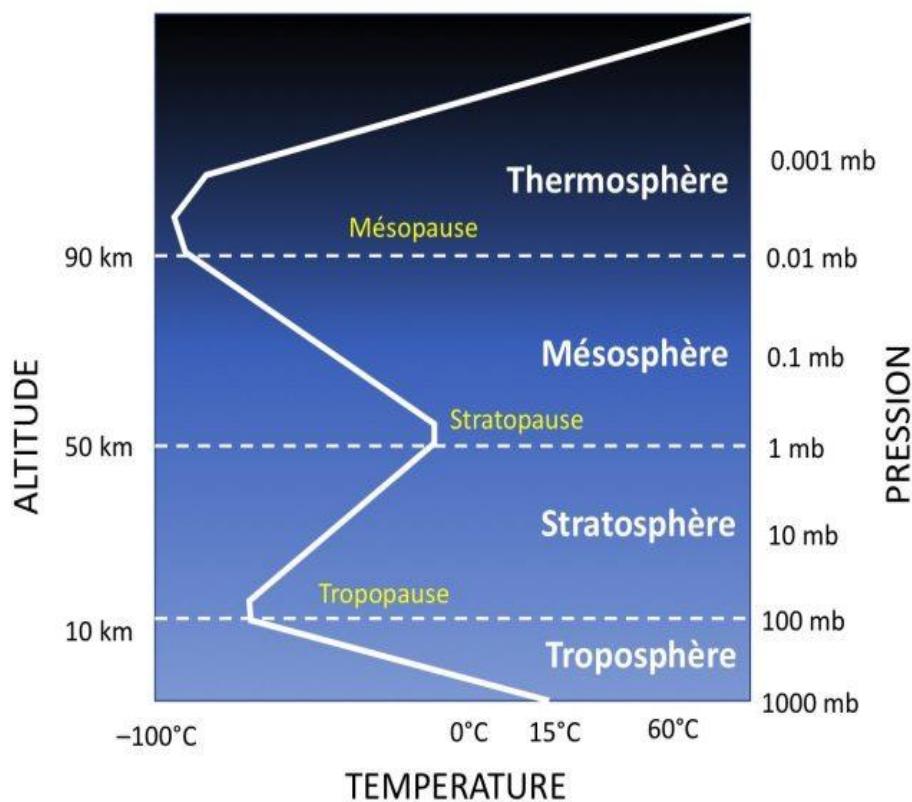
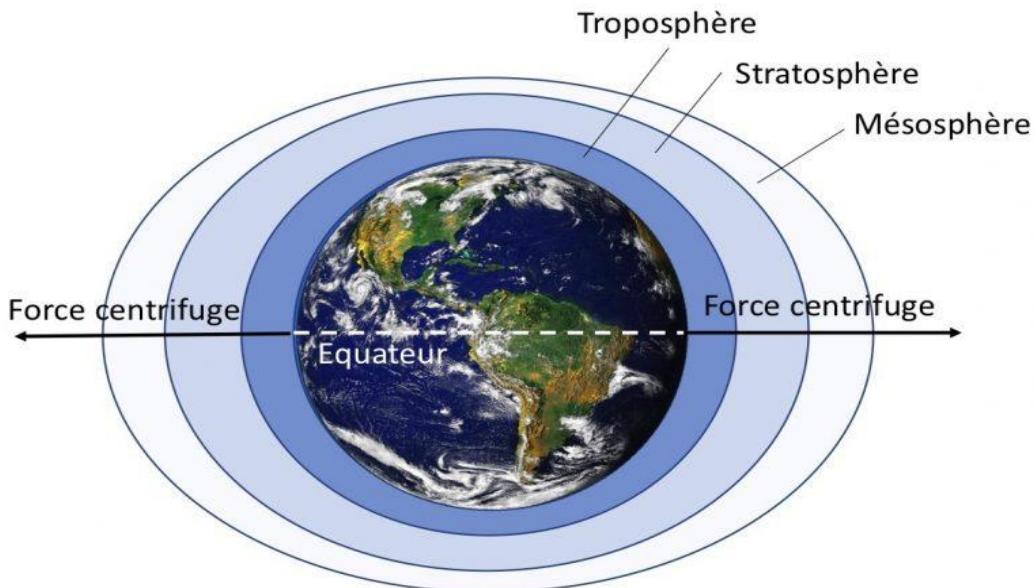
1.2.a.La Troposphère : qui s'étend jusqu'à **10 à 12 km** d'altitude , où la température décroît de **6.5°C** par km, pour atteindre **- 56 °C** à la base de la couche suivante.

1.2.b.la Stratosphère : de 12 à 55 km, où la température croît de **-56 °C** à **0 °C** jusqu'à la stratopause. C'est elle qui contient une mince couche d'ozone.

1.2.c.La Mésosphère : de 50 à 85 km où la température décroît à nouveau de **0°C** à **-90 °C**.

1.2.d.L'Ionosphère (confondue avec la Thermosphère) , où la température croît régulièrement pour atteindre 1500 °C. C'est elle qui contient les couches réfléchissantes pour les ondes radio elle s'étend jusqu'à 700km d'altitude.

1.2.e.L'Exosphère au delà de 700 km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidéral.



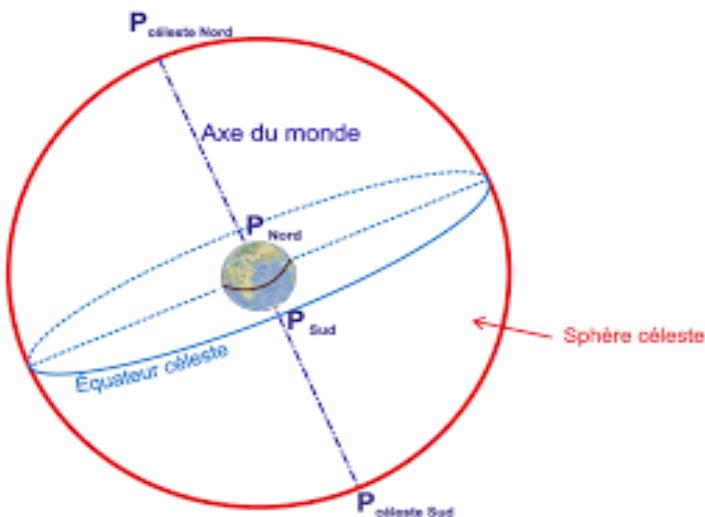
Rôle de l'eau : La troposphère contient la quasi totalité de la vapeur d'eau. La couche qui s'élève jusqu'à 2000m d'altitude contient déjà 50 % de la quantité totale de vapeur d'eau. La hauteur d'eau condensable est la hauteur d'eau liquide qui serait recueillie par cm² si toute la vapeur était condensée. Elle varie assez fortement suivant la latitude, la saison l'humidité; elle reste normalement comprise entre 0.5 et 6 cm.

Rôle de l'ozone : L'ozone stratosphérique est constamment renouvelé, une partie de cet ozone est dissocié sous l'influence des photons d'énergie. Cette dernière réaction qui filtre les rayonnements solaires dangereux pour les micro-organismes et les végétaux.

Arrivant au sol le rayonnement filtré produit de l'oxygène O₂ par photosynthèse sur les végétaux. Le CO₂ est absorbé le jour par les végétaux et restitué la nuit.

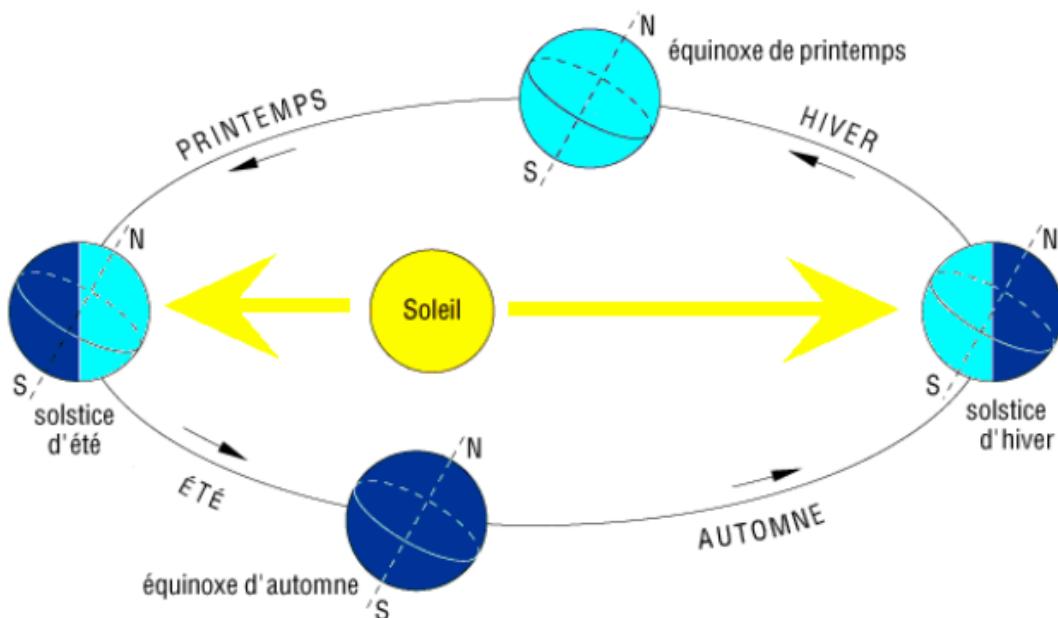
3. Voûte céleste

La voûte céleste est une sphère imaginaire de rayon quelconque et dont le centre est occupé par la terre. Elle permet de représenter tous les astres tels qu'on les voit depuis la terre. Ainsi, il est possible de situer ceux-ci dans le ciel en leur attribuant des coordonnées uniques. Cette sphère est unique pour tous les habitants de la terre et son centre qui représente tous les lieux d'observation situés à la surface terrestre peut être confondu, en toute logique, avec le centre de la terre



4. Mouvements de la terre

La terre tourne autour du soleil en une année (365 jours 6 heures et 9 minutes et 4 secondes) avec une vitesse moyenne de 106.000 km/h, qui n'est pas constante car la terre va plus vite quand elle est près du Soleil. L'orbite de cette révolution est une ellipse, le soleil est placé à l'un de ses deux foyers. Le plan créé par ce mouvement de révolution s'appelle le plan de l'écliptique, ce dernier provient du fait que la lune doit être dans ce plan pour qu'une éclipse se produise. Le cercle écliptique coupe le cercle équatorial en deux dont un point est appelé point vernal, indique la direction dans laquelle un observateur terrestre verra le Soleil le jour de l'**équinoxe de printemps**. L'axe des pôles terrestres fait avec l'axe des pôles écliptiques un angle « δ » cet angle est appelé la Déclinaison



Données astronomiques

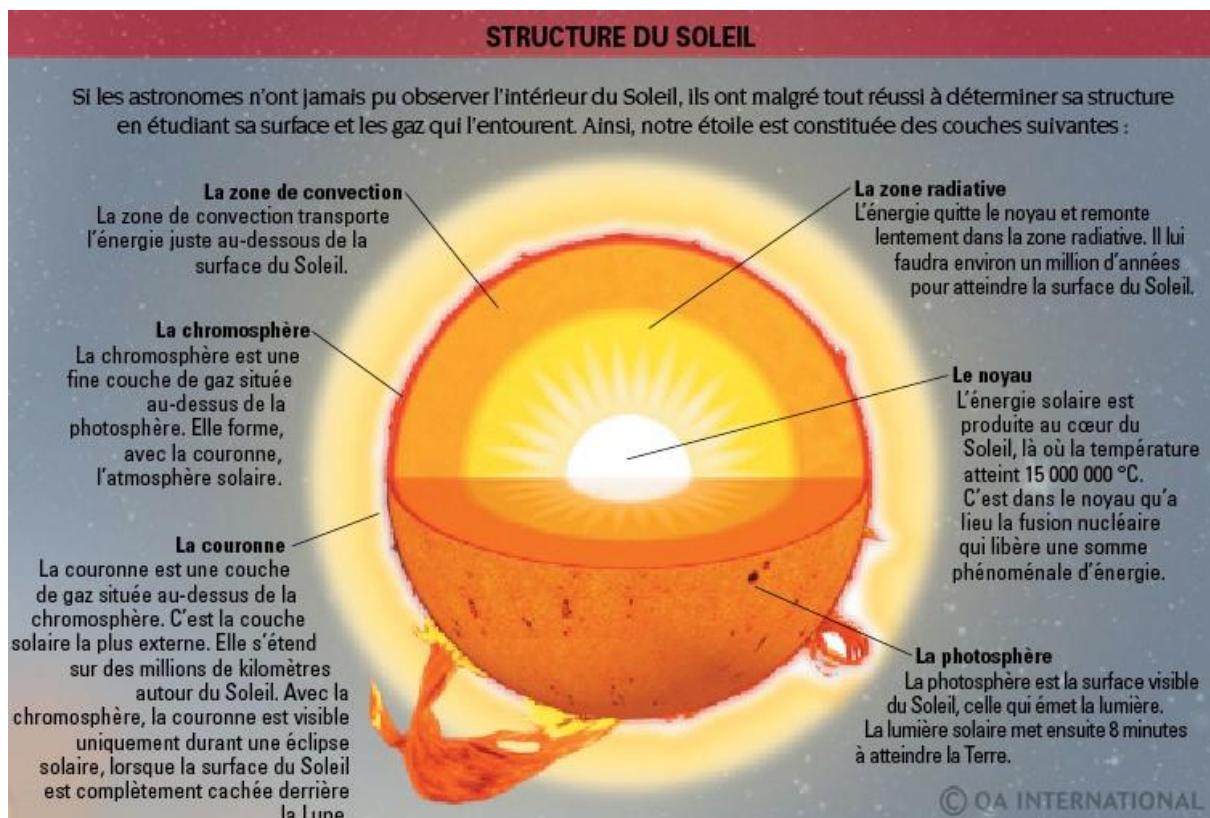
- Equinoxe de printemps : 21 Mars, $\delta = 0$
- Solstice d'été : 22 Juin, $\delta = +23^\circ 27'$
- Equinoxe d'automne : 23 Septembre, $\delta = 0$
- Solstice d'hiver : 22 Décembre, $\delta = -23^\circ 27'$
- Approche maximale : Périhélie : 2 Janvier
- Approche minimale : Aphélie : 2 Juillet

5.Le soleil

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres. La masse du Soleil représente la majeure partie de la masse du système solaire. Elle est utilisée comme unité de masse pour les étoiles. Autour de lui gravite la Terre. Le Soleil est composé d'hydrogène (74% de la masse ou 92,1% du volume) et d'hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume). L'énergie solaire, est une importance capitale pour la Terre et notamment pour la vie, est produite par les réactions nucléaires qui se déroulent au coeur du Soleil. Agé d'environ 5 milliards d'années, le Soleil continuera à briller. On distingue dans le Soleil diverses couches parmi lesquelles le noyau ou le cœur, la zone radiative, la zone de convection, la photosphère (qui émet la majeure partie de la lumière solaire), la chromosphère et sa partie extérieure, la couronne. La température régnant dans le noyau est de l'ordre de 15 millions de kelvins. Dans la photosphère, qui constitue la surface visible du Soleil, elle est de l'ordre de 5800 K en moyenne.

La masse du Soleil est de $2,0 \times 10^{30}$ kg ou environ 333 000 masse terrestre

La taille (diamètre) du soleil est 1,4 million de km , soit environ 110 fois la taille de la Terre.

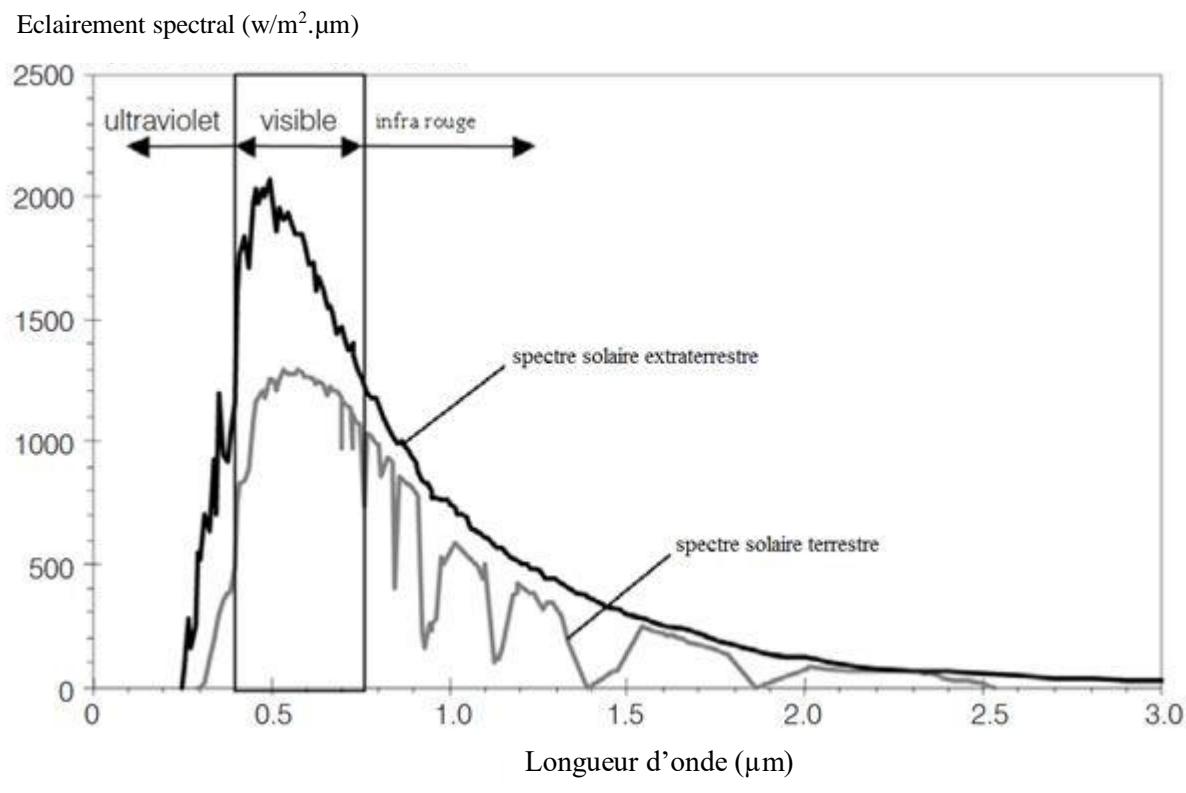


Le flux d'énergie solaire

Le flux d'énergie solaire est transmis sous forme de rayonnements électromagnétiques, dont l'ensemble des longueurs d'ondes est assez proche de celui émis par les corps noirs présents dans l'espace. Il est à remarquer que le spectre de l'énergie solaire en atmosphère terrestre est décalé vers le rouge et l'infrarouge par rapport au spectre hors atmosphère.

Les longueurs d'ondes du rayonnement solaire terrestre sont comprises entre 0,2µm (ultra-violet) et 4µm (infra-rouge) avec un maximum d'énergie pour 0,5µm. 97,5% de l'énergie solaire est comprise entre 0,2µm et 2,5µm. De 0,4µm à 0,78µm, le spectre correspond au domaine du visible. Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme de chaleur ou d'électrons.

La figure suivante montre le spectre solaire hors atmosphère et sur terre. Le spectre solaire sur terre montre des baisses significatives pour certaines longueurs d'ondes dues à l'absorption.



Spectres solaires extraterrestre et terrestre

Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie également il est indispensable pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. Afin d'exploiter l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

Le gisement solaire au sol est très variable (la figure ci-dessous), une variation importante est constatée durant les jours nuageux (1) à comparé des jours avec éclaircies (2) et les jours de soleil (3). L'irradiation du soleil les jours nuageux est environ 200W/m^2 alors qu'elle est de 1000W/m^2 pour les jours ensoleillés. La présence de nuages modifie sensiblement l'importance des rayonnements du soleil. les nuages jouent un rôle de milieu diffusant

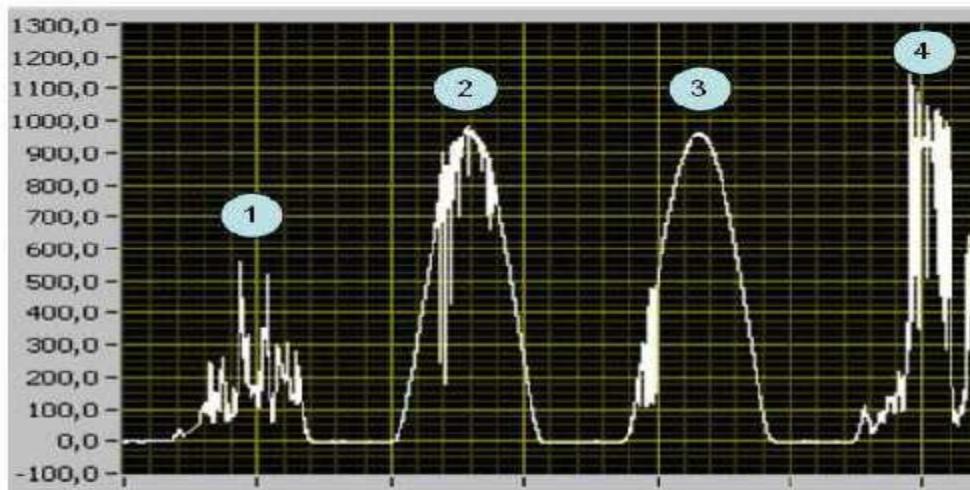
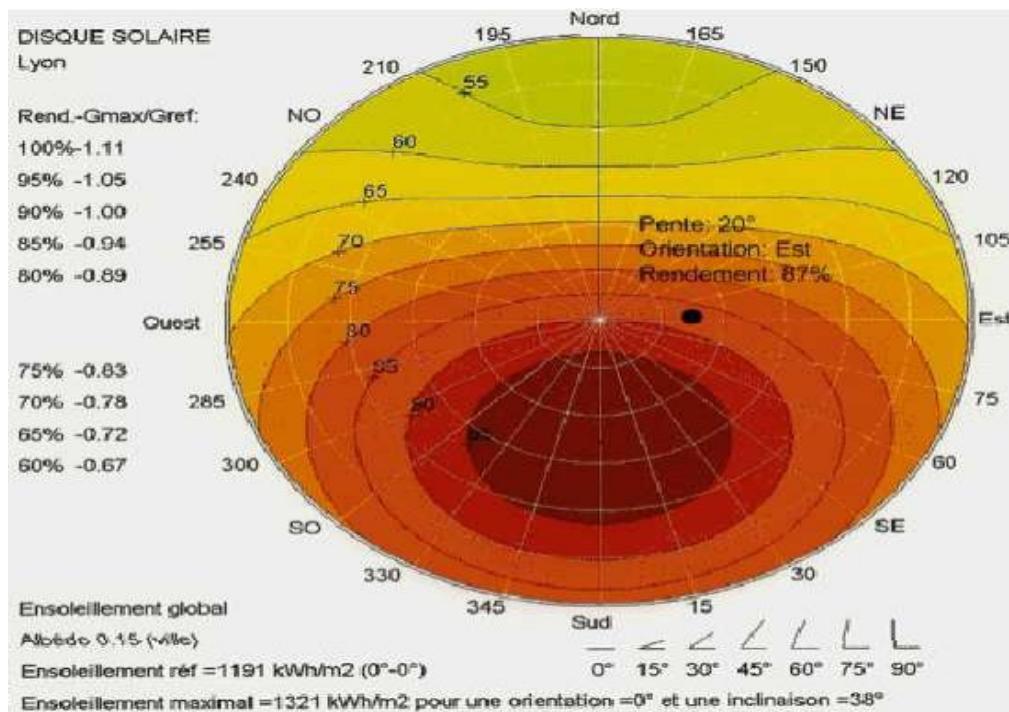


Figure : Irradiation globale (W/m^2) au sol

Par ailleurs, l'orientation et l'inclinaison sont essentielles. D'après l'exemple présenté dans la figure ci-dessous (disque solaire), l'idéal est l'orientation plein sud. Néanmoins on voit qu'avec une orientation Est et une pente de 20° le rendement est d'environ 87% (donc 13% de pertes par rapport au plein sud). Sur le disque solaire, on constate que dans toutes les orientations et inclinaisons, les pertes par rapport à un positionnement optimal restent inférieures à 50%, ce qui montre que l'on peut généralement utiliser l'énergie solaire quelle que soit le positionnement.



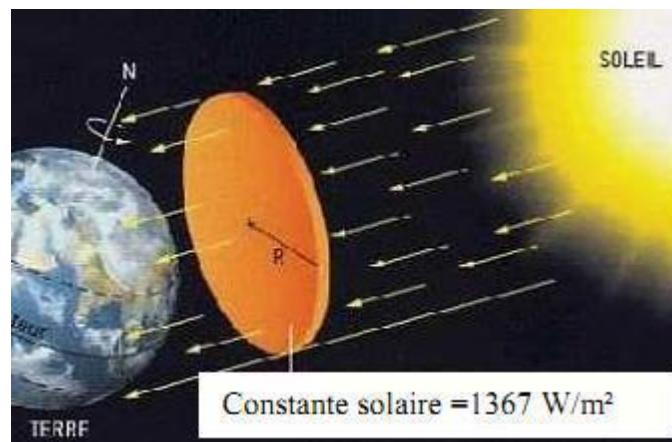
L'énergie solaire dans l'espace (hors atmosphère)

Données Astronomiques

1. Constante solaire

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré (1m^2) du bord externe de l'atmosphère terrestre placé perpendiculairement au rayonnement solaire à une distance de 1 U.A. du Soleil c'est ce que l'on appelle la constante solaire elle est égale à 1367W/m^2 .

Rappel : 1 U.A = 149 597 870 700 mètres



La variation de la constante solaire en fonction du numéro du jour (j) de l'année suit la relation suivante :

$$C = I_0 [1 + 0,033 \cos(0,984j)]$$

Lorsqu'une plus grande précision est requise, on utilise la relation suivante :

$$I = 1353 + 45.326 \cos J + 0.88018 \cos 2J - 0.0046 \cos 3J + 1.8037 \sin J \quad (1.2)$$

$$+ 0.09746 \sin 2J + 0.18412 \sin 3J$$

Où : $J=0.984j$, j étant le nombre du jour de l'année.

2. Déclinaison du soleil

Le mouvement de la terre sur son axe et autour du soleil est schématisé précédemment. Les quatre positions de la terre représentées correspondent aux solstices et aux équinoxes. On

notera en particulier que l'axe de rotation de la terre est incliné par rapport à la normale du plan de l'écliptique d'un angle de $23.27'$. La déclinaison du soleil (δ) varie donc de $-23.27'$ (solstice d'hiver le 21 Décembre) à $+23.27'$ (solstice d'été le 21 Juin) en passant par 0 aux équinoxes.

L'angle de la déclinaison se calcule par la relation suivante :

$$\delta = 23.45 \sin [0.980(j + 284)]$$

Lorsqu'une précision est requise, on pourra utiliser le développement suivant :

$$\begin{aligned} \delta = & 0.33281 - 22.984 \cos J - 0.3499 \cos 2J - 0.1398 \cos 3J + 3.7872 \sin J \\ & + 0.03205 \sin 2J + 0.07187 \sin 3J \end{aligned} \quad (1.4)$$

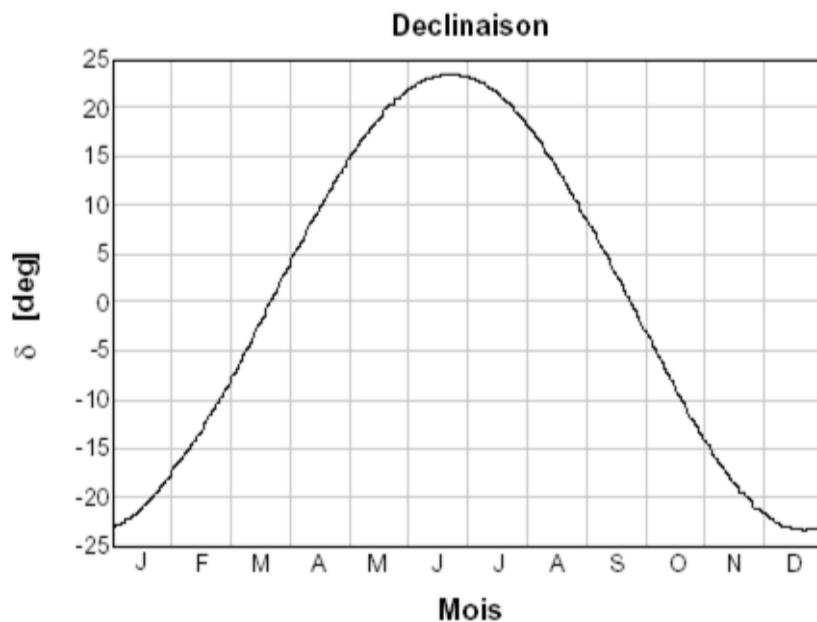


Figure. déclinaison du soleil