



Cours N°1- Le gisement solaire

1.1 Energie renouvelable, énergie propre ?

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Elles sont inépuisables ou presque. En effet, certaines peuvent disparaître si on ne les gère pas convenablement (par exemple le bois issu de la déforestation). Le caractère renouvelable d'une énergie dépend donc de la vitesse à laquelle la ressource se régénère, mais également de la vitesse à laquelle elle est consommée.

L'énergie étant une grandeur physique, on parlera en théorie de "sources d'énergie renouvelables" ou d'"énergies d'origine renouvelable" - la forme courte est toutefois consacrée par l'usage.

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent généralement pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO dans l'atmosphère.

Il est important de ne pas confondre énergie renouvelable et énergie propre : Le fait qu'une énergie soit renouvelable, ne veut pas dire (en aucun cas) qu'elle est propre et qu'elle ne produise aucune pollution, aucun déchet.

Inversement le fait qu'une énergie soit propre n'implique pas qu'elle soit indéfiniment disponible.

Exemples d'énergies renouvelables dont la propriété est contestée : la biomasse (émissions polluantes des incinérateurs de déchets), ou les gigantesques barrages hydroélectriques, notamment en zone tropicale.

1.1.1 Energies issues directement du soleil :

- Photovoltaïque
- Solaire thermodynamique
- Solaire thermique

1.1.2. Energies issues indirectement du soleil :

- éolien
- hydraulique
- biomasse
- énergies des océans

1.1.3 Energie issue du magma terrestre :

- Géothermie
- Un magma est de la roche en fusion. Il contient généralement des gaz dissous et peut comporter des éléments solides en suspension (fragments de roche et/ou minéraux).

1.2 Le Soleil

Le Soleil est une étoile, notre étoile, située à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène et apparaît sous un angle d'un peu plus d'un demi-degré. Il faudrait donc 93 000 soleils côte à côte pour occuper l'étendue de la voûte céleste. Son rayon est 109 fois celui de la Terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète.

La Lune est 400 fois plus petite que le Soleil, mais 400 fois plus près de la Terre, ce qui explique la taille apparente similaire des deux astres dans le ciel, ce dont on peut se rendre compte en particulier lors des éclipses de Soleil, son énergie de réactions thermonucléaires se produisant en permanence dans

son noyau, dont la température atteint 15 millions de degrés. Compte tenu des températures et des pressions énormes qui y règnent, toute la matière se trouve à l'état de gaz ou de plasma.

La couche externe du Soleil, dénommée photosphère, celle qui est visible de la Terre, a une température considérablement plus faible qui décroît vers l'extérieur, jusqu'à un palier d'environ 5800 K. Les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du Soleil transforment chaque seconde, de façon irréversible, 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium.

Caractéristiques	Valeurs
Masse	$1.989 \cdot 10^{30}$ kg
Diamètre	$1.392 \cdot 10^9$ m
Masse volumique moyenne	1410 kg/m^3
Puissance rayonnée	$3.83 \cdot 10^{26}$ W
Température superficielle	5770 K

Figure 1.1 – Tableau .1 Caractéristiques principales du soleil

Remarque : Fusion nucléaire :

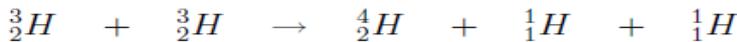
proton + proton → deutérium + positon + neutrino



deutérium + proton → Hélium 3 + gamma



Hélium 3 + Hélium 3 → Hélium 4 + proton + proton



Avec :

Positon : antiparticule de l'électron (même masse et charge opposée).

Gamma : émission d'un photon par désexcitation atomique ou nucléaire

Neutrino : particule de masse nulle et de charge nulle émise lors d'une transition β (émission d'un électron)

Le bilan global de la Terre. Concernant les rayonnements de courtes longueurs d'ondes, 47% du rayonnement solaire atteint la surface terrestre, soit directement (26%), soit après réflexion (21%). 19% de la lumière solaire est absorbée par l'atmosphère et 34% de la lumière incidente est réfléchi dans l'espace : 23% par la couche nuageuse, 3% par réflexion directe sur le sol, 7% par les composés de l'atmosphère et encore 1% après réflexion secondaire par le sol. Concernant le rayonnement de grandes longueurs d'ondes, 66% s'échappent dans l'atmosphère tandis que le sol et l'atmosphère en absorbent également une grande partie. Enfin l'atmosphère absorbe également de l'eau par évaporation et condensation. Le bilan est nul si l'on considère l'espace, l'atmosphère et la Terre séparément (figure 1.2).

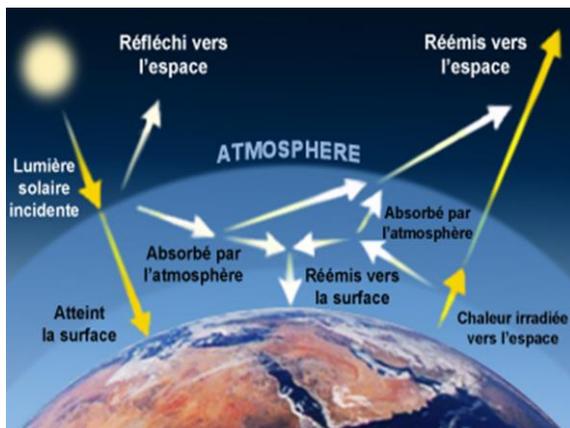


Figure.1.2 : Echanges énergétiques moyens entre la surface terrestre, l'atmosphère et l'espace.

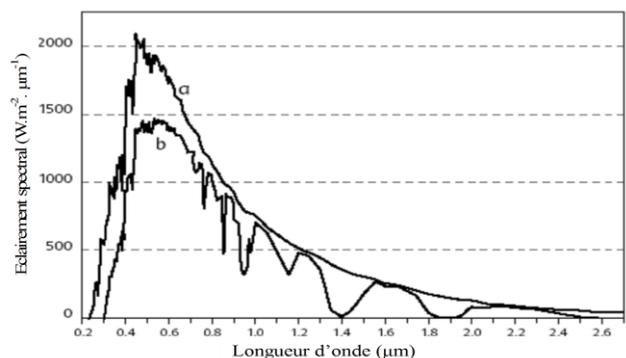


Figure 1.3 : Densité spectrale de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct (a) Rayonnement solaire hors de l'atmosphère. (b) Rayonnement solaire direct au sol pour une hauteur du soleil de 6 degrés et une atmosphère claire standard.

1.2 Les émissions du Soleil :

L'énergie émise par le Soleil est d'abord sous forme de rayonnements électromagnétiques dont l'ensemble forme le **rayonnement solaire**, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère.

L'œil humain perçoit une partie seulement du rayonnement solaire, celle située dans le domaine dit **visible**, de longueurs d'onde comprises entre 0,40 et 0,70 μm , le rayonnement **ultraviolet**, est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde plus courte que le visible ($<0.4 \mu\text{m}$). Le rayonnement **infrarouge** est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde $>0.77 \mu\text{m}$.

La plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche d'infrarouge : 99,2 % de l'énergie solaire hors atmosphère se trouve entre 200 nm et 4 μm . Au sol, par suite de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau, le spectre est limité vers le haut à 2,5 μm environ (figure 1.3).

Région spectrale	Longueurs d'onde (μm)	Eclairement 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

Tableau 1.2- Eclairement énergétique du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère pour différente longueur d'onde

1.3 Mouvements de la terre autour du soleil

La terre, caractérisée par son diamètre équatorial environ 12756 km qui est supérieur à son diamètre polaire environ 12713 km, est entourée par l'atmosphère, enveloppe gazeuse de 1100 km d'épaisseur. Le relief de la terre est irrégulier, 70,8 % de la surface terrestre sont recouverts d'eau. Cette partie superficielle est appelée hydrosphère.

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut $23^{\circ}.27'$.

Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure 2.3. Au cours de cette révolution, la terre se déplace avec une vitesse qui varie autour d'une valeur moyenne de 3.104 m/s. C'est aux environs du solstice d'hiver que la terre est la plus proche du soleil: 147 millions de kilomètres et au solstice d'été qu'elle est la plus éloignée : 152 millions de kilomètres. La terre tourne sur elle-même avec une période de 23 Heures 56 Minutes et 4 Secondes, la vitesse angulaire de rotation est $7,3 \cdot 10^{-5}$ rd/s. Son axe de rotation (axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace, il fait un angle $\sigma = 23;^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique.

Le mouvement de rotation de la terre sur elle-même produit l'alternance du jour et de la nuit. La révolution autour du soleil associée à l'inclinaison de l'axe des pôles sur le plan de l'écliptique fait varier les durées relatives du jour et de la nuit au rythme des saisons, limitées par les deux équinoxes et les deux solstices. Les deux plans de l'écliptique et de l'équateur se recoupent en deux points de l'orbite terrestre, qui correspondent aux équinoxes et marquent le début du printemps et de l'automne, respectivement le **21 mars et le 23 septembre** dans l'hémisphère Nord. À mi-chemin entre les équinoxes se situent les solstices d'hiver et d'été, respectivement le **22 décembre et le 21 juin**.

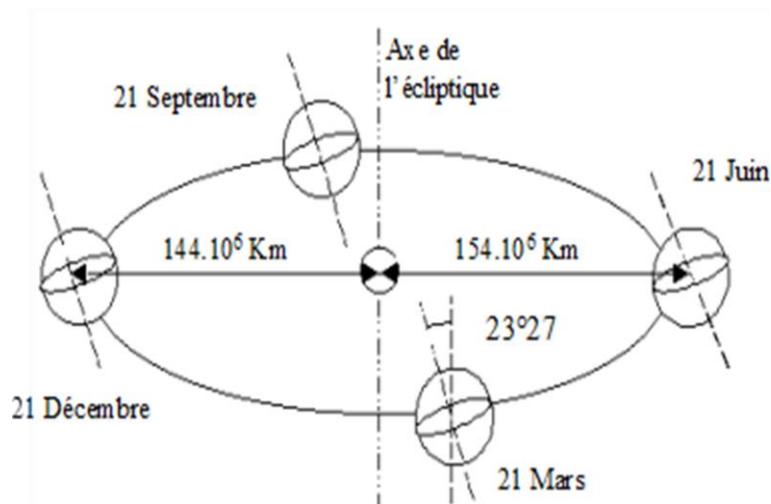


Figure 1.4 : Mouvement de la terre autour du soleil

1.4 Mouvement apparent du Soleil

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude L au nord de l'équateur est représenté sur la figure 1.5. Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à $(L - d)$.

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.

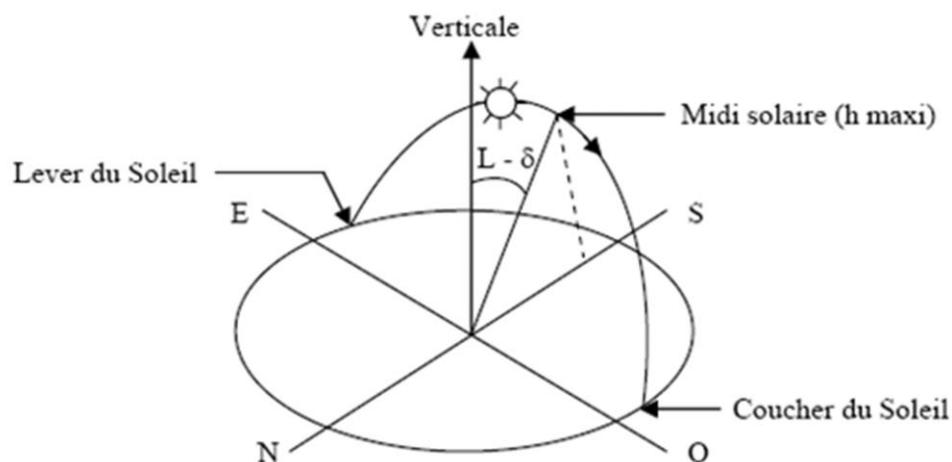


Figure 1.5 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

1.5 Différents types de rayonnement

1.5.1 Rayonnement direct : Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

1.5.2 Rayonnement diffus : Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste.

1.5.3 Le rayonnement diffus : est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.

L'albédo ou Réfléchi : C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol et aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considéré, et pour tous les angles d'incidences possibles.

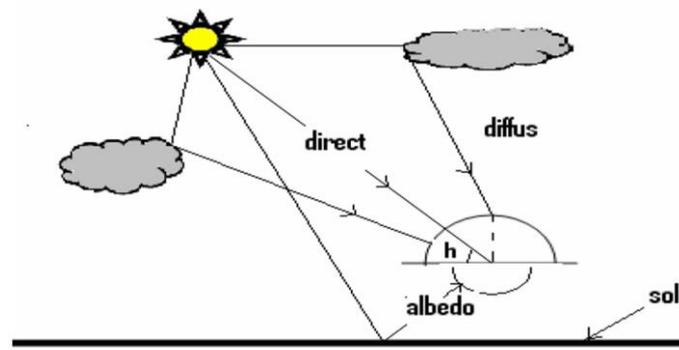
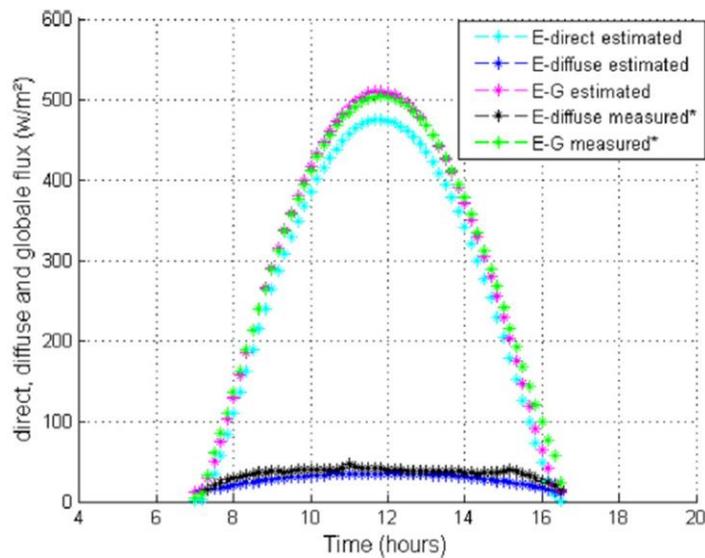


Figure 1.6 Différents composants de rayonnement.

1.5.4 Rayonnement global : Le rayonnement global au sol est donc fonction de la composition et de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée. Il se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus et/ou réfléchi.



Direct, diffuse and global solar fluxes for 4 December 2013.

Figure 1.7 Courbes de Rayonnement global, direct et diffus.



Figure 1.8 Appareils de mesure.