



MOOC ÉNERGIES RENOUVELABLES

SEMAINE 2 : L'ÉNERGIE SOLAIRE

Ce document contient les retranscriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Ressource » de la semaine 2 du MOOC « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs. Des figures choisies par les intervenants ont été ajoutées afin d'illustrer leurs propos.

La ressource solaire : importance et moyens de caractérisation

Philippe BLANC

Enseignant-Chercheur – Mines PARITECH

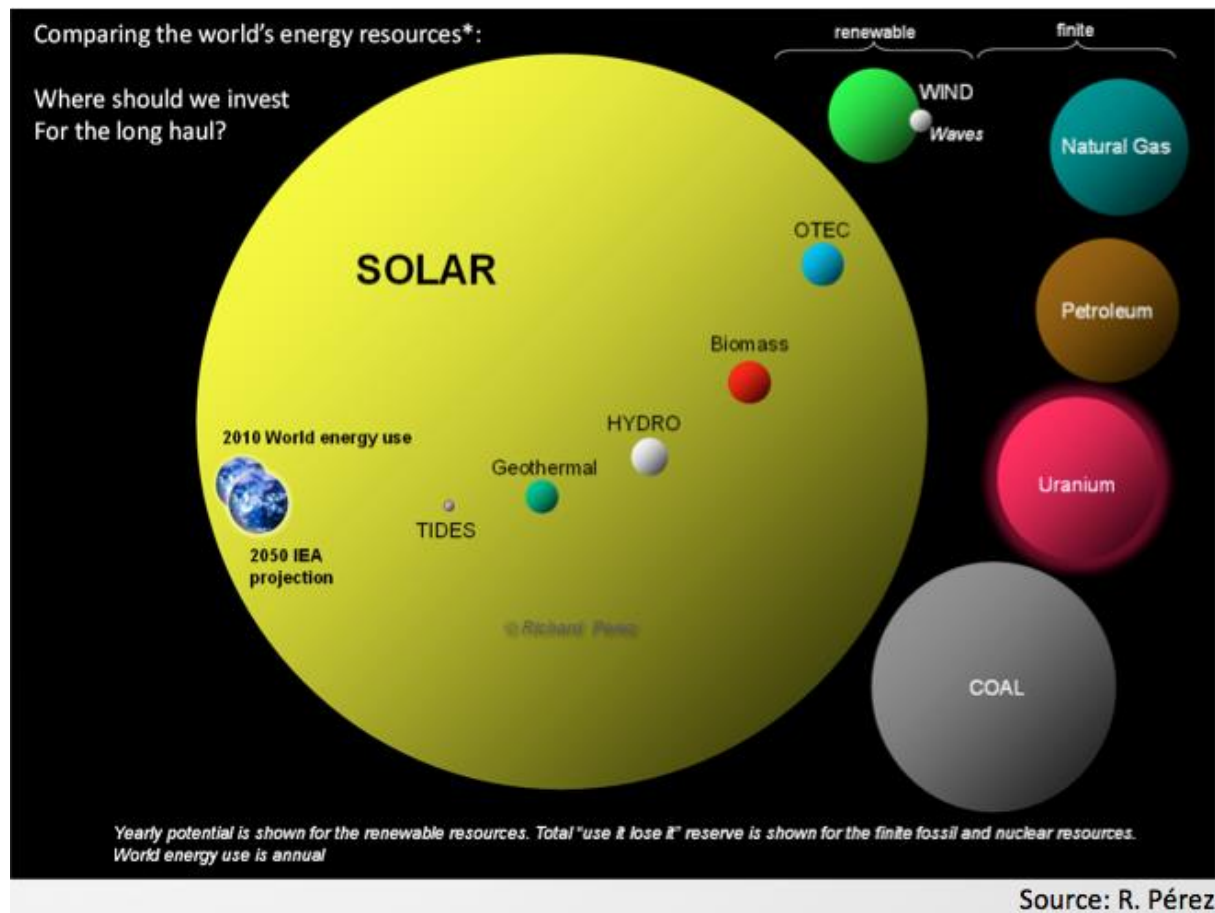
Le soleil est à 150 millions de kilomètres de la Terre en moyenne. Malgré cette distance, la quantité d'énergie que nous envoie le soleil est énorme :

- A chaque instant, la fraction de puissance rayonnée du soleil interceptée par la Terre est de 175 millions de gigawatts.
- C'est-à-dire qu'en une demi-heure, le soleil nous envoie la quantité d'énergie consommée par l'humanité en un an, c'est énorme. On a le temps de voir venir.

Donc on a une énergie énorme disponible et ce pour très longtemps.

Une façon de bien comprendre cette énergie disponible est de la comparer à d'autres sources d'énergie, c'est de considérer le graphe qui est à droite.

- Ce graphe représente, sous forme de sphères, pour la partie droite de la figure, les énergies non renouvelables que l'on estime encore disponibles. Énergies non renouvelables, comme le charbon, l'uranium, le pétrole ;
- Et représente aussi les différentes sources d'énergies renouvelables disponibles chaque année. Donc on le voit, l'éolien, l'hydroélectrique, etc.
- Et on voit derrière l'énorme boule solaire que représente l'énergie disponible par le rayonnement solaire, comparée par exemple à la production que l'on voit à gauche, la consommation énergétique mondiale de l'humanité.



Avant de rentrer dans les détails de la ressource et de la caractérisation de cette ressource solaire, quelques définitions importantes :

- Tout d'abord on parle d'éclairement solaire. L'éclairement solaire, c'est le flux énergétique exprimé par unité de surface du rayonnement incident au sol, il est exprimé en watts par mètre carré.
- Cet éclairement n'est pas à confondre avec l'irradiation solaire.
- L'irradiation solaire c'est l'intégration de cet éclairement solaire par unité de surface pendant un temps donné. Une seconde d'éclairement à 1 watt par mètre carré correspond à un joule par mètre carré, on peut parler aussi, on peut exprimer cette irradiation solaire en watts heure par mètre carré.

Cette énergie solaire peut être convertie en une énergie exploitable par l'homme. Cette conversion peut prendre plusieurs formes, plusieurs façons de le faire.

- La première à laquelle on peut penser, la plus connue finalement, c'est la conversion thermique. Donc cette conversion thermique on peut la faire avec des capteurs solaires thermiques, on connaît bien cette méthode de conversion puisque c'est celle des chauffe-eaux solaires pour fabriquer, pour créer de l'eau chaude sanitaire.
- Une autre voie de conversion bien connue du grand public, c'est la voie de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par voie photovoltaïque.
- Les deux graphes les deux illustrations en bas à droite représentent des fermes solaires. La première à gauche représente une ferme solaire classique sur châssis fixe que l'on va trouver plus communément en Europe, la deuxième représente une ferme solaire particulière avec des panneaux qui vont suivre le soleil à chaque instant.



- Une autre voie de conversion très intéressante et peut-être un peu moins connue du grand public, c'est la voie de conversion thermodynamique en énergie électrique. Elle est composée de deux étapes :
 - ✓ La première étape, c'est une conversion thermique par des capteurs solaires spécifiques, qui vont concentrer le rayonnement lumineux, donc les systèmes à concentration vont augmenter la puissance au niveau du récepteur et ;
 - ✓ Cette conversion d'énergie solaire en énergie thermique va être ensuite suivie d'un procédé de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique avec des turbines par exemple ou des moteurs type Stirling.
- Des exemples de cette voie de conversion thermodynamique à concentration sont montrés avec les figures qui sont à droite. On voit :
 - Un système cylindro-parabolique ;

- Un système parabolique ;
- Une tour solaire et ;
- Un système linéaire de Fresnel.

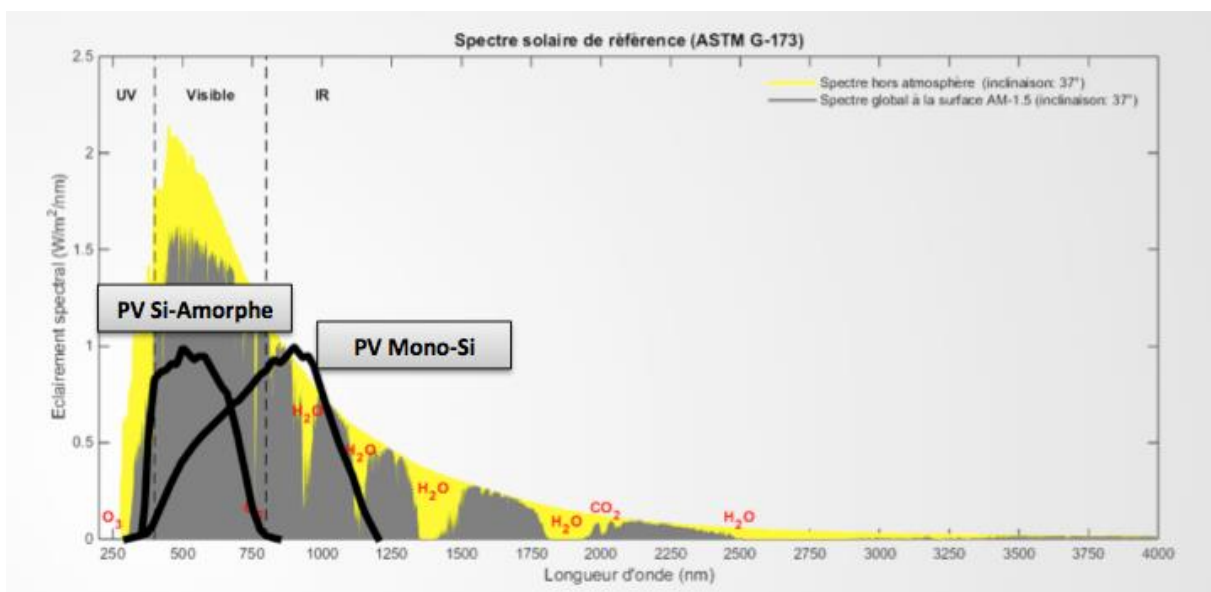
⇒ L'intérêt de ces voies de conversion thermodynamiques en énergie électrique, c'est qu'entre la conversion thermique et la conversion thermique en électricité, il est possible de stocker l'énergie sous forme d'énergie thermique.

⇒ Donc avec ce procédé-là, on peut convertir l'énergie solaire et la stocker avant de produire l'électricité.

- Une autre voie possible, c'est la conversion en énergie photochimique par exemple en procédant à la photolyse de l'eau pour produire de l'hydrogène qui servira de vecteur d'énergie, par exemple avec des piles à combustible.

Comme il existe plusieurs voies de conversion de la ressource solaire, ces différentes voies nécessitent une caractérisation fine et particulière de la ressource solaire. Cette caractérisation de la ressource solaire se fait en général par deux façons différentes :

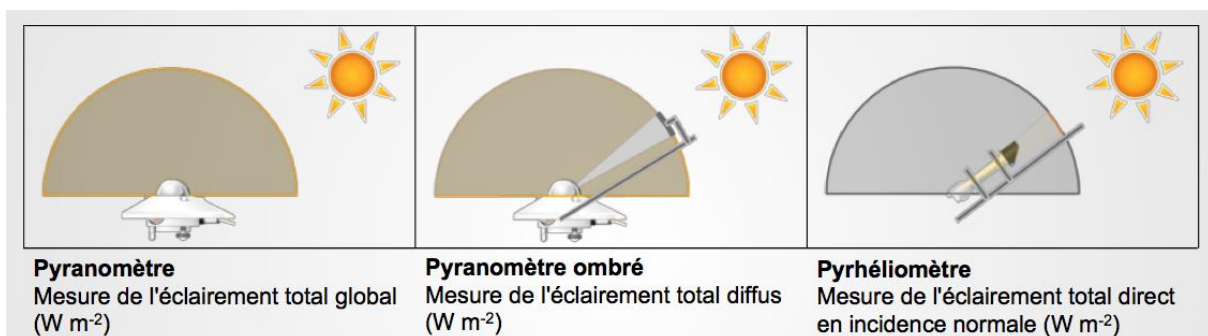
- La première caractérisation est la caractérisation spectrale.
- Le graphe qui est représenté en haut à droite, représente en abscisse les longueurs d'ondes, en en ordonnée, l'éclairement solaire spectral et l'on voit sur ce graphe, que la distribution énergétique du rayonnement solaire n'est pas la même en fonction de la longueur d'onde, elle est très différente et comme le représentent, par exemple, deux exemples de sensibilité spectrale, deux systèmes photovoltaïques différents, la sensibilité spectrale des moyennes conversions va être différente et donc il est important de caractériser la ressource solaire de manière adéquate pour tel ou tel moyen de conversion en fonction de sa sensibilité spectrale.



- Une autre caractérisation importante du rayonnement solaire et de la ressource solaire est la caractérisation angulaire.
- Un système photovoltaïque classique va intégrer la luminance du ciel de manière hémisphérique et toute la partie du ciel vue par le capteur photovoltaïque classique va être convertie en énergie électrique alors qu'un système à concentration, comme je vous l'ai présenté toute à l'heure, avec les cylindro-paraboliques ou les paraboliques simples, vont eux, être sensibles uniquement à une partie angulaire du ciel qui est centrée dans la direction principale du soleil, autour de ce qu'on appelle la région circumsolaire. On parle à ce moment-là d'éclairement direct.

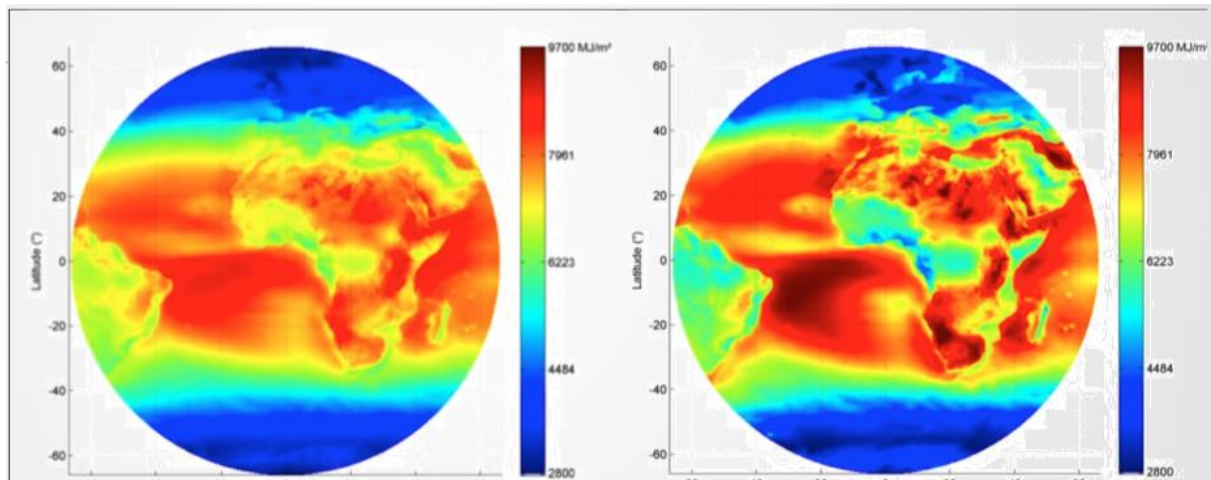
Alors, comme il est important de caractériser cette ressource solaire, il est bien de savoir comment on fait pour caractériser cette ressource solaire. La caractérisation peut se faire tout d'abord par des moyens de mesure au sol, les capteurs qui caractérisent le rayonnement solaire s'appellent les capteurs pyranométriques, il en existe de plusieurs sortes :

- Le premier, le plus connu, c'est le pyranomètre. Le pyranomètre va mesurer de manière hémisphérique la luminance du ciel pour mesurer ce qu'on appelle donc le rayonnement global.
- Un pyréliomètre, lui, va être pointé vers le soleil et ne va mesurer que la partie qui vient dans la direction principale du soleil donc, il va mesurer ce qu'on appelle l'éclairement direct.
- L'ensemble de ces capteurs pyranométriques peuvent être mis dans une station de mesures pyranométriques et ainsi caractériser de manière très fine la ressource à un point en particulier.



- La difficulté de ces moyens de mesures ponctuels c'est qu'il est impossible, inenvisageable compte-tenu du prix et de la maintenance nécessaire pour ce type d'instrument de paver la Terre entière d'un réseau de stations de mesures pyranométriques.
- Donc si l'on veut rendre compte de la variabilité spatiale du rayonnement solaire et de la ressource solaire, il est important de trouver une autre façon.

Une autre façon possible, c'est de recourir aux satellites d'observation et notamment les satellites d'observation géostationnaires qui permettent une observation persistante de la Terre.

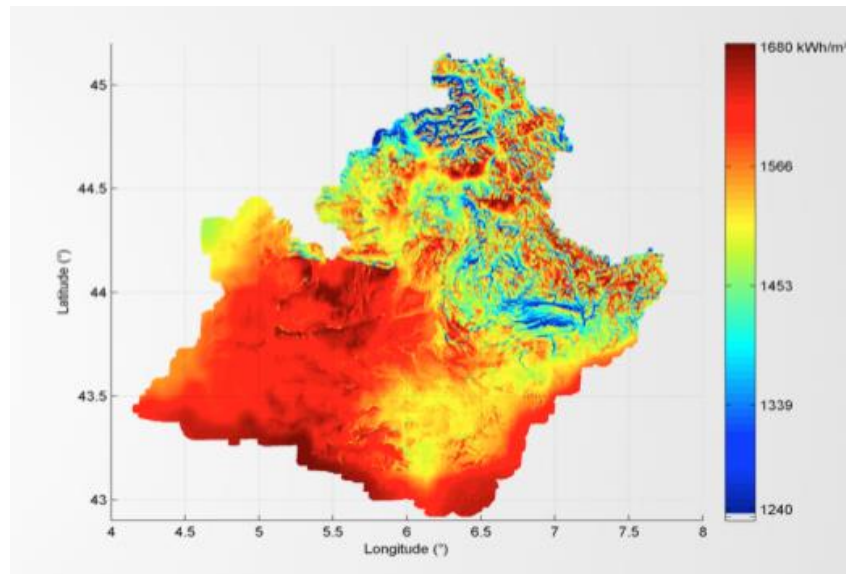


Moyenne sur 2004-2010 de l'irradiation annuelle globale horizontale (gauche) et directe en incidence normale (droite) issue de la base de données HelioClim-3 (méthode Heliosat-2) créées par MINES ParisTech (www.soda-is.com)

- Par exemple, en bas à gauche, on voit le satellite Météo Sat seconde génération et il existe des méthodes, par exemple les méthodes de la famille Héliostat qui vont traduire ces images vues par ces satellites géostationnaires en estimation de la ressource solaire pour chaque image.
- Les deux images de droite représentent des cartes issues de ces méthodes de type Héliostat appliquées aux satellites Météo Sat de seconde génération, des cartes d'irradiation annuelles moyennées sur plusieurs années du rayonnement global et du rayonnement direct exprimé en mégajoule par mètre carré.

La résolution de ces cartes par satellite est de l'ordre de 3 - 4 kilomètres. Si l'on veut rendre compte de la variabilité de la ressource à une échelle encore plus fine, par exemple à l'échelle d'une région, à ce moment-là le satellite ne suffit pas forcément.

- Un exemple possible de réalisation de carte à haute résolution est l'exemple de l'atlas solaire à haute résolution qui a été fait pour la région Provence-Alpes-Côte-D'azur. Cette carte, ces ensembles de cartes ont été générés en intégrant les données par satellite à 4 kilomètres de résolution en prenant en compte des stations pyrométriques qui ont permis de réduire les incertitudes de ces estimations et de calibrer les estimations par satellite et afin d'augmenter la résolution de ces cartes d'irradiation qui sont à 3 - 4 kilomètres, on a intégré un modèle numérique de terrain très précis qui s'appelle SRTM, pour rendre compte des effets d'ombrage, du relief sur chaque point tous les 200 mètres sur la région PACA.



En définitive en mélangeant ces trois sources d'information, on a pu obtenir des cartes de référence, de rayonnement global et de rayonnement direct, intégrant le relief à 200 mètres de résolution. Ces cartes de références sont disponibles gratuitement sur le site : www.atlas-solaire.fr.