

L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

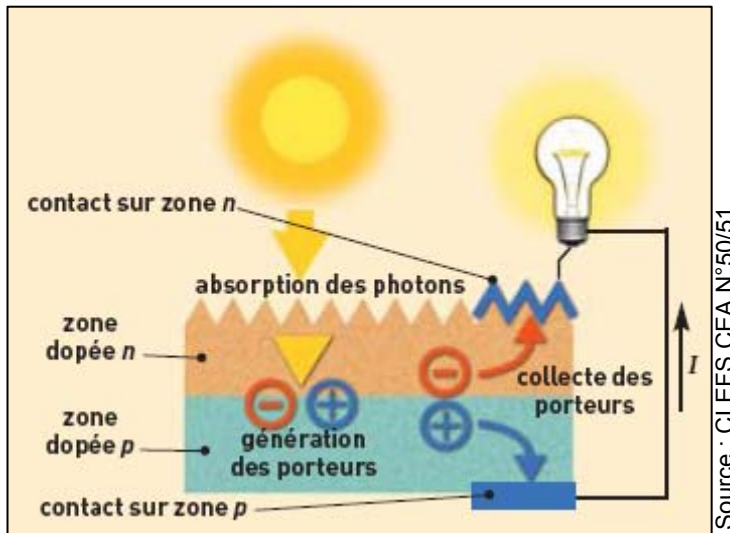
L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel. Ensuite, Werner von Siemens a travaillé sur ce phénomène et a présenté les résultats de ses travaux à l'Académie des Sciences de Berlin en 1874. Aux Etats-Unis, la première cellule photovoltaïque à haut rendement a été mise au point en 1954 pour l'industrie spatiale et, en 1958, le premier satellite alimenté par des cellules photovoltaïque est envoyé dans l'espace. En 1973, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est installée et la première voiture fonctionnant au solaire photovoltaïque a parcouru 4 000 km en Australie en 1983.

QU'EST-CE QUE L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ?

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité. Cette conversion se réalise grâce à la production et au transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Un matériau semi-conducteur comporte deux parties : une zone présentant un excès d'électrons (dopée de type n) et une autre zone, un déficit en électrons (dopée de type p). Lorsque la zone de type n est mise en contact avec la zone de type p, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite (ou gap qui représente la zone inaccessible aux électrons) communiquent leur énergie aux atomes. Chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel : le courant électrique circule.



Source : CLEFS CEA N°50/51

Figure 2 : Le phénomène photovoltaïque

ENERGIE MOYENNE APPORTEE PAR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

◆ Masse d'air

Lorsque le soleil est bas sur l'horizon, ses rayons traversent une épaisseur importante d'atmosphère et subissent des transformations.

La *masse d'air* – ou Air Mass en anglais – est le rapport entre l'épaisseur de l'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu.

La masse d'air dépend beaucoup de la hauteur angulaire du Soleil.

Avec les points O, A et M et l'angle h définis sur la figure précédente, la longueur du trajet du Soleil à travers l'atmosphère est définie par :

$$OM = \frac{OA}{\sin h}$$

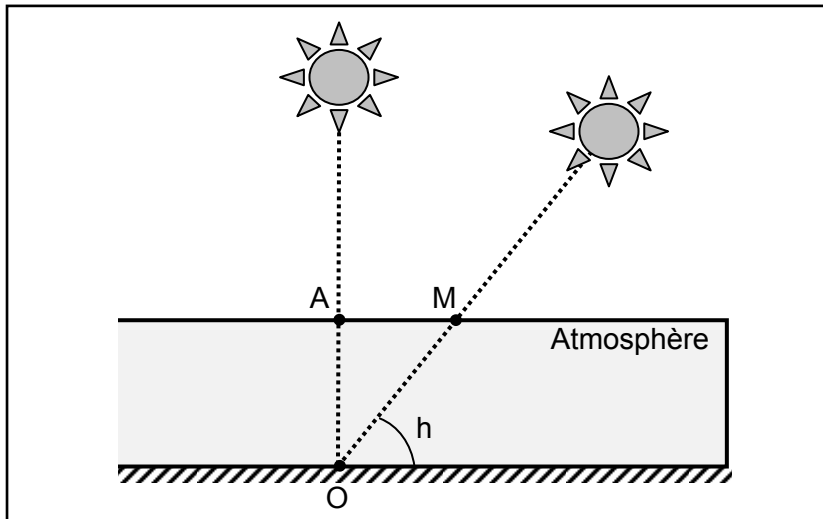


Figure 3 : Définition de la masse d'air

La masse d'air est exprimé par AMx, où x désigne le rapport :

$$\frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h}$$

- Exemples :
- Soleil au Zénith (au niveau de la mer) : AM1
 - Soleil à 30° : AM2
 - Soleil à 48° : AM1,5

Par convention, AM0 est le rayonnement solaire hors atmosphère.

◆ Rayonnement solaire

Le soleil dégage une énergie lumineuse de $6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$.

Au dessus de l'atmosphère l'énergie lumineuse du soleil a été évaluée avec précision à 1366 W/m^2 . Il s'agit de l'irradiance reçue, ou rayonnement solaire instantané, à un instant donné au dessus de l'atmosphère terrestre en incidence normale (c'est-à-dire sur un plan perpendiculaire à la direction du soleil).

Cette énergie, qui descend en ligne droite vers la Terre, ne parvient pas en intégralité sur la Terre car elle va subir des transformations en traversant l'atmosphère : par absorption et par diffusion.

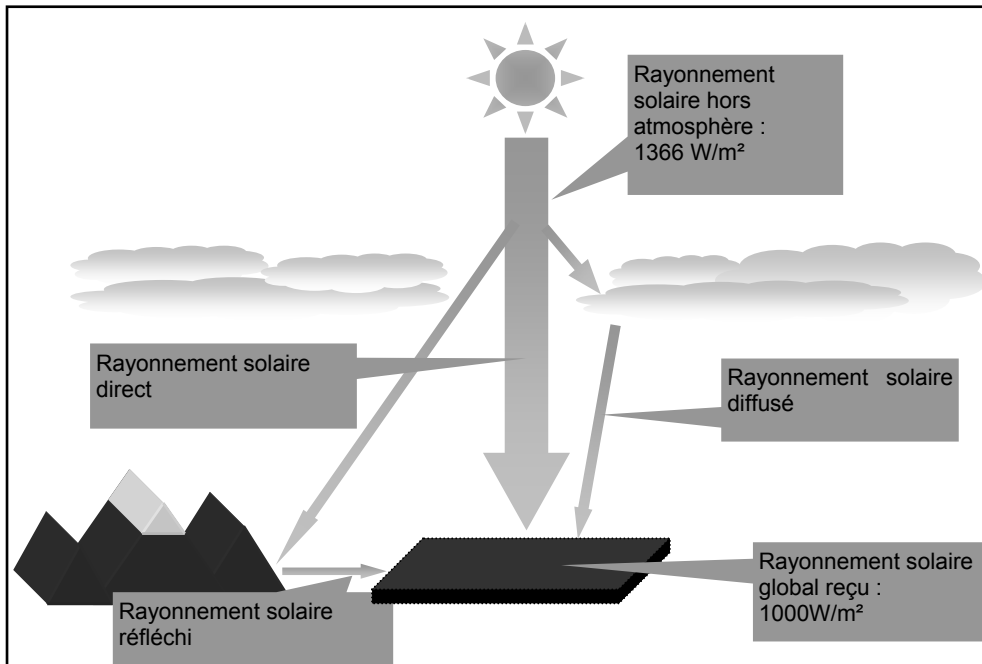


Figure 4 : Le rayonnement solaire

Le **rayonnement solaire direct** est reçu directement du Soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux et peuvent être concentrés par des miroirs.

Le **rayonnement solaire réfléchi** est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site : la neige renvoie beaucoup de rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun.

Le **rayonnement solaire diffusé** est la lumière diffusée par l'atmosphère (couche d'ozone, nuages, oxygène, gaz, poussières, vapeur d'eau, ...). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont les gouttelettes d'eau (nuages), les molécules d'air, et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

Le **rayonnement solaire global** est la somme de ces divers rayonnements. Il atteint la valeur de 1000 W/m^2 par temps clair et sans nuage. Ce rayonnement peut être mesuré à l'aide d'un pyranomètre ou d'un solarimètre.

La plupart du temps, l'énergie solaire est déterminée par le rayonnement cumulée. Pour cela, le **rayonnement global journalier** est calculé, il s'agit de l'intégrale du rayonnement global sur une journée en un lieu donné avec une inclinaison donnée (en général horizontale), le cumul du rayonnement est en Wh/m^2 et par jour. Ces données sont accumulées d'année en année et les moyennes pour chaque mois de l'année sont ainsi déterminées. Ces valeurs sont disponibles avec le système d'information PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>) disponible sur internet pour l'Europe continentale et l'Afrique.

Exemple : A Perpignan, la durée d'ensoleillement journalière à l'horizontal est en moyenne de 3,94 h, ce qui correspond à 3,94 h d'ensoleillement à 1000 W/m^2 . Le rayonnement global journalier est donc de $3940 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{jour}$

pour la ville de Perpignan. Ceci équivaut à une irradiation annuelle de 1438,1 kWh/m².an

Pour la France, le rayonnement global sur une année est présenté sur la carte de la figure suivante.

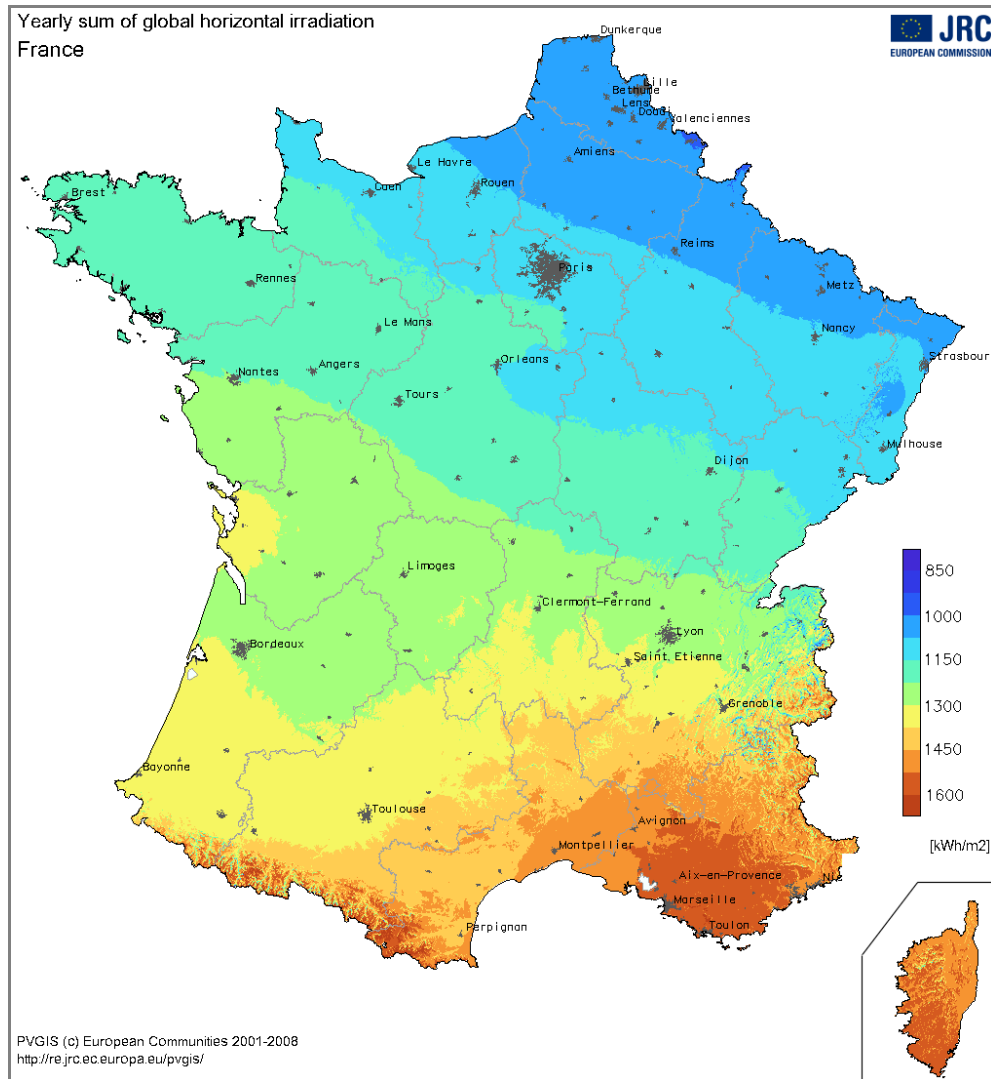


Figure 5 : L'irradiation solaire annuelle en France

● INFLUENCE DE LA LATITUDE

Comme il est possible de le voir sur la carte précédente, la latitude influe sur le rayonnement global. Entre le Nord et le Sud de la France, le rayonnement annuel est multiplié par 2 environ. Ceci est dû à l'incidence plus rasante des rayons solaires. Ceci oblige donc à positionner les modules photovoltaïques plus verticalement lorsque la latitude augmente : une inclinaison égale à la latitude est généralement utilisée. Sur la carte précédente, on voit bien les écarts en France mais ceux-ci sont aussi marqués du point de vue mondial.

De plus, sur le rayonnement horizontal, c'est aussi sur la répartition saisonnière que la latitude a le plus d'influence. Dans les zones équatoriales et tropicales, peu de variations sont observées au cours de

l'année, mais plus la latitude est élevée, plus les différences entre les saisons sont marquées.

La figure suivante présente l'évolution annuelle du rayonnement global par temps clair sous différentes latitudes.

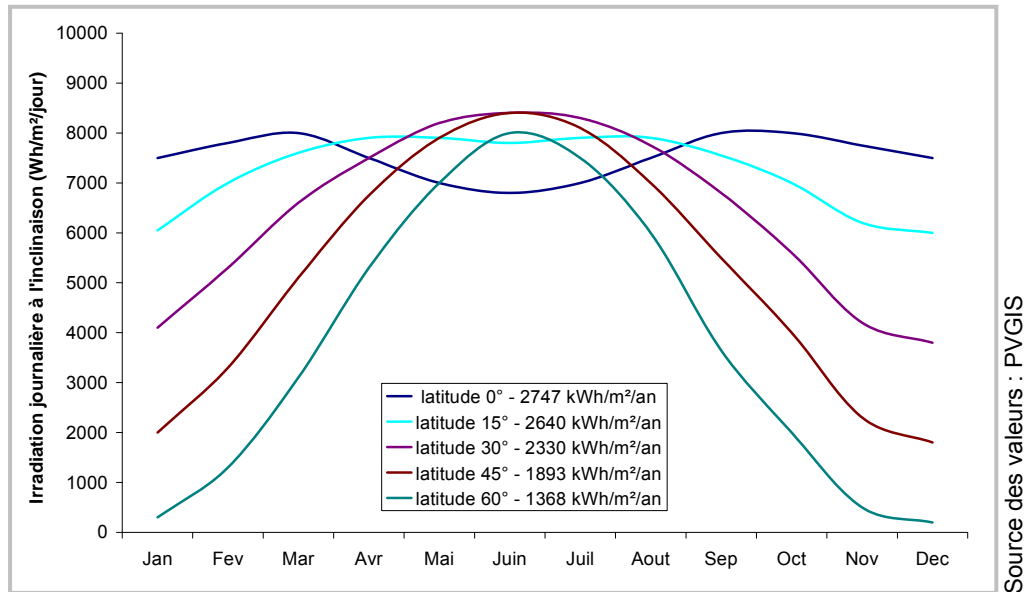


Figure 6 : Influence de l'irradiation en fonction de la latitude

● INFLUENCE DE L'EXPOSITION

Dans les pays tempérés et froids, la nébulosité est plus élevée en hiver donc les valeurs du rayonnement global journalier sont basses pour cette saison. Dans ces pays-là, l'orientation vers le Sud et l'inclinaison optimum des modules (panneaux photovoltaïques manufacturés) selon la latitude, permet de compenser ce faible rayonnement en hiver.

La figure suivante présente le rayonnement global journalier suivant différentes inclinaisons dans la localité de Clermont-Ferrand (latitude 45,8°).

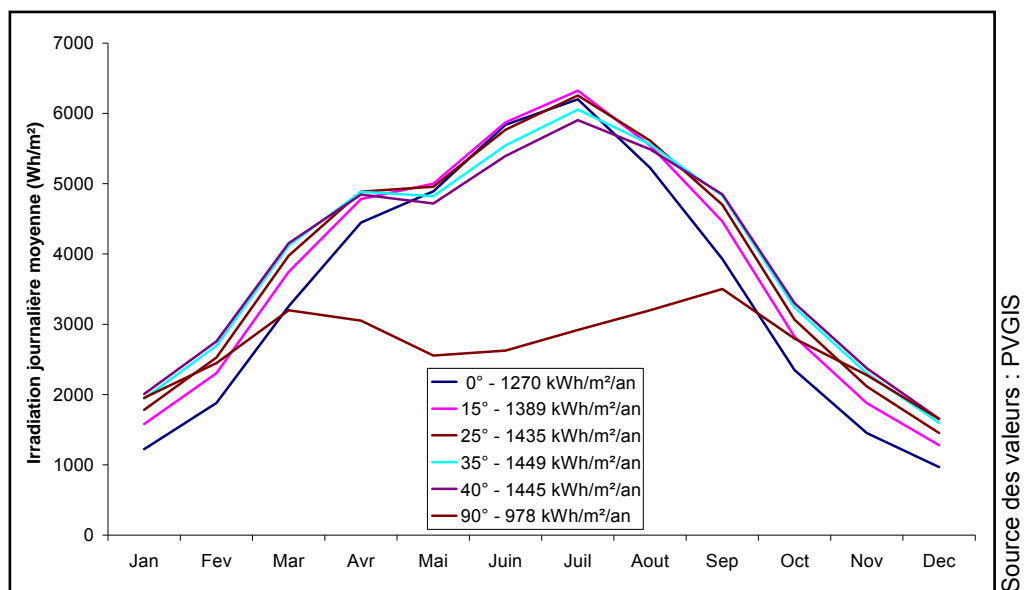


Figure 7 : Influence de l'irradiation en fonction de l'inclinaison