

Cours: Nouvelles technologies des énergies renouvelables

Chapitre IV

Convertisseurs photovoltaïques

IV.1. Introduction

Hormis les énergies nucléaire et géothermique, le soleil est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'humanité pour ses besoins alimentaires, domestiques et industriels : biomasse, vent, hydraulique, combustibles fossiles. Le Soleil fournit ainsi chaque jour à la Terre, par son rayonnement, l'équivalent de plusieurs milliers de fois la consommation énergétique totale de l'humanité pour ses activités d'aujourd'hui.

À titre d'exemple, pour donner un ordre de grandeur des énergies mises en jeu, une toiture de 100 m² située dans le sud de la France (durée moyenne d'ensoleillement 8 h/j), orientée perpendiculairement à l'inclinaison moyenne des rayons, reçoit par jour un flux énergétique d'une puissance de 70 kW, soit l'équivalent d'une énergie électrique de 560 kWh ou l'équivalent d'une énergie thermique d'environ 480 000 kcal, ce qui représente 50 L de fuel.

On imagine que même un capteur dont le rendement est de 10 % peut récupérer une énergie importante, le problème principal étant le coût de 1 m² de capteur.



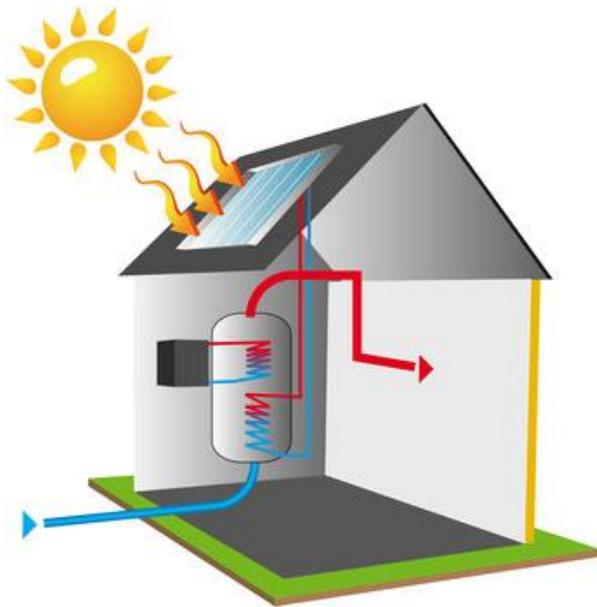
IV.2. Potentiel solaire

Tout d'abord, partons sur de bonnes bases. Savez-vous ce qu'est réellement l'énergie solaire ? A partir des réactions de fusion nucléaire qui ont lieu au centre du soleil, celui-ci émet de l'énergie dans le système solaire sous forme de rayonnement électromagnétique. Sur Terre, nous pouvons capter cette énergie sous forme de chaleur et de lumière. Le soleil émet donc de l'énergie dans toutes les directions de l'espace, et une partie de celle-ci est captée par la Terre. Puis, à partir de l'énergie reçue, la Terre en absorbe une partie et en réfléchit une autre. Ainsi, on peut calculer qu'environ 130 Millions de GWh (Gigawatt-heure) sont absorbés par la Terre en une heure. Pour vous donner une idée, la quantité d'énergie totale consommée par l'humanité en 1 an (en comptant toute forme d'énergie) est d'environ 100 Millions de GWh, soit plus de 20% de moins !! Tout ceci est impressionnant, mais l'incroyable quantité d'énergie absorbée par la Terre est-elle pour autant facile à exploiter pour des besoins humains ?



IV.3. L'énergie solaire sur terre

La technologie actuelle nous permet de récupérer l'énergie solaire sous forme de lumière grâce à des panneaux solaires photovoltaïques. Grâce à de tels panneaux, on est aujourd'hui capable de transformer directement l'énergie solaire en électricité, et ce avec des rendements de plus en plus intéressants. Pour fixer les idées, on utilise de nos jours pour des besoins domestiques de tels panneaux avec des rendements qui se situent autour de 15%. Cela veut dire que ces panneaux peuvent convertir 15% de l'énergie solaire qu'ils reçoivent en énergie électrique !.



Par exemple, à l'échelle de toute la France, la superficie de panneaux solaires photovoltaïques nécessaire pour alimenter le pays entier en électricité, en admettant qu'il n'y ait aucun autre moyen de production d'énergie en France et que les panneaux soient installés de façon optimale, se situe autour de 5000 km². C'est beaucoup, me direz-vous, mais si l'on compare cette superficie à la surface bâtie en France métropolitaine, qui est de 8500 km² en 2010. On se dit qu'il faudrait dès à présent commencer à installer des panneaux solaires sur les toits des maisons françaises.

Enfin, et dans le but de diversifier le discours, n'oublions pas qu'il est également possible de récupérer l'énergie solaire sous forme de chaleur grâce à des panneaux solaires thermiques, ou des centrales solaires thermiques pour des applications à plus grande échelle.

Et oui, l'énergie solaire que l'on reçoit est incroyablement importante et les moyens disponibles pour la récupérer, bien qu'ils soient encore très peu utilisés, sont nombreux et promis à un grand avenir !

IV. 4. Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et dépend du rendement de la cellule. Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à une charge électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie électrique).

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et séléniure d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ et $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée.



IV. 5. Cellule réelle a jonction PN

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron à la matrice, créant au passage un « trou ». Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se recombiner, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner en son sein : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme dans une pile. L'une des solutions, couramment utilisée, pour extraire sélectivement les électrons et les trous utilise un champ électrique au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N.

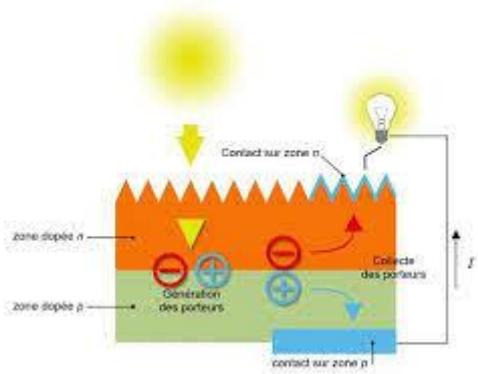
La couche supérieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé N. Dans cette couche, il existe une quantité d'électrons libres supérieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), d'où l'appellation de dopage N, comme négatif (charge de l'électron). Le matériau reste électriquement neutre : c'est le réseau cristallin qui supporte globalement une charge négative. La couche inférieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé P. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons libres inférieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), les électrons sont liés au réseau cristallin qui, en conséquence, est chargé positivement. La conduction électrique est assurée par des trous, positifs (P).

Au moment de la création de la jonction P-N, les électrons libres de la région N diffusent dans la couche P et se recombinent avec les trous de la région P. Il existera ainsi, pendant toute la vie de la jonction, une charge *positive* de la région N au bord de la jonction (parce que les électrons en sont partis) et une charge *négative* dans la région P au bord de la jonction (parce que les trous en ont disparu) ; l'ensemble forme la Zone de Charge d'Espace (ZCE) et il existe un champ électrique entre les deux, de N vers P. Ce champ électrique fait de la ZCE

une diode, qui ne permet le passage du courant que dans un sens : les électrons peuvent passer de la région P vers la région N, mais pas en sens inverse ; inversement les trous ne passent que de N vers P.

En fonctionnement, un photon arrache un électron à la matrice, créant un électron libre et un trou. Ces porteurs de charges diffusent jusqu'à la zone de charge d'espace, là sous l'effet du champ électrique ils partent chacun à l'opposé : les électrons s'accumulent dans la région N (qui devient le pôle négatif), tandis que les trous s'accumulent dans la couche dopée P (qui devient le pôle positif). Ce phénomène est plus efficace dans la ZCE, les porteurs de charges (électrons ou trous) étant séparés immédiatement par le champ électrique, ou à proximité immédiate de la ZCE : lorsqu'un photon y crée une paire électron-trou, ils se séparent et ont peu de chance de rencontrer leur opposé, alors que si la création a lieu plus loin de la jonction, l'électron (resp. le trou) nouveau conserve une grande chance de se recombiner avant d'atteindre la zone N (resp. la zone P). Mais la ZCE est très mince, aussi n'est-il pas utile de donner une grande épaisseur à la cellule.

D'un point de vue électrique, une cellule photovoltaïque est l'équivalent d'un générateur de courant auquel on a adjoint une diode. Il faut ajouter des contacts électriques (qui laissent passer la lumière en face éclairée : en pratique, on utilise un contact par une grille), une couche antireflet pour assurer une bonne transmission des photons vers l'absorbeur. Pour que la cellule fonctionne, et produise le maximum de courant, on ajuste le gap du semi-conducteur au niveau d'énergie des photons. On peut éventuellement empiler les jonctions, de façon à exploiter au mieux le spectre d'énergie des photons, ce qui donne les cellules multi-jonctions.



POLARISATION D'UNE JONCTION PN

