



*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED « 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.*

## *La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire*

**Daniel LINCOT**

*Directeur de recherche – CNRS*

*Directeur de l'IRDEP et Directeur scientifique de l'IPVF*

Je vais vous parler de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire et la première chose c'est de considérer l'énergie qui nous arrive du Soleil et ses caractéristiques.

C'est donc une énergie de type électromagnétique sur laquelle on a une distribution qui se centre dans le visible - autour de 0,55 microns -, et qui est caractérisée par une puissance énergétique qui, à l'extérieur de l'atmosphère est de 1360 Watts par mètre carré et qui, au niveau de la Terre, est considérée autour de 1000 Watts par mètre carré.

Alors, cette puissance solaire, elle se répartit partout dans le monde, dans tous les territoires, tous les pays et sur la mer et en fait vous avez une distribution qui est comprise entre 0,9 MWh par mètre carré et par an dans les pays du nord de l'Europe et ça peut aller à autour de 2 à 3 MWh par mètre carré par an dans les zones les plus ensoleillées du monde.

➤ A Paris par exemple, c'est autour de 1 MWh par mètre carré et par an, ce qui correspond en juillet, journalièrement, autour de 5,5 kWh par mètre carré et par jour.

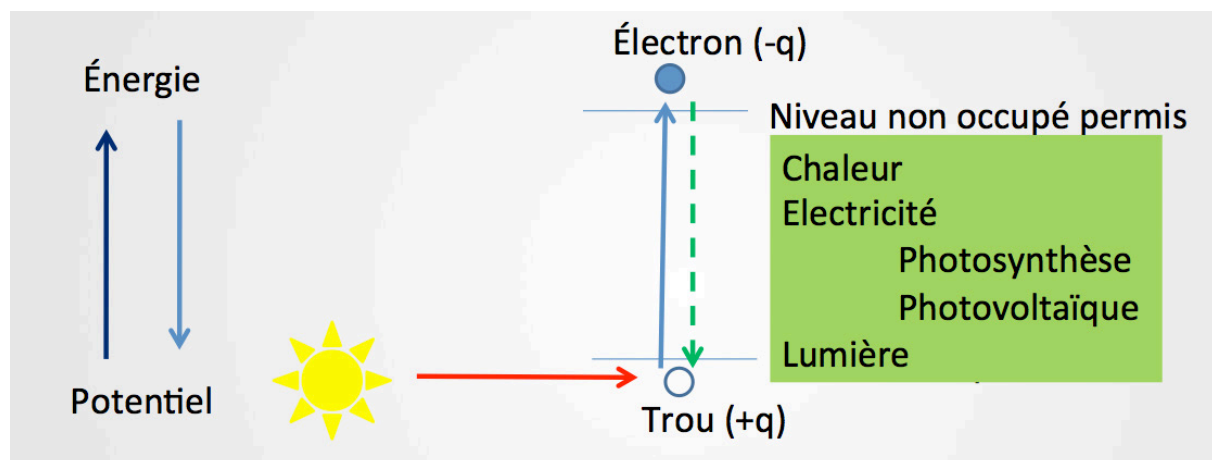
Alors, comment se passe ce processus de conversion, de transformation de l'énergie solaire en énergie électrique ?

- Et bien, il se passe grâce à l'absorption des photons par la matière. Et dans la matière, ce qui va absorber les photons ce sont des électrons qui constituent les liaisons chimiques et en fait, le photon transfère son énergie à un électron d'une liaison et cet électron va changer de niveau d'énergie (on dit qu'il est excité) et à ce moment-là, il se crée une paire électron trou et la particularité c'est que l'électron, son énergie est déjà sous forme électrique.
- Alors en fait, pour revenir à l'équilibre, il va échanger son énergie et faire la plupart du temps de la chaleur mais, dans le cas de la photosynthèse, il passe par un intermédiaire qui est déjà un intermédiaire photovoltaïque grâce à la chlorophylle et ça lui permet ensuite de faire la photosynthèse.

Sur le plan du photovoltaïque, ce que l'on cherche à faire, c'est trouver le moyen d'avoir l'énergie électrique par un circuit extérieur et c'est tout l'objet des cellules solaires, du développement des cellules solaires.

Alors, les cellules solaires qui sont développées, ont commencé à se développer en 1954 autour du silicium et très rapidement, dès 58, les premiers satellites étaient équipés en énergie solaire photovoltaïque pour leur alimentation électrique.

Alors, comment fonctionne une cellule solaire ?



- Et bien, ce qu'on a fait, c'est qu'on a mis un semi-conducteur de type N. et un semi-conducteur de type P. juxtaposés et ces semi-conducteurs, on appelle ça une homojonction - si c'est le même semi-conducteur -, sont accolés l'un à l'autre et c'était du silicium.
- En fait, quand ils sont accolés, ce qui se produit c'est qu'à l'interface entre ces deux zones N. et P., se crée un champ électrique très fort. Or, un électron est chargé négativement et le trou par opposition est chargé positivement. Donc, dès que l'électron se trouve dans le champ électrique, il va subir une force qui va le déplacer en sens contraire du champ. Par contre le trou va aller dans le sens du champ.

⇒ Donc on voit que, finalement, la jonction P. / N., la cellule solaire, permet de séparer les paires électrons trou grâce à cet effet de champ et donc de récupérer de la puissance dans le circuit extérieur.

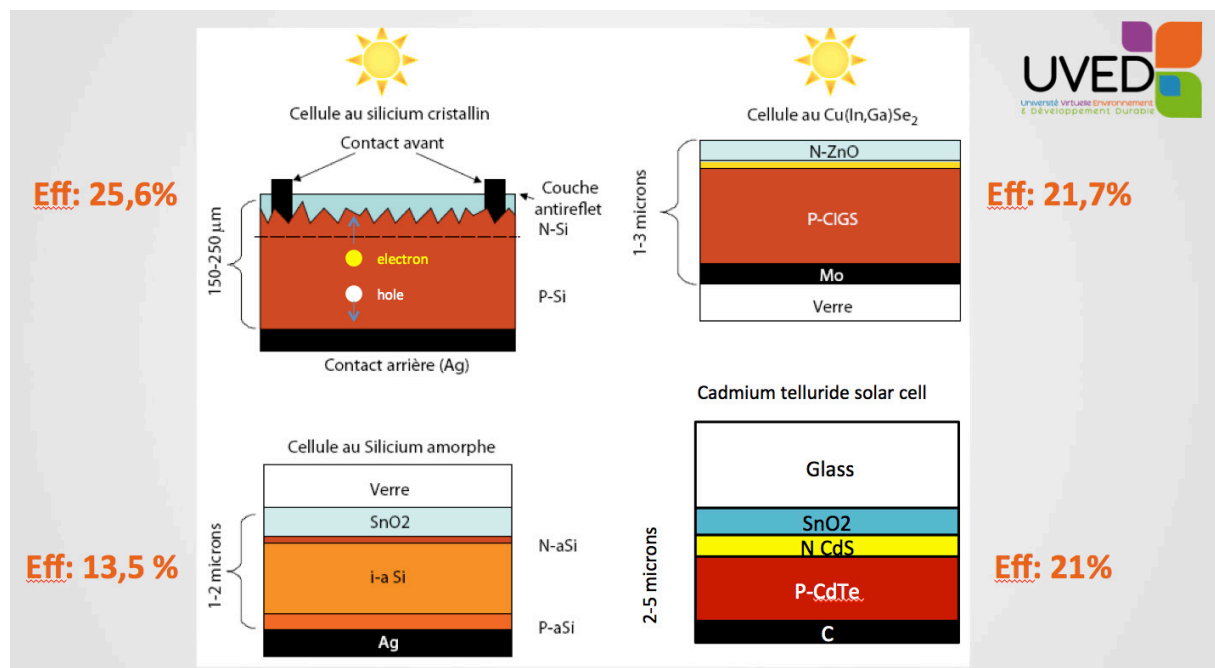
➤ Là vous avez un exemple de caractéristique dite courant - tension qui montre la façon dont on peut récupérer cette puissance électrique.

Alors, aujourd'hui, il y a plusieurs types de filière photovoltaïques, en particulier, toutes sont basées sur des jonctions P./N.. Il y a celles au silicium qui est issu de plaquettes qui sont découpées et il y a aussi trois filières qui sont montrées ici qui sont des filières couches minces :

- La première, c'est la filière au silicium amorphe, qui sont déposés sur verre, de quelques microns d'épaisseur ;

Et deux autres filières :

- Celle au tellure de cadmium, le CDTe ;
- Celles dite au CIGS, qui est un alliage de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium ;



⇒ Et l'intérêt de ces cellules solaires en couche mince, c'est que les rendements sont un peu moins élevés que le silicium en record, 25,6 pour le silicium et autour de 20 % pour ces dernières cellules solaires en couche mince mais la capacité de production et les caractéristiques sont différentes.

- Alors, voilà maintenant l'exemple de cellules solaires classiques au silicium polycristallin et vous voyez les différentes étapes de fabrication de la cellule jusqu'à la grille de collecte et les rendements.
- Voici l'exemple, l'archétype de ce qu'on attend sur des cellules solaires en couche mince, c'est la possibilité de faire des très grandes surfaces et vous avez ici des cellules solaires en couches minces qui sont déposées directement par des technologies issues des écrans plats jusqu'à 5 mètres carrés de surface.

Alors, il existe aujourd'hui un nouveau type de cellules solaires à deux niveaux qui sont les cellules solaires à base de composés moléculaires, dites organiques, hybrides et la particularité c'est qu'avec ces cellules solaires on arrive directement à connecter pratiquement la molécule comme c'était le cas pour la chlorophylle et à extraire les électrons et les trous dans le circuit extérieur.

Alors il y a trois catégories :

- Il y a les cellules solaires dites à colorant, qui ont été développées par leur inventeur, Michaël Graetzel ;
- Il existe ce qu'on appelle les cellules solaires organiques, toutes organiques ;
- Et il existe aujourd'hui un nouveau type qui vient d'apparaître et dont les rendements sont très élevés qui sont des cellules à base de pérovskite hybride dont les rendements atteignent 20 % mais dont la stabilité reste à travailler.
- Alors, la particularité de ce type de cellules c'est d'être en fait multicolores. On a des processus différents et on peut avoir des cellules multicolores et dans ce cas vous voyez là, la matrice, une matrice d'oxyde de titane sur laquelle on vient greffer des molécules de colorant. C'est ce qui leur donne cette couleur rouge - bleu - vert. Et c'est aussi très bien pour du souple, pour du flexible.

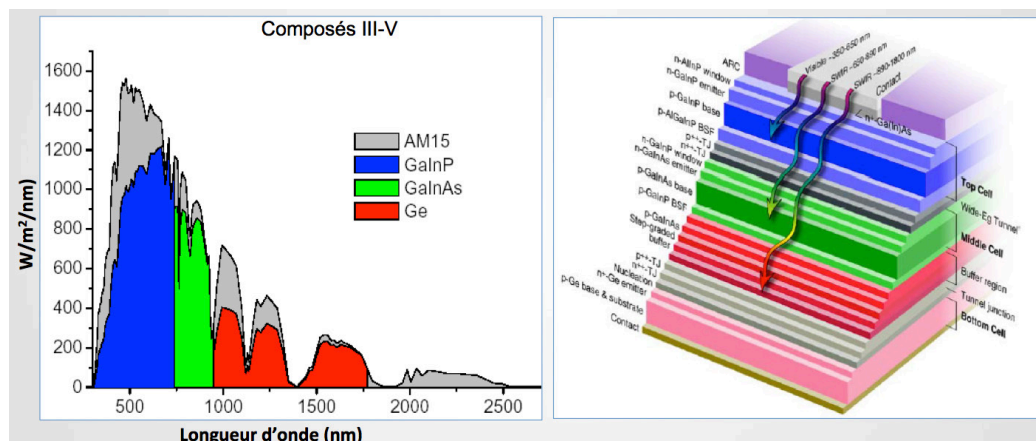
Alors, là vous avez un point essentiel, c'est que toutes les cellules dont je vous ai parlé jusqu'à présent étaient avec des rendements pour les meilleurs autour de 25 % et on montre théoriquement que le rendement limite est autour de 33 % pour ce type de cellules qu'on dit à deux niveaux. Pourquoi ?

- Parce que les photons rouges ne sont pas absorbés, ils n'ont pas l'énergie nécessaire et les photons bleus qui sont dans l'UV ont trop d'énergie et seulement une petite fraction de cette énergie est récupérée, le reste étant perdu thermiquement.
- ⇒ Or, il se trouve que si on fait des calculs théoriques, normalement le rendement de conversion pourrait aller jusqu'à 85 %.

Donc, la question posée c'est est-ce qu'on peut faire des systèmes pouvant aller au-delà de cette barrière des 30 % ? Et en fait, il en existe dès aujourd'hui qui sont finalement de mettre des multi jonctions, c'est-à-dire qu'on va à chaque longueur d'onde, mettre une jonction qui est parfaitement adaptée aux photons et puis les superposer de telle façon que les photons qui traversent soient récupérés dans une autre et finalement on peut avoir des doubles jonctions, des triples jonctions dont le rendement peut aller théoriquement largement supérieur à 50 % voire plus.

Alors, concrètement comment ça se passe ?

- Et bien vous avez pour les triples jonctions, une jonction qui prend du bleu, une autre qui prend le visible et une autre qui prend l'infrarouge. Et pour faire ça, on superpose, vous voyez, une structure d'une trentaine de couches qui vont avoir des jonctions, ces trois jonctions, qui sont faites pour aller à des rendements élevés et le rendement vraiment maximum aujourd'hui obtenu est de 45 % sous concentration, avec des triples jonctions.

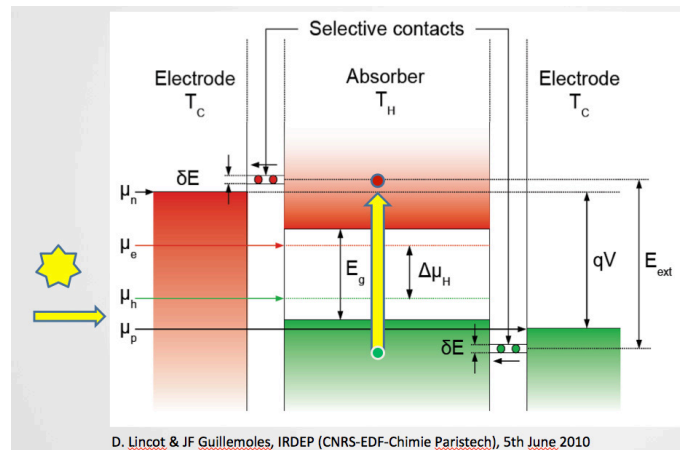


Alors, la question c'est que vous voyez vous avez 32 couches ou une trentaine de couches, ça fait beaucoup, c'est compliqué. Et ce qu'il existerait d'autres façons d'aller faire les hauts rendements ?

Et bien il existe des concepts qui aujourd'hui sont explorés et qui pourraient permettre de le faire.

- Le premier d'entre eux dont je voulais vous parler, c'est le concept de la conversion de photons, c'est-à-dire que le photovoltaïque, on fait de la photonique et on convertit des photons bleus en photons visibles ou des photons rouges en photons visibles en utilisant des matériaux dont la propriété est finalement de faire monter l'électron à des niveaux supérieurs grâce à de multiples photons ou au contraire de les faire descendre avec réémission de photons et ce dans une cellule de très bonne qualité comme le silicium, le CIGS et autres.





⇒ Alors, bien entendu ces trois derniers concepts sont encore à l'état d'étude dans les laboratoires.

Donc la caractéristique finalement du domaine du photovoltaïque c'est un développement accéléré de ce domaine, un foisonnement et une créativité et une innovation très grande et enfin un foisonnement des recherches - je voudrais vous le montrer ici -, en fait c'est un peu les jeux olympiques de toutes les filières du photovoltaïque où vous voyez que ces dernières années en particulier ont été particulièrement fécondes au niveau des développements et des rendements et cela est lié aussi dans une certaine mesure au fait qu'il y a un grand développement industriel qui aujourd'hui suscite et permet d'aller plus loin dans les recherches que ce qu'on faisait il y a une quinzaine ou une vingtaine d'années.