

Chapitre I
L'énergie photovoltaïque
et les cellules solaires

Energies solaire :**1. Historique :**

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par **Antoine Becquerel** en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.



L'énergie photovoltaïque s'est développée dans les **années 50** pour l'équipement de vaisseaux spatiaux et le premier a été lancé dans l'espace en 1958. C'était le seul procédé non-nucléaire d'alimenter des satellites en énergie. Les images satellites reçues par votre téléviseur ne vous parviennent que grâce à l'énergie photovoltaïque.

Pendant les années 70 et 80, des efforts ont été faits pour réduire les coûts de sorte que l'énergie photovoltaïque soit également utilisable pour des applications terrestres. La croissance de l'industrie fut spectaculaire.

Depuis le début des années 80, la quantité de modules photovoltaïques expédiés par an (mesurés en MW-Crêtes) a augmenté et le prix des modules (par Watt-Crête) diminuait au fur et à mesure que le nombre de modules fabriqués augmentait. Bien que le prix se soit quelque peu stabilisé, la quantité de modules photovoltaïques expédiés chaque année continue d'augmenter.

2. Quelques dates :

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre

Mondiale, le phénomène reste encore une découverte anecdotique.

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

3. Principe de fonctionnement :

Cellule photovoltaïque :

Une **cellule photovoltaïque** est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, prises en sandwich entre deux contacts métalliques, pour une épaisseur de l'ordre du millimètre.

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

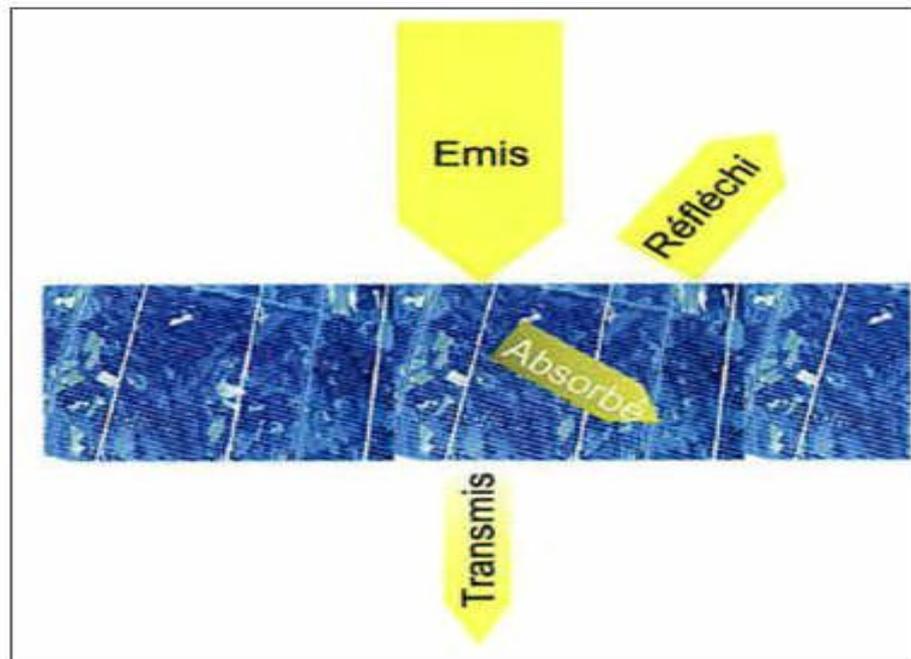


Le semi-conducteur :

Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux.

Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semi-conducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimum pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap" E_g , en électronvolts (eV). Cette valeur seuil est propre à chaque matériau semi-conducteur et va de 1,0 à 1,8 eV pour les applications photovoltaïques.

Le spectre du rayonnement solaire est la distribution des photons en fonction de leur énergie (inversement proportionnelle à la longueur d'onde). Le rayonnement arrivant sur la cellule solaire sera en partie réfléchi, une autre partie sera absorbée et le reste passera au travers de l'épaisseur de la cellule.



Les photons absorbés dont l'énergie est supérieure à l'énergie du band gap vont libérer un électron négatif, laissant un "trou" positif derrière lui.

Pour séparer cette paire de charges électriques de signes opposés (positive et négative) et recueillir un courant électrique, il faut introduire un champ électrique E de part et d'autre de la cellule.

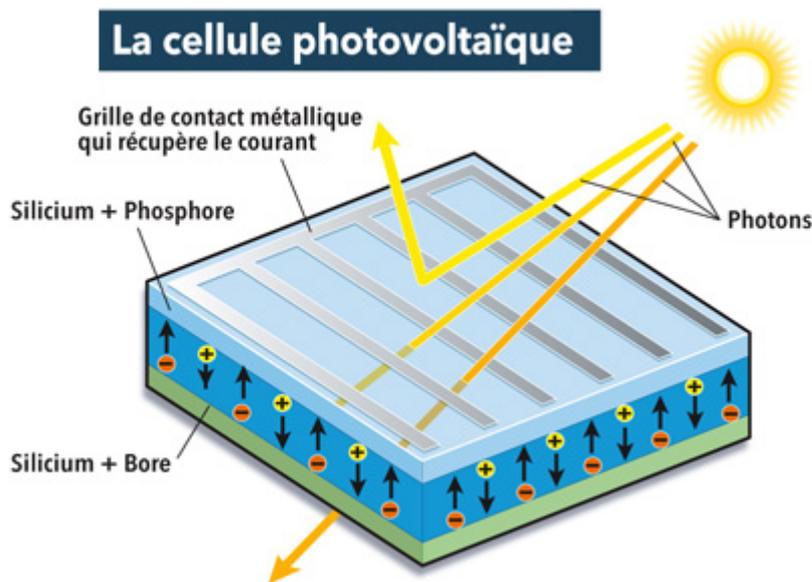
La méthode utilisée pour créer ce champ est celle du "dopage" par des impuretés.

Deux types de dopage sont possibles :

Le dopage de type n (négatif) consiste à introduire dans la structure cristalline semi-conductrice des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire (charge négative), libre de se mouvoir dans le cristal. C'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si). Dans un matériau de type n, on augmente fortement la concentration en électrons libres.

Le dopage de type p (positif) utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire. Le bore (B) est le dopant de type p le plus couramment utilisé pour le silicium.

Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type n et type p) de part et d'autre de la cellule, il en résulte, après recombinaison des charges libres (électrons et trous), un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs. Les charges électriques générées par l'absorption du rayonnement pourront contribuer au courant de la cellule photovoltaïque.



UNE CELLULE PHOTO-VOLTAÏQUE est généralement constituée de deux couches de silicium : l'une (en bleu clair), contenant du phosphore, est riche en électrons (en rouge); et l'autre (en vert), contenant du bore, présente des « trous d'électrons » (en jaune). Lorsque la cellule absorbe une partie des photons solaires, les électrons migrent vers la couche du haut; et les trous, en sens inverse. Un courant électrique est ainsi généré.

4. Avantages et inconvénients :

Avantages :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

- D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles - qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients...

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

5. La production d'électricité photovoltaïque:

Le marché mondial du photovoltaïque a continué sa progression en 2009 avec près de 23 GW (7 GW en 2006 et 1,4 GW en 2001), soit une production d'électricité multipliée par 16 en 10 ans. Même si elle demeure encore marginale l'énergie solaire progresse rapidement avec des projections de l'ordre de 2% de la production mondiale d'électricité en 2020. Quatre pays dominent le marché mondial du photovoltaïque, avec 78% de la production d'électricité. L'Allemagne, qui tire depuis plus de dix ans la croissance mondiale, reste le premier marché avec 3,8 GW de nouvelles installations et une puissance totale installée de près de 10 GW. L'Espagne en deuxième position grâce à une croissance exponentielle entre 2007 et 2008 (5 fois plus). Hors union européenne, les marchés japonais et américains se situent en troisième et quatrième position.

	Puissance installée à fin 2008 (en GW)	Puissance installée à fin 2009 (en GW)	Puissance installée sur l'année 2009
Monde	15	23	7.2
Europe (global)	10.34	16	5.6
Allemagne	5.35	10	3.8
Espagne	3.31	3.38	0.069
Japon	2.149	2.633	0.484
Chine	0.145	0.305	0.160
Etats-Unis	1.173	1.650	0.477
Italie	0.456	1.186	0.730
France	0.175	0.425	0.250

Avec 7,2 GW installés en 2009, les prévisions projections à l'horizon 2014 sont revues une fois de plus à la hausse : elles devraient passer à 13,8 GW, selon les prévisions modérées de l'EPIA, mais pourraient atteindre 30 GW si les stratégies d'incitation aux installations photovoltaïques restent en place.

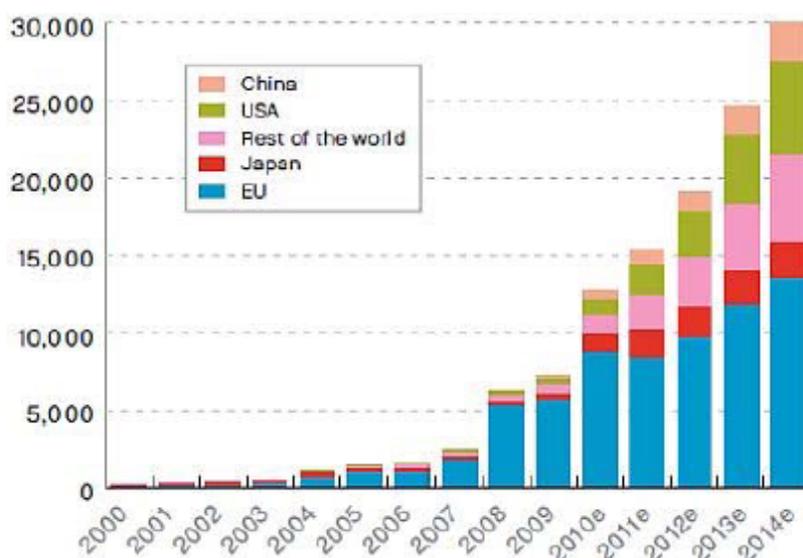


Figure I.1 : prévisions d'installation par an et par zone géographique, d'ici 2014 - EPIA

6. Les différentes générations technologiques :

La première génération, celle de la filière historique autour du silicium cristallin existe depuis plusieurs dizaines d'années. Elle est de loin la plus mature et offre le meilleur rendement pour un coût modéré. La deuxième génération regroupe les technologies dites «couches minces».

Le principe est la déposition d'une fine couche de silicium amorphe ou d'autres semi-conducteurs sur un substrat, en verre par exemple. Ces filières sont à l'heure actuelle en début d'industrialisation. Leur rendement est encore inférieur à celui des cellules cristallines mais tend à s'améliorer pour un coût inférieur. La dernière génération en est encore au stade de la recherche ; elle explore la voie des nanomatériaux et des solutions organiques en visant de hauts rendements et des coûts de production de plus en plus bas.

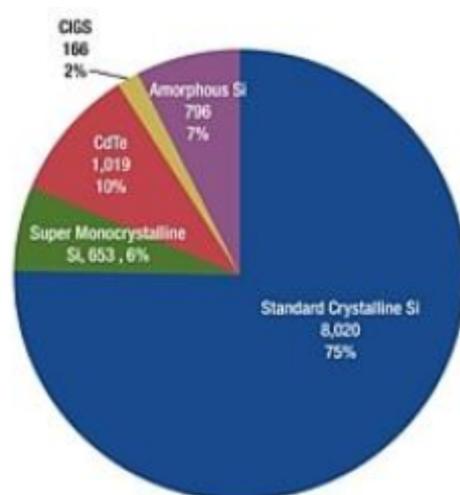


Figure I.2 : production des cellules pv en 2009 (Source : GTM Research 2009)

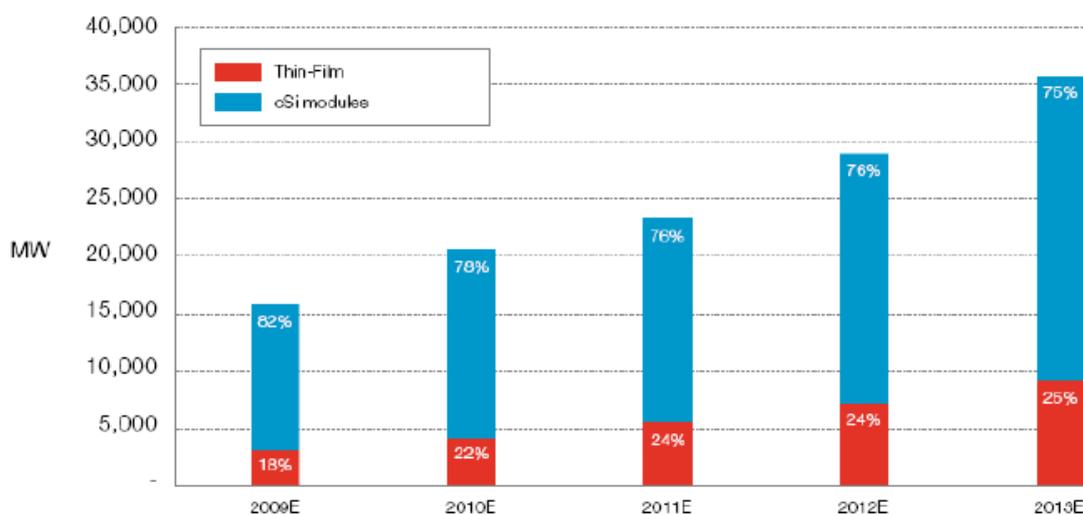


Fig : Capacités de production silicium polycristallin / couches minces – Source EPIA

Technologie	Rendement	Durée de vie
Silicium cristallin	18 à 20 % (industriel)	35 ans
Couche mince Silicium amorphe	10 % (industriel)	< 10 ans
Couche mince CIGS	12 % (industriel)	5 ans
Couche mince CdTe	11 % (industriel)	Non évaluée
Filière organique	7 % (industriel)	Faible actuellement

Webographie :

http://www.grenoble-isere.com/etudes-et-territoires/pdf_filiere/Photovoltaique_Etude2010_V14-Fr.pdf