

# Solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

Ce processus ne nécessite aucun cycle thermodynamique intermédiaire, c'est-à-dire que le rayonnement est directement converti en électricité sans utilisation intermédiaire de la chaleur (contrairement au solaire thermodynamique).



*L'énergie solaire est, à l'échelle humaine, inépuisable et disponible en très grandes quantité.*

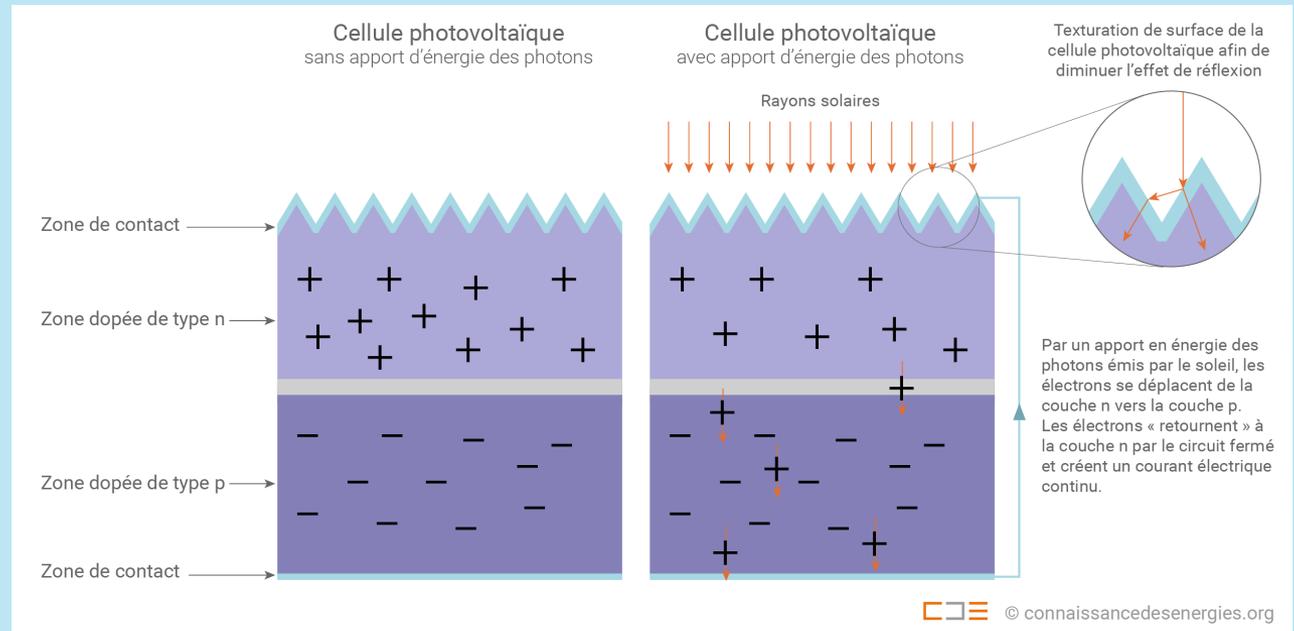
# Fonctionnement scientifique

## Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium).



On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité.



# Etat des lieux des technologies traditionnelles

## Le solaire photovoltaïque non concentré

Les technologies à base de silicium constituent plus de 90% du marché photovoltaïque mondial.

### Les cellules monocristallines

C'est la filière historique du photovoltaïque. Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en une seule pièce. Elles ont un bon rendement mais la méthode de production est laborieuse et coûteuse. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires ».

### Les cellules polycristallines

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium composé de cristaux multiples. Elles ont un rendement plus faible que les cellules monocristallines mais leur coût de production est moindre.

Des avancées technologiques permettent aujourd'hui de produire des cellules polycristallines à couches minces afin d'économiser le silicium. Ces cellules ont une épaisseur de l'ordre de quelques micromètres d'épaisseur.

Au cours des dix dernières années, le rendement moyen d'un panneau photovoltaïque à base de silicium est passé de 12% à 17% selon l'institut allemand Fraunhofer.

## Technologies prometteuses

### Le solaire photovoltaïque concentré

Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur une petite cellule solaire photovoltaïque à haut rendement. Grâce à cette technologie de concentration, les matériaux semi-conducteurs peuvent être remplacés par des systèmes optiques moins coûteux. A puissance égale, ceci permet d'utiliser 1 000 fois moins de matériel photovoltaïque que dans les panneaux photovoltaïques à insolation directe. Cette technologie devrait pénétrer le marché dans un avenir proche.

Le rendement théorique maximum de la conversion photon-electron est de l'ordre de 85% (le rendement de Carnot est 95 %). Le rendement expérimental maximal obtenu avec cette technologie est pour le moment de 46%.

### Les constituants organiques (polymères)

L'utilisation de matériaux polymères vise à remplacer les matériaux minéraux par des semi-conducteurs organiques, autrement dit des plastiques, pour la fabrication de cellules photovoltaïques. Ceux-ci sont bon marché, ont des bonnes propriétés d'absorption et sont faciles à déposer. Leur coût de revient très faible se double de caractéristiques particulièrement attrayantes : plus légères et moins fragiles, leur nature flexible permet d'obtenir des matériaux souples en polymères organiques ou en silicone et même des encres photovoltaïques.

D'une durée de vie courte, elles n'offrent pour l'instant que des rendements dépassant légèrement 10% en laboratoire mais pourraient servir de base au développement d'une filière industrielle.

### Les cellules hybrides : thermique et photovoltaïque

Le rendement des cellules solaires photovoltaïques diminue lorsque les panneaux montent en température. Certains centres de recherche ont eu l'idée de récupérer la chaleur captée et libérée par le photovoltaïque pour simultanément optimiser le rendement électrique et obtenir une source de chauffage. Ils développent ainsi des capteurs solaires hybrides mariant le photovoltaïque et le thermique.



## Enjeux par rapport à l'énergie

### Avantages

- L'énergie solaire est, à l'échelle humaine, inépuisable et disponible gratuitement en très grandes quantités.
- De plus, lors de la phase d'exploitation, la production d'électricité au moyen de panneaux photovoltaïques n'est pas polluante.
- Le silicium, matériau utilisé dans les panneaux solaires actuels les plus répandus, est très abondant et n'est pas toxique.
- Les panneaux solaires ont une durée de vie de 20 à plus de 30 ans et sont presque intégralement recyclables.
- La modularité des panneaux est très importante, c'est-à-dire qu'il est possible de concevoir des installations de tailles diverses dans des environnements très variés. Ceux-ci sont par conséquent adaptés à la production décentralisée d'électricité en sites isolés.
- Les panneaux photovoltaïques peuvent être utilisés à des fins domestiques de petite échelle (par exemple sur des toitures) ou à des fins de production énergétique industrielle à grande échelle.

### Limites

- La technologie photovoltaïque est encore coûteuse même si son coût de production (LCOE) a fortement baissé au cours des dernières années (avec un coût de production de 70 à 90 \$/MWh dans certaines zones aujourd'hui, des installations photovoltaïques atteignent parfois localement une « parité de prix » avec des moyens « conventionnels » de production électrique).
- Les panneaux photovoltaïques les plus répandus, faits de silicium cristallin, sont lourds, fragiles et difficiles à installer.
- Une centrale requiert de vastes espaces bien que la densité tende à être améliorée (1,2 hectare par mégawatt installé).
- L'impact environnemental et énergétique de la fabrication des panneaux de silicium n'est pas nul. Une cellule photovoltaïque doit fonctionner entre un an et demi et cinq ans pour compenser l'énergie utilisée pour la fabriquer.
- L'énergie électrique n'est pas « directement » stockable, c'est-à-dire sous sa forme primaire. Il est en revanche possible de la stocker « indirectement » dans des batteries sous forme chimique ou dans des accumulateurs cinétiques sous forme mécanique. Les technologies existantes sont encore coûteuses.

## Acteurs majeurs

Durant plusieurs années, les installations de panneaux photovoltaïques ont été accélérées par des programmes nationaux d'incitations financières telles que des tarifs de rachats bonifiés de l'électricité produite pour le réseau public. Les États jouent donc un rôle clé dans le développement de la filière.

Le marché mondial de cellules et de panneaux photovoltaïques est dominé par une poignée de pays (Chine, Taïwan, Japon, Malaisie, Allemagne, États-Unis). La société chinoise Suntech Power est devenue en 2009 le premier producteur mondial de panneaux photovoltaïques. Sharp (Japon), JA Solar (Chine) et First Solar (Malaisie) sont d'autres grands noms de ce secteur (auquel il convenait notamment d'ajouter, jusqu'à 2012, l'entreprise allemande Q-Cells qui a déposé le bilan cette année-là).

## Unités de mesure

### Watt crête

La puissance « crête » d'une installation photovoltaïque (exprimée en Wc) est la puissance maximale (capteurs bien orientés, bien inclinés, sans ombrage) qu'elle peut produire sous un ensoleillement donné.

Cette unité a trois utilisations principales :

la comparaison du rendement des matériaux photovoltaïques, dans les mêmes conditions ;

la qualification de la taille d'une installation, indépendamment de ses conditions d'ensoleillement ;

la comparaison des gisements solaires et de leur production électrique.

A fin 2016, la capacité installée du parc mondial solaire photovoltaïque a dépassé 300 gigawatts (GW) installés, selon la PV Market Alliance.

En 2014, le solaire (photovoltaïque et thermodynamique inclus) a généré près de 197,1 TWh d'électricité dans le monde, soit environ 0,8% de la production mondiale d'électricité selon les dernières données de l'Irena.

Selon l'AIE, les filières photovoltaïque et thermodynamique auront des contributions équivalentes en 2050 en termes de production énergétique. Environ 80% de la production mondiale de modules photovoltaïques est encore à base de plaquettes de silicium cristallin. Le reste utilise des couches minces déposées sur une surface, solution plus économique en matière de coûts de fabrication mais avec des rendements inférieures.

