L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

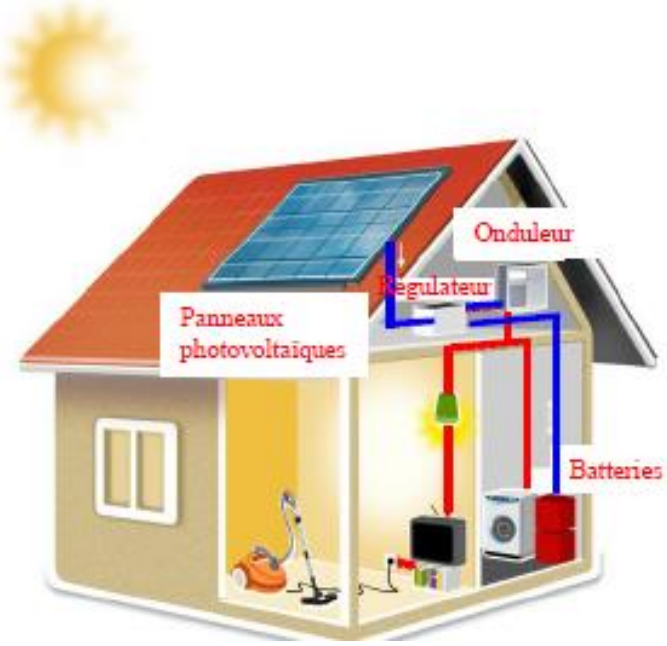
Comment exploiter l'énergie solaire ? Comment fonctionne une installation photovoltaïque ?

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

I-/ LES DIFFERENTES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

1-/ Les installations sur site isolé

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.



Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.

Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.

Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.

Exemples d'utilisation :

Eclairage public

Chalet isolé

Horodateur

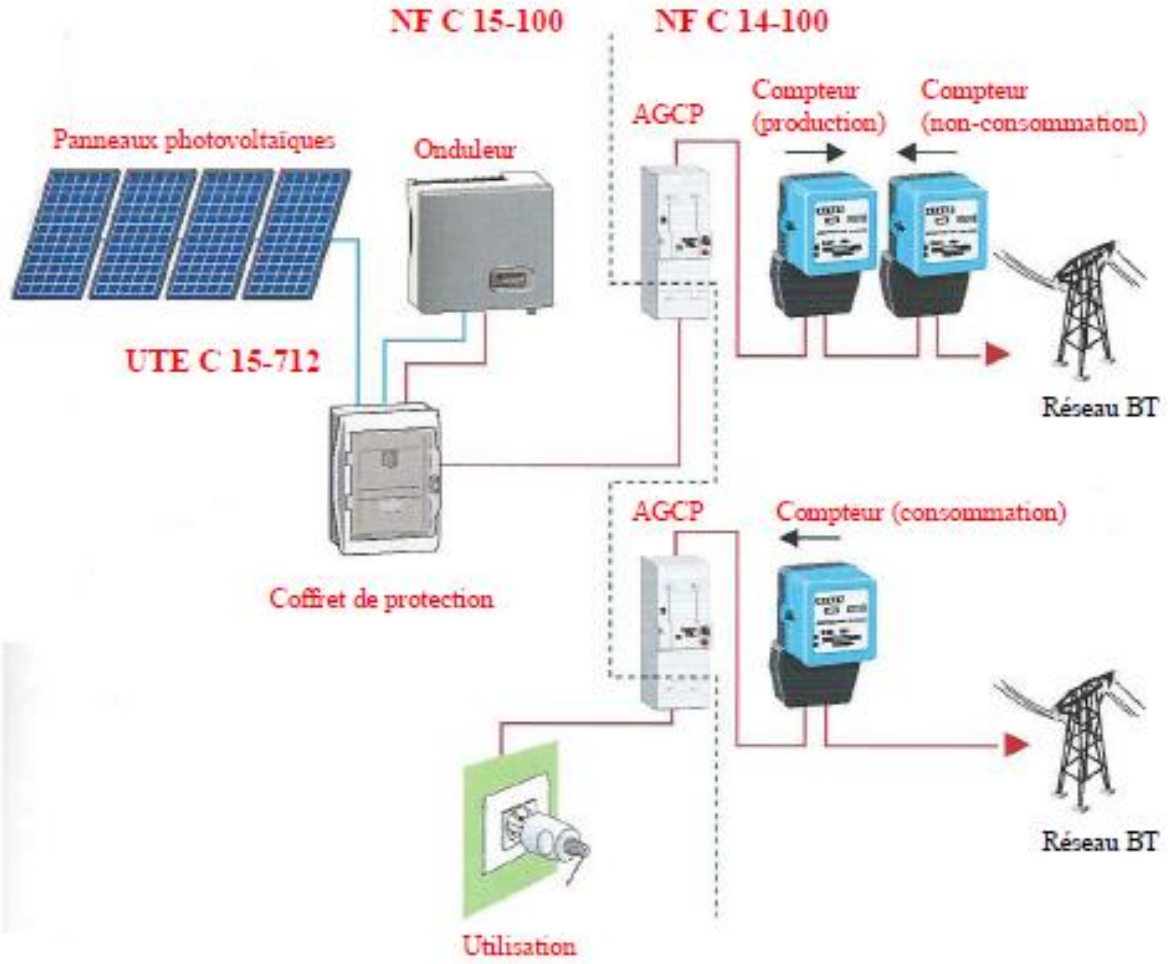
2-/ Les installations raccordée au réseau de distribution public

a-/ Solution avec injection totale

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),
- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :
    - l'un pour la production,
    - l'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).



En bleu : énergie électrique continue (DC).

En rouge : énergie électrique alternative (AC).

b-/ Solution avec injection de surplus

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau.

Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire.

Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant.

En bleu : énergie électrique continue (DC).

En rouge : énergie électrique alternative (AC).

Exemples d'utilisation :

Toit solaire particulier

Abri solaire de parking

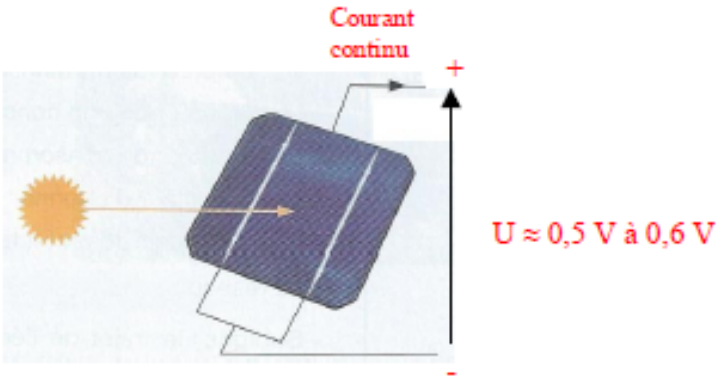
II-/ TECHNOLOGIE

1-/ Cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Becquerel. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.

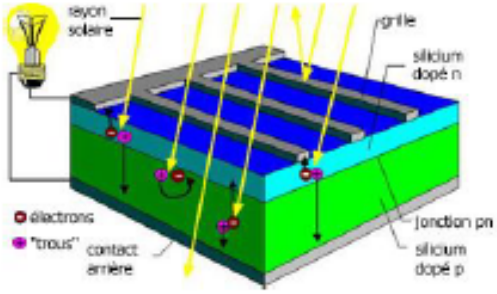
C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité.

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.



La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur) :

- une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).



Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque

A la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium.

Définition du watt crête : la puissance crête d'une installation photovoltaïque est la puissance maximale délivrée par un module dans les conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement,…). Elle s'exprime en Watt crête (Wc).
En première approximation, on estime qu'un module de 1 m^2 produit 100 Wc.

b-/ Diodes « by-pass »

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et risque de se détruire.

En effet, une cellule "masquée" voit l'intensité qui la traverse diminuer. De ce fait, elle bloque la circulation de l'intensité "normale" produite par les autres modules. La tension aux bornes de cette cellule "masquée" augmente, d'où apparition d'une surchauffe.

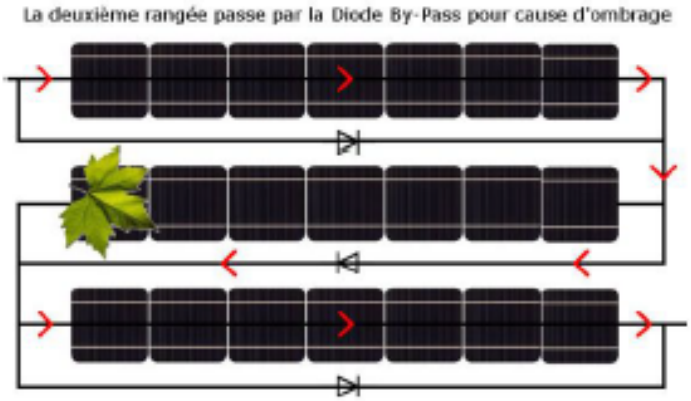
C'est l'effet d'autopolarisation inverse. Une telle cellule est appelée "Hot spot".

Pour supprimer ce problème et protéger la cellule « masquée », on place des diodes « by-pass » en anti-parallèles sur 18 ou 24 cellules de façon à court-circuiter les cellules ombrées.

Un panneau solaire dispose d'une à trois diodes by-pass, en fonction de son nombre de cellules (en moyenne 36 cellules pour 3 diodes bypass). En cas de masque :

- 1 diode : 100 % du module est en by-pass,
- 2 diodes : 50 % du module est en by-pass,
- 3 diodes : 33 % du module est en by-pass.

Exemple :



Au niveau de la 2ème rangée, le courant passe par la diode by-pass pour cause d'ombrage.

Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé.

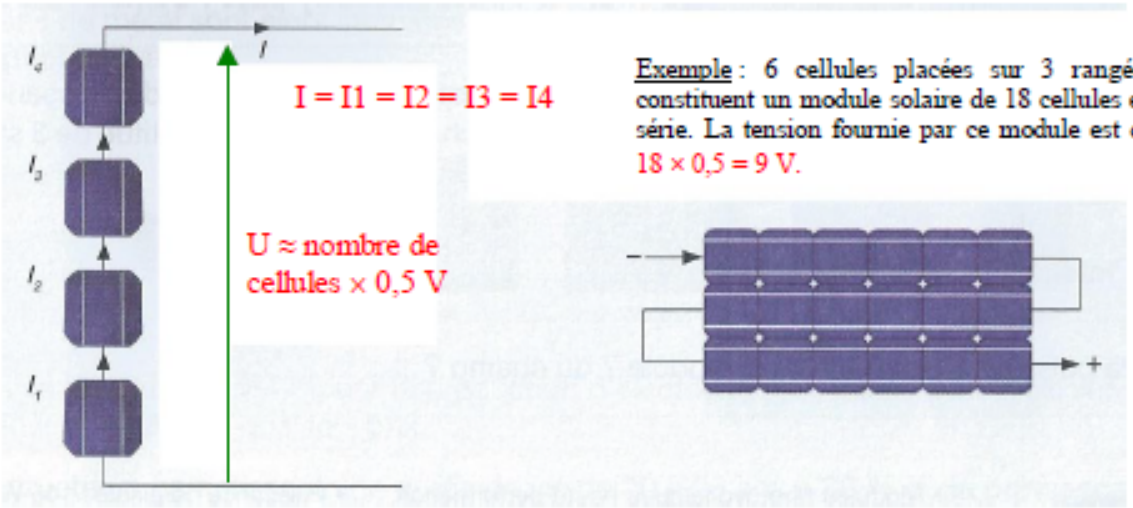
2-/ Module solaire ou photovoltaïque

a-/ Association des cellules en série

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir un tension plus importante : le module solaire ou panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque est un assemblage en série de cellules permettant d'obtenir une tension de 12 volts.

La puissance d'un panneau solaire est fonction de sa surface, c'est à dire du nombre de cellules photovoltaïques.



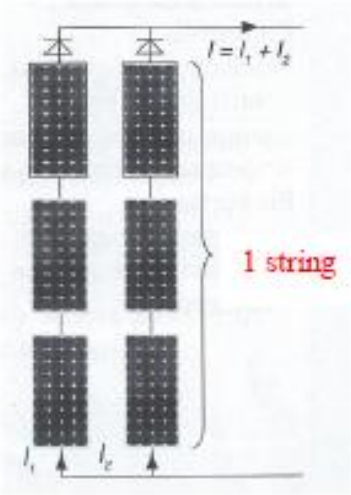
Un panneau constitué de 24 cellules photovoltaïques va donc délivrer une tension U de 12 V, et cela quel que soit l'ensoleillement.

Mais pour faire fonctionner des appareils électriques, c'est l'intensité I du panneau, variant en fonction de l'ensoleillement, qui va déterminer l'énergie électrique.

3-/ Constitution d'un champ photovoltaïque

Afin d'obtenir la tension nécessaire à l'onduleur, les panneaux sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string.

Les chaînes sont ensuite associée en parallèle et forment un champ photovoltaïque (champ PV).



Il faut également installer des diodes ou des fusibles en série sur chaque chaîne de modules. Ces protections sont utiles pour éviter qu'en cas d'ombre sur une chaîne, elle se comporte comme un récepteur et que le courant y circule en sens inverse et l'endommage.

4-/ Onduleur

L'onduleur permet de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau électrique.

Il calcule en permanence le point de fonctionnement (tension-courant) qui produit la puissance maximale à injecter au réseau : c'est la MPPT (Maximum Power Point Tracker). Ce fonctionnement dépend de l'ensoleillement et de la température.

Un onduleur possède un rendement supérieur à 94 %. Son remplacement est à prévoir tous les 10 ans environ.

Critères de choix :

En entrée :

- la puissance maximale,
- la tension maximale,
- la plage de tension d'entrée,
- le nombre maximal de string raccordables.

En sortie :

- la puissance maximale et la puissance nominale,
- la tension nominale et la fréquence nominale
- le rendement.

5-/ Technologie de capteurs

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié afin d'obtenir un silicium de qualité photovoltaïque.
Il se présente alors sous la forme de barres de section ronde ou carrée appelée lingots.
Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur. Ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N.
Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et raccordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques.

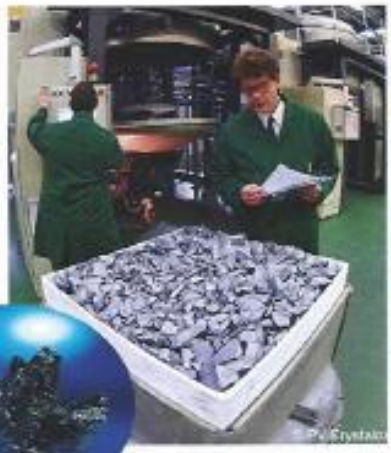
Les cellules les plus utilisées pour la production d'électricité sont les cellules silicium polycristallin grâce à leur bon rapport qualité-prix.

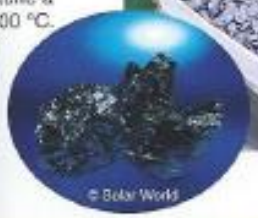
Les constructeurs garantissent une durée de vie de 20 à 25 ans à 80 % de la puissance nominale.

Remarque : on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner environ 2 à 3 ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.

Fabrication des panneaux photovoltaïques à cellules cristallines

1 Le silicium est extrait de la silice ou de silicates et purifié pour être utilisé pour la fabrication de cellules solaires. Il est placé dans un creuset et chauffé à 1 500 °C.

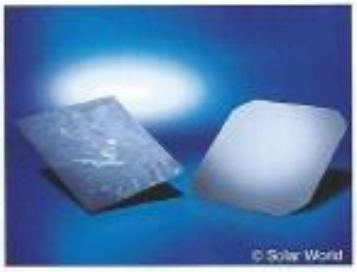




2 Le creuset est refroidi et l'on obtient un lingot de silicium à structure polycristalline (dans cet exemple). La fabrication est un peu différente pour le silicium monocristallin, on obtient un lingot cylindrique.

3 Le lingot est ensuite découpé en briques avec une scie à câble ou une scie diamantée refroidie à l'eau.

4 Les briques sont découpées en fines tranches (les wafers) avec une scie à fil et un mélange abrasif.



5 Les wafers : polycristallin à gauche, monocristallin à droite. Leur épaisseur est d'environ 200 microns.

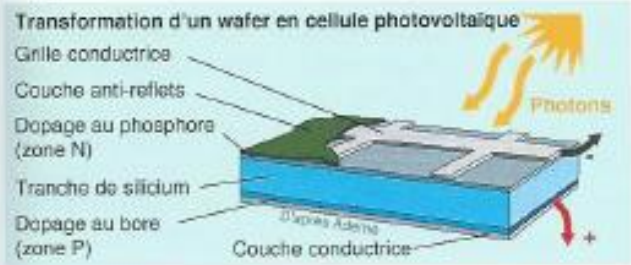
6 Les wafers sont soumis à l'opération de jonction PN (positif et négatif) dans un four à diffusion chauffé à 800 °C.

7 Vient ensuite la métallisation (pose des électrodes pour le captage du courant).

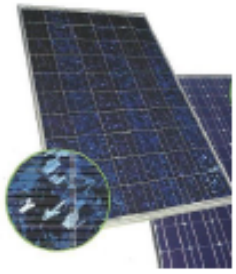
8 On obtient des cellules solaires qui reçoivent un revêtement antireflet. Elles sont testées, puis assemblées ensemble en chaînes.

9 Les chaînes assemblées sont placées entre divers éléments pour fabriquer les panneaux.

Transformation d'un wafer en cellule photovoltaïque



Comparaison des trois principales technologies de capteurs :

Technologie	Monocristallin	Polychristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	• Très bon rendement : 14 à 20 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : élevé. • Puissance : 100 à 150 Wc/m². 7 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal • Couleur bleue uniforme.	• Bon rendement : 11 à 15 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins • Puissance : 100 Wc/m². 8 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. • Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.	• Rendement faible : 5 à 9 %. • Durée de vie : assez importante (20 ans) • Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies • Puissance : 50 Wc/m². 16 m²/kWc. • Fonctionnement correct avec un éclairement faible. • Peu sensible aux températures élevées. • Utilisables en panneaux souples. • Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium. • Rendement faible en plein soleil. • Performances diminuant avec le temps. • Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.
Part de marché	43 %	47 %	10 %