



## Panneaux photovoltaïques

### 1. Le rayonnement solaire

#### 1.1. Principe

En traversant l'atmosphère, le rayonnement est absorbé, réfléchi et diffusé.

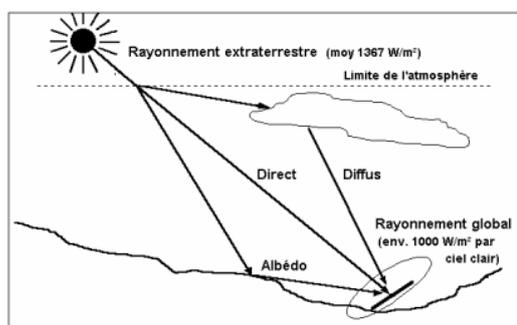
Au sol, on distingue donc plusieurs composantes :

- Le rayonnement direct : Il est directement reçu du soleil, sans diffusion. Dans les systèmes à concentration, on oriente les panneaux perpendiculairement au soleil pour en maximiser la réception.

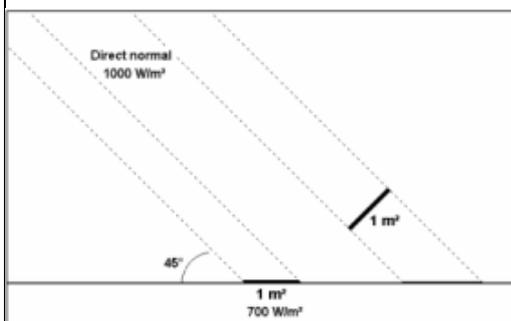
- Le rayonnement diffus : Il est diffusé par les composants de l'atmosphère: air, nébulosité, Aérosols (nuages, poussières). Sa structure varie selon les conditions météorologiques.

- L'albédo : C'est la lumière réfléchie par le sol. Il dépend de l'environnement du site.

(Valeur par défaut : 0,2)



#### 1.2. L'orientation des panneaux



Dans la pratique, l'installateur tient compte du seul rayonnement direct, et oriente les panneaux vers le sud (dans l'hémisphère nord) ou le nord (dans l'hémisphère sud), selon une inclinaison qui va maximiser l'énergie reçue sur l'ensemble de l'année. Pour ce faire il consulte une table préétablie, qui maximise l'énergie directe totale reçue sur l'ensemble de l'année.

Plus l'installation est proche de l'équateur, moins les panneaux devront être inclinés.

#### 1.3. L'installation

Les panneaux doivent être solidement fixés pour ne pas être sensibles au vent ni faciliter le vol.

- Résistance au vent.

S'ils sont implantés au sol, l'installateur doit avoir réalisé des fondations en béton sur lesquelles sont scellées des plots et longrines sur lesquelles viendront à leur tour se fixer les structures porteuses des panneaux. Dans ce cas il est indispensable de construire une clôture assez haute et solide pour en interdire l'accès.

S'ils sont implantés sur un toit, l'installateur doit avoir vérifié

- l'inclinaison de la toiture pour aboutir à la bonne inclinaison des panneaux
- l'orientation pour qu'au final les panneaux soient bien orientés face au sud (ou au nord dans l'hémisphère sud)

- Dissuasion du vol.

L'implantation en toiture est le moyen le moins onéreux pour dissuader d'éventuels voleurs, mais peut ne pas suffire : il est nécessaire de boulonner très solidement les structures et de les cadener pour que l'enlèvement soit impossible sans utiliser des outils spécialisés.

## 2. Les modules photovoltaïques

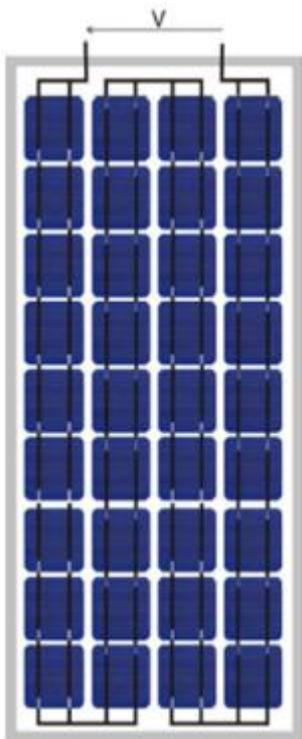
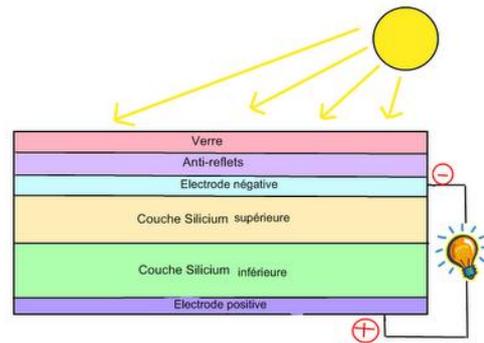
Les cellules sont l'élément de base de la production d'électricité à partir de l'éclairement solaire. Ces cellules étant individuellement fragiles (épaisseur 0,2mm), et ne produisant qu'une faible tension (0,6V), elles sont en pratique groupées en modules appelés aussi panneaux ou plaques. Elles sont également protégées soit par un sandwich bi-verre, soit par un sandwich verre-polymère, plus léger.

### 2.1. La cellule

Nous décrivons ici les cellules au silicium, très majoritairement utilisées dans les installations actuelles.

La cellule est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur). L'une est dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium : cette zone est dopée positivement (zone P). L'autre couche est dopée avec du phosphore qui a plus d'électrons que le silicium : cette zone est dopée négativement (zone N).

Le fonctionnement qualitatif est assez simple : les photons (particules de lumière) frappent la cellule, ils transfèrent leur énergie aux électrons du silicium. Le silicium est traité (dopé) de manière que tous les électrons se dirigent dans le même sens, vers la grille métallique, créant ainsi un courant électrique continu dont l'intensité est fonction de l'ensoleillement. Les autres couches servent à protéger les cellules contre les chocs et l'humidité.



Ce courant (intensité) est fonction de la tension. La fonction  $I=f(U)$  propre à chaque cellule, dépend de 2 paramètres : l'éclairement et la température. Elle est donnée dans la notice technique fournie par le fabricant (voir infra 2.4)

### 2.2. Technologies

Deux technologies coexistent

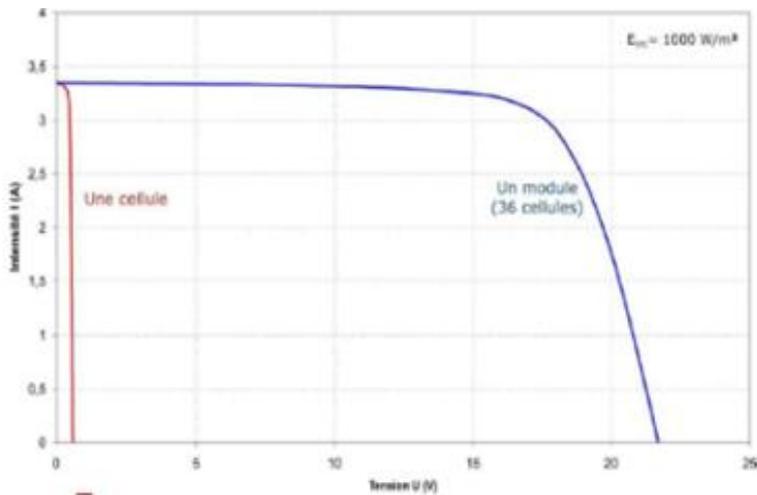
- **Le panneau monocristallin** : ce panneau se compose de cellules monocristallines fabriquées à base d'un seul et même cristal de silicium de grande taille. Il faut 7 à 8 m<sup>2</sup> pour obtenir 1000 Watts théoriques ou Watts-crête (Wc).
- **Panneau polycristallin** : fabriqué à partir de la fonte de copeaux de silicium. Il faut 8 à 9 m<sup>2</sup> pour obtenir 1000 Wc.

### 2.3. Modules

Un module est constitué de n cellules, ainsi plus faciles à manipuler et à monter. Les cellules sont montées en série, la face arrière de chaque cellule étant reliée à la face avant de la suivante. Pour normaliser les tensions, la plupart des fabricants proposent des modules de 18, 36, 60 ou 72 cellules : le courant est identique mais la tension est multipliée par le nombre de cellules en série.

Couramment, on utilise des modules de 36 cellules pouvant fournir une tension proche de 12V, pour alimenter une batterie de 12V. Un module de 300 Wc de 72 cellules pèse entre 20 et 30kg.

## 2.4. La puissance



Une cellule donnée donnera une puissance électrique matérialisée par un couple courant x tension ( $P = U \times I$ ). La puissance maximum des cellules ou des panneaux est appelée « puissance-crête » et notée en  $W_c$ . C'est la puissance théorique que peut produire le module photovoltaïque dans des conditions normées dites « STC ».

- Éclairement de  $1000W/m^2$ ,
- Répartition spectrale du rayonnement dit  $AM=1,5$ ,
- Température de jonction  $+25^\circ C$ .

La température a des effets importants sur une cellule. Lorsque la température augmente, la puissance diminue, le courant augmente légèrement, mais la tension décroît de l'ordre de  $0,0023V/^\circ C$  pour le silicium. Dans la pratique, les fabricants donnent la relation  $I = f(U)$  caractéristique du modèle qu'ils fournissent, ceci pour une température de référence (en général  $25^\circ$ ).

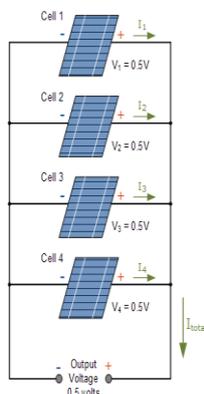
Mais les panneaux ne fournissent pas que de l'électricité : une partie de la puissance reçue se transforme en chaleur, qui est évacuée par le matériau d'encapsulation. C'est pourquoi les fabricants donnent aussi le NOCT (en anglais : Nominal Operating cell temperature). C'est la température de jonction pour un éclairement de  $800W/m^2$ , une température ambiante de  $20^\circ$  et une vitesse de l'air en surface de  $1m/s$ . En milieu tropical, on a intérêt à choisir des panneaux avec le NOCT le plus faible, pour avoir le meilleur rendement. Leur jonction s'effectue par une boîte de jonction ou par des câbles avec connecteurs normalisés.

Attention : lorsqu'ils sont éclairés, les panneaux solaires sont très vite plus chauds que la température ambiante : ils atteignent facilement  $50^\circ$  ou  $60^\circ$ . D'où des risques de brûlures graves, si on les touche à mains nues en milieu de journée par exemple.

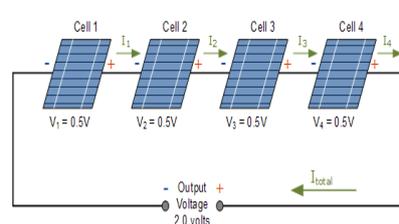
## 2.5. Montage des panneaux

Les panneaux eux-mêmes peuvent être montés en série ou en parallèle.

Parallel Connected Photovoltaic Cells



Series Connected Photovoltaic Cells



En parallèle, le courant s'additionne, tandis qu'en série ce sont les tensions qui s'additionnent. Dans la pratique, si on cherche à avoir une entrée DC  $24V$ , on mettra en série, deux panneaux de  $12V$  ou deux ensembles de panneaux en parallèle.

### 3. Influence de l'éclairement et de la température

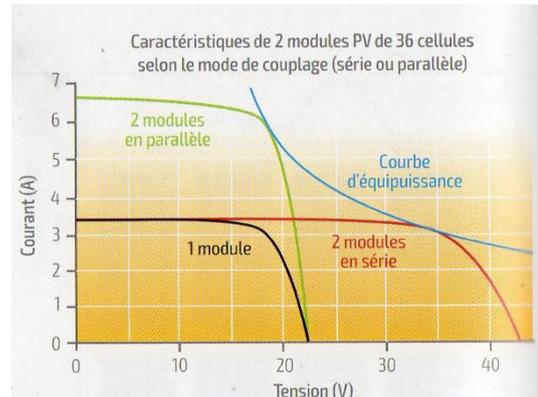
#### 3.1. Principe

Pour une température donnée, le module aura une puissance maximum sensiblement proportionnelle à l'éclairement (en W/m<sup>2</sup>). Pour un éclairement donné, le module aura une puissance décroissante lorsque la température s'élève. Dans la pratique, l'éclairement et la température ne sont pas indépendants. Pour une température ambiante donnée, la température des cellules augmente en fonction de l'éclairement, de telle sorte que les deux paramètres vont modifier simultanément les caractéristiques  $I=f(U)$ .

#### 3.2. Optimisation du montage

La figure ci-contre, extraite de « L'électrification solaire photovoltaïque » de G. Moine, représente les caractéristiques de 2 modules de 36 cellules, selon qu'ils sont montés en série ou en parallèle

Dans la pratique, l'installateur va choisir la combinaison des connexions en série ou en parallèle pour optimiser la puissance de l'installation, en fonction de la tension des batteries et d'entrée de l'onduleur.



### 4. Maintenance et entretien

#### 4.1. Maintenance courante

La maintenance courante des champs photovoltaïques est très réduite. Elle est normalement trimestrielle, plus fréquente en saison sèche.

- Accès : si les champs sont en toiture, utiliser une échelle et marcher sur le toit en répartissant les poids.
- Nettoyage des panneaux : à faire de préférence le matin, lorsque les panneaux ne sont pas trop chauds. Utiliser des feuillages ou des chiffons doux. Si le verre de protection a subi des déjections d'oiseaux, utiliser une éponge et de l'eau savonneuse.
- Vérification visuelle :
  - vérifier que les verres de protection n'ont pas été cassés par des jets d'objets ou de pierres.
  - Inspection visuelle des câbles (non détérioration par des rongeurs) et des connexions.
  - Inspection visuelle des structures porteuses : non déformation.
- Replacer l'échelle dans le local technique ou dans un local spécifique, et la sécuriser.

#### 4.2. Entretien et surveillance

Le technicien d'entretien vérifiera

- l'état des connexions tous les ans,
- les fixations et leur étanchéité,
- le serrage des câbles dans les boîtes de jonction,
- l'état des fusibles,
- chaque année la perte de rendement par vieillissement.