

## Les panneaux ou capteurs solaires photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques regroupent des cellules photovoltaïques reliées entre elles en série et en parallèle.

Ils peuvent s'installer sur des supports fixes au sol ou sur des systèmes mobiles de poursuite du soleil appelés trackers ou héliostats, dans ce dernier cas la production électrique augmente d'environ 30 % par rapport à une installation fixe. La plupart des installations fixes se font actuellement plutôt sur les toits des logements ou des bâtiments, soit en intégration de toiture, soit en surimposition. En ville, on commence à poser des panneaux verticaux en façade d'immeuble, cette inclinaison n'est pas optimum pour la production d'électricité, mais comme ces panneaux remplacent le revêtement de façade, l'économie réalisée sur le revêtement compense une production plus faible.

### Module solaire photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïque et notamment les Centrales solaires photovoltaïques.

### Caractéristiques

Les panneaux sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont la longueur et la largeur sont de l'ordre du mètre, pour une surface de l'ordre du m<sup>2</sup>, et une masse de l'ordre de la dizaine de kg. Divers éléments (branchements électriques, fixations, éventuellement cadre pour assurer une étanchéité) sont inclus.

Il existe également des modules sous forme de membranes souples et résistantes, ainsi que des panneaux à concentration, plus complexes mais exploitant mieux l'élément le plus cher du panneau (la cellule photovoltaïque).

Leur rendement est un peu moindre que celui des cellules qui les constituent, du fait des pertes électrique internes et des surfaces non couvertes, mais reste d'environ 10 à 15%. La puissance "crête" d'un panneau photovoltaïque est de l'ordre de 100 à 200 watts par mètre carré (soit un rendement de 10 à 20%, les fabricants annonçant environ 15 % pour leurs meilleurs panneaux), ce qui donne une puissance crête de 50 à 250 W par panneau, selon sa taille et ses autres caractéristiques. Cette puissance est livrée sous forme de courant continu, ce qui est parfait pour un branchement sur une batterie et pour de nombreuses applications, mais implique une transformation en courant alternatif par un onduleur s'il s'agit de l'injecter dans un réseau de distribution. La tension dépend du type des panneaux et du branchement des cellules, elle est de l'ordre de 10 à 100 volts.

Outre sa puissance et sa surface, un panneau a trois caractéristiques importantes

- l'écart à la puissance nominale, de l'ordre de +/- 5%
- la variation de puissance avec la température (plus de détails dans le paragraphe Pertes de production)
- la stabilité dans le temps des performances (les fabricants garantissent généralement au moins 80% de la puissance de départ au bout de 20 à 25 ans)

L'énergie réellement captée par un module dépend, de la surface et de la puissance nominale du panneau mais aussi de l'ensoleillement, variable selon la latitude, la saison, l'heure de la journée, la météo, le masquage subi, etc. En Europe, chaque W c (watt crête) permet la production d'environ 1kWh d'énergie sur l'année, le double dans des zones bien ensoleillées et avec un héliostat.

Un module photovoltaïque ne génère aucun déchet en fonctionnement, son coût de démantèlement est très faible et ses coûts d'exploitation sont quasi nuls. Étanche, il peut servir de couverture à un toit, sous réserve de bien maîtriser l'écoulement d'eau aux bords avec un montage adapté. La durée de vie d'un tel module est supérieure à 20 ans.

### 3 technologies différentes

Ce sont les cellules à base de silicium qui sont actuellement les plus utilisées, les autres types étant encore soit en phase de recherche/développement, soit trop chers et réservés à des usages où leur prix n'est pas un obstacle. On distingue en outre, en fonction des technologies utilisées :

**Silicium monocristallin** : les capteurs photovoltaïques sont à base de cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique.

**Silicium polycristallin** : Les capteurs photovoltaïques sont à base de polycristaux de silicium, notablement moins coûteux à fabriquer que le silicium monocristallin, mais qui ont aussi un rendement un peu plus faible. Ces polycristaux sont obtenus par fusion des rebuts du silicium de qualité électronique.

**Silicium amorphe** : les panneaux « étalés » sont réalisés avec du silicium amorphe au fort pouvoir énérisant et présentés en bandes souples permettant une parfaite intégration architecturale.

### Production électrique : données météorologiques

Une surface exposée au soleil reçoit, à un instant donné, un rayonnement solaire en **W/m<sup>2</sup>**, qui est un flux, une puissance par unité de surface. Ce flux varie au passage d'un nuage, selon les heures de la journée, etc. Au bout d'une journée, ce flux a produit une énergie journalière ou rayonnement solaire intégré, en **Wh/m<sup>2</sup> par jour**.

Grâce aux stations météorologiques, il est possible de connaître le rayonnement solaire intégré en **kWh/ m<sup>2</sup> .jour** ; mais la connaissance de la production d'un panneau solaire par heure n'est finalement pas vraiment nécessaire car nous pouvons déjà réaliser un dimensionnement assez précis avec 12 valeurs de rayonnement solaire seulement : les valeurs moyennes de l'énergie solaire journalière, pour chaque mois de l'année, dans le plan des modules photovoltaïque. Pour un dimensionnement plus rapide, on se servira de la valeur la plus faible de la période de fonctionnement de l'application.

### Production électrique : méthodes et formules de calculs

**Un module photovoltaïque se caractérise avant tout par sa puissance maximale ou puissance crête P max (W).**

Cette valeur de puissance correspond à la valeur obtenue dans les conditions **STC\* (1000 W/m<sup>2</sup> à 25°C)**, si le module est exposé dans ces conditions STC, il va produire, à un instant donné, une puissance électrique égale à cette puissance crête.

Si cela dure N heures, il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique **E elec égale à N x P max**

$E \text{ elec} = N * P \text{ max}$
--------------------------------------

\*STC est l'acronyme de Standard Tests Conditions en anglais (Conditions standard de test)

Le rayonnement n'étant jamais constant pendant une journée d'ensoleillement, il n'est donc pas exact d'appliquer strictement cette formule.

Le calcul suivant, couramment répandu et utilisé pour simplifier la méthode de calcul n'est donc pas exact :

P max = 50 Watts

Durée d'une journée = 10 heures

$$\text{Production obtenue} = 50 \text{ (W)} * 10 \text{ (h)} = 500\text{Wh d'énergie}$$

En effet, ce calcul ne tient absolument pas compte d'une donnée essentielle : **le rayonnement au cours de cette journée est loin d'être égal à 1000 W/m<sup>2</sup> en permanence.**

Rappelons en effet qu'à cette valeur normalisée de **1000 W/m<sup>2</sup>** correspond un rayonnement solaire intense.

Afin de calculer quelle est la production d'un module photovoltaïque pendant une journée d'ensoleillement caractérisée par un facteur d'ensoleillement en **Wh/m<sup>2</sup> .jour**, nous allons assimiler cette énergie solaire (**E sol**) au produit du rayonnement instantanée **1000 Wh/m<sup>2</sup>** par un certain nombre d'heures que l'on appelle nombre d'heures équivalentes : **E sol = N \* 1000**

Donc, pour obtenir la production du module photovoltaïque pendant une journée, nous allons multiplier la puissance crête ou puissance max du panneau par le nombre d'heures équivalentes de cette journée :

$$\text{E elec} = N e * P \text{ max}$$

**E elec** est la quantité d'énergie électrique produite dans la journée (exprimée en **Wh/jour**)

**N e** est le nombre d'heures équivalentes (**heures/jour**)

**P max** est la puissance maximale ou puissance crête (**Watts**)

Cependant, ce calcul n'est vrai que pour un panneau isolé, exposé dans des conditions idéales. Il ne tient pas compte des pertes inévitables d'un système complet dans les conditions réelles. Il convient donc d'ajouter un coefficient de pertes **C p** celui-ci varie entre **0,65** et **0,9** selon les cas.

Le calcul pratique de la production d'un module photovoltaïque devient donc en terme de courant :

$$\text{E elec} = E \text{ sol} x I \text{ mp} x C \text{ p}$$

**E elec** est la quantité d'énergie électrique produite dans la journée (exprimée en **Ah/jour**)

**E sol** est l'ensoleillement journalier (exprimé en **KWh/m<sup>2</sup> .jour**)

**I mp** est le courant (ou intensité) mesuré à la puissance maximale STC du module photovoltaïque (exprimé en **Ampères**)

**C p** est le coefficient de pertes en courant.

### Exemple de calcul pour une station de 650W située au Maroc

Un site qui demande une puissance de 650 W, aura un besoin journalier (24h) en énergie (Wh) égale à :

$$E = 650 \times 24 = 15\,600 \text{ Wh}$$

En termes d'Ah, la consommation (C), si l'on considère que la tension du dispositif est de 48V, sera égale à :

$$C = 15600/48 = 325 \text{ Ah}$$

Pour calculer la charge électrique produite par un panneau solaire pendant une journée on aura besoin de l'ensoleillement et du coefficient de pertes ; supposons que l'ensoleillement le plus défavorable au Maroc est de 4.129 kWh/m<sup>2</sup> .jour, et que le coefficient de perte est de 0.95 :

$$E_{elec} = 4,129 \times 7,39 \times 0,95 = 28,99 \text{ Ah}$$

Il nous faudra donc calculer le nombre de panneaux solaires à coupler en parallèle (puisque c'est l'Ah) égale à  $N = E(325/28,99) + 1$ , soit un nombre de panneaux solaires de  $N = 12$ .

Sachant que chaque panneau solaire délivre une tension de 12V, nous aurons donc besoin de quatre panneaux pour chaque série afin d'obtenir une tension de 48V : le total des panneaux solaires nécessaires est donc :  $4 \times 12 = 48$  panneaux solaires

A partir de là, il est possible d'estimer une productivité électrique annuelle. Les valeurs qui suivent sont indicatives et approximatives, car ce type de mesure est très sensible aux conditions et conventions adoptées : avec ou sans héliostat (tracker), avec ou sans les pertes de l'onduleur, en moyenne sur une région ou sur un lieu-dit particulièrement propice, etc. en kWh/Wc/an et pour une surface inclinée de façon optimale.

#### Sources de pertes énergétiques

Les principales sources de pertes énergétiques sont :

- Pertes par ombrage : L'environnement d'un module photovoltaïque peut inclure des arbres, montagnes, murs, bâtiments, etc. Il peut provoquer des ombrages sur le module ce qui affecte directement l'énergie collectée.
- Pertes par "poussière ou saletés" : Leur dépôt occasionne une réduction du courant et de la tension produite par le générateur photovoltaïque (~3-6%)
- Pertes par dispersion de puissance nominale : les modules photovoltaïques issus du processus de fabrication industrielle ne sont pas tous identiques. Les fabricants garantissent des déviations inférieures de 3% à 10% autour de la puissance nominale.
- Pertes de connexions : La connexion entre modules de puissance légèrement différents occasionne un fonctionnement à puissance légèrement réduite. Elles augmentent avec le nombre de modules en série et en parallèle (~3%)
- Pertes angulaires ou spectrales : Les modules photovoltaïques sont spectralement sélectifs, la variation du spectre solaire affecte le courant généré par ceux-ci. Les pertes angulaires augmentent avec l'angle d'incidence des rayons et le degré de saleté de la surface.
- Pertes par chutes ohmiques : Les chutes ohmiques se caractérisent par les chutes de tensions dues au passage du courant dans un conducteur de matériau et de section donnés. Ces pertes peuvent être minimisées avec un dimensionnement correct de ces paramètres.
- Pertes par température : En général, les modules perdent 0,4 % par degré supérieur à sa température standard (25°C en conditions standard de mesures STC). La température d'opération des modules dépend de l'irradiation incidente, la température ambiante et la vitesse du vent (5% à 14%)
- Pertes par rendement DC/AC de l'onduleur : L'onduleur peut se caractériser par une courbe de rendement en fonction de la puissance d'opération (~6%)

### *Les panneaux ou capteurs solaires photovoltaïques*

- Pertes par suivi du point de puissance maximum : L'onduleur dispose d'un dispositif électronique qui calcule en temps réel le point de fonctionnement de puissance maximum (3%)