



# DOSSIER MACHINE

---

<b>1</b>	<b>PREAMBULE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ENERGIE SOLAIRE DANS LES ENERGIES RENOUVELABLES</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>TECHNOLOGIES SOLAIRES EXISTANTES</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ?</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT</b>	<b>4</b>
<b>5.1</b>	<b>COMPOSANTS DE BASE D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDEE AU RESEAU</b>	<b>4</b>
<b>5.2</b>	<b>NOTIONS GENERALES</b>	<b>5</b>
<b>5.3</b>	<b>TYPE ET RENDEMENT DES CELLULES, MODULES, ET SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES</b>	<b>6</b>
5.3.1	Classement des cellules en fonction de leurs rendements	6
5.3.2	Technologie des modules photovoltaïques	7
<b>6</b>	<b>MODE DE FONCTIONNEMENT DES CELLULES ET DES MODULES</b>	<b>8</b>
<b>6.1</b>	<b>FONCTIONNEMENT</b>	<b>8</b>
<b>6.2</b>	<b>NOTION DE PUISSANCE MAXIMALE (Wc)</b>	<b>8</b>
<b>6.3</b>	<b>COURANT DE COURT-CIRCUIT ET TENSION A VIDE</b>	<b>9</b>
<b>6.4</b>	<b>INFLUENCE DE LA TEMPERATURE</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>TECHNOLOGIE DES ONDULEURS</b>	<b>10</b>
<b>7.1</b>	<b>FONCTIONS ET EXIGENCES DES ONDULEURS</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>DESCRIPTION PRODUIT</b>	<b>12</b>
<b>8.1</b>	<b>SOLERM CONNECTE RESEAU</b>	<b>12</b>

---



## DOSSIER TECHNIQUE

### F1.1 – Présentation



## 1 PREAMBULE

Pourquoi passer aux énergies renouvelables rapidement ?

L'utilisation mondiale de l'énergie repose aujourd'hui à 80% sur les énergies fossiles comme le charbon, le gaz ou le pétrole. La plupart de ces ressources d'énergie seront épuisées dans quelques dizaines d'années. De plus, beaucoup de gisements sont situés dans des zones difficiles d'accès avec des coûts d'exploitation de plus en plus élevés. Par conséquent, l'approvisionnement en énergies fossiles pourrait devenir critique dans les prochaines années...

A l'heure où la fin des énergies fossiles est annoncée, les conséquences sur notre vie et sur notre environnement sont déjà visibles (Augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique, Changement climatiques locaux et mondiaux, Pluies acides, ...). Par conséquent, que ce soit sur le plan national ou sur le plan international, les habitudes en matière de consommation d'énergie doivent donc changer radicalement.

Dans ces conditions, seul un passage aux énergies renouvelables permettra de freiner l'exploitation destructrice de l'environnement et le gaspillage des matières premières. De même, avec ces énergies dites renouvelables, chacun de nous peut prendre part à cette transformation et ainsi contribuer à éviter une catastrophe climatique mondiale.

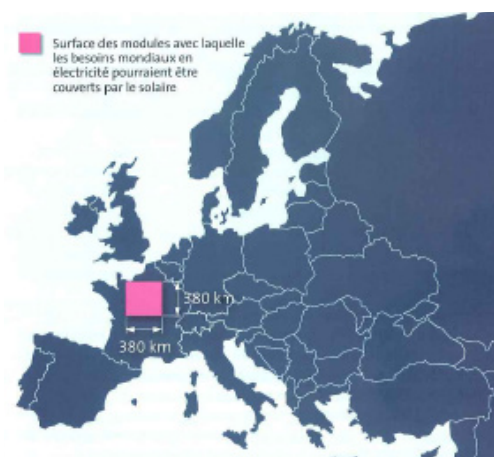
## 2 ENERGIE SOLAIRE DANS LES ENERGIES RENOUVELABLES

Il est important de noter que, même avec notre grand besoin d'énergie, le soleil fournit en permanence dix mille fois la consommation de l'humanité entière et qu'avec une espérance de vie de plusieurs milliards d'années, il est aussi la source d'énergie la plus durable.

### Exemple :

En considérant les besoins en électricité mondiaux en 2005 à 17 300 TWh et le rendement d'une installation photovoltaïque Européenne avec une efficacité de 12% à 120 kWh/m<sup>2</sup>/an, il faut, pour couvrir la totalité des besoins mondiaux en électricité avec le solaire photovoltaïque, une surface de 145 000 km<sup>2</sup> dans les conditions européennes d'ensoleillement.

A titre d'exemple, cette surface correspond à un carré de 380 km de côté, soit seulement 1,5 % de la superficie de l'Europe (1,5 millions de km<sup>2</sup>).



Même si toutes les sources d'énergies renouvelables ne sont pas d'origine solaire (Géothermie, Energie marémotrice, ...), directement ou indirectement, l'origine de la plupart des sources d'énergies renouvelables est le soleil, d'où l'idée d'utiliser l'énergie du soleil sans pertes de transformation.

Toutefois, comparée aux autres sources d'énergies renouvelables, l'énergie solaire présente une série d'avantages non négligeables.

- **La densité de puissance maximale du rayonnement solaire à la surface de la terre, qui est égal à 1 000 W/m<sup>2</sup>, est bien plus élevée que pour les autres sources d'énergie comparables** (Exemple : Géothermie = 0,063 W/m<sup>2</sup>) ;
- **Le rayonnement solaire est accessible à tous, les coûts de mise en œuvre sont faibles et une fois raccordée, l'énergie est récupérée sans aucune dépense, ou avec des coûts d'exploitation extrêmement faibles ;**
- **Les zones ensoleillées sur la planète correspondent en majeure partie aux régions de peuplement humain.** Par conséquent, l'exploitation de la source d'énergie et son utilisation peuvent ainsi avoir lieu au même endroit, ce qui encourage la construction d'une industrie énergétique décentralisée;
- **L'évolution du rayonnement solaire au cours du temps est facile à prévoir et le rayonnement solaire moyen annuel est constamment élevé.** Dans un contexte international tendu, cela permet d'assurer une grande sécurité d'approvisionnement ;
- **L'énergie solaire contribue également, à l'échelle mondiale, à éviter les conflits militaires autour des énergies fossiles ;**
- **Le temps de retour énergétique des installations solaires électriques et thermiques est bien supérieur à leur durée d'exploitation (25 ans et plus).** De plus, ces équipements constituent de "réelles" sources d'énergie car ils produisent durant leur vie beaucoup plus d'énergie que ce qui a été nécessaire à leur fabrication ;
- **L'exploitation de l'énergie solaire n'entraîne strictement aucun risque pour l'environnement.** Les marées noires, les accidents nucléaires, ou autres catastrophes sont exclus.

### 3 TECHNOLOGIES SOLAIRES EXISTANTES



Les centrales à biomasse ou les pompes à chaleur à air utilisent indirectement l'énergie du soleil. Toutefois, **l'appellation "Installation Solaire" ne définit que les installations qui utilisent directement le rayonnement solaire pour produire du courant ou de la chaleur, de manière passive ou active.**

Un système passif se distingue d'une utilisation active par l'absence de moteur ou de pompe, de système de régulation et de parties mobiles (Exemple : Bâtiment avec petites fenêtres au nord et grandes surfaces laissant entrer la lumière au sud, ...)

**Les systèmes actifs sont classés en fonction de l'énergie utile mise à disposition, à savoir les systèmes thermiques, qui mettent à disposition de la chaleur (Solaire Thermique) et les systèmes photovoltaïques, qui produisent du courant (Solaire Photovoltaïque).**

En pratique, les techniques solaires techniques classiques sont les collecteurs solaires utilisés pour la préparation d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage et pour la chaleur industrielle.

**Les systèmes photovoltaïques se classent en fonction de leur type de branchement. Reliés au réseau électrique ou Autonome.**

Grâce à une fabrication en grand nombre de pièces, le photovoltaïque offre d'immense perspectives d'innovation et de baisse de prix.

## 4 AVANTAGES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ?

Les avantages des installations photovoltaïques modernes offrent de grandes possibilités technologiques et industrielles. Cela signifie :

- *Le solaire photovoltaïque est une affaire sûre et sans risque. **L'investissement et le rendement sont prévisibles à long termes ;***
- *De façon générale, les **systèmes photovoltaïques sont simples et rapides à installer ;***
- ***La production électrique photovoltaïque est robuste, tolérante aux pannes et nécessite très peu de maintenance.** En effet, le principe photovoltaïque ne comporte aucune partie en mouvement. L'usure due aux mouvements est donc exclue d'emblée ;*
- *La production électrique est réalisée sans combustion et à un niveau de température peu élevé. Par conséquent, une **usure thermique des composants, semblable à celle d'une chaudière, est donc écartée ;***
- *Cette technologie, éprouvée durant des dizaines d'années dans l'aérospatiale (alimentation électrique des stations spatiales), a prouvé sa **stabilité et sa fiabilité** (stabilité des matériaux contre les intempéries, le rayonnement UV ou les variations de température) ;*
- ***Bilan énergétique positif.** En effet, dans des conditions climatiques européennes, l'énergie nécessaire à la fabrication de l'installation est récupérée au bout de 2 à 7 ans environ ;*
- ***Les modules photovoltaïques en fin de vie ou prématurément endommagés sont recyclables.** (Les composants peu usés comme les cellules solaires, les faces en verre ou les cadres en aluminium peuvent être réutilisés ou recyclés) ;*
- ***Chacun peut améliorer son écobilan personnel en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> ;***
- ***Réduction des rejets polluants tout en préservant les ressources naturelles ;***
- ***Les installations photovoltaïques développent une conscience nouvelle dans l'utilisation quotidienne de l'énergie.** (Souvent, le choix d'une installation photovoltaïque amène à remettre en question les appareils électroménagers et les habitudes de consommation excessive de courant et d'énergie) ;*

Que nous apporte le soleil en France ?

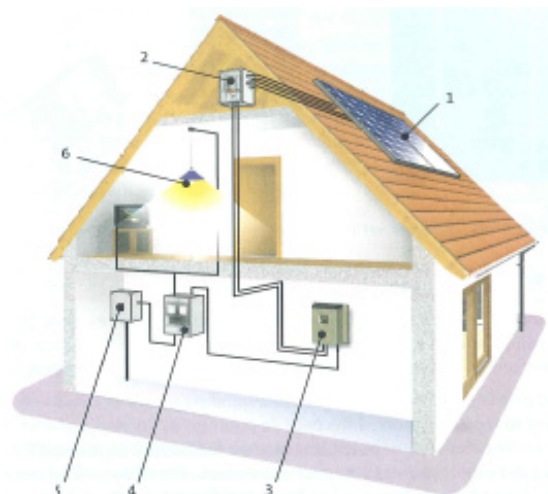
- ***Le soleil est en France une source d'énergie considérable et constante sur laquelle on peut compter, y compris dans le Nord du Pays ;***
- ***Une surface de modules photovoltaïque d'environ 30 m<sup>2</sup> peut couvrir la consommation électrique d'un foyer moyen.** En effet, en Europe les rendements solaires sont conséquents (900 à 1200 kWh/m<sup>2</sup>/an, correspond en énergie à 90 à 120 Litres de fioul).*
- ***Le solaire photovoltaïque dispose d'un potentiel technique gigantesque et peut donc prendre un part importante dans l'alimentation énergétique du pays.** Mathématiquement, compte tenu des rendements des modules actuels, moins de 1,5 % de la superficie de la France est nécessaire pour couvrir toute la consommation électrique annuelle de l'Europe. **Cette surface est concrètement disponible sur les toits, les façades, ainsi que les surfaces libres et les voies de communication.***

### A noter :

Plus de 1,7 milliards de personnes dans le monde n'ont pas encore accès à l'électricité. Pour ces régions, les énergies renouvelables et l'énergie solaire en particulier offrent souvent une alimentation électrique bon marché et fiable. Les installations photovoltaïques (partiellement associées à l'énergie éolienne ou aux autres installations bioénergétiques) fournissent un courant fiable pour alimenter les écoles, les cabinets médicaux ou les hôpitaux. Ainsi, les populations ont accès à l'éducation et, en cas d'urgence, la simple présence de l'électricité peut sauver des vies, surtout dans des régions reculées et/ou isolées.

**Dans les pays en voie de développement, mais aussi dans les pays émergents et industrialisés, les installations reliées au réseau et/ou les installations en sites isolés, soulage ou assurent donc entièrement l'alimentation en électricité.**

## 5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



1. Générateur solaire avec système de montage
2. Boîtier de raccordement pour le générateur
3. Onduleur
4. Compteurs d'alimentation et d'abonnement
5. Raccordement au réseau
6. Récepteur

### 5.1 Composants de base d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau

Le courant continu est produit dans les cellules du module solaire par l'incidence lumineuse. L'ensemble des modules reliés entre eux forme le générateur photovoltaïque (1.).

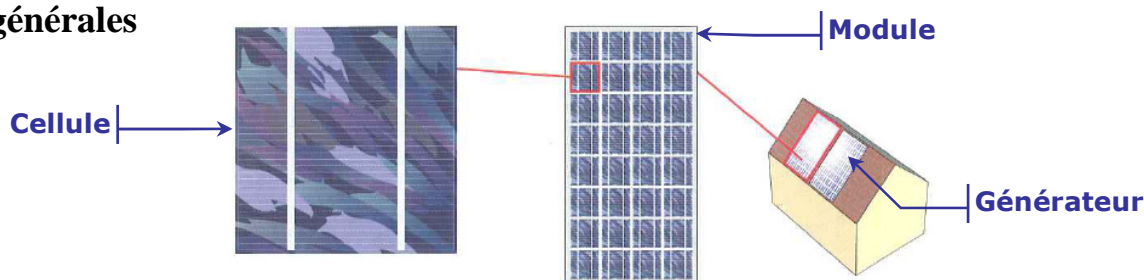
Le courant continu produit par le générateur est relié au boîtier de raccordement du générateur (2.) et est conduit jusqu'à l'onduleur par la ligne principale de courant continu.

L'onduleur (3.) transforme le courant continu en courant alternatif. La totalité de ce courant alimente le réseau électrique public (5.) par l'intermédiaire d'un compteur d'alimentation (4.).

Les récepteurs (6.) reçoivent le courant nécessaire à leur fonctionnement par un compteur d'abonnement qui les sépare du réseau électrique local.

A noter : Le courant produit par un système non relié au réseau est, soit consommé sur place, soit stocké dans des accumulateurs.

## 5.2 Notions générales



### ❖ Plaquette de silicium ou "Wafer"

Le matériau de base des cellules solaires cristallines est une plaquette de silicium mince (épaisseur comprise entre 0,2 et 0,3 mm environ), appelée "Wafer". **C'est à l'intérieur de ces petites unités que l'effet photovoltaïque proprement dit se produit.**

### ❖ Cellule solaire

Plusieurs étapes de fabrication sont nécessaires pour obtenir une cellule solaire à partir de plaquettes de silicium brutes. **Lorsque les différentes couches de semi-conducteurs (Silicium) composant la cellule solaire sont éclairées, une différence de potentiel apparaît. Ce phénomène se mesure extérieurement par une tension.** Cette tension dépend du matériau des semi-conducteurs. Pour du silicium, elle s'élève à 0,6 V environ.

Selon leur matériau de base, les cellules peuvent être divisées en 3 groupes :

- **Cellule au silicium monocristallin ;**
- **Cellules au silicium polycristallin ;**
- **Cellule à couche mince (Cellule amorphes au silicium et autres matériaux).**

Sur le marché, près d'une douzaine de matériaux de cellules sont disponibles. Toutefois, les cellules au silicium cristallin sont le plus largement utilisées.

### ❖ Module

Pour être utilisée, la tension doit être amplifiée en montant en "série" plusieurs cellules. **Un module solaire est donc généralement constitué de cellules solaires branchées en série. Le produit prémonté et assemblé est appelé module.**

Le nombre maximum de cellules, donc la tension du module, est principalement limité par les conditions d'utilisation du module.

### ❖ Rangée

**Lorsque l'on branche en série plusieurs modules pour monter une installation photovoltaïque, on parle de rangée** (ou de "String" en anglais).

### ❖ Générateur

**L'ensemble des rangées de modules couplées les unes aux autres (même s'il n'y a qu'une seule rangée) est appelée générateur.**

### ❖ Installation photovoltaïque reliée au réseau

C'est l'**ensemble des composants du système fonctionnant simultanément** (Générateur, Onduleur, Compteur,...) **et permettant d'alimenter correctement le réseau d'un point de vue technique et légal avec du courant alternatif.**

### ❖ Centrale photovoltaïque

C'est l'**ensemble de plusieurs installations photovoltaïques reliées entre elles.** (Attention, par abus de langage, les installations photovoltaïques isolées peuvent également être appelées centrales).

## 5.3 Type et rendement des cellules, modules, et systèmes photovoltaïques

Les modules utilisés dans les installations photovoltaïques de 1 kWc à plusieurs MWc (Wc = Watt crête) montés sur des surfaces libres ou en toiture sont presque exclusivement en silicium monocristallin et polycristallin. Leur part de marché mondial s'élève actuellement à environ 93%.

On distingue le **rendement des cellules**, des modules et du système. Actuellement, le rendement des cellules fabriquées en grandes séries **peut atteindre 20%**.

Le rendement des modules se calcule par rapport à la surface totale des modules et est donc toujours légèrement inférieur au rendement des cellules (espaces inutiles entre les cellules et à la distance entre les cellules et le bord du module).

Le rendement du système se rapporte à l'installation solaire complète. On retrouve ici encore une diminution du rendement pour les raisons suivante :

- *Disparités entre les modules du générateur / Manque d'éclairage du générateur / Pertes des câbles et de l'onduleur / Résistances dans les bornes, les connecteurs, les interrupteurs et les fusibles / Les pertes lors de la transformation dans l'onduleur.*

Exemple de rendement :  $0,12(\eta_{\text{module}}) \cdot 0,90(\eta_{\text{onduleur}}) \cdot 0,99(\eta_{\text{câble}}) = 0,10 \eta_{\text{système}}$

### 5.3.1 Classement des cellules en fonction de leurs rendements

Cellule	Rendement du module	Surface photovoltaïque nécessaire pour 1 kWc
Monocristalline <sup>1</sup>	11 à 16 %	7 à 9 m <sup>2</sup>
Polycristalline (Silicium étiré en ruban - EFG)	10 à 14 %	8 à 9 m <sup>2</sup>
Polycristalline <sup>2</sup>	8 à 10 %	9 à 11 m <sup>2</sup>
Couche mince <sup>3</sup> de diséléniure de cuivre et d'indium	6 à n8 %	11 à 13 m <sup>2</sup>
Amorphe <sup>4</sup>	4 à 7 %	16 à 20 m <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Les monocristaux sont fabriqués par la fusion de silicium de grande pureté. Divers traitements chimiques ainsi que la pose de contacteurs (grilles collectrices) sur les faces avant et arrière, complètent le processus de fabrication de la cellule.

<sup>2</sup> Du silicium brut est fortement chauffé (fusion) puis refroidi de façon contrôlée dans un moule. Lors de la solidification, les cristaux s'orientent de façon irrégulière et la surface supérieure d'une tranche a par conséquent l'apparence brillante d'un multicristal. Leur couleur bleue habituelle résulte de la couche anti-reflet qui recouvre la cellule (Les propriétés optiques du bleu sont intéressantes car c'est la couleur qui réfléchit le moins la lumière et l'absorbe le plus).

<sup>3</sup> Malgré leur rendement modeste, ces cellules représentent une bonne alternative. Leurs avantages résident dans une plus grande tolérance aux éléments masquant les rayons lumineux et dans une moindre perte de rendement due à l'augmentation de la température.

<sup>4</sup> Le silicium amorphe est non structuré et ne se représente pas sous forme cristalline. Ces cellules sont très largement utilisées dans les calculatrices et les montres. Le matériau semi-conducteur actif est ici considérablement plus fin (0,5 à 2 µm par rapport aux 200 à 300 µm pour des cellules mono/poly cristallines). Le procédé de fabrication consiste à vaporiser le silicium sur un matériau support comme par exemple du verre. On a donc besoin de beaucoup moins de matériau de base (silicium). De même, d'autres traitements chimiques et la pose de contacteurs complètent également le processus de fabrication.

## 5.3.2 Technologie des modules photovoltaïques

Type de cellule	Structure	Rendement		Développement
		Cellule seule (en laboratoire)	Module	
Silicium monocristallin	"Monocristal" à structure cristalline régulière	24 %	13 à 17 %	Production Industrielle
Silicium polycristallin	Structure cristalline régulière par section	18 %	11 à 15 %	Production Industrielle
Silicium étiré en ruban (Marque EFG de RWE-SCHOTT Solar)	Très peu différente du silicium polycristallin	18 %	11 à 15 %	Production Industrielle
Silicium amorphe	Les atomes sont agencés de manière irrégulière. Méthode de la couche mince	11 à 12 %	5 à 8 %	Production Industrielle
Arséniure de gallium	Cellule cristalline	25 %	*	Production exclusivement pour des utilisations spéciales (Aérospaciale)
Arséniure de gallium, Antimoniure de gallium	Cellule de tandem avec plusieurs couches pour des longueurs d'onde différentes	25 à 31 %	*	Au stade de la recherche
Diséléniure de cuivre-indium (CIS)	Méthode de la couche mince, utilisable sur différents matériaux supports	18 %	10 à 12 %	Production Industrielle
Tellure de cadmium	Méthode de la couche mince	17 %	9 à 10 %	Prêt pour la production
Cellules solaire organiques	Fonctionnant d'après le principe électrochimique	5 à 8 %	*	Au stade de la recherche, non commercialisées

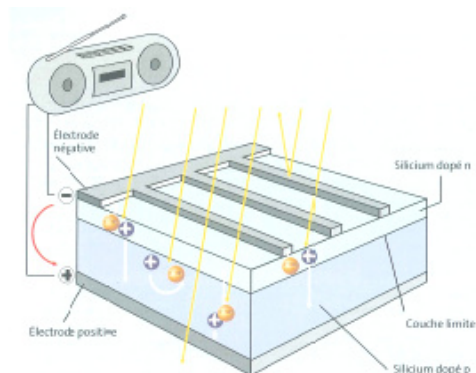
\*: Modules non disponibles sur le marché.

Note : Pour l'évaluation pratique d'une installation, il convient d'utiliser le rendement des modules.



## 6 MODE DE FONCTIONNEMENT DES CELLULES ET DES MODULES

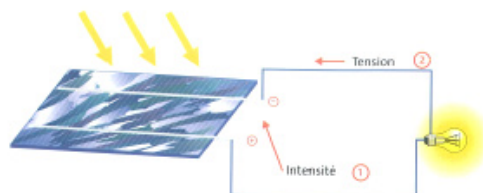
### 6.1 Fonctionnement



L'apport ciblé (dopage) d'atomes étrangers (la plupart du temps du Bore et du Phosphore) permet la création dans la cellule de deux couches dont les propriétés électriques sont différentes (Positive "P" et négative "N"). A la limite de ces couche (Jonction P-N), un champ électrique se forme : c'est la zone de charge d'espace (ZCE).

Lorsque la cellule est éclairée, les charges électriques situées dans la zone de charge d'espace se séparent. Dans la liaison électrique, une tension continue d'environ 0,5 V se forme, dépendant peu de l'éclairement.

En d'autres termes :



Quand le cellule est éclairée, une tension électrique ① se crée entre le côté qui est éclairé et celui qui ne l'est pas. Si le circuit électrique est fermé, un courant électrique ② circule.

### 6.2 Notion de puissance maximale (Wc)

Le courant et la puissance électrique d'une cellule solaire dépendent directement de l'intensité du flux lumineux. En cas de lumière diffuse, le flux lumineux est plus faible, donc la puissance plus faible.

La puissance maximale d'une cellule est définie pour un flux lumineux de 1000 W/m<sup>2</sup> à une température de cellule de 25°C. Cette puissance est appelée puissance crête (en anglais "Peak") et est exprimée en Wc (Watt Crête).

Il est important de noter que la puissance est directement proportionnelle à la taille de la cellule. Par conséquent, pour un même rendement, une cellule deux fois plus grande fournira deux fois plus de puissance.

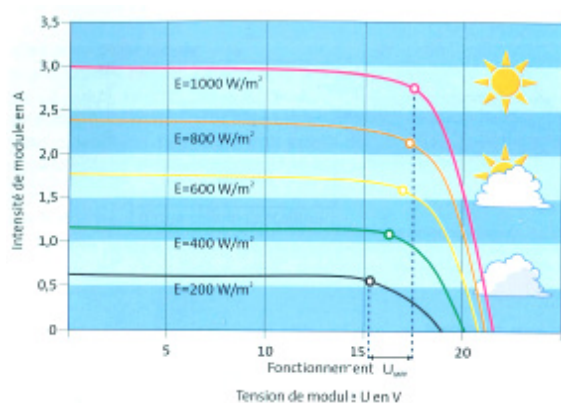
### 6.3 Courant de court-circuit et tension à vide

L'intensité d'une cellule solaire dépend de la puissance du flux lumineux et de la taille de la cellule.

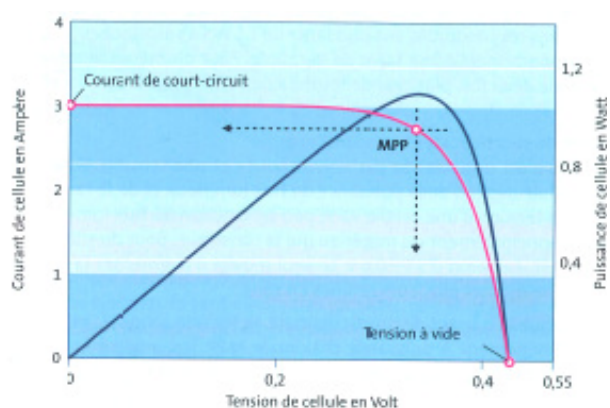
La tension d'une cellule solaire varie peu en fonction du flux lumineux et dépend principalement du matériau qui la constitue. Pour du silicium, la tension est d'environ 0,5 à 0,6 V. Le seul moyen d'augmenter la tension est alors de monter plusieurs cellules en série.

On distingue le courant de court-circuit " $I_{cc}$ ", la tension à vide " $U_0$ " et le point de fonctionnement à puissance maximale "MPP" (Maximal Power Point) dont les grandeurs caractéristiques sont  $U_{MPP}$  et  $I_{MPP}$ .

Ces paramètres sont déterminés dans les conditions standard "STC" (Standard Test Conditions), c'est à dire pour une puissance de flux lumineux de  $1000 \text{ W/m}^2$ , une température de cellule de  $25^\circ\text{C}$  et un facteur de masse atmosphérique<sup>1</sup> correspondant à un spectre lumineux typique de l'Europe de l'Ouest de 1,5.



La puissance et le courant d'une cellule dépendent directement de la puissance du flux lumineux. La tension change peu en fonction du flux lumineux.



Courbe caractéristique d'une cellule cristalline au silicium avec une tension à vide d'environ 0,5 V.

Le point de fonctionnement à puissance maximale est ici situé à 80 % de la tension à vide et à 95 % du courant de court-circuit.

<sup>1</sup> La masse atmosphérique (AM) est une mesure du spectre lumineux correspondant à l'épaisseur d'air traversée par le rayonnement solaire pour différentes positions du soleil.

## 6.4 Influence de la température

**Le réchauffement d'une cellule solaire conduit à une diminution du rendement.**

En effet, **lorsque la température augmente, la puissance d'une cellule cristalline diminue d'environ 0,5 % par degré Celsius.** Cela signifie par exemple que pour une augmentation de température de 30 °C, la perte de puissance sera de 15 %.

Par conséquent, tout réchauffement est donc à éviter, alors qu'un emplacement exposé au vent permettra un meilleur refroidissement.

Habituellement, la température des modules varie en été de 40 à 70°C. La perte de rendement pour des modules mal ventilés est alors de 4 à 6 % supérieure à celle de modules munis de ventilation en face arrière. Il est donc indispensable de bien choisir l'emplacement des modules solaire au moment de l'installation des équipements.

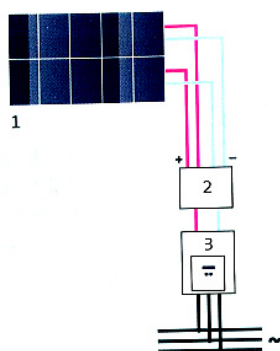
A noter : Le choix d'un coefficient de température faible au niveau des modules (mesure de la chute de puissance due à l'augmentation de la température) est particulièrement important pour le montage en intégration de toiture ou avec des modules disposant d'une mauvaise ventilation de la face arrière.

## 7 TECHNOLOGIE DES ONDULEURS

L'onduleur transforme le courant continu fourni par le générateur photovoltaïque en courant alternatif monophasé avec une tension nominale de 230 V ou, pour les installations de taille importante, en courant alternatif triphasé avec une tension nominale de 400 V.

En fonction de l'installation photovoltaïque mise en œuvre, il existe différents types d'onduleurs : *Les onduleurs centralisés, les onduleurs string et multistring et les onduleurs modulaires.*

**Dans le cas d'un onduleur centralisé, notre cas, tous les modules sont branchés sur un seul onduleur.** Toutefois, si la puissance du générateur est grande ou quand les cellules sont partiellement ombragées ou quand les modules du générateur présente différentes orientations et inclinaisons, il est nécessaire de répartir les modules entre plusieurs onduleurs (Cf. image ci-dessous)

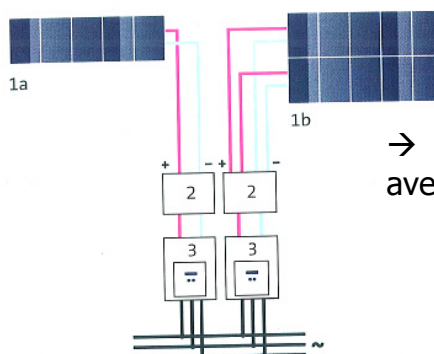


→ Installation photovoltaïque avec onduleur centralisé

1 – Générateur

2 – Boîtier de raccordement pour le générateur (BRG)

3 – Onduleur



→ Installation photovoltaïque avec plusieurs onduleurs

1a et 1b – Générateur partiel

## 7.1 Fonctions et exigences des onduleurs

Tous les onduleurs bénéficient au minimum des fonctions suivantes :

- **Optimisation du rendement de l'installation en fonction du flux lumineux** par la recherche, sur la courbe caractéristique du générateur, du point de fonctionnement correspondant à la puissance la plus élevée de l'installation. Ce point est appelé MPP (Maximum Power Point). Le fait de rechercher et de conserver ce point de fonctionnement (MPP) s'appelle le "**MPP-Tracking**".
- **Transformation du courant continu produit par le générateur photovoltaïque** en courant alternatif conforme au réseau, transformation de la tension et introduction dans le réseau d'alimentation local.
- **Surveillance et protection** conformes aux directives et règlements applicables.

A noter : Les onduleurs peuvent être soit assistés, soit autonomes. Dans notre application, nous avons un onduleur autonome qui produit lui même une fréquence compatible (synchrone) avec le réseau électrique local.

Les différentes exigences technique des onduleurs sont, au minimum, les suivantes :

- *Introduction d'un courant de forme sinusoïdale synchronisé au réseau ;*
- *Identification rapide et précise du point de fonctionnement produisant le gain maximal, puis suivi (Régulation MPP) ;*
- *Rendement élevé pendant le fonctionnement, même en charge partielle ;*
- *Fonctionnement entièrement automatique, contrôle du fonctionnement simple et affichage des défauts ;*
- *Fonctionnement fiable, y compris pour des température extérieures élevées, ainsi qu'une bonne résistance au climat et à la température ;*
- *Possibilité de visualiser les données, écran d'indication du rendement et affichage des messages d'erreur ;*
- *... .*

## 8 DESCRIPTION PRODUIT

### 8.1 Solerm connecté réseau (Standard)

L'équipement Solerm Connecté Réseau – CR20 correspond à une installation électrique solaire photovoltaïque d'une puissance supérieure à 1400 Wc, connectée au réseau EDF.

Ce système est dimensionné pour permettre l'étude, en conditions "réelles", de la production d'électricité à l'aide de la technologie solaire photovoltaïque.

Ce système, permet également d'analyser et d'appréhender les différentes techniques de production d'énergie photovoltaïque connectée au réseau EDF suivant un des trois modes de fonctionnement ci-dessous :

- *Utilisation de l'électricité produite pour la consommation de l'établissement ;*
- *Connecté au réseau avec revente totale de la production ;*
- *Connecté au réseau avec revente du surplus de production (Revente partielle)*

Cet équipement décliné suivant différentes puissances et différentes configurations [Avec ou sans système de secours d'alimentation (batteries)] intègre les éléments suivants :

- *9 panneaux solaires photovoltaïques 24 V (production de l'énergie électrique) ;*
- *1 onduleur de marque FRONIUS (Transformation de l'énergie électrique) ;*
- *1 coffret de sectionnement pour la partie amont en courant continu ;*
- *1 coffret de sectionnement et de protection pour la partie aval en courant alternatif monophasé (Distribution de l'énergie électrique);*
- *1 boîtier d'acquisition pour les données de température et d'ensoleillement (Sensor Box);*
- *1 système d'enregistrement et de communication des données, muni d'une interface Ethernet (Datalogger Web) ;*
- *1 passerelle permettant l'accès au réseau Ethernet (IOLAN DS / perle) ;*

Cet équipement est instrumenté afin d'autoriser les activités pédagogiques suivantes :

- *Dimensionnement et bilans énergétiques ;*
- *Analyse technico-économiques et environnementales ;*
- *Production de l'énergie électrique ;*
- *Transformation de l'énergie électrique ;*
- *Mise en service et réalisations de "chantier" ;*
- *Communication réseau TCP/IP ;*
- *Maintenance ;*
- *Mesures ;*
- *...*