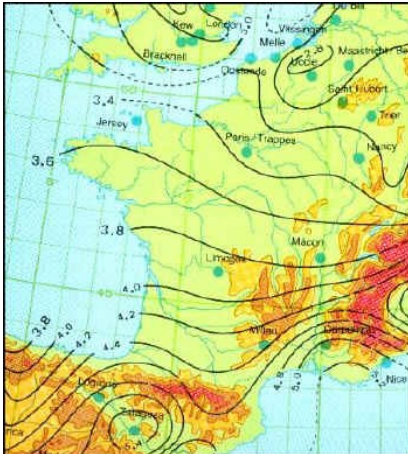


**1 LES BASES DU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE****1.1.1 Ensoleillement de la Terre :**

Carte d'ensoleillement moyen pour la France :

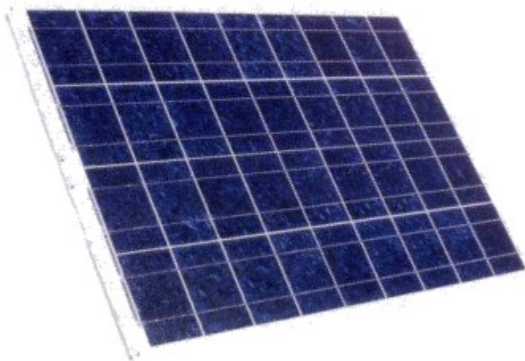


Le soleil envoie un rayonnement électromagnétique sur la Terre. Il est composé d'infrarouges (46%), de la lumière visible (48%) et des ultraviolets (6%).

La Terre n'est pas toute ensoleillée de la même façon.

L'ensoleillement est mesuré en kWh.

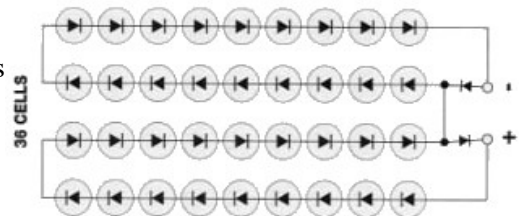
L'ensoleillement total de la Terre est de  $1,6 \cdot 10^{18}$  kWh ce qui correspond à 15 000 fois la consommation mondiale d'énergie.

**2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU PANNEAU SOLAIRE :**

Les panneaux solaires convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques reliées en série.

Ces cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs qui peuvent libérer leurs électrons sous l'action d'une énergie lumineuse. La libération des électrons des matériaux constituant les cellules



sous l'action des photons permet la production d'un courant électrique.

**3 DIFFÉRENTS TYPES DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES :**

Il existe trois types principaux de cellules photovoltaïques :

**3.1 LES CELLULES AMORPHES :**

Elles sont essentiellement utilisées dans les calculatrices, les montres solaires et toutes applications à faible consommation d'énergie et tributaires d'un bas coût (matériel grand public, petit panneaux solaires,...). Elles ont l'avantage de produire de l'électricité même avec très peu de lumière, d'être moins sensibles aux températures élevées et d'être d'un faible coût de fabrication.

Par contre, elles ont l'inconvénient d'avoir un faible rendement ( $60 \text{ Wc/m}^2$ ) lors d'un fort éclairement (plein soleil) et perdre de leurs performances. Ces dernières années, les progrès technologiques ont permis une amélioration sensible de ses performances globales.

**3.2 LES CELLULES POLY-CRISTALLINES :**

D'un rendement énergétique presque deux fois supérieur au silicium amorphe ( $100 \text{ Wc/m}^2$ ), ce sont les cellules les plus utilisées pour la production d'énergie. Elles représentent aujourd'hui le meilleur rapport rendement /qualité/prix.

Elles ont l'avantage d'être moins chères à produire que le silicium monocristallin et d'avoir un très bon rendement énergétique. De forme carrée, elles permettent une meilleure intégration dans les panneaux solaires. Elles ont par contre l'inconvénient d'avoir un faible rendement pour un faible éclairement.

### 3.3 LES CELLULES MONOCRISTALLINES :

Elles ont un bien meilleur rendement que les cellules Poly-cristallines ( $150 \text{ Wc/m}^2$ ) presque trois fois supérieur au silicium amorphe. Elles sont fabriquées selon les mêmes principes que les semi-conducteurs standards par la "pousse" d'un cristal de silicium (en salle blanche) et ensuite découpé en fine tranche. L'avantage principal de ces cellules est d'avoir un excellent rendement.

L'inconvénient majeur est le prix qui revient bien plus élevé et aussi un faible rendement lors d'un faible éclairement.

D'autre part, les cellules sont rondes ou de bords arrondis ce qui ne permet pas la meilleure intégration dans les panneaux solaires (pertes de surfaces actives à cause des coins arrondis des cellules).

### 4 COMPOSITION DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES :

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium, de sulfure de cadmium, et de tellure de cadmium. Ces composants sont superposés en deux fines plaques de telle sorte qu'il en résulte un contact étroit.

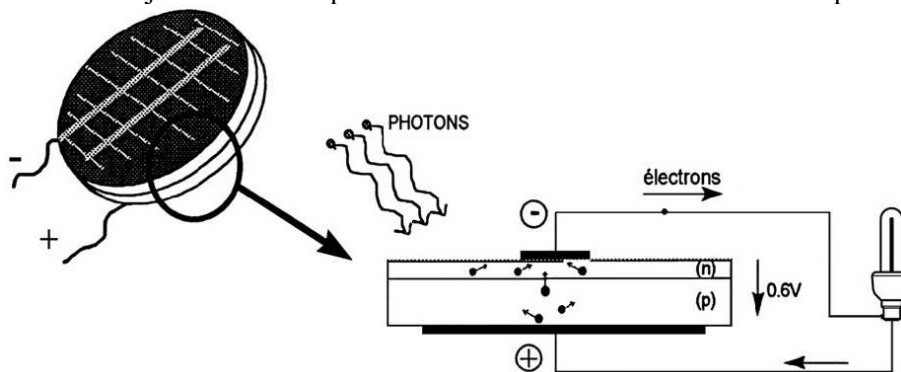
Chaque plaque forme une couche, il y a donc deux couches, la couche supérieure et la couche inférieure.

- La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément qui possède plus d'électrons que le silicium. Cette couche possèdera donc, en moyenne, une quantité d'électrons supérieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type N.

- La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément qui possède moins d'électrons que le silicium. Cette couche possèdera donc en moyenne une quantité d'électrons inférieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type P.

**Le photon :** Particule élémentaire qui constitue le rayonnement électromagnétique comme celui de la lumière visible.

Pour qu'il y ait conduction, on crée une jonction PN. Lors d'une exposition à la lumière cette dernière doit permettre le passage des électrons entre les deux plaques. Dans les panneaux solaires, la jonction PN ne s'établit qu'en présence d'un photon. Cette jonction PN va permettre la formation d'un courant électrique.

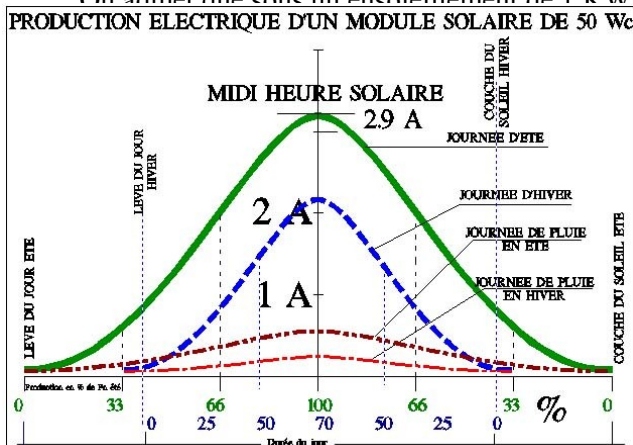


Sous l'action de la lumière (photons) ces cellules génèrent une tension électrique. La tension obtenue est de l'ordre de 0,5V par cellule.

### 5 PRODUCTION D'ÉNERGIE D'UN PANNEAU SOLAIRE :

La conversion d'énergie est proportionnelle à l'ensoleillement reçu.

On admet que sous un ensoleillement de  $1 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ , un module solaire de  $1 \text{ Wc}$  (Watt Crête) fournit une



le: 5 Wh par jour.

7 :

ont un rendement compris entre 10 et 13%.

solaire de 1000 W, elles produiront une énergie de l'ordre de 100

les constructeurs est sa puissance maximum obtenue dans des

conditions optimales : en hiver par temps froid et quand le soleil est à son zénith.

Il diffuse alors 1000W/m<sup>2</sup>.

Un panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques reliées en série . Une cellule délivre une tension de 0,5V quand elle est éclairée. Pour obtenir une tension plus élevée, on assemble les cellules en série. Un panneau solaire peut délivrer une tension de 21,5V.

Pour produire une tension alternative 230 V, il faut utiliser un un onduleur.

## 5.2 INCLINAISON DES PANNEAUX SOLAIRES :

Le rendement des panneaux solaires dépend aussi de leur orientation.

**Angle d'incidence :** C'est l'angle formé par le plan du panneau solaire est les rayons du soleil. L'angle incident optimal est de 90°

L'angle d'incidence des rayons du soleil détermine le rendement du panneau solaire.

L'angle d'incidence ( $\alpha$ ) optimal est de 90°. Le rendement du panneau solaire est définit selon l'équation suivante

$$R = \sin(\alpha) \cdot 100$$

$\alpha$  : Angle d'incidence (en degrés)

R : Rendement (en %)

Si l'angle d'incidence est de 90 ° :

$$R = 100 \cdot \sin 90$$

$$R = 100 \cdot 1$$

$$R = 100 \%$$

Si l'angle d'incidence est de 55 ° :

$$R = 100 \cdot \sin 55$$

$$R = 100 \cdot 0.82$$

$$R = 82 \%$$

**Angle d'inclinaison :** Synonyme du terme "angle d'irradiation", c'est l'angle formé par le plan du panneau solaire et l'horizontale.

Quand la somme de l'angle d'inclinaison et de l'angle zénithal est égale à 90° le panneau solaire est en orientation optimale sur le plan vertical.

**Angle zénithal :** C'est l'angle formé par les rayons solaires et l'horizontale. Il varie en fonction de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon.

Ainsi, seule une rotation automatique peut permettre au panneau solaire de délivrer une puissance maximale. En effet, si le panneau reste statique, la production d'électricité peut être réduite de 58 % à cause de l'orientation.

Comme le rendement des cellules poly-cristallines ne dépasse que rarement 10 %, s' il y a une perte supplémentaire du rendement de 52 %, la production finale d'énergie pour une panneau solaire de 100 W correctement orienté ne sera, en cas de mauvaise orientation que de 42 W alors qu'il reçoit plus de 1000 kWh/m<sup>2</sup>.

## 6 CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX SOLAIRES :

Solar photovoltaïc Helios module			
Wp:	100 Wc	System	
Voc:	216V	voltage max	
Isc:	6.38		750
MPV:	17.3 V		
MPC:	5.78A		051201
Model:	HI160	Ref:	SHE100

**Wp :** Watt peak ou puissance de crête: Ici 100 Wc

**Voc :** Tension en circuit ouvert = 21.6 Volts

**Isc :** Intensité de court-circuit = 6.8 (Ampères)

**MPV ou PPM :** Point de Puissance maximum = 17.3 V

**MPC** Intensité au Maximum puissance = 5,78A

**Model et ref:** = Références constructeur/distributeur

**System Voltage Max** = tension maximum que peut supporter le module solaire, lors d'un assemblage.

### 6.1 DÉFINITIONS :

**Puissance de crête: Wc ou pW :**

C'est la puissance que fournit ce module dans des conditions d'éclairage égale à 1000 W par m<sup>2</sup> (Unité de mesure standardisée) En théorie l'ensoleillement sous la latitude de 45°(Lyon), à midi en plein soleil ne dépasse pas 860 W par m<sup>2</sup>, ce qui donne 86W de fourniture maximum.

**Tension en circuit ouvert :** (Voltage open Circuit)

La tension en circuit ouvert, oscille entre 19.5 et 21.5 Volts (soleil intense, 1000W/m<sup>2</sup>).

Elle correspond à la tension maximum que peut donner le modules solaires, lorsqu'il est à vide, c'est à dire lorsqu'il ne débite aucun courant.

La tension indiquée dans l'exemple ci-dessus correspond à celle d'un module solaire constitué de 34 à 40 cellules, destiné à des applications ou il est nécessaire de recharger des batteries.

CE N' EST PAS LE CAS DE TOUS LES MODULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES. Des tensions de 2 à 65 volts et plus, ont été observées en fonction d'utilisations très précises.

### **Intensité de court-circuit :** (Intensity Short Circuit)

C'est l'intensité maximum que peut débiter le module solaire en court-circuit, sous un ensoleillement de 1000W par m<sup>2</sup>.

### **Point de puissance maximum :** (PPM ou Maximum Power Point)

C'est à cette tension précise, sous une température de 25°C que le module solaire donnera sa puissance maximum, (P=UI) Sachant que la dérive de tension est en moyenne de - 0.048V par °C. Il est nécessaire de tenir compte de la température notamment en pays chauds.

### **Intensité au maximum de puissance :** (Maximum Power Current)

L'intensité débitée par le module solaire, toujours à 1000W par m<sup>2</sup>, à la température de 25°C, à la tension du point de puissance maximum.

### **System voltage max :**

Il s'agit de la tension maximum que peut supporter le module solaire ou l'ensemble des modules solaires, lors d'un assemblage série.

## **7 CÂBLAGE DES PANNEAUX SOLAIRES :**

### **7.1 LES BOITES DE DÉRIVATION :**



Les boîtes de dérivation permettent l'assemblage logique, propre et net des modules solaires en série ou en parallèle, ou en série parallèle.

Elles se caractérisent par leur nombre d'entrées, leur tension de sortie et l'intensité maximum admissible (Par sortie et par entrée!).

Elles se présentent sous la forme d'un coffret étanche muni de presse-étoupes.

Pour plus de facilité dans les grandes installations, elle peuvent être repérées extérieurement. Généralement elles sont fixées au dos, et proche des modules solaires.

Outre l'assemblage série parallèle, les boîtes de dérivation permettent le raccordement électrique propre et bien protégé de l'ensemble des modules solaires d'un système, selon un schéma (pré câblé) qui répond aux besoins de l'installation. Le câblage revêt alors un

aspect parfaitement professionnel. Toutes les connexions sont l'abris des poussières, de l'humidité et d'agressions diverses telles que, entre autres, les insectes.

A l'intérieur de la boîte de dérivation, sont placés des fusibles de protection.

Le fusible agit en cas de destruction des diodes antiparallèles, ce qui évite de décharger inutilement les batteries, voir de les détruire, ou de voir les câbles électriques partir en fumée. (Risque d'incendie!)

Résistances des câbles au Km		
Section	à 25°C	En charge
0,75	24,4	30,6
1	18	22,6
1,5	12	15,1
2,5	7,4	9,25
4	4,62	5,75
6	3,08	3,85
10	1,83	2,287
16	1,14	1,437
25	0,73	0,909
35	0,524	0,654
50	0,385	0,485
70	0,267	0,333
95	0,195	0,24
120	0,153	0,19
150	0,125	0,155

### **7.2 LES CÂBLES :**

Dans une installation solaire, ils ont une importance considérable et sont souvent responsable de pertes d'énergie catastrophiques (1).

- Utiliser des câbles pour l'extérieur, de type RO2V, résistants aux UV.
- La section des câbles doit être choisie avec soin, cette section pouvant s'avérer une des conditions de mauvais voir de non fonctionnement d'une installation,

Généralement une section trop faible, se traduit par un rendement médiocre des modules solaires, qui ne semblent pas faire leur puissance! L'intensité débité (ou extraite) peut être réduite de moitié.

Plus la tension de fonctionnement d'un système solaire est basse, plus les pertes d'énergie risquent d'être préjudiciables.

On admet généralement que les pertes en ligne entre les modules solaires et les batteries ne doivent pas excéder 3% de la valeur de la tension de fonctionnement, ce qui ne laisse pas une bien grande tolérance sur les sections à utiliser. D'autant que l'augmentation de la température des cellules des modules solaires fait régulièrement tomber leur tension, ce qui aggrave les conséquences d'un sous-dimensionnement des câbles électriques.

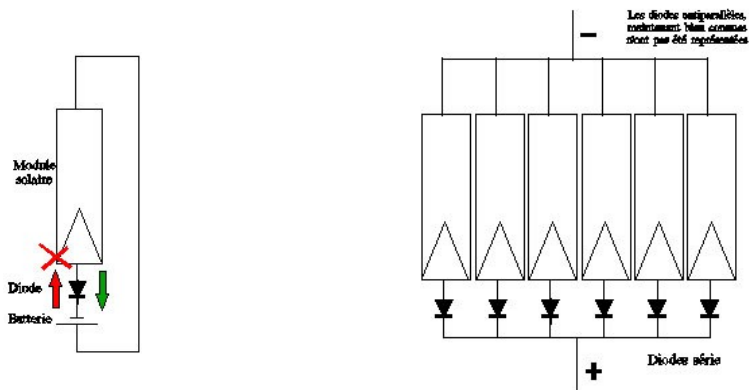
La section à utiliser se calcule en fonction de la résistance du câble choisi, de l'intensité qui doit le parcourir, et de sa longueur.

## 8 PROTECTION DES PANNEAUX SOLAIRES :

### 8.1.1 Diodes série :

Ces diodes ont 2 rôles :

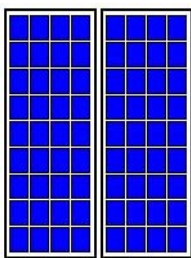
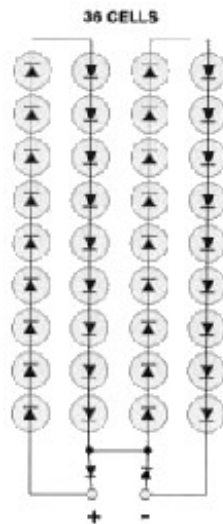
- éviter que pendant la nuit, les batteries ne se déchargent dans la résistance shunt des modules solaires.
- éviter que des modules au soleil, ne débitent dans les modules éventuellement à l'ombre.



Un seul panneau

plusieurs panneaux assemblés

### 8.1.2 Diodes anti-parallèles :



Modules solaires

Les diodes anti-parallèles sont généralement installées par paires dans les boîtes de jonction des modules solaires. Elles ont pour but d'éviter de court-circuiter les cellules du modules, lorsque l'on est en présence de tensions inverses. Ce qui peut se trouver, lorsqu'un module est placé à l'ombre, et lorsque sont présents d'autres modules solaires, placés en série ou en parallèles. En l'absence de ces diodes, une cellule (ou une partie d'un module) à l'ombre se comporterait alors comme un récepteur et recevrait, de ce fait, en inverse, la totalité de l'énergie des autres cellules placées au soleil.

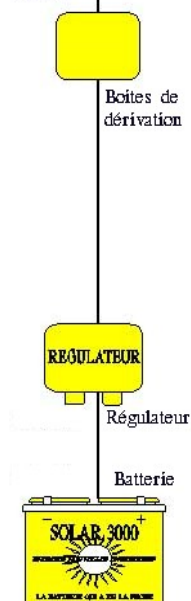
### REGLAGE MINIMUM :

**REGLAGE MINIMUM :** Il n'y a aucun risque - Sauf destruction de la batterie par surcharge, s'il n'y a pas de régulateur adapté - à connecter directement un module solaire sur une batterie de 12V, de 6V, ou autre tension.

**REGLAGE MINIMUM :** Attention aux longueurs plus elles seront importantes, plus la section devra l'être.

**REGLAGE MINIMUM :** En aluminium anodisé, afin d'éviter les couples électriques (corrosion des niveaux des fixations), visserie en inox, capables de supporter des vents d'au moins 150 Km/h.

**REGLAGE MINIMUM :** Fixée sur les structures de montage, reçoivent tous les câbles des sorties des modules solaires, comportent diverses protections (diodes antiparallèles, diodes séries, fusibles de protection,



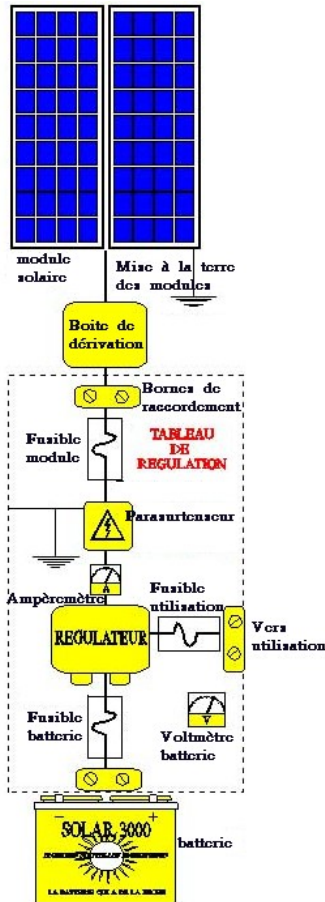


parafoudres, témoin de fonctionnement)

**RÉGULATEUR :** Il reçoit le courant généré par les modules, et le transmet aux batteries, tout en surveillant leur état de charge. Il coupe la charge lorsque celles-ci seront suffisamment chargées. Certains régulateurs ne gèrent que la charge des batteries, d'autres contrôlent également la décharge, et évitent ainsi un vieillissement prématuré.

**BATTERIES :** Ce sont des batteries spéciales, dites à décharge lente (ou à plaques épaisses, ou encore stationnaires ou semi-stationnaires) Par rapport aux batteries automobiles, elles présentent un rendement (énergie absorbée/énergie restituée) plus intéressant, 80% au lieu de 60% et une meilleure tenue dans le temps.

## 10 SYSTÈME SOLAIRE COMPLET :



### Éléments supplémentaires :

- un bornier d'entrée, sur lequel seront branchés les deux fils arrivant du, ou des modules solaires.
- le fusible des modules solaires.
- Le para-surtenseur. En cas de coup de foudre, l'absorption d'énergie par la mise en conduction brutale du para-surtenseur, et éventuellement sa destruction, provoquera la fusion du fusible des modules solaires et évitera la propagation du mal vers les autres éléments de l'installation.
- le fusible de protection utilisation,
- la sortie utilisation, qui comme celle des batteries, ainsi que la terre sont des borniers parfaitement repérées.
- un ampèremètre, indiquant le courant de charge des batteries, cette indication est précieuse, dans les installations où il y a plusieurs modules, elle permet de se rendre compte très rapidement d'un problème (Module débranché, fusible grillé dans la boîte de dérivation, diode anti-parallèle défectueuse, perte de puissance des modules, encrassement, etc...)
- un voltmètre, mesurant en permanence la tension des batteries, il donne une indication fiable et permanente de leur état de charge, donc de l'autonomie instantanée du système.