

# Les générateurs photovoltaïques

Par Mr Valentini Philippe - enseignant en Génie Electrique – Lycée Jean Prouvé - Nancy

## Objectifs :

Mesurer la production d'énergie électrique d'un générateur photovoltaïque, en fonction des paramètres d'ensoleillement et d'installation, en vue d'obtenir un rendement optimal, au travers d'un système pédagogique compact et mobile.

## 1-Présentation du système :



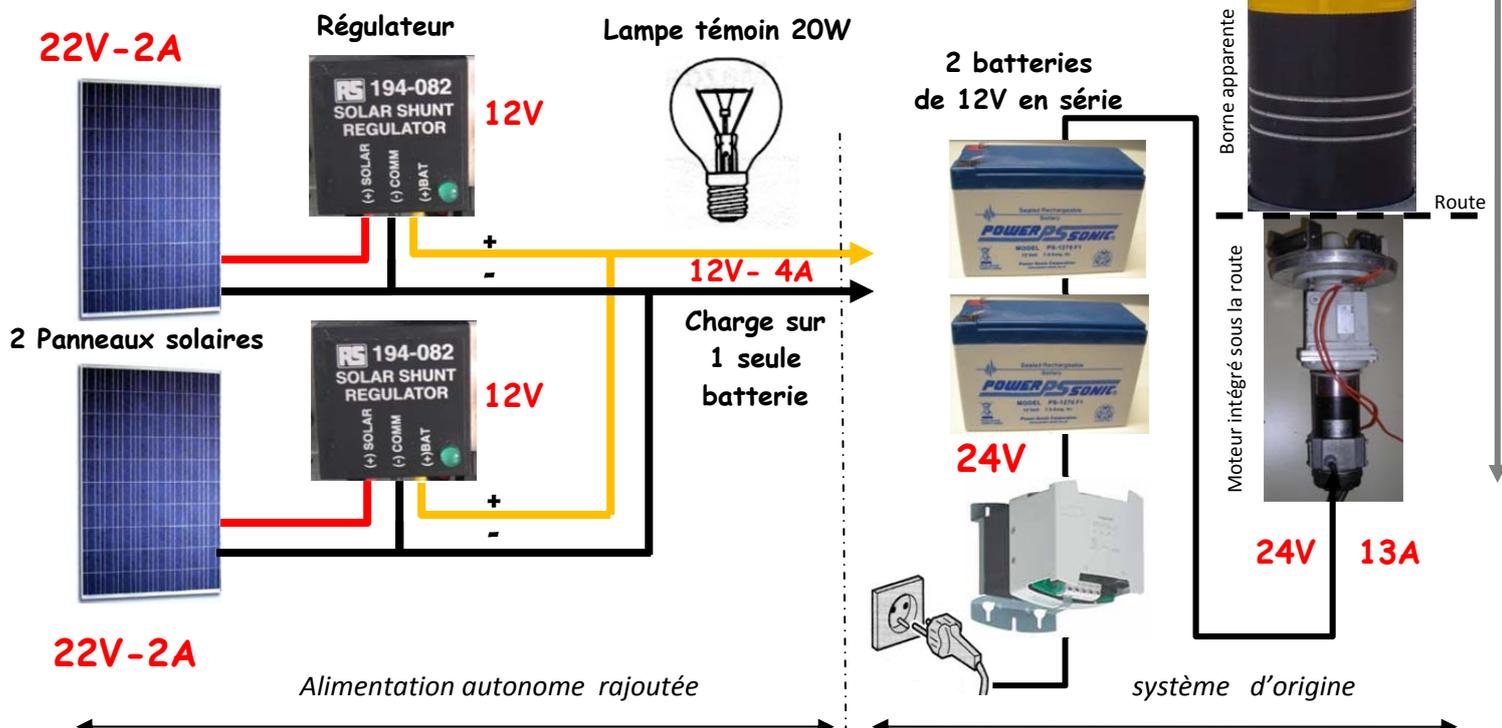
### A- Borne escamotable automatique anti bélier :

Ce principe permet de limiter l'accès des véhicules automobiles vers des secteurs définis. La borne escamotable est l'obstacle visible qui agit comme un filtre. (Ci contre Place Stanislas à Nancy)

Le système pédagogique se compose :

- 1 : de 2 panneaux solaires photovoltaïques
- 2 : d'une borne escamotable en acier, mue par un moteur à courant continu 24V
- 3 : d'un coffret de commande, alimenté par 2 batteries d'accumulateurs.

## 2-Principe de fonctionnement du système :



### 3- Possibilité du système :

L'avantage du système réside dans la possibilité d'orienter les panneaux solaires dans les 2 axes, et de simuler la course du soleil durant la journée (orientation Est -Ouest) et les saisons (inclinaison de 0° à 90°).

Une lampe de 20W-12V branchée directement en sortie des régulateurs, permet d'avoir une image visuelle directe de la puissance fournie par les panneaux et de les mettre en charge afin de mesurer le courant.

Seule la partie « *alimentation autonome* » du système nous intéressera pour nos mesures.

**Le système permet la mise en évidence des contraintes d'installation des panneaux solaires, qui sont :**

- l'orientation (Nord - Sud - Est - Ouest)
- l'inclinaison (de 0° à 90°)
- la température des cellules
- le masque d'ombre

**Toutes ces contraintes vont influencer sur *le rendement* du générateur photovoltaïque.**

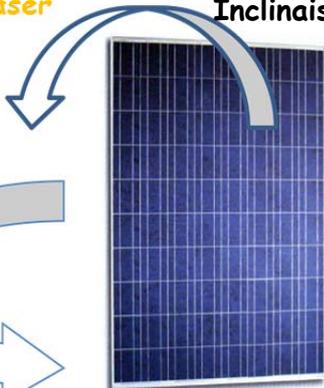
### 4- Les mesures du rendement: Les appareils nécessaires :

**Mesure de la température T (°C) :**

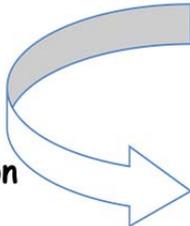
Thermomètre laser



Inclinaison de 0° à 90°



Orientation  
d'Est en Ouest



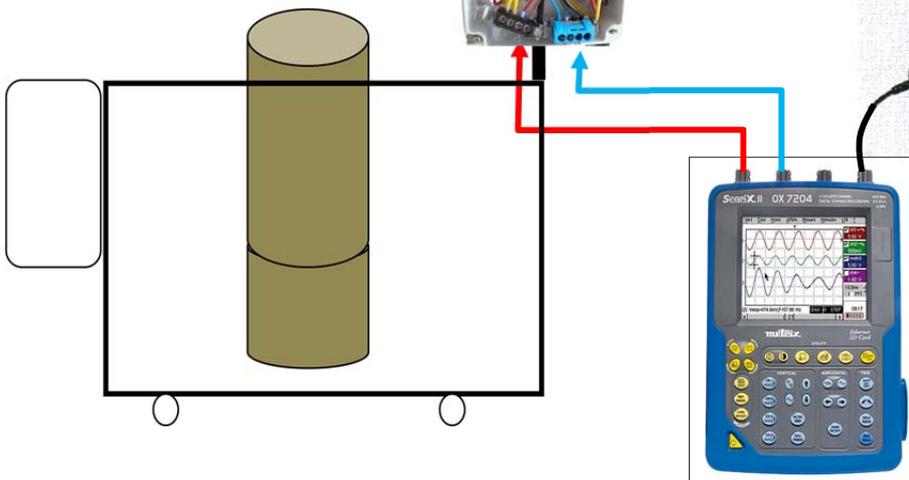
**Mesure de l'éclairement E (W/m<sup>2</sup>):**  
Le SOLARIMETRE

**Mesure de l'intensité I (A) :**  
Pince à effet HALL

(Pour la mesure du courant continu)



**Mesure de La puissance P=UxI (W)**  
Oscilloscope Scopix  
(Permet les mesures sur de longues périodes)



## 5- Technologie des panneaux solaires :

la notion d'éclairement :  $E$  en  $W/m^2$  :

le rendement *absolu* d'un panneaux solaire :

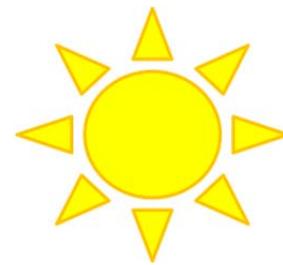
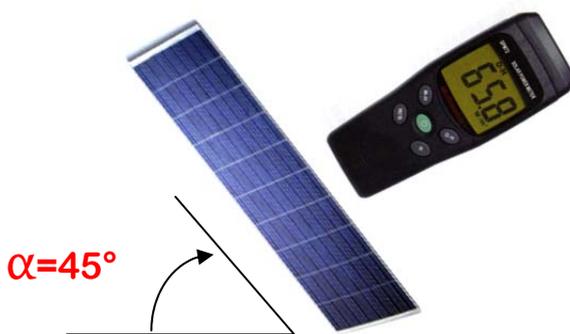
1- L'**éclairement  $E$**  est la puissance thermique du rayonnement solaire reçue sur la Terre sur une **surface de 1 mètre carré**.

3- Les constructeurs de panneaux solaires spécifient les performances de leurs panneaux (la puissance crête) dans les conditions standards de qualification suivantes:  
 **$E = 1000 W/m^2$  pour une inclinaison de  $45^\circ$  pour  $T = 25^\circ C$**

2- Le **rendement *absolu*** d'un générateur varie de 5% à 18% suivant sa composition.  
 Le système pédagogique (borne Titan) possède des panneaux ***monocristallins*** de **30W crête** pour une surface de  $0.25m^2$  (soit  $120W/m^2$ )

## 6- La mesure du **rendement absolu** d'un panneau solaire:

Mesure de l'éclairement  $E$  produit par le soleil :  
 Lecture directe en  $W/m^2$



**Rendement absolu:**  

$$\frac{\text{Puissance électrique produite} / 1m^2 \text{ de cellules}}{\text{Eclairement mesuré } E (W/m^2)}$$



Mesure de La puissance électrique produite :  
 $P = U \times I$  (Watt)

## 7- Le **rendement relatif** d'un panneau solaire:

Le rendement absolu d'un module photovoltaïque, pendant une période donnée, est le rapport entre l'énergie électrique produite par le module et l'énergie solaire reçue. Les rendements annuels moyens (absolus) des modules peuvent varier de 5% à 18%.

Mais pour connaître l'efficacité énergétique réelle de son installation, nous devons déterminer

**son rendement relatif :**

Le **rendement relatif** d'un module pour une période donnée est alors le rapport entre la **puissance énergétique mesurée** ( $P = U \times I$ ) pendant la période et la **puissance crête donnée par le constructeur** (ici SOLARWATT®  $P = 30Wp$  *pointe*)

$$\text{Soit Rendement relatif } \eta_r = \frac{U \times I}{P_{\text{crête}} \text{ (constructeur)}}$$

## 8- La mesure du **rendement relatif** d'un panneau solaire:

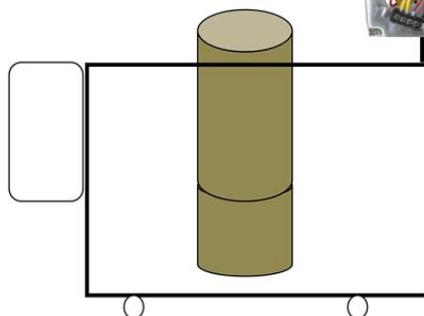
Face à une source fixe de lumière artificielle produite par des lampes halogène de 1000W (en hiver) ou directement par la lumière solaire (en juin de préférence !), orienter le panneau d'Est en Ouest afin de simuler la course du soleil de l'aube à l'aurore.

Commencer par une inclinaison de  $0^\circ$  (à plat) puis tous les  $15^\circ$  jusqu'à  $90^\circ$  (vertical) afin de simuler l'inclinaison du soleil en fonction de l'heure (midi au zénit), des saisons (solstices), mais aussi de la latitude du lieu considéré ( $0^\circ$  pour l'équateur,  $38^\circ$  pour Lyon et le pôle Nord à  $90^\circ$ )

Caractéristiques électriques d'un panneau de  $0,25m^2$   
équipant la borne  
(modèle M30-36 GETAK / constructeur : SOLARWATT®)

SOLARWATT M30-36 GETAK	
<b>P</b> crête	30Wp
<b>U</b> charge:	17,7V
<b>I</b> nominale	1,7 A
<b>U</b> vide	22V
<b>I</b> cc	1,79 A
Tolérance	$\pm 10\%$

Orientation  
d'Est en Ouest



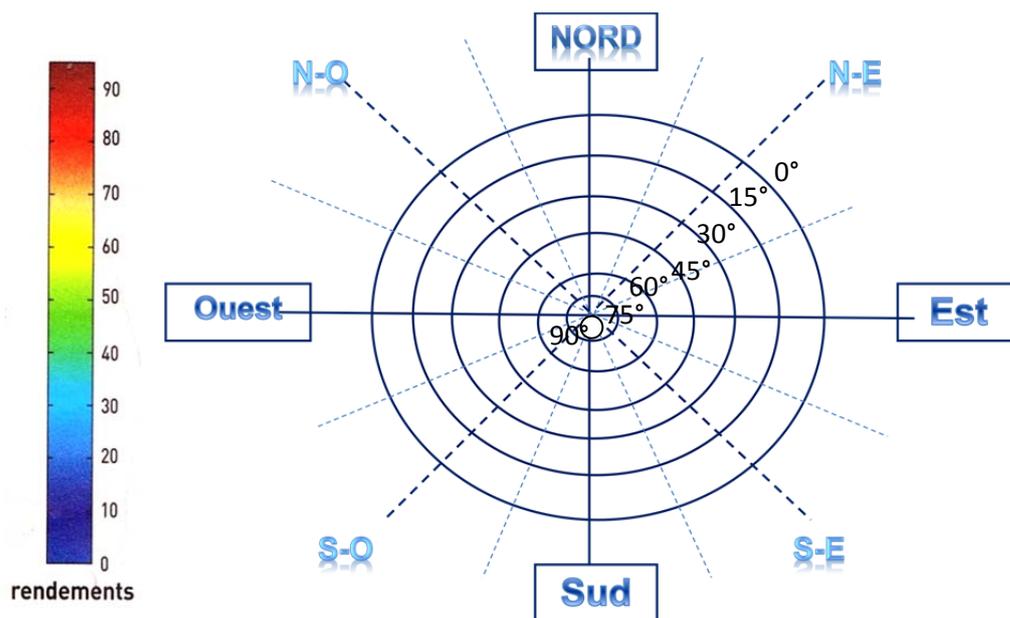
Mesure de La puissance  
électrique produite :  
 $P = U \times I$  (Watt)

Exemple : valeurs relevées le 25 juin à 14h à Nancy:

$$U = 17 \text{ V} \quad P = U \times I = 22 \text{ W} \quad \eta = 22 / 30 = 0.73$$

$$I = 1,3 \text{ A} \quad P_{\text{crête}} = 30W \quad \eta = 73\%$$

## Tracé du disque solaire:



Retranscrire sur le diagramme ci contre les valeurs du rendement par des couleurs, suivant l'échelle de valeurs. Chaque cercle concentrique correspond à une inclinaison des panneaux de 15° (du cercle extérieur 0° au cercle central à 90°)

Une fois complété, voici un exemple de disque solaire, réalisé sur la ville de Lyon : source : « *Clefs du CEA* » n°50 - 2004

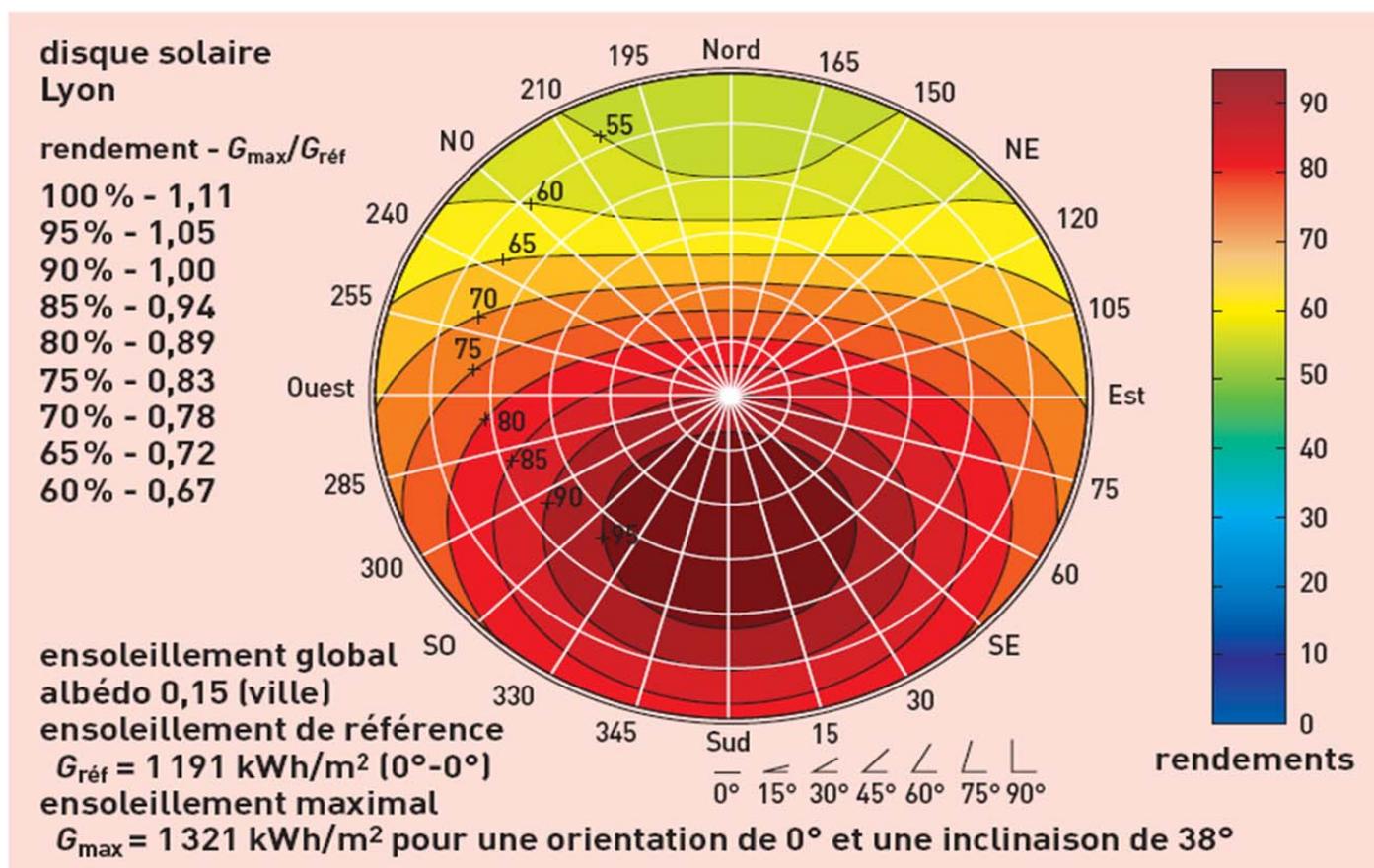


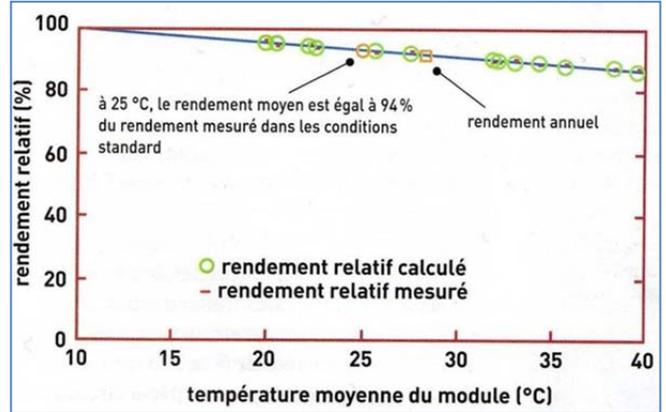
Diagramme simplifié, pour la ville de Lyon, illustrant le compromis entre performance et intégration d'un générateur photovoltaïque en fonction de son inclinaison et de son orientation. Il met en évidence, par rapport au maximum théorique (sud -38°), la décroissance des rendements liés à une orientation et une inclinaison non optimales.

## 9- Influences sur le **rendement relatif** d'un panneau solaire:

### A-Mise en évidence de l'influence de la température des panneaux solaires sur le rendement :



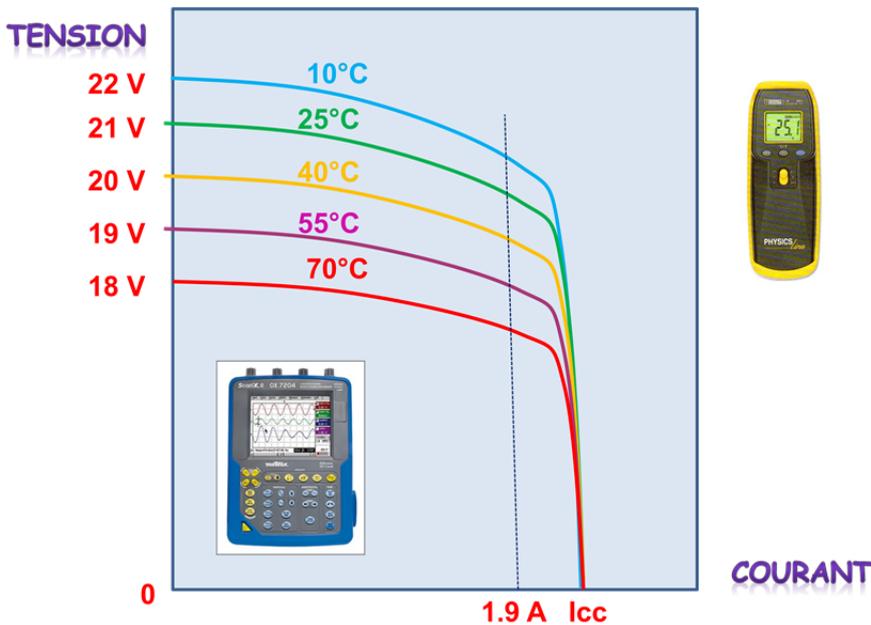
source : « Clefs du CEA » n°50 - 2004



Comme tout générateur, la résistance interne est proportionnelle à l'augmentation de température :

Conséquences :

Le rendement décroît de 0.5% / °C et la tension de 2.5 mV / °C.



**NB :** Comme la température moyenne d'un module dépend de la température extérieure et du vent moyen du lieu considéré, il apparaît que pour un même ensoleillement, le rendement *s'accroît du Sud au Nord..!*, et de façon générale, dans les régions ventées !..

Mise en évidence, par la mesure, de la chute tension en fonction de la température des panneaux solaires

PROPRIÉTÉS THERMIQUES	
Coefficient de température en f (P)	-0,46%/K
Coefficient de température en f (U)	-0,36%/K
Coefficient de température en f (I)	0,03%/K

Diminution (en %) des caractéristiques électriques des panneaux solaires, en fonction de la température (°K)  
(Fiche technique : SOLARWATT® M30-36)

## B-Mise en évidence de l'influence du masque d'ombre sur le rendement :



Les générateurs photovoltaïques sont composés d'une association de plusieurs groupements de 30 à 40 cellules élémentaires. ( $u, i$ )

La caractéristique électrique globale courant /tension d'un générateur se déduit de la combinaison de ces groupements.

Ces groupements sont reliés en série, tous traversés par le même courant  $i$ , et la tension résultante est :  $U = \sum u$  ( $U$  : tension à vide du panneau solaire)

Tous ces groupements sont reliés en parallèle, pour donner le courant nominal  $I$  du panneau solaire ( $I = \sum i$ )



Câblage série/parallèle de modules photovoltaïques avec leurs diodes de protection.

Effet des diodes de protection sur la caractéristique U/I d'un panneau, avec un masque d'ombre,

**En revanche, en cas de déséquilibre, le panneau perd ses caractéristiques U et I.**

C'est le cas en cas dans certaines conditions d'éclairement non uniforme (par exemple, le masque d'ombre causé par une feuille d'arbre)

Une cellule du groupement série peut être soumise à la tension des autres cellules appliquée en inverse, et ainsi fonctionner en récepteur en dissipant une puissance thermique qui peut la détruire !

Pour cela, on dispose une diode dite « **by-pass** »  $D_p$  aux bornes d'un groupement de cellules élémentaires.

L'amorçage spontané de cette diode dès l'apparition d'une tension inverse limite cette dernière à sa tension de seuil.

Une diode « **anti retour** »  $D_r$  assure la protection des voies en parallèle contre les courants inverses.

### Autres facteurs influents sur le rendement relatif:

Outre les contraintes étudiées précédemment, signalons que le rendement dépend aussi de l'irradiation solaire ( $w/m^2$ ) qui dépend de:

- La latitude du lieu et son degré de pollution
- de la période de l'année
- de l'instant considéré dans la journée
- de la nature des couches nuageuses

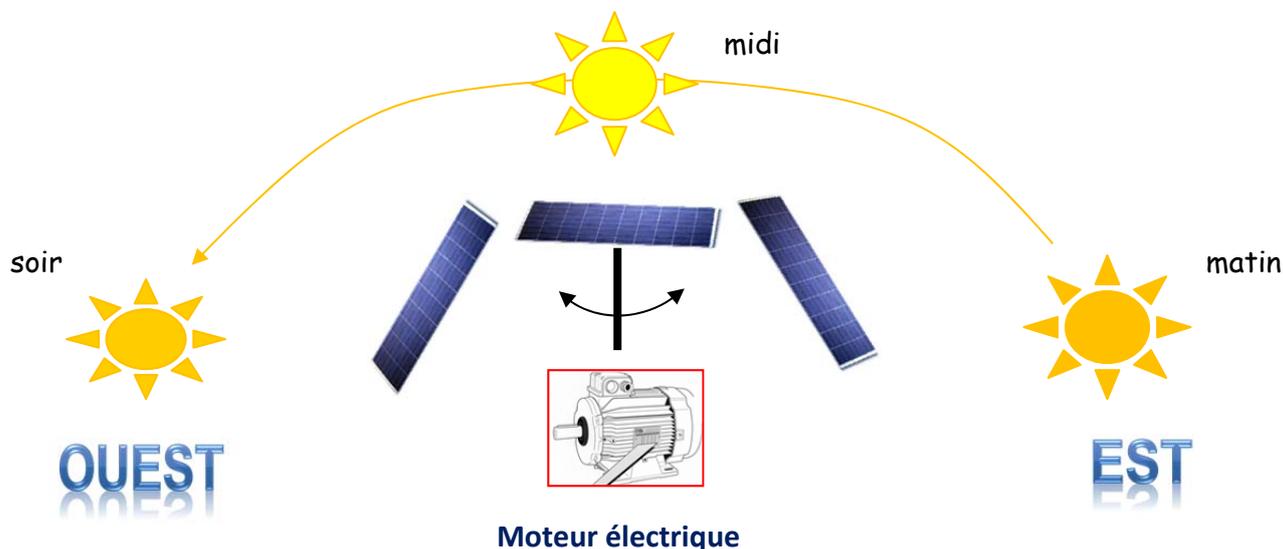
## 10- Conclusions :

## 10- Conclusions :

Exemple de variation de la puissance d'un panneau solaire en fonction des variations de l'irradiation solaire aléatoire.

### 1-L'orientation :

Pour optimiser l'utilisation des modules tout au long de la journée et de l'année, l'idéal est d'asservir *l'orientation et l'inclinaison* des panneaux solaires sur la course du soleil: (*moteur électrique asservi à un capteur solaire*)



### 2-Le mode de pose :

Il apparaît clairement de pouvoir accéder facilement et en toutes saisons sur son installation, afin de *nettoyer fréquemment* la surface des panneaux contre les feuilles, la neige, la poussière,....mais aussi de pouvoir refroidir les panneaux afin d'éviter une baisse de rendement

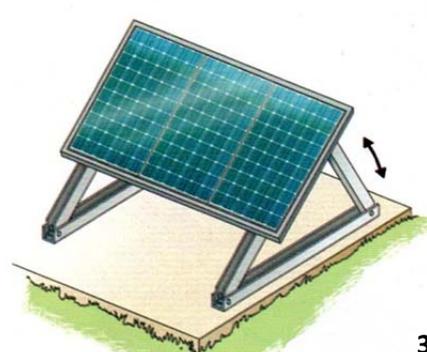
Pour répondre à ces critères, la pose idéale est en toit terrasse (1), sur pignon (2), voir posée directement au sol (3)!



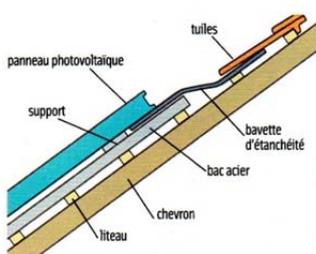
1



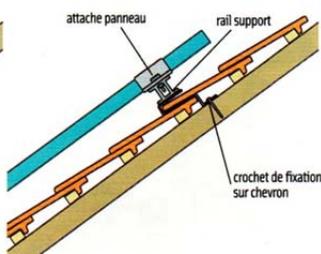
2



3



**Pose intégrée à la toiture :**  
Echauffement des panneaux,  
baisse du rendement



**Pose surimposée :**  
Circulation d'air sous les  
panneaux : pas d'échauffement  
Rendement maximum !

Type d'installation		Tarifs en vigueur pour les installations dont la demande complète de raccordement a été envoyée :			
		entre le 1er février 2013 et le 31 mars 2013	entre le 1er avril 2013 et le 30 juin 2013	entre le 1er juillet 2013 et le 30 septembre 2013	entre le 1er octobre 2013 et le 31 décembre 2013
Intégrée au bâti <sup>1</sup>	[0-9kW]	31,59 c€/kWh	30,77 c€/kWh	29,69 c€/kWh	29,10 c€/kWh
Intégrée simplifiée au bâti <sup>2</sup>	[0-36kW]	18,17 c€/kWh	16,81 c€/kWh	15,21 c€/kWh	14,54 c€/kWh
	[36-100kW]	17,27 c€/kWh	15,97 c€/kWh	14,45 c€/kWh	13,81 c€/kWh
Tout type d'installation	[0-12MW]	8,18 c€/kWh	7,36 c€/kWh	7,76 c€/kWh	7,56 c€/kWh

<sup>1</sup>Une installation photovoltaïque sur toiture respecte les critères d'intégration au bâti (IAB)