



## Modes de Financement des projets solaires en Tunisie



Les installations Photovoltaïques Raccordées au réseau

Ghada Bel Hadj Ali

Tunis, le 27 Octobre 2014



# Ce qu'il faut savoir sur l'énergie Photovoltaïque





# Sommaire

- **L'Énergie solaire**
- **L'Énergie solaire photovoltaïque**
- **Technologies des modules photovoltaïques**
- **L'effet photovoltaïque**
- **Composition des installations PV raccordées au réseau**
- **Maintenance et entretien**
- **Calcul de la production annuelle**



# L'énergie Solaire



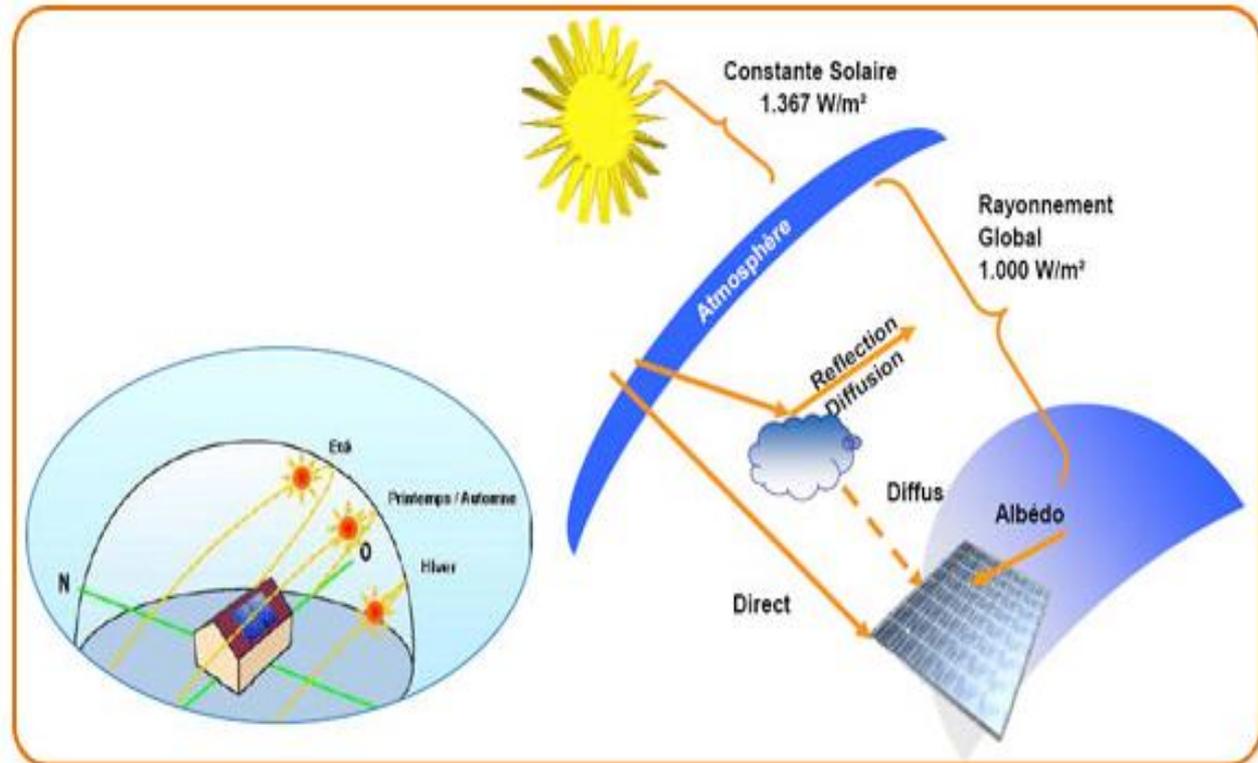
## Les composantes du rayonnement solaire

### Irradiation hors Atmosphère

- Dépend de la distance qui sépare la Terre & le Soleil
- Constante Solaire :  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$

### Irradiation sur la surface terrestre

- Rayonnement Global :  $E_G = 1000 \text{ W/m}^2$
- Dépend du Lieu, Heure, Saison, Météo, Altitude.





**Normalisation** : Les conditions standards de qualification des modules photovoltaïques sont : un spectre AM1.5 (masse d'air) sous un éclairement de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{C}$ .

Les constructeurs de panneaux solaires spécifient les performances de leur matériel dans les conditions normalisées citées ci-dessus (S.T.C. : Standard Test Conditions).



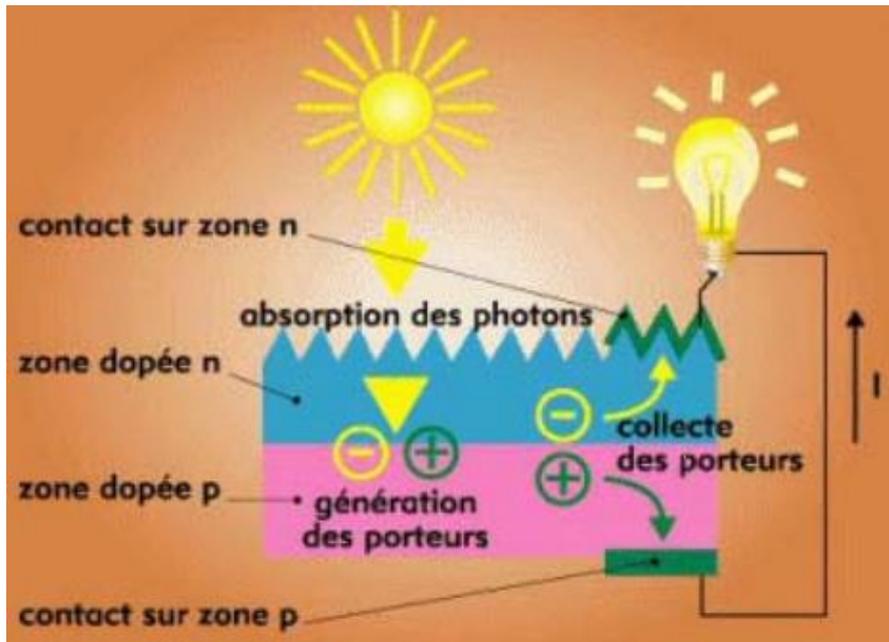
# L'énergie Solaire Photovoltaïque



# L'effet photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de Silicium (matériau semi-conducteur) :

- Une couche dopée avec du Bore qui possède moins d'électrons que le Silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P)
- Une couche dopée avec du Phosphore qui possède plus d'électrons que le Silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).



Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique est ainsi créée.



La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.



Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques.



Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque.



# Technologies des modules photovoltaïques



Silicium poly-cristallin



Silicium monocristallin



Silicium amorphe



## Les technologies des modules photovoltaïques

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium)

### Cellules monocristallines en silicium

- élaborées à partir d'un même bloc de cristal : long et coûteux (exigeant en énergie !)
- apparence : couleur « bleu uniforme »
- durée de vie : environ 40 ans
- rendement : 12 à 18% (meilleur que les cellules polycristallines)





# Les technologies des modules photovoltaïque

## Cellules polycristallines en silicium

- à partir d'un bloc sous forme de cristaux multiples (visibles à l'œil nu)
- coût de production plus faible que les cellules monocristallines
- peu de déchets et moins d'énergie (2 à 3 fois moins)
- durée de vie : environ 30 ans
- rendement : 11 à 15%
- meilleur rapport performances/prix





# Les technologies des modules photovoltaïques

## Cellules amorphes en silicium

- coût de production le plus faible
- « feuilles » souples de cellules
- grandes surfaces à faible coût
- rendement : 6 à 8%

## Autres cellules amorphes :

- CIS (cuivre-indium-sélénium) ou CdTe (tellure de cadmium)
- meilleures à faible lumière et en temp.
- rendement : 12%





# Le Principe PV par Jamy Gourmaud <http://www.youtube.com/watch?v=-T3ld4dysb0>



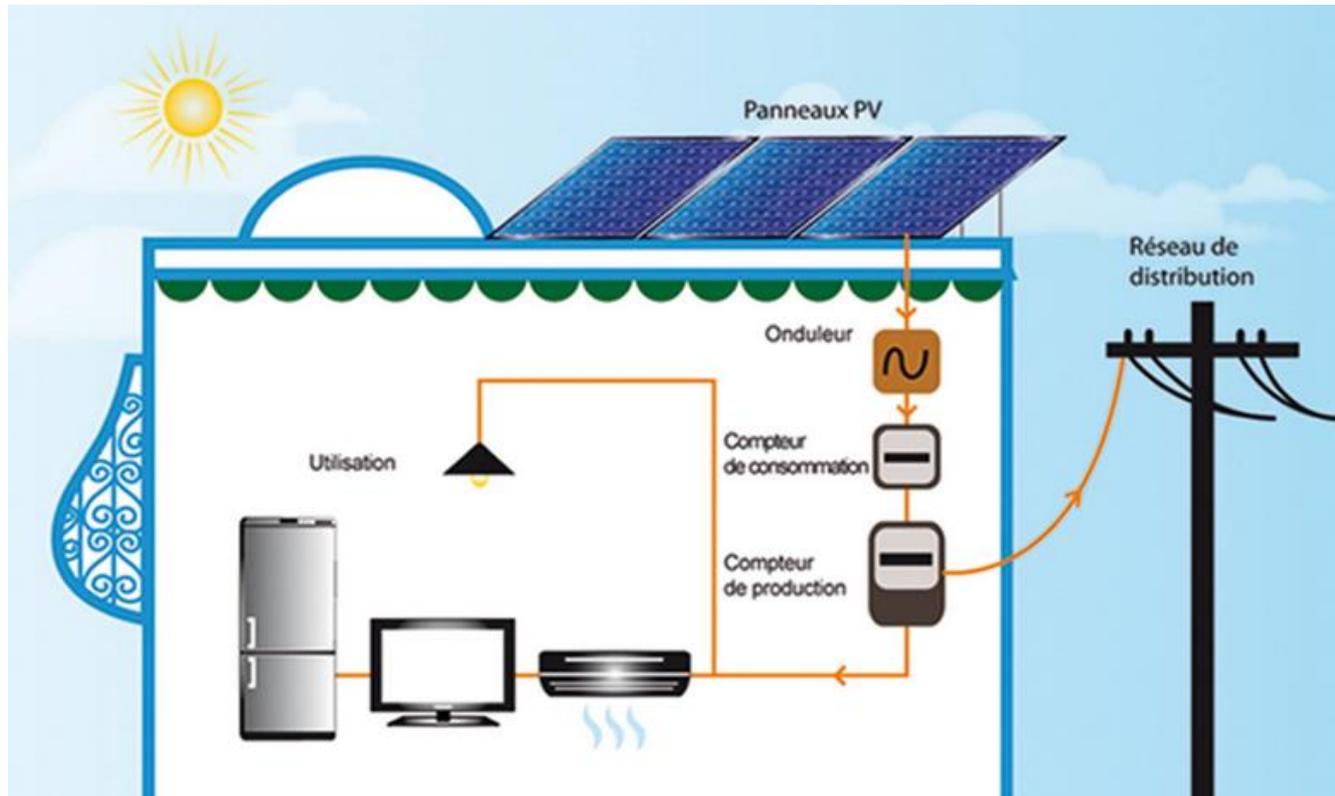


# Les installations Photovoltaïques raccordées au réseau



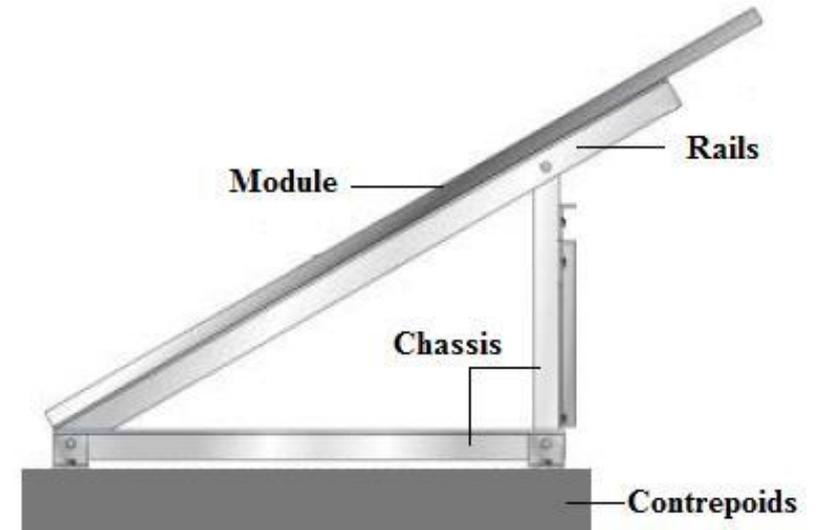


# Composition des installations PV raccordées au réseau





## Champ Photovoltaïque

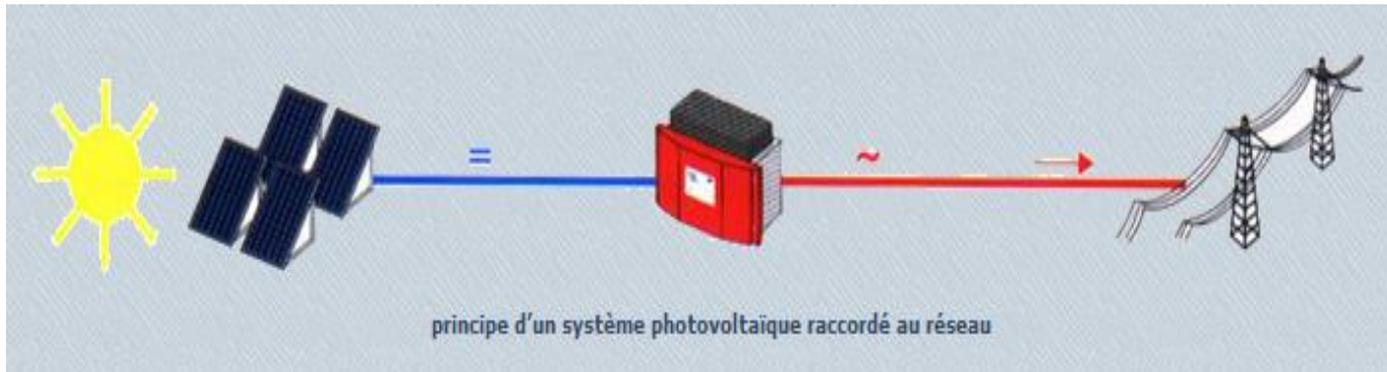


Les systèmes de fixation sont des structures, aluminium ou en acier galvaniser, conçus d'une manière à adapter l'orientation et l'inclinaison optimale des panneaux photovoltaïque.



## Onduleur Photovoltaïque

- Les fonctions de l'[onduleur](#) sont de convertir et d'acheminer l'électricité produite avec un maximum d'efficacité et en toute sécurité vers le réseau électrique



- L'onduleur convertit le [courant continu](#) des modules photovoltaïques en [courant alternatif](#) identique à celui du réseau. Il est caractérisé par un rendement particulier, rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, et qui dépend de sa capacité à s'adapter aux caractéristiques du champ photovoltaïque.



## Protection et Câblage



Coffret de protection DC et AC



Connecteurs PV MC4



Câbles solaires DC

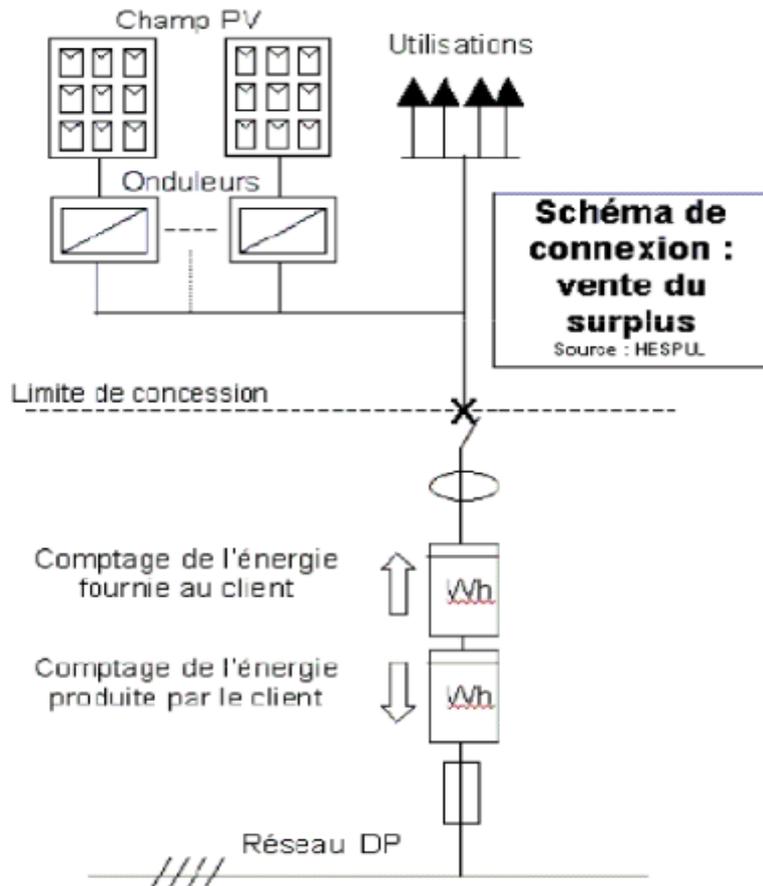


## Onduleur d'injection + Coffret de protection DC et AC





# Comptage



L'injection sur le réseau STEG se fait à travers le compteur STEG. A l'étape de mise en service, l'ancien compteur est remplacé par un nouveau compteur STEG de type bidirectionnel.

Le client consomme une partie de sa production et injecte au réseau le solde "Production–Consommation" lorsque la Production est supérieure à la Consommation.

Et soutire du réseau le solde "Consommation–Production" lorsque la consommation est supérieure à la production.



# Calcul de la production annuelle



## Calcul de la production annuelle

$$E_{pv} = H_{horizontal} \cdot F_t \cdot P_c \cdot R_p$$

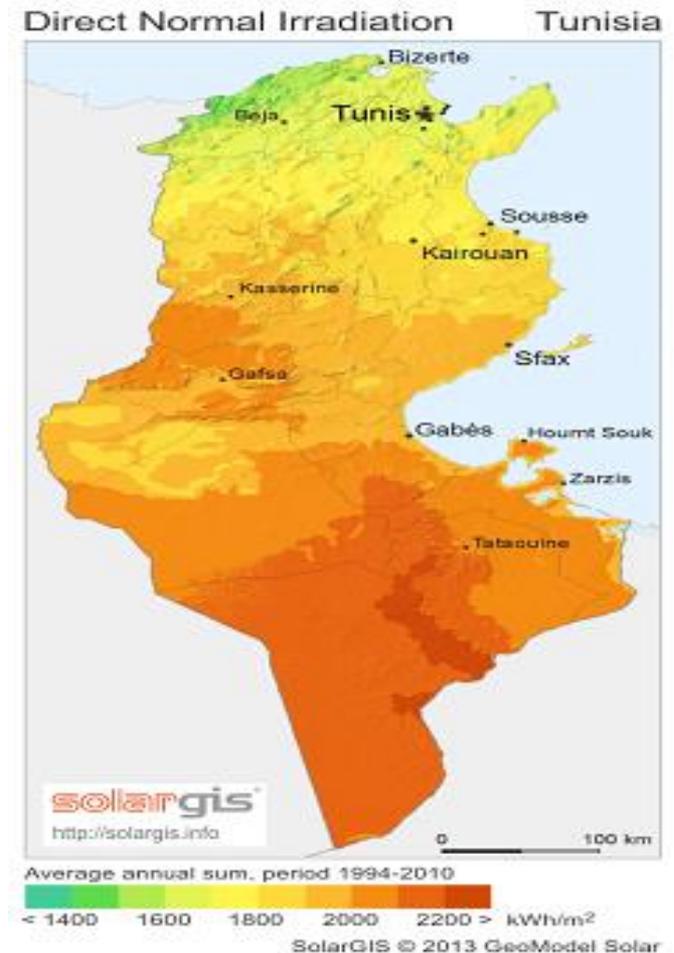
Les différents facteurs intervenant dans cette formule sont :

- H horizontal : l'irradiation annuelle exprimé en kWh/m<sup>2</sup>,
- FT : facteur de transposition ou de correction, sans unité mais dépendant de l'orientation et de l'inclinaison des modules, permet d'évaluer l'énergie incidente annuelle dans le plan des modules.
- Pc : Puissance crête du système photovoltaïque exprimée en kWc
- Rp : Indice de performance ou ratio de performance qui dépend principalement du type de mise en œuvre des modules et de la qualité du dimensionnement des composants du système.



## Calcul de la production annuelle

La Tunisie dispose d'un bon gisement solaire, avec un ensoleillement annuel moyen qui varie de 1500 à 1900 kWh/m<sup>2</sup> en allant du nord vers le sud. L'institut National de la Météorologie (INM) dispose d'une carte détaillée d'ensoleillement couvrant l'ensemble du territoire. Le nombre heures d'ensoleillement varie de 2700 à 3600 heures par an, comme le montre la carte suivante :





## Calcul de la production annuelle

Facteurs de correction applicables à la production PV

	Module à l'horizontal	Inclinaison de 35°	Inclinaison de 60°	Module à la verticale
Orientation Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Orientation Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
<b>Orientation Sud</b>	0,93	<b>1,00</b>	0,91	0,68
Orientation Sud-Ouest	0,93	0,96	0,88	0,66
Orientation Ouest	0,93	0,90	0,78	0,55

**Conditions optimales : Orientation Sud, inclinaison 35°**



- **Ratio de performance** :La production photovoltaïque dépend de l'irradiation reçue, la puissance crête et le rendement du système appelé aussi ratio de performance PR. L'indice de performance, appelé aussi facteur de qualité, est une valeur indépendante mesurant la qualité d'une installation photovoltaïque et désigne le rapport entre le rendement réel et le rendement théorique de l'installation photovoltaïque. Le ratio de performance d'un système fonctionnant de manière satisfaisante se situe autour de 0,8.



**Exemples:  
Installation PV raccordée au réseau de puissance 3 kWc:  
14 x Panneau 220Wc Monocristallin**





## Installation PV raccordée au réseau de puissance 1,2 KWc: 6 panneaux de puissance 200Wc Monocristallin





# MERCI POUR VOTRE ATTENTION