

**Initiation à l'énergie photovoltaïque
(pour l'aéromodélisme)**

Cellules Photovoltaïques: aspect théorique

JAN 2018

**V01
17/01/2018**

Sommaire



Introduction

- Principe
- Types de CPV
- Caractéristiques électriques
- Annexes

Introduction

- Dans ce document on propose une familiarisation avec les cellules photovoltaïques (CPV).
- Ainsi, on propose de **comprendre le phénomène** de génération de l'électricité grâce à la radiation solaire.
- Puis on verra les **différents types** de cellules.
- Enfin, on abordera **les caractéristiques électriques**.



Sommaire

- Introduction



Principe

- Types de CPV
- Caractéristiques électriques
- Annexes

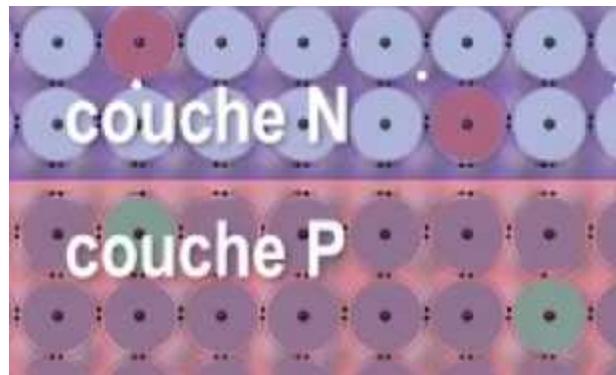
Le silicium

- Le silicium (grand frère du carbone → 4^e sur la dernière couche) est l'élément principal utilisé pour la fabrication de cellules solaires PV.
- c'est un matériau semi-conducteur extrait du sable traité convenablement (purifié jusqu'à plus de 99,999 %) pour qu'il prend une forme d'une couche mince.



Le dôlepage

- La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de Silicium :
 - 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).

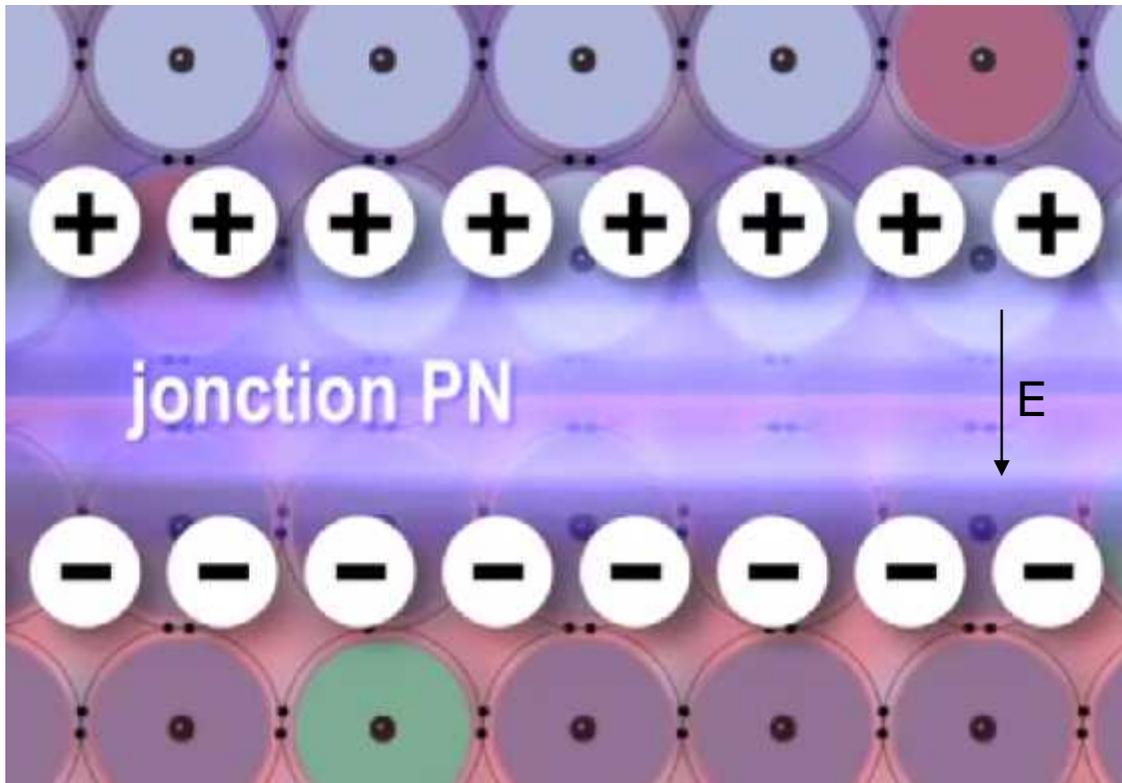


Couche N (négative) dopée avec du Phosphore (5 électrons) sur la dernière couche.
Un électron est disponible pour une éventuelle circulation du courant.

Couche P (positive) dopée avec du Bore (3 électrons) sur la dernière couche.
Un trou est disponible pour une éventuelle circulation du courant.

Jonction PN

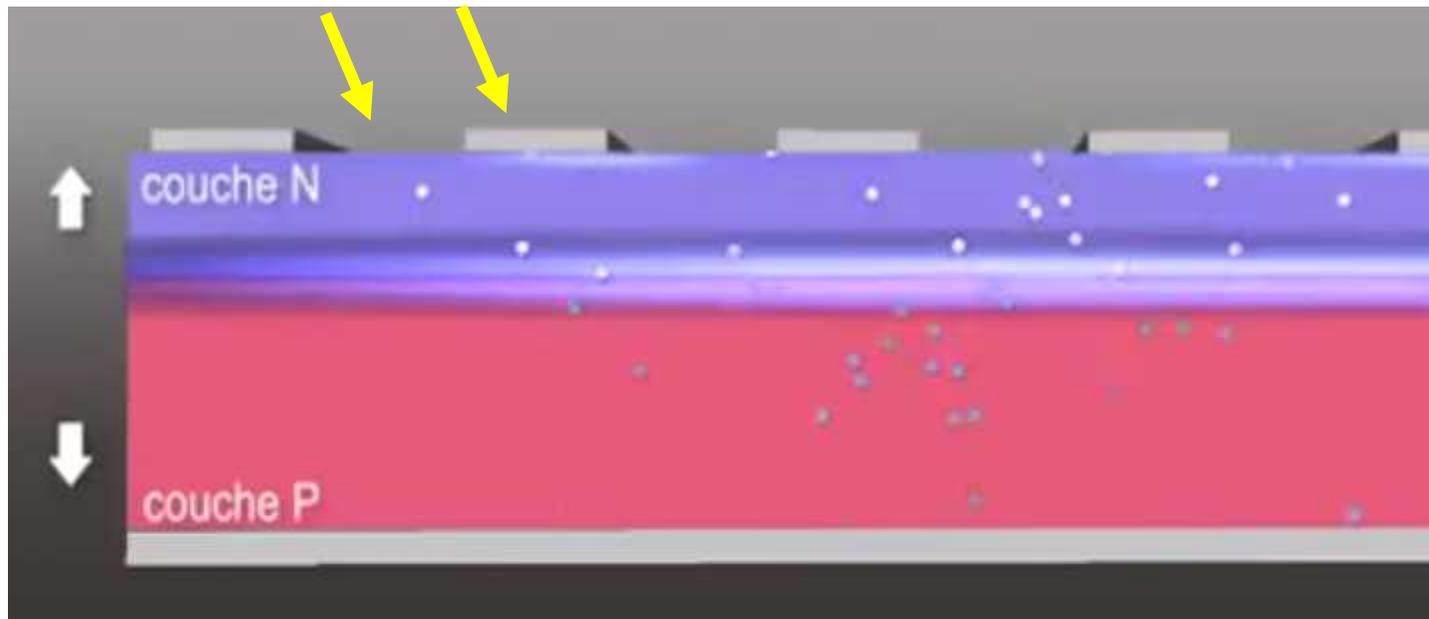
- La diffusion des électrons génère une zone (+) et une zone (-).



Il se forme un champ électrique est une zone appelée Jonction PN

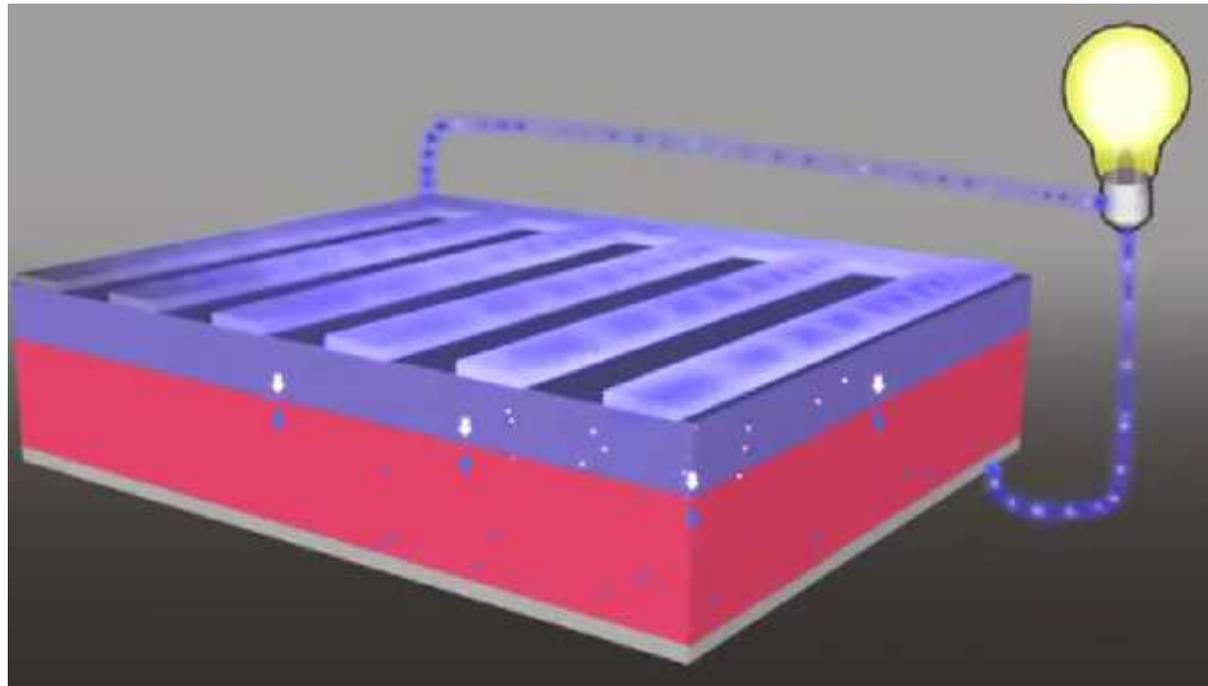
Effet des photons

- Les photons arrachent les électrons (-) qui laissent des trous (+). Beaucoup d'électrons / trous se combinent instantanément (énergie perdue).
- Mais, si l'électron(-)/trou(+) sont au voisinage de la jonction PN, le champ de la jonction empêche les deux de se recombiner.



Circulation du courant

- L'électron (-) est obligé de « faire le tour » pour se combiner de nouveau avec le trou (+).
- Puis l'électron arrive dans la jonction P/N où le champ le repousse de nouveau côté (-). La boucle est bouclée!



Sommaire

- Introduction
- Principe



Types de CPV

- Caractéristiques électriques
- Annexes

Cellules monocristalines

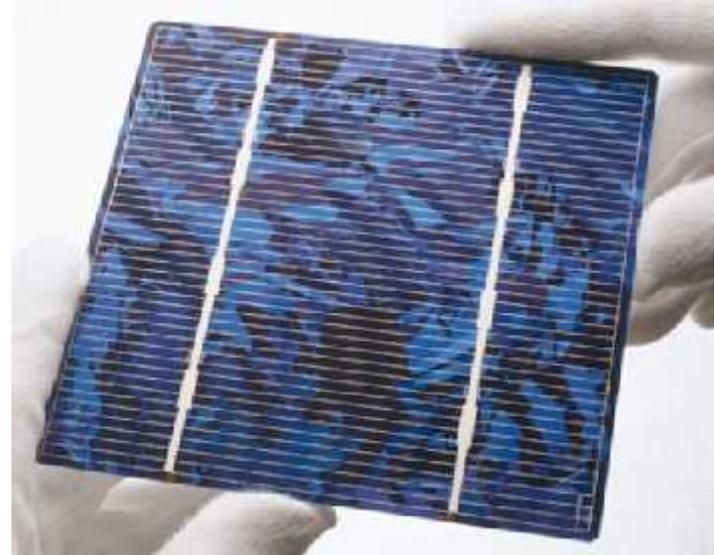
- Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant un seul cristal qu'on découpe en fines tranches qui donneront les cellules. Elles sont en général d'un bleu uniforme.
- Avantages :
 - Très bon rendement (environ 150 Wc/m^2)*
 - Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Inconvénients :
 - Coût élevé
 - Rendement faible sous un faible éclairement



* Wc: voir caractéristiques électriques

Cellules polycristallines:

- Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Les cellules sont de couleur bleu non uniforme.
- On distingue des motifs créés par les différents cristaux.
- Avantages :
 - Meilleur marché que le monocristallin
 - Bon rendement (environ 100 Wc/m²)
 - Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Inconvénients :
 - Rendement faible sous un faible éclaircissement.



Cellules amorphes

- Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre, du plastique souple ou du métal. La cellule est gris très foncé ou marron.
- C'est la cellule des calculatrices et des montres dites solaires.
- Avantages :
 - Bon marché par rapport aux autres types de cellules
 - Moins sensible aux températures élevées
- Inconvénients :
 - Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m^2)
 - les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses
 - Durée de vie courte (+/- 10)



Sommaire

- Introduction
- Principe
- Types de CPV

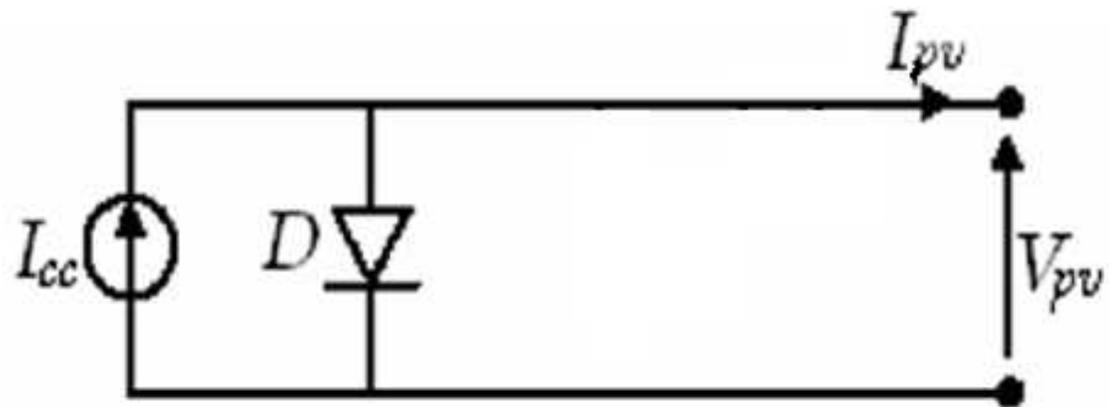
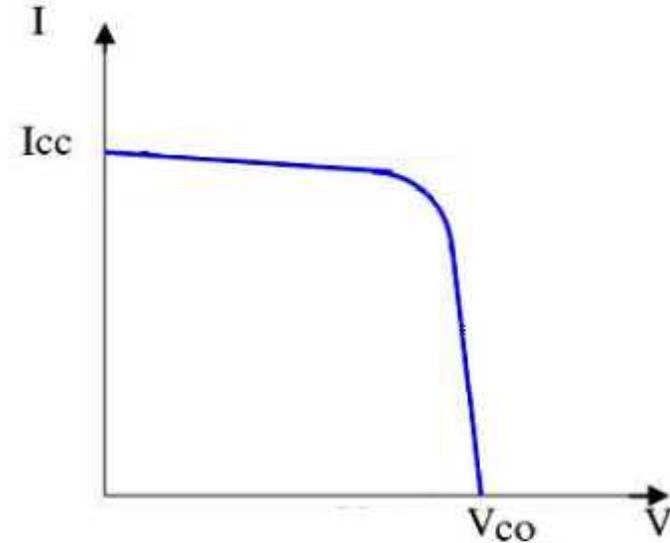


Caractéristiques électriques

- Annexes

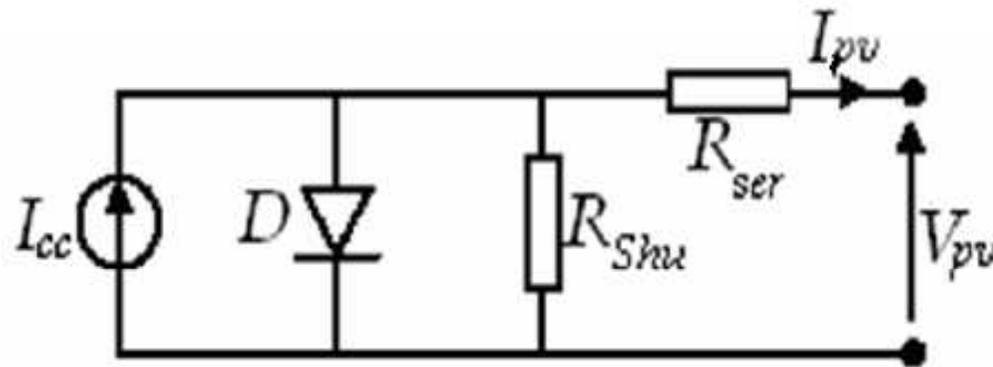
Caractéristique $I=f(V)$

- Pour une tension nulle on a un I_{cc} : **courant de court circuit**.
- Pour un circuit ouvert ($I=0$) on a une tension max: V_{co} (**tension de circuit ouvert**)
- On peut schématiser une cellule idéale par un générateur de courant et une diode (reflète la caractéristique semi-conducteur de la cellule).



Cellule réelle

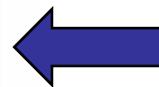
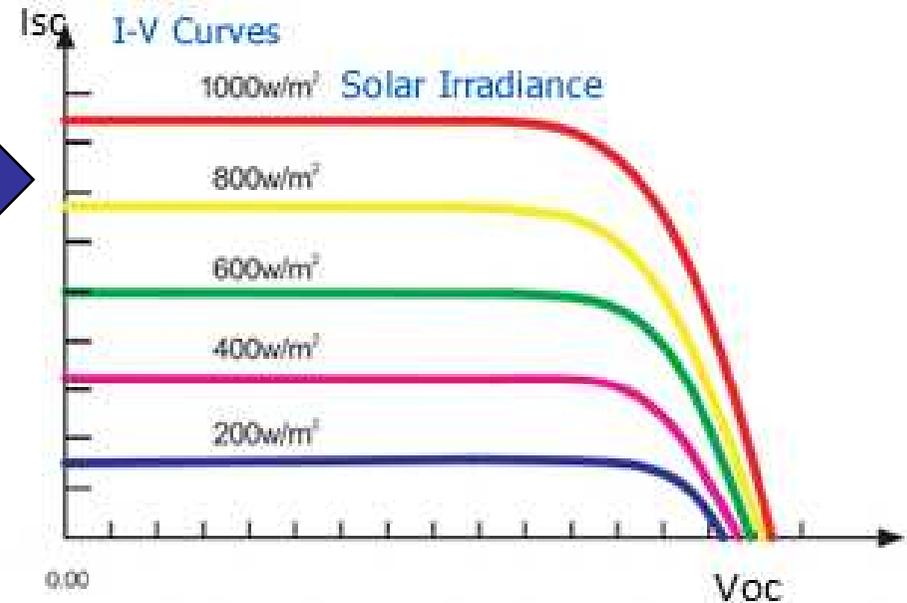
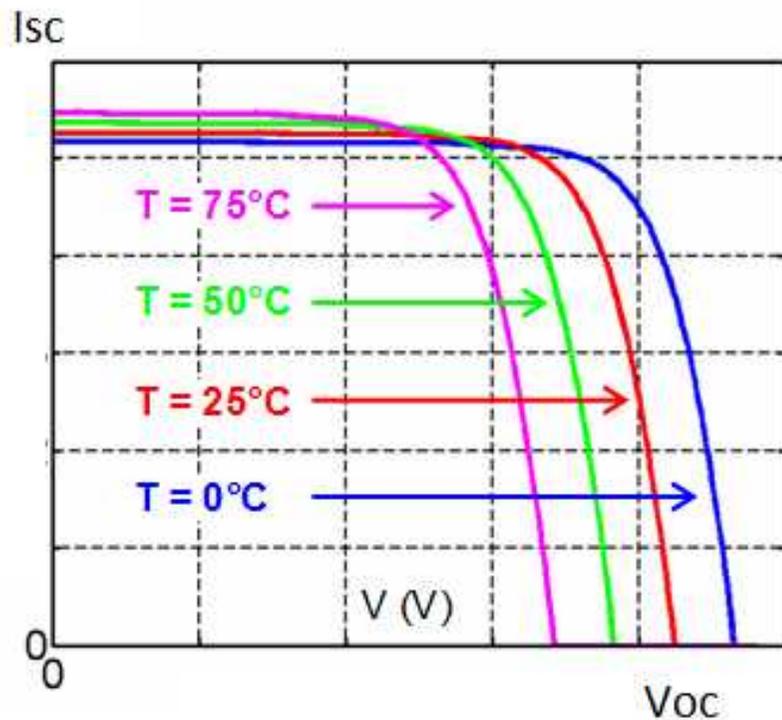
- Dans la réalité, il faut ajouter deux résistances:



- **Rs: résistance interne** de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles;
- **Rshu: résistance shunt**. Elle est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

Effet radiation / température

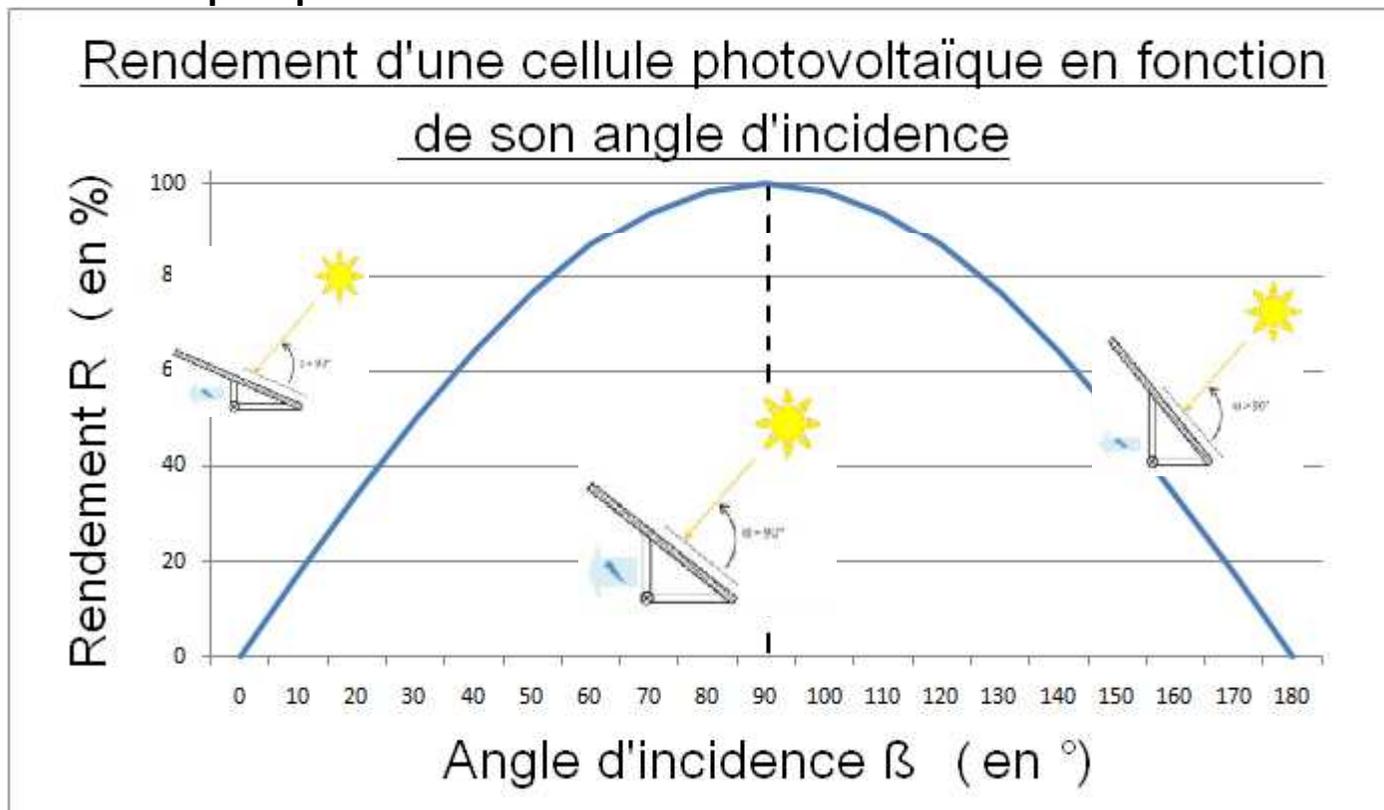
- Le courant dépend énormément de la puissance de la radiation solaire.



- Le voltage varie inversement à la température.

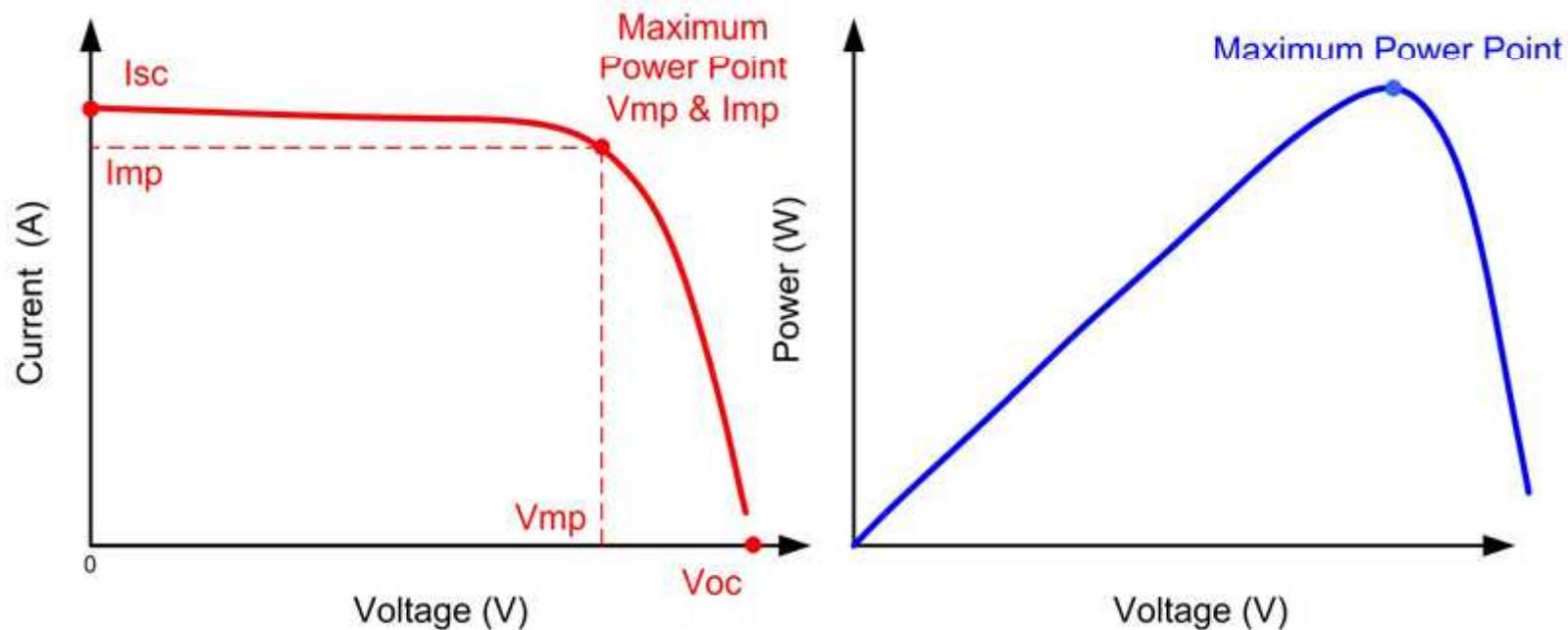
Effet de l'incidence du rayonnement

- On raisonne par rapport à un rayonnement optimal, c.-à-d. à incidence perpendiculaire à la cellule.



Point de Puissance Max / MPP

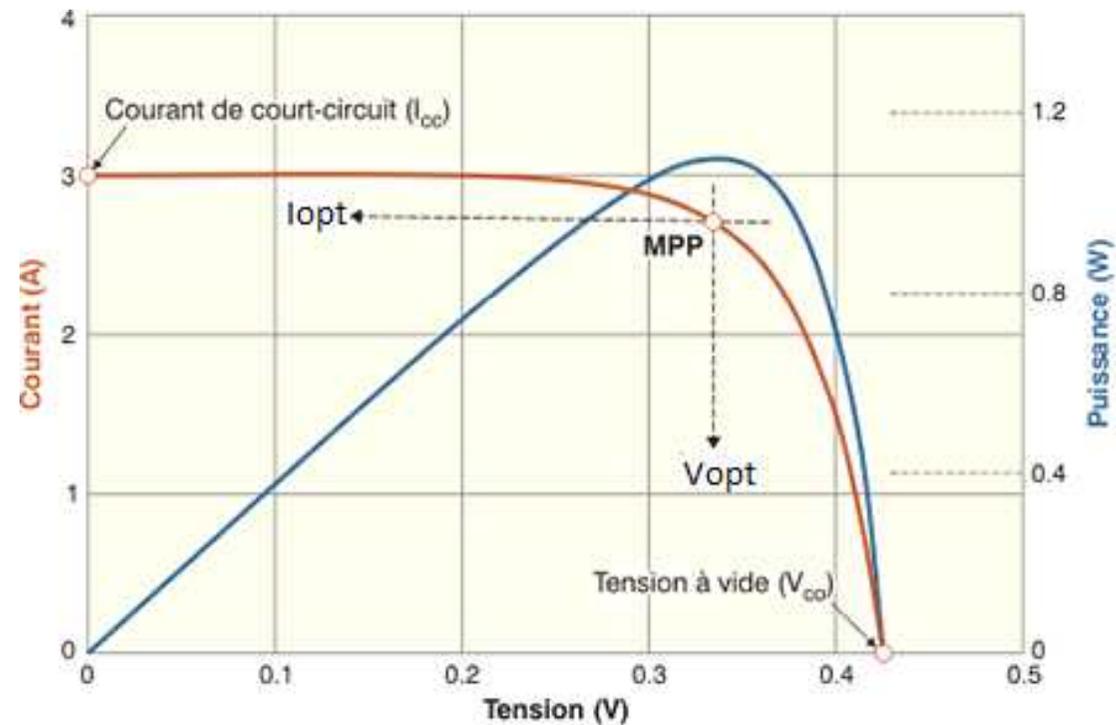
- On peut tracer la puissance $P=IV$ en fonction de V .
On y trouve un maximum appelé MPP:



Rendement énergétique

- C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{P_{inc}}$$



Facteur de forme

- On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$ et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale).
- Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de **0.7 pour les cellules performantes** ; et diminue avec la température.
- Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_{ser} et R_{shu} . il est défini par :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} V_{co}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{I_{cc} V_{co}}$$

Watt crête: W_c

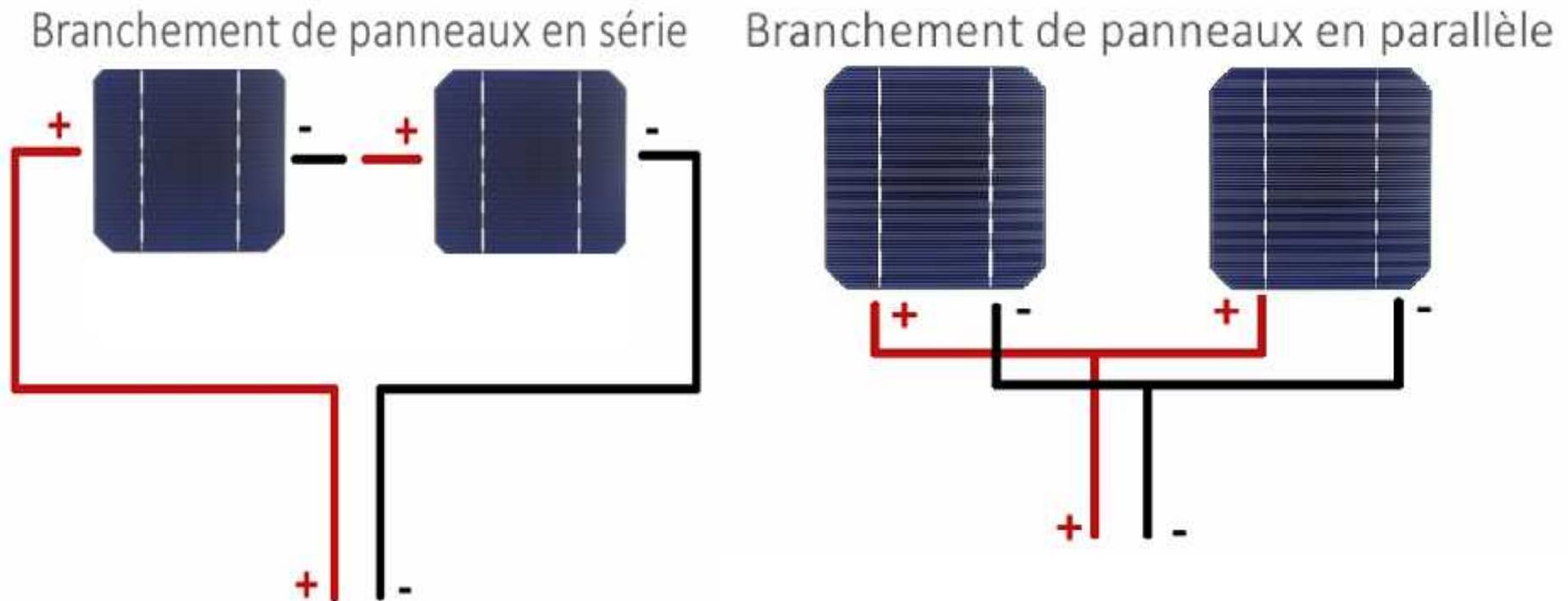
- Watt crête W_c caractérise la puissance d'un panneau photovoltaïque, un Watt crête correspond à la puissance d'une cellule monocristalline **100 mm x 100 mm**.



- La puissance crête représente la puissance délivrée par le panneau au point de puissance maximum (dans le diagramme Intensité/Tension) et pour une irradiation solaire de **1000 W/m^2** (avec un spectre standard) avec une cellule à **25°C**.
- La W_c varie de **150 W_c/m^2** (très bonne) à **100 W_c/m^2** (moyenne) et **60 W_c/m^2** (faible).

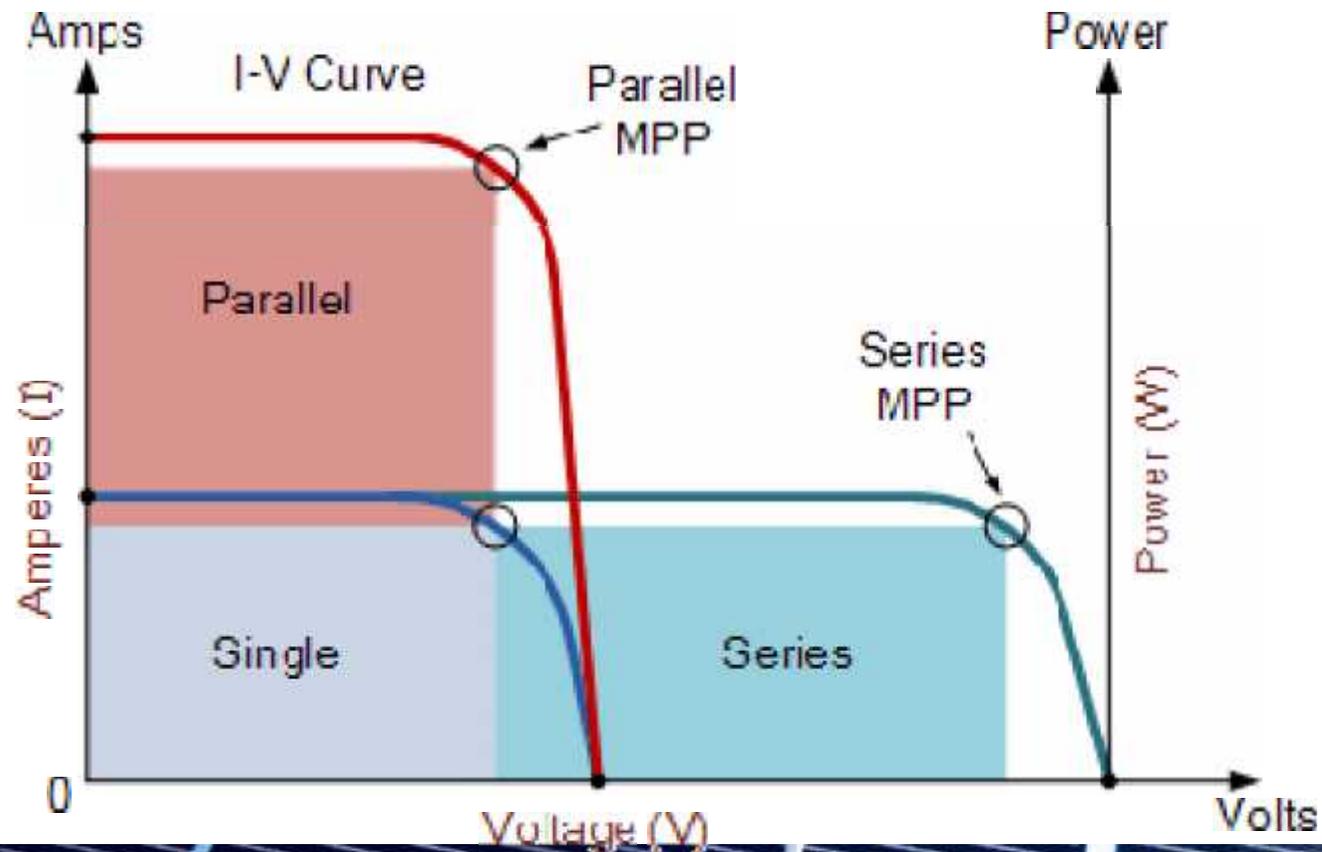
Montage série / parallèle

- Il est possible de monter les cellules solaires en série ou en parallèle:



Montage série / parallèle

- Montage série: pour monter en voltage,
- Montage parallèle: pour monter en courant.



Sommaire

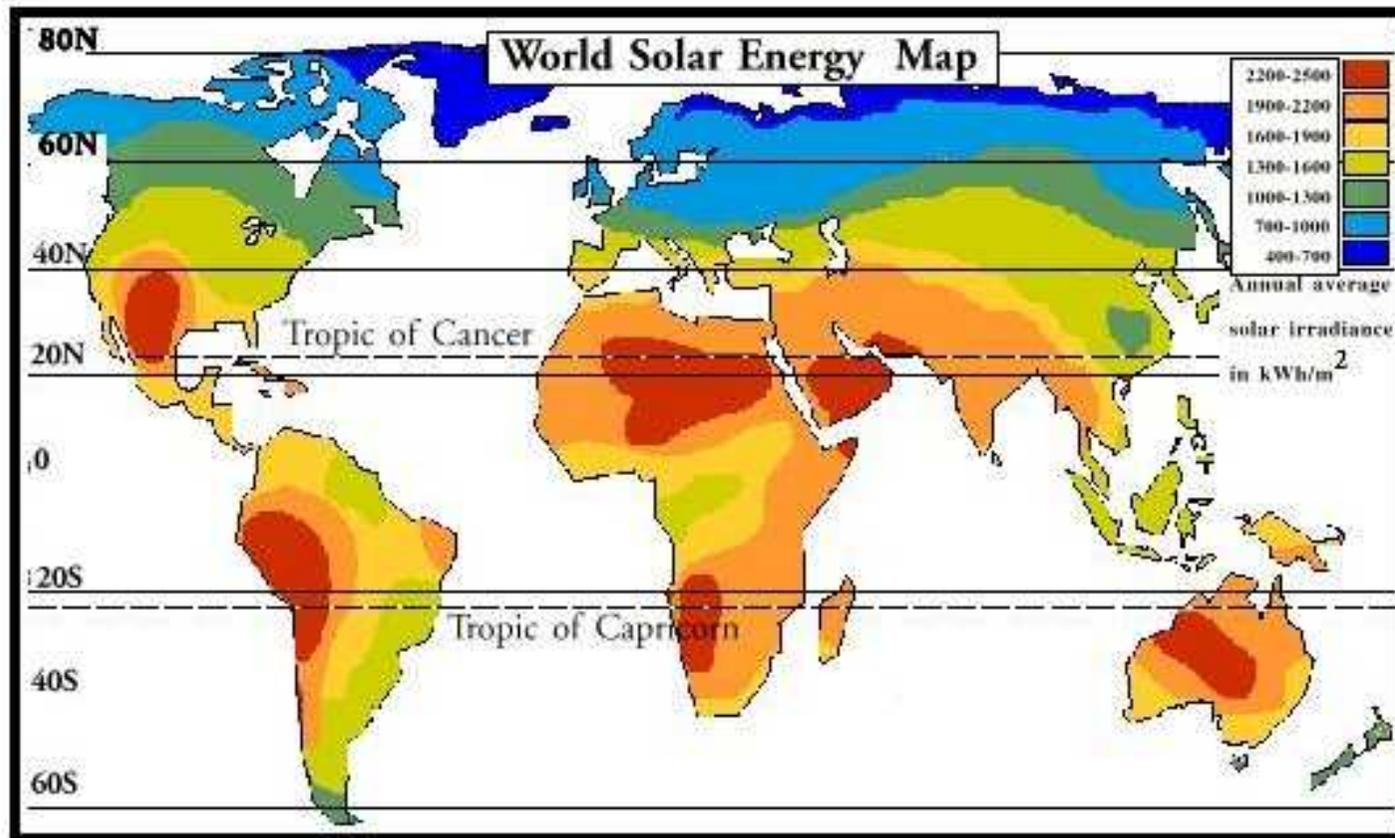
- Introduction
- Principe
- Types de CPV
- Caractéristiques électriques



Annexes

Pour info

- La rayonnement solaire dans un endroit dépend de la période de l'année et de sa position géographique.



Pour info

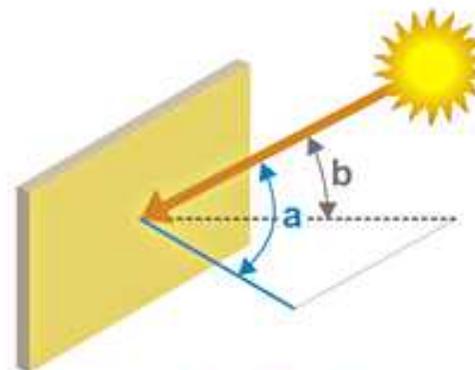
- Pour info:

Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence

Angle d'incidence
(degré)

Rayonnement intercepté
(pourcentage)

0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0



a : angle d'incidence
b : hauteur angulaire