

## INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 - Diode - photoélectrique - photovoltaïque.....</b>           | <b>2</b>  |
| <b>2 - Caractéristiques électriques.....</b>                       | <b>2</b>  |
| 2.1 - Caractéristique électrique des diodes.....                   | 2         |
| 2.2 - Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque..... | 3         |
| <b>3 - Réalisation d'un panneau photovoltaïque.....</b>            | <b>6</b>  |
| <b>4 - Performances d'un panneau photovoltaïque.....</b>           | <b>7</b>  |
| 4.1 - Influence des paramètres externes.....                       | 7         |
| 4.2 - Normes - Conditions de fonctionnement.....                   | 9         |
| 4.3 - Ordre de grandeur du rendement d'un panneau.....             | 9         |
| <b>5 - Exploitation d'une documentation technique.....</b>         | <b>10</b> |
| <b>6 - Onduleur.....</b>                                           | <b>11</b> |
| 6.1 - Association panneau et onduleur.....                         | 11        |
| 6.2 - Normes - Rendements d'un onduleur.....                       | 12        |
| 6.3 - Onduleur localisé ou onduleur déporté.....                   | 13        |
| 6.4 - Exploitation d'une documentation technique.....              | 14        |
| <b>7 - Références :.....</b>                                       | <b>14</b> |

## 1 - DIODE – PHOTOÉLECTRIQUE – PHOTOVOLTAÏQUE.

Une diode est un composant à base de Silicium en général. Le Silicium est un isolant, mais en le « dopant » il peut devenir conducteur (« passant ») à partir d'une certaine tension (« tension directe  $V_F$  »). Le courant ne peut circuler que dans un seul sens.

Une diode électroluminescente (DEL ou LED) est une diode capable d'émettre de la lumière lorsqu'elle est passante.

Une diode photovoltaïque est une diode capable de produire un courant et une tension lorsqu'elle est éclairée.

## 2 - CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES.

La caractéristique électrique d'un composant est une courbe qui donne les variations de son courant  $I$  en fonction de sa tension  $V$  : on la note «  $I(V)$  ».

### 2.1 - CARACTÉRISTIQUE ÉLECTRIQUE DES DIODES.

La caractéristique électrique est tracée en convention récepteur.

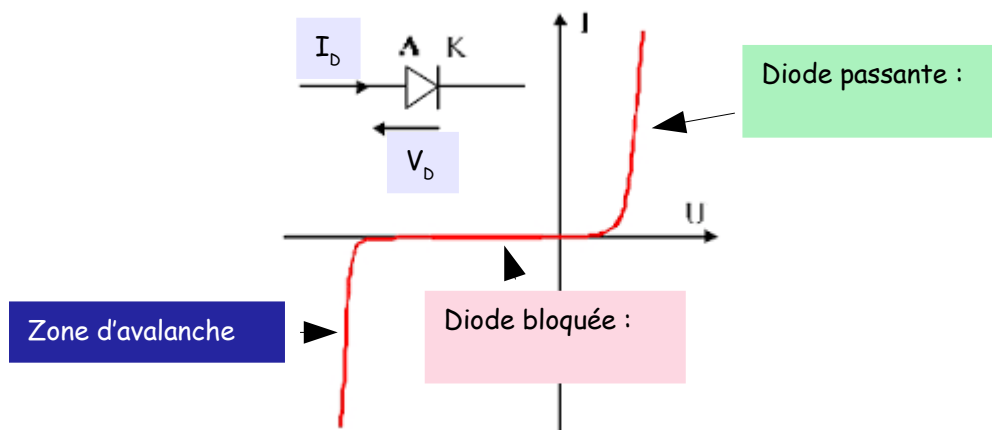


Figure 1: Caractéristique électrique d'une diode

Sur cette caractéristique, on voit 3 zones de fonctionnement :

- diode passante
- diode bloquée
- zone d'avalanche.

Question 1- Donner les caractéristiques de  $I_D$  et  $V_D$  lorsque la diode est passante :

Question 2- Donner les caractéristiques de  $I_D$  et  $V_D$  lorsque la diode est bloquée :

Dans la zone d'avalanche, la diode se met à conduire en « inverse ».

Pour une diode classique, on se trouve dans cette zone si on dépasse la tension  $V_{Max}$  inverse supportée par la diode : on « claque » la diode, la diode est morte.

Certaines diodes sont capables de fonctionner dans cette zone d'avalanche : diodes Schotky ou diodes Zéner.

Les diodes Zéner par exemple ont une tension inverse  $V_Z$  assez faible (quelques Volt) que l'on peut utiliser comme stabilisateur de tension dans les circuits électroniques.

## 2.2 - CARACTÉRISTIQUE ÉLECTRIQUE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.

Sur la caractéristique électrique d'une diode, en convention récepteur, on définit 4 quadrants de fonctionnement.

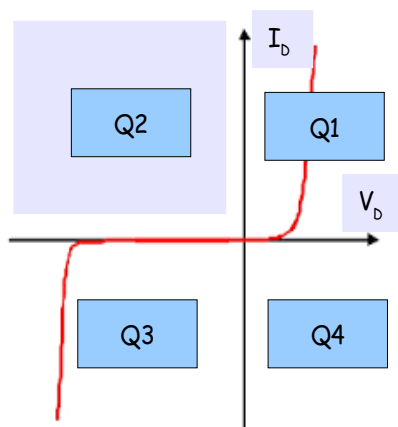


Figure 2: Définition des quadrants électriques

Question 3- Identifier les quadrants où une diode pourrait se comporter comme un récepteur :

Question 4- Identifier les quadrants où une diode pourrait se comporter comme un générateur :

Une diode électroluminescente émet de la lumière lorsqu'elle est passante.

Une diode photoélectrique produit du courant lorsqu'elle est éclairée, mais sa tension  $V_D$  reste positive ( tension de seuil  $V_D > 0,5V$  ).

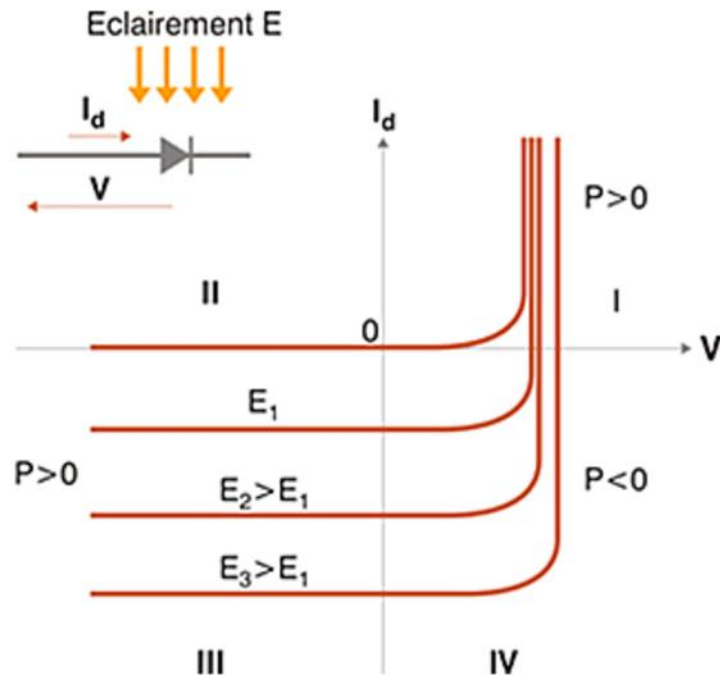
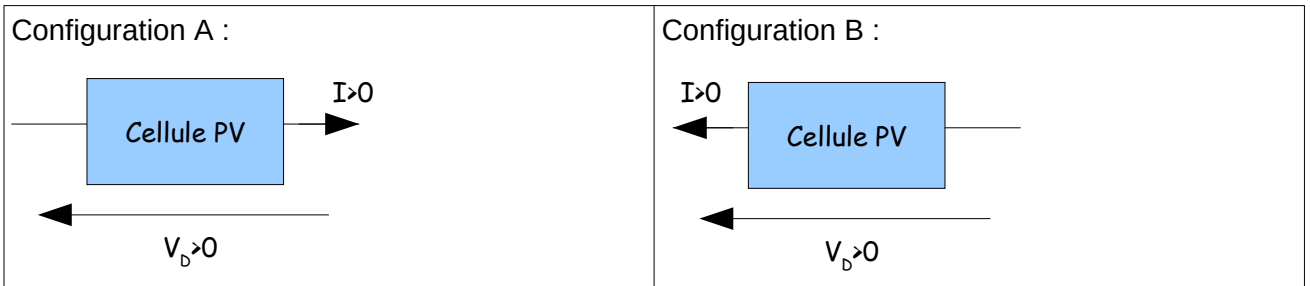


Figure 3: Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque en fonction de l'éclairement  $E$  – convention récepteur

Question 5- Identifier le quadrant dans lequel une diode photoélectrique produit un courant - justifier votre réponse :

Question 6- Est ce qu'une diode photoélectrique peut fonctionner comme une diode ?- justifier votre réponse. Préciser les conditions (courant et tension)

On a le choix entre 2 conventions d'orientation :



Question 7- Identifier la convention récepteur et la convention générateur.

Question 8- Pour un diode photoélectrique, quelle est la convention d'orientation la mieux adaptée ? – justifier votre réponse :

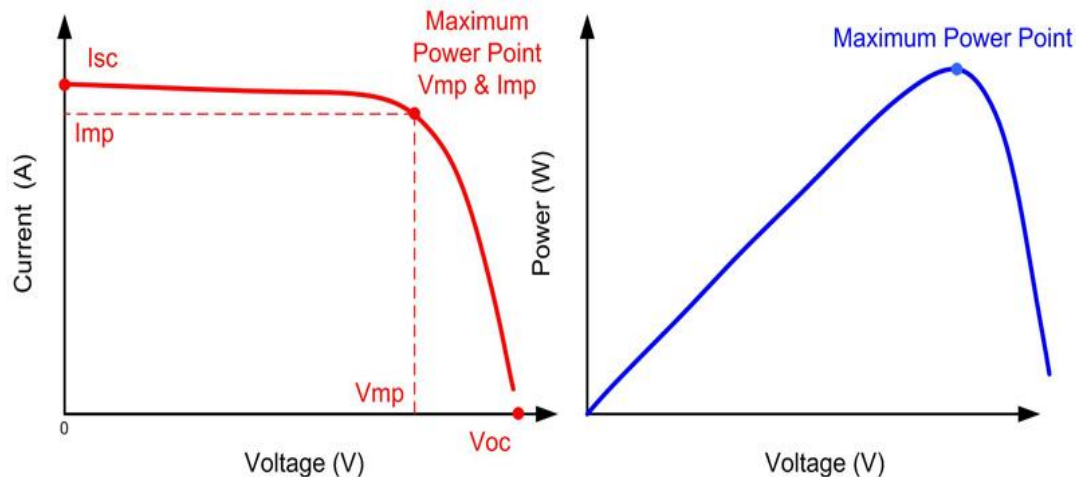


Figure 4: Caractéristiques électrique  $I(V)$  et de puissance  $P(V)$  d'une cellule PV - convention générateur

Question 9- Identifier avec quelle configuration la caractéristique électrique  $I(V)$  ci dessus a été tracée – justifier votre réponse :

Question 10- Expliquer comment tracer la caractéristique de puissance  $P(V)$  à partir de la caractéristique électrique  $I(V)$  :

Question 11- quelle particularité met en évidence la caractéristique de puissance ?

La caractéristique électrique met en évidence 3 points :

- le fonctionnement à vide ( $I=0$ ) caractérisé par sa tension  $V_o$  (tension de seuil)
- le fonctionnement en court circuit ( $V=0$ ) caractérisé par le courant  $I_{CC}$
- le point de fonctionnement à puissance maximale (« MPP ») caractérisé par  $V_{MPP}$  et  $I_{MPP}$

### 3 - RÉALISATION D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE.

Sur le site « energieplus-lesite.be », ils annoncent qu'une cellule photovoltaïque de 10cm\*10cm est capable de produire au maximum 3,5A et 0,5V (soit 2,1W crête produit).

Cette cellule comporte des diodes de tension de seuil 0,5V, et de courant de l'ordre de 10mA.

Question 12- Expliquer comment associer ces diodes pour fabriquer cette cellule – préciser le nombre de diodes nécessaires.

Sur la documentation du panneau photovoltaïque SS300-60M j'ai trouvé les informations suivantes :



#### Caractéristiques mécaniques

|                    |                                            |
|--------------------|--------------------------------------------|
| Type de cellule    | Mono-cristalline PERC156×156 mm (6 pouces) |
| Nombre de cellules | 60 (6×10)                                  |
| Dimensions         | 1650×992×35 mm (65,00×39,05×1,37 pouces)   |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Type de module                       | SS300-60M |
|                                      | STC       |
| Puissance maximale (Pmax)            | 300Wp     |
| Tension à puissance maximale (Vmp)   | 30.8V     |
| Intensité à puissance maximale (Imp) |           |
| Tension circuit ouvert (Voc)         |           |
| Courant de court-circuit (Isc)       | 10.45A    |

Question 13- Identifier les performances électriques de ce panneau :

Question 14- Identifier une cellule sur le panneau. Calculer ses dimensions approximatives :

Question 15- Dessiner les 2 raccordements possibles entre les cellules et déterminer la tension et le courant d'une cellule pour chaque répartition.

Exploitation des sites :

<https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaïque6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaïques/>

<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/essentiel-sur-cellules-photovoltaïques.aspx>

<https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/cellules-photovoltaïques.html>

Question 16- Rechercher le rôle des diodes « by-pass » utilisées dans les panneaux.

Question 17- Rechercher les 3 types de cellules photovoltaïques exploitées actuellement. Comparer leurs performances.

## 4 - PERFORMANCES D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE.

### 4.1 - INFLUENCE DES PARAMÈTRES EXTERNES.

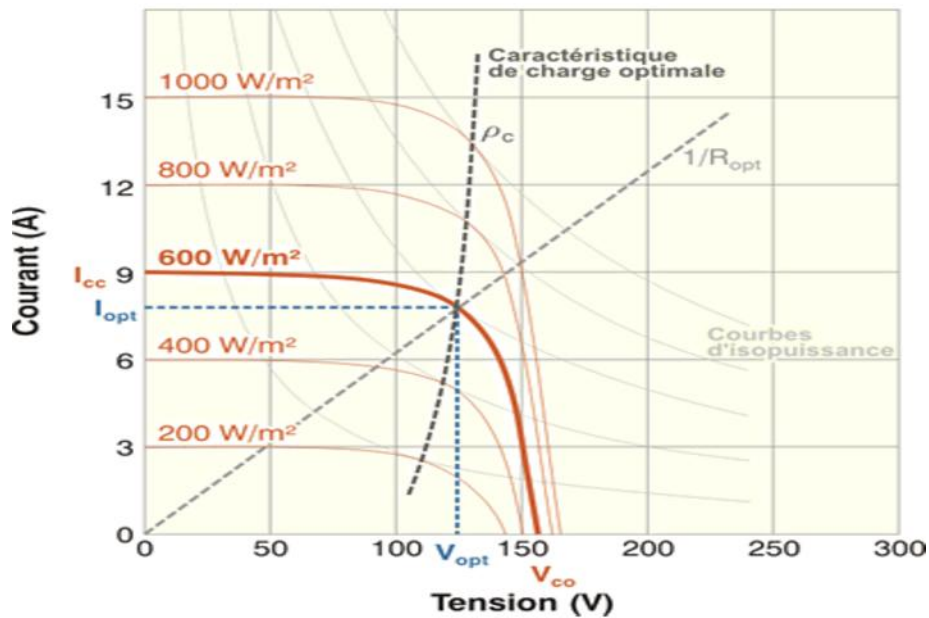


Figure 5: Influence de l'éclairement (en  $W/m^2$ )

Question 18- Expliquer l'influence de l'éclairement sur le courant  $I_{cc}$  et sur la tension  $V_{co}$ .

Question 19- Identifier les conditions les plus favorables. Dire si ces conditions sont réalistes – justifier votre réponse.

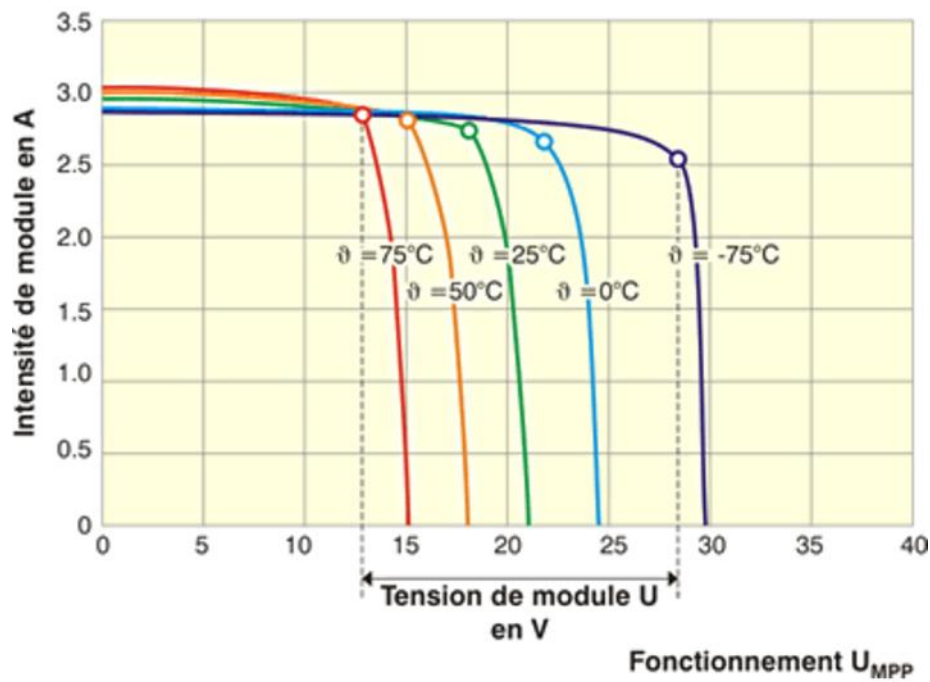


Figure 6: Influence de la température externe

Question 20- Expliquer l'influence de la température en surface sur le courant  $I_{cc}$  et sur la tension  $V_{co}$  .  
Question 21- Identifier les conditions les plus favorables. Dire si ces conditions sont réalistes – justifier votre réponse.

#### 4.2 - NORMES - CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT.

Les performances d'un panneau sont mesurées dans 2 types de conditions :

- les conditions « standard » « STC » : 25°C, 1atm, 1000W/m<sup>2</sup>
- les conditions « normales » « NOCT » : conditions plus réalistes sur une toiture : 45°C, 1atm, 800W/m<sup>2</sup>

#### 4.3 - ORDRE DE GRANDEUR DU RENDEMENT D'UN PANNEAU.

La mesure du rendement d'un panneau dépend des conditions d'essai (température, éclairement, pression) et de la technologie du panneau.

Ce rendement, mesuré en laboratoire sera toujours supérieur à celui que l'on peut mesurer en fonctionnement réel (puisque les conditions réelles ne sont jamais les conditions stables d'essai).

| Type                                       | Rendement cellule (en labo) | Module (en labo) | Module (commercial) | Niveau de développement                                                        |
|--------------------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1ère génération</b>                     |                             |                  |                     |                                                                                |
| <b>Silicium monocristallin</b>             | 24,70%                      | 22,70%           | 12-20%              | Production industrielle                                                        |
| <b>Silicium polycristallin</b>             | 20,30%                      | 16,20%           | 11-15%              | Production industrielle                                                        |
| <b>2e génération</b>                       |                             |                  |                     |                                                                                |
| <b>Silicium amorphe</b>                    | 13,40%                      | 10,40%           | 5-9%                | Production industrielle                                                        |
| <b>Silicium cristallin en couche mince</b> |                             | 9,40%            | 7%                  | Production industrielle                                                        |
| <b>CIS</b>                                 | 19,30%                      | 13,50%           | 9-11 %              | Production industrielle                                                        |
| <b>CdTe</b>                                | 16,70%                      |                  | 6-9%                | Prêt pour la production                                                        |
| <b>3e génération</b>                       |                             |                  |                     |                                                                                |
| <b>Cellule organique</b>                   | 5,70%                       |                  |                     | Au stade de la recherche                                                       |
| <b>Cellule de Grätzel</b>                  | 11%                         | 8,40%            |                     | Au stade de la recherche                                                       |
| <b>Cellules multi-jonctions</b>            | 39%                         | 25-30%           |                     | Au stade de la recherche, production exclusivement pour applications spatiales |

(Systèmes Solaires – hors-série spécial recherche solaire – Juillet 2006)

Figure 7: Source : [www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/cellules-photovoltaïques.html](http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/cellules-photovoltaïques.html)

Un ordre de grandeur réaliste et raisonnable est de 15 %, soit 150W/m<sup>2</sup> dans les conditions STC.

Le rendement des panneaux ne progresse pas, c'est le nombre de cellules qui augmente, donc la puissance crête disponible.



## 5 - EXPLOITATION D'UNE DOCUMENTATION TECHNIQUE.

Exploitation de la documentation du panneau SS300-60M

Question 22- Rechercher les performances de ce panneau – préciser en particulier son rendement.

Question 23- Justifier que les performances annoncées sont dans les conditions STC .

Question 24- Calculer les performances dans les conditions NOCT – expliquer votre raisonnement.



## 6 - ONDULEUR.

### 6.1 - ASSOCIATION PANNEAU ET ONDULEUR.

En électronique de puissance, on appelle « onduleur » le convertisseur DC/AC.

Les 3 autres convertisseurs sont le redresseur (AC/DC), le hacheur (DC/DC) et le gradateur (AC/DC).

L'onduleur utilisé dans une installation PV est une association de ces convertisseurs.

En effet les conditions externes font varier la production d'un panneau PV : le courant et la tension changent.

Or il faut au minimum que la tension à la sortie de l'onduleur soit constante.

Afin de tirer le maximum de la puissance du panneau PV, il faut imposer la tension du panneau afin que l'on soit toujours dans les conditions de puissance maximale « mpp ».

Question 25- Identifier quels convertisseurs on doit utiliser pour contrôler cette tension – justifier rapidement.

Il y a 2 types d'installation PV :

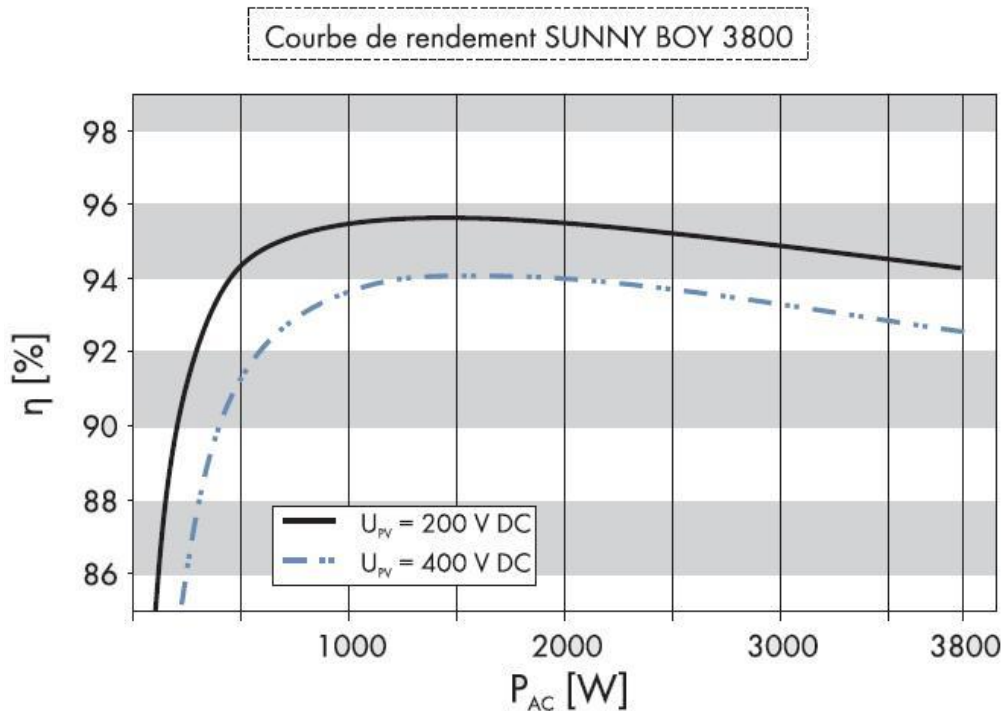
- les installation autonomes (non raccordées au réseau) qui nécessitent des onduleurs autonomes,
- les installations raccordées au réseau, avec des onduleurs assistés.

Les onduleurs autonomes, comme les groupes électrogènes, doivent maintenir la tension (forme, valeur et fréquence), quel que soit le courant à fournir (dans les limites de l'onduleur).

Pour les onduleurs assistés, la tension de sortie est imposée par le réseau (forme, valeur et fréquence). Ils doivent « seulement » injecter un courant le plus sinusoïdal possible, donc avec un facteur de puissance « propre » (même problème et même solution que les onduleurs des VV pour moteurs alternatifs).

En cas de perte du réseau électrique « longue » (défaut sur le réseau ou intervention), ces onduleurs doivent couper la production, pour éviter une présence de tension.

## 6.2 - NORMES - RENDEMENTS D'UN ONDULEUR.



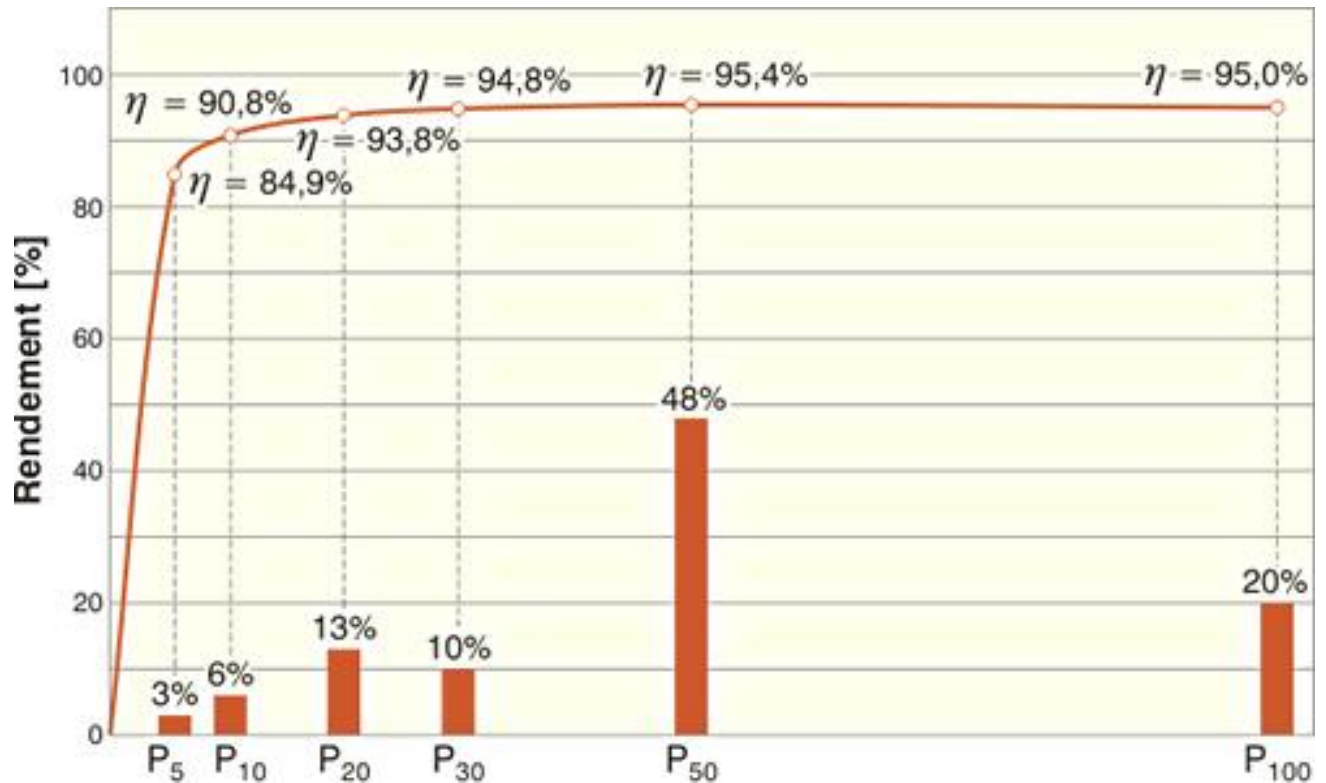
Comme toutes les machines, le rendement d'un onduleur est bien meilleur lorsqu'il est en charge maximale.

Or le panneau ne produit pas systématiquement sa puissance maximale. Dans le dimensionnement, on doit donc prendre en compte le rendement en fonctionnement « normal ». ce rendement, défini au niveau européen, est obtenu par le calcul suivant :

- L'onduleur fonctionne à 5 % de sa puissance nominale, pendant 3 % du temps.
- L'onduleur fonctionne à 10 % de sa puissance nominale, pendant 6 % du temps.
- L'onduleur fonctionne à 20 % de sa puissance nominale, pendant 13 % du temps.
- L'onduleur fonctionne à 30 % de sa puissance nominale, pendant 10 % du temps.
- L'onduleur fonctionne à 50 % de sa puissance nominale, pendant 48 % du temps.
- L'onduleur fonctionne à 100 % de sa puissance nominale, pendant 20 % du temps.

On calcule alors le rendement européen de l'onduleur, noté  $\eta_{\text{euro}}$ , par la formule suivante :

$$\eta_{\text{euro}} = 0.03 \times \eta_{5\%} + 0.06 \times \eta_{10\%} + 0.13 \times \eta_{20\%} + 0.10 \times \eta_{30\%} + 0.48 \times \eta_{50\%} + 0.20 \times \eta_{100\%}$$



### 6.3 - ONDULEUR LOCALISÉ OU ONDULEUR DÉPORTÉ.

L'onduleur localisé est placé sous le panneau. Il est alimenté par quelques panneaux (« micro onduleur »).

L'onduleur déporté est dans le local technique et est alimenté par un ensemble de panneaux (« onduleur string »).

Question 26- Une installation comporte 10 panneaux de 300W (30V ; 10A) situé à 30m du tableau de comptage. Dessiner le schéma électrique avec 5 micro onduleurs sous les panneaux ou 1 onduleur au niveau du tableau.

Question 27- Comparer les 2 installations électriques en terme de câbles.

Question 28- Justifier s'il faut un parafoudre. Justifier de la mise à la terre des panneaux.



## 6.4 - EXPLOITATION D'UNE DOCUMENTATION TECHNIQUE.

J'ai 2 documentations :

- micro onduleurs TALESOL-M600
- onduleur X1-3,0

Question 29- Pour chaque type d'onduleur, rechercher :

- les caractéristiques coté DC
- les caractéristiques coté AC
- le rendement en condition réelle

## 7 - RÉFÉRENCES :

Sites utilisés pour réaliser ce document :

<https://energieplus-lesite.be/category/theories/photovoltaique6/>

<https://www.dekloo.net/projets/photovoltaique-autoconsommation/caracteristiques-panneau-photovoltaique/689>

<http://www.photovoltaique.guidenr.fr/sitemap/map.htm>

<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/essentiel-sur-cellules-photovoltaiques.aspx>

[www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/cellules-photovoltaiques.html](http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/cellules-photovoltaiques.html)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Rendement\\_d%27une\\_cellule\\_photovolta%C3%AFque](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rendement_d%27une_cellule_photovolta%C3%AFque)

autres sites :

<https://photovoltaique-energie.fr/>

calcul de l'ensoleillement en fonction de la position géographique (document communauté européenne)

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

calcul de la rentabilité d'une installation PV :

[http://ines.solaire.free.fr/pvreseau\\_1.php](http://ines.solaire.free.fr/pvreseau_1.php)