

Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est largement utilisée que les autres types d'énergies renouvelables.

On présentera dans ce chapitre une vaste description des différents composants du système photovoltaïque et leurs différentes caractéristiques.

2.1. Générateur photovoltaïque

2.1.1. Cellules photovoltaïques

Le mot « photovoltaïque » vient du grec « phôtos » signifiant lumière et de « Volta » du nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Mais c'est en 1839 que le français Antoine Edmond Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie, la cellule solaire est l'unité de production d'énergie électrique dans un Générateur photovoltaïque le sous forme de courant continu [7].

2.1.1.1. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Le phénomène de conversion photovoltaïque est dû à la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière, selon le concept décrit ci-après :

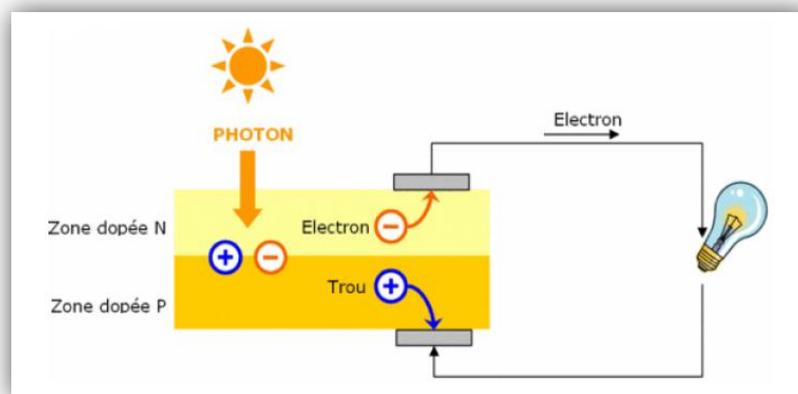


Figure 2.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV [7]

2.1.1.2. Caractéristiques électriques d'une cellule

A. Caractéristiques courant / tension et puissance/tension

A température et éclairement fixés, la caractéristique courant/tension et puissance/tension d'une cellule a l'allure suivante :

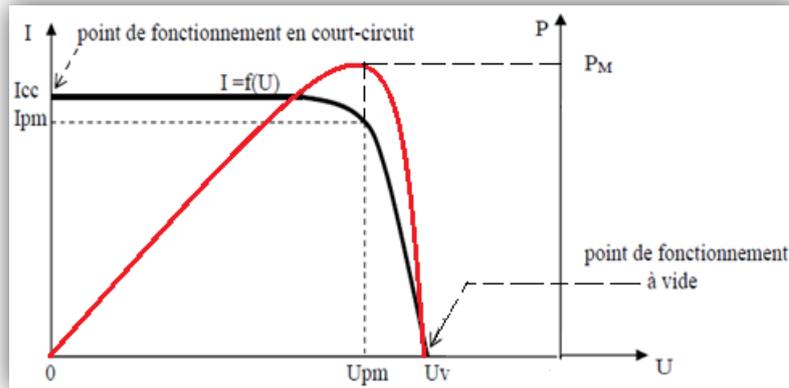


Figure 2.2 : Allure de courant / tension et puissance/tension [7]

Sur cette courbe, on repère :

- ✓ le point de fonctionnement à vide : U_v pour $I = 0A$
- ✓ le point de fonctionnement en court-circuit : I_{cc} pour $U = 0V$
- ✓ le point de fonctionnement à puissance maximum : $P_M = U_{pm} * I_{pm}$

B. Influence de l'éclairement

Les figures 2.3 et 2.4 représentent les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de l'éclairement, à une température constante [7].

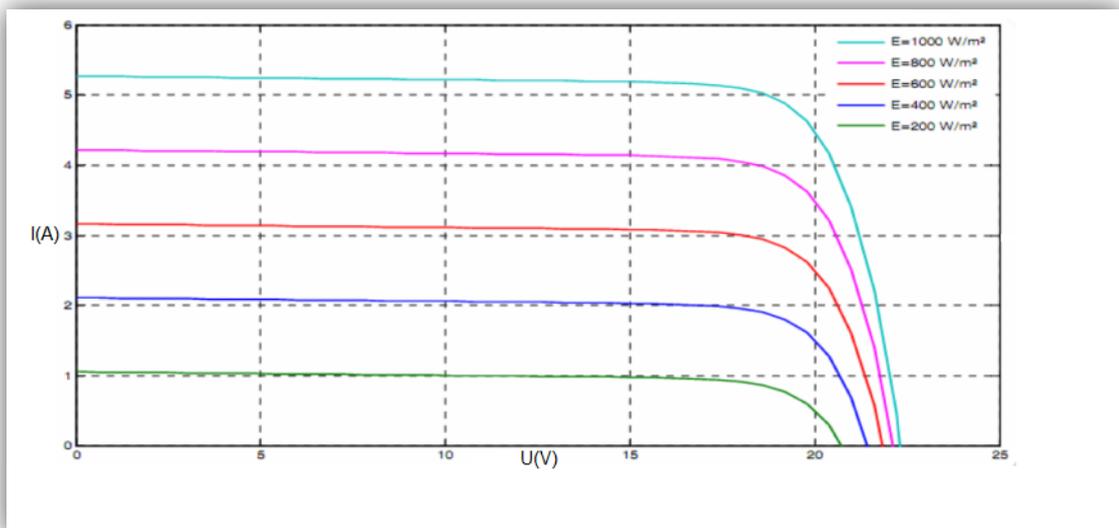


Figure 2.3 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension d'un GPV modèle à une exponentielle

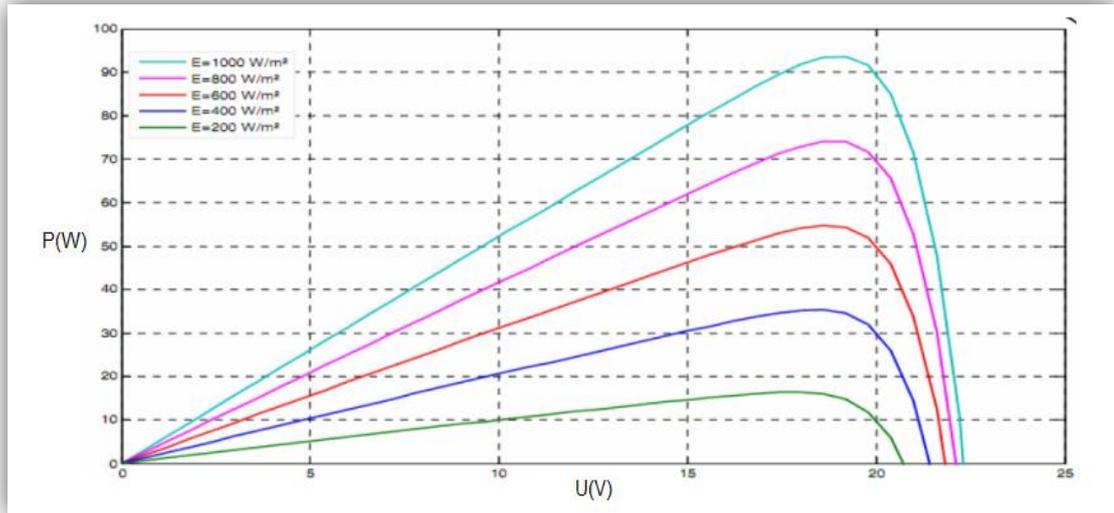


Figure 2.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV modèle à une Exponentielle

C. Influence de la température

Les caractéristiques électriques d'une cellule PV dépendent de la température de jonction au niveau de la surface exposée. Les figures 2.5 et 2.6 donnent l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de températures et un éclairement constant [7].

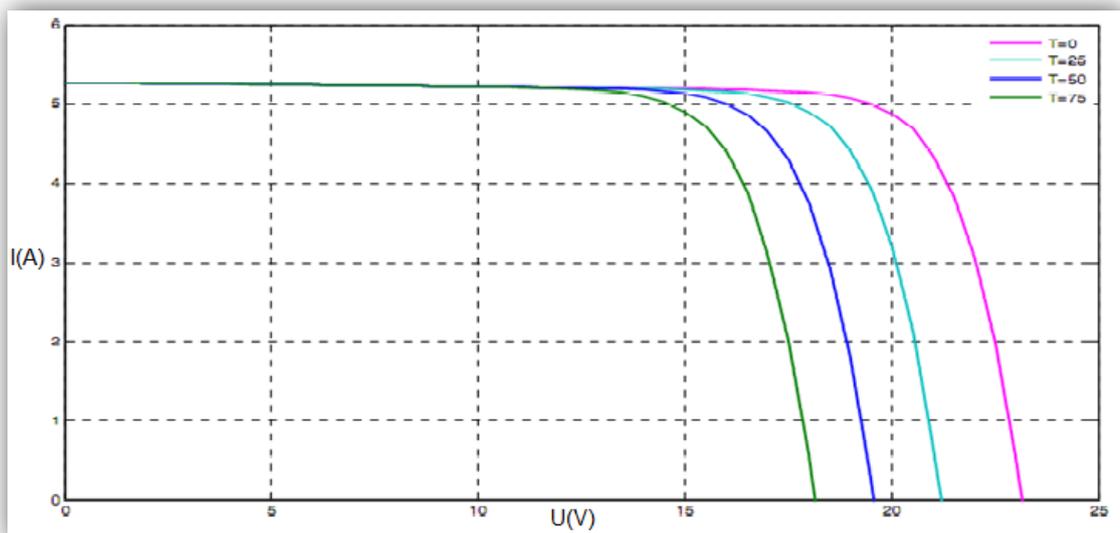


Figure 2.5 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension d'un GPV modèle à une exponentielle

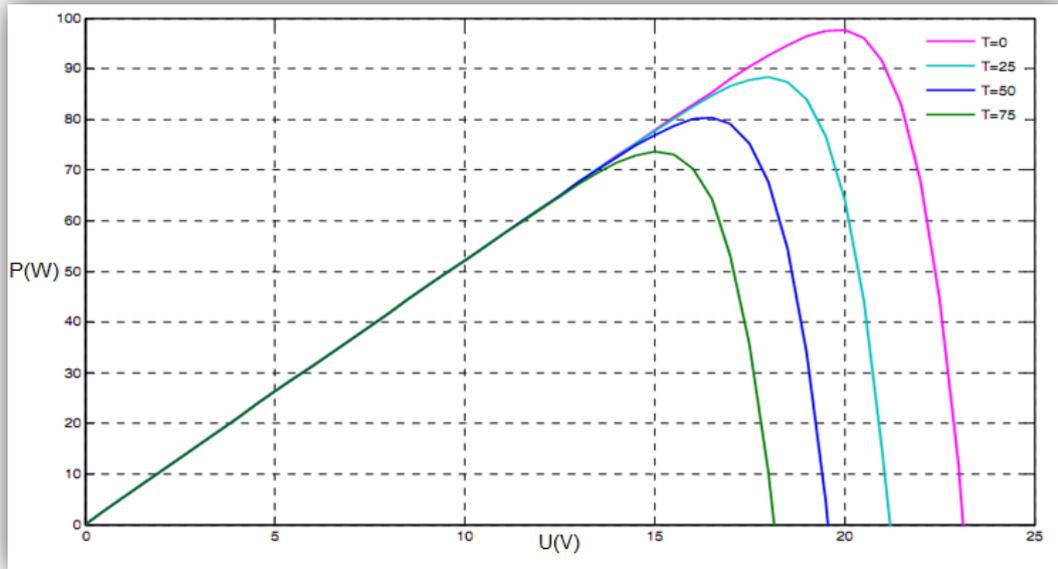


Figure 2.6 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV modèle à une exponentielle

2.1.1.3. Différents types des cellules photovoltaïques

A. Silicium monocristallin

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques.

Pour les fabriquer, on fond du silicium en forme de barreau. Lors d'un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Leur durée de vie est de 20 à 30 ans.

Le tableau 2.1 représente quelques avantages et inconvénient d'une cellule Silicium monocristallin[8].

Tableau 2.1: Avantages et inconvénients d'une cellule Silicium monocristallin.

Silicium monocristallin	Avantage	Inconvénient
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ bon rendement, de 12% à 18% ✓ bon ratio Wc/m2 (environ 150 Wc/m2) ce qui permet un gain de place si nécessaire ✓ nombre de fabricants élevé 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ coût élevé ✓ rendement faible sous un faible éclairement.

B. Silicium poly cristallin (multi cristallin)

Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Le tableau 2.2 exprime les Avantages et les inconvénients d'une cellule poly cristallin [8].

Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients d'une cellule poly cristallin

Silicium poly cristallin	Avantage	Inconvénient
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module ✓ moins cher qu'une cellule monocristalline 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ moins bon rendement qu'une cellule monocristalline : 11 à 15% ✓ ratio Wc/m² moins bon que pour le monocristallin (environ 100 Wc/m²) ✓ rendement faible sous un faible éclairement.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix).

Durée de vie : 20 à 30 ans

C. Silicium amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

Nous représentons dans le tableau 2.3 quelques Avantages et inconvénients d'une cellule amorphe [8].

Tableau 2.3 : Avantages et inconvénients d'une cellule amorphe

Silicium amorphe	Avantage	Inconvénient
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ fonctionne avec un éclairement faible ou diffus (même par temps couvert) ✓ un peu moins chère que les autres technologies ✓ intégration sur supports souples ou rigides. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ rendement faible en plein soleil, de 6% à 8% ✓ nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m² plus faible, environ 60 Wc/m²) ✓ performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

2.1.1.4. Association des cellules photovoltaïques

A. Association en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné.

La figure 2.7 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en série N cellules identiques [9].

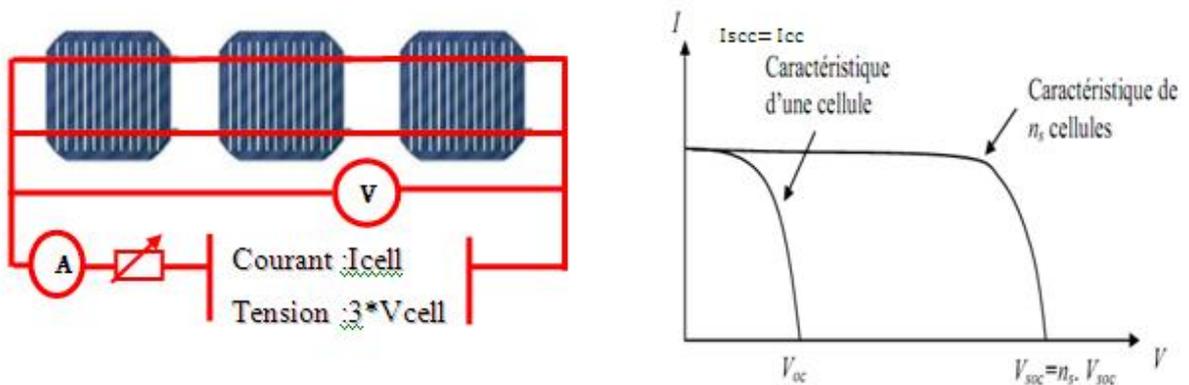


Figure 2.7 : cellules connectées en série avec leur caractéristique courant-tension

B. Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure 2.8 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles N cellules identiques[9].

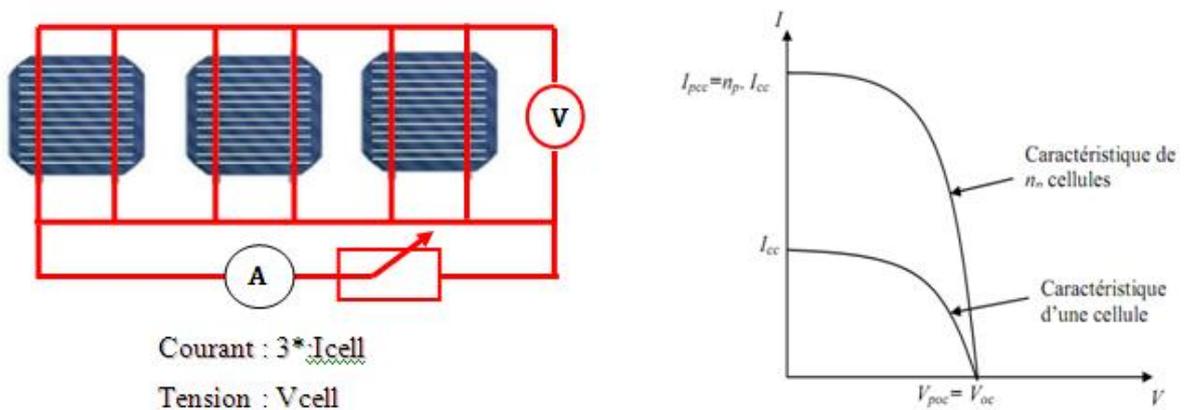


Figure 2.8 : cellules connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension

2.2. Le module photovoltaïque

Une association de plusieurs cellules en série et/ou parallèle permet de réaliser un module photovoltaïque.

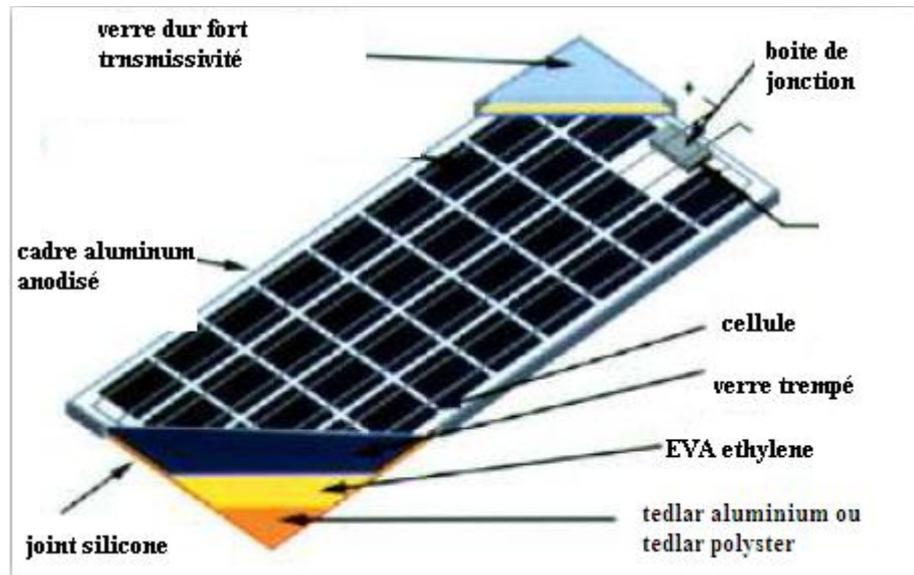


Figure 2.9:Eléments d'un capteur cristallin

2.2.1.Composants de Module photovoltaïque[8]

2.2.1.1.Verre :

C'est un verre trempé de 4 mm d'épaisseur avec une faible teneur en fer afin de permettre une meilleure transmission optique. Sa caractérisation avec un spectrophotomètre (Varian Cary 500 UV-VIS-NIR) montre une transmission supérieure à 95 % dans la gamme utile du spectre solaire 380 nm à 1200 nm

2.2.1.2.EVA (Ethylene VinlyAcetate) :

L'EVA est une résine transparentes enrobant les cellules photovoltaïques.

C'est une résine transparente, thermosensible, formée de chaînes de copolymères d'éthylène et de vinyle acétate.L'E.V.A. traitée thermiquement entre 150 et 160 °C, elle présente de grandes propriétés adhésives diélectriques, thermiques et d'étanchéité.

Les quatre caractéristiques qui ont fait de l'EVA un matériau de choix pour l'encapsulation sont:

- ✓ sa résistivité électrique très élevée le classant comme un très bon isolant électrique,

- ✓ ses températures de fusion et de polymérisation relativement faibles,
- ✓ son très faible taux d'absorption d'eau,
- ✓ sa bonne transmission optique.

2.2.1.3. Mylar

Le mylar est un film polymère transparent utilisé pour isoler électriquement les connexions de sortie de la face arrière des cellules, est un film polymère transparent

2.2.1.4. Tedlar

Le TEDLAR est un polymère fluoré. L'arrière du module est constitué d'un film multicouche tedlar-aluminium dont le rôle prouvé contre l'humidité et les chocs mécaniques est mis en sandwich entre deux feuilles de tedlar de 180 µm d'épaisseur appelé polyvinyle fluoré (PVF). Pour améliorer les performances électriques du module.

2.2.1.5. Boite de jonction: Elle comporte :

- **Des diodes de bypass:**Le fonctionnement de la diode de bypass est passant quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire.
- **Une diode anti-retour:**La première utilisation: c'est d'éviter que pendant la nuit, les batteries ne se déchargent dans la résistance shunt des modules solaires. Cette fonction peut être réalisée globalement par les transistors de commutation du régulateur. Cet anti-retour n'est pas la seule fonction des diodes séries.

La deuxième fonction, c'est d'éviter que des modules au soleil, ne débitent dans les modules éventuellement à l'ombre. Ce qui n'est absolument pas grave (Hormis les pertes supplémentaires) dans les toutes petites installations, mais qui pourrait le devenir dans des installations plus grandes, ou sous des tensions élevées (Pompes solaires). Par ailleurs en cas d'accident sur un ou un groupe de modules solaires, les diodes anti-retour évitent l'extension du phénomène à toute l'installation.

- **Câble de connexion :** Les câbles électriques équipant les modules photovoltaïques présentent généralement des sections de 2.5 à 4 mm² pour une tension assignée de 1000 V.

Chapitre 2 : Composants du système photovoltaïque et leurs fonctionnements

Les caractéristiques de Câble sont : Résistants à l'humidité, Résistants aux rayons U.V, Résistants à l'abrasion, Résistants aux agents chimiques, Température de fonctionnement: 70°C.

2.3. Onduleur solaire

Un onduleur solaire (parfois commercialisé sous le nom de variateur solaire, convertisseur solaire ou onduleur photovoltaïque) est un onduleur convertissant le courant continu de l'énergie photovoltaïque issue d'un panneau solaire en courant alternatif [10].

2.3.1. Principe de fonctionnement d'onduleur

Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les IGBT, transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée [10].

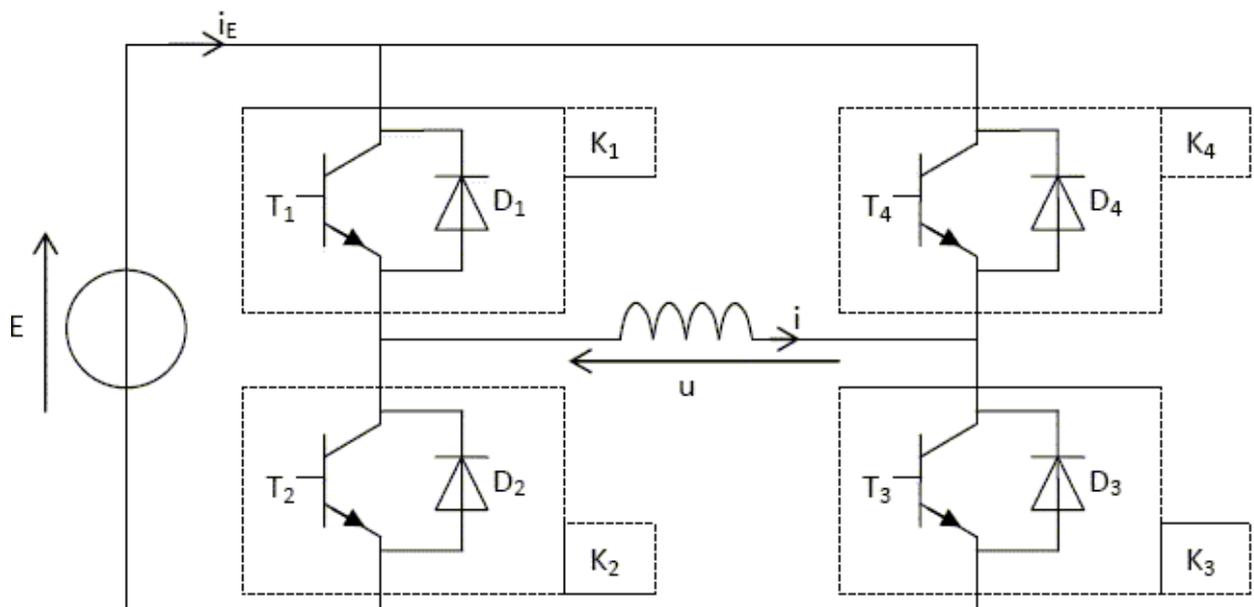


Figure 2.10: Schéma de principe d'un onduleur de tension monophasé

2.3.2. Maximum power point tracker (MPPT)

Les onduleurs solaires utilisent la technique du maximum power point tracker. Un système MPPT est un ensemble de composants incluant des onduleurs, des chargeurs de batteries, et des panneaux solaires. L'objectif est d'obtenir la puissance maximale possible depuis un (ou plusieurs) panneau photovoltaïque, typiquement un panneau solaire. L'énergie délivrée par les cellules photovoltaïques dépend d'une équation complexe mettant en relation le

rayonnement solaire, la température, et la résistance totale du circuit, ce qui conduit à une puissance de sortie non linéaire. Le principe de fonctionnement du système est d'analyser en permanence la sortie du panneau solaire.

2.4.Batterie

Dans une installation photovoltaïque, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV[11].

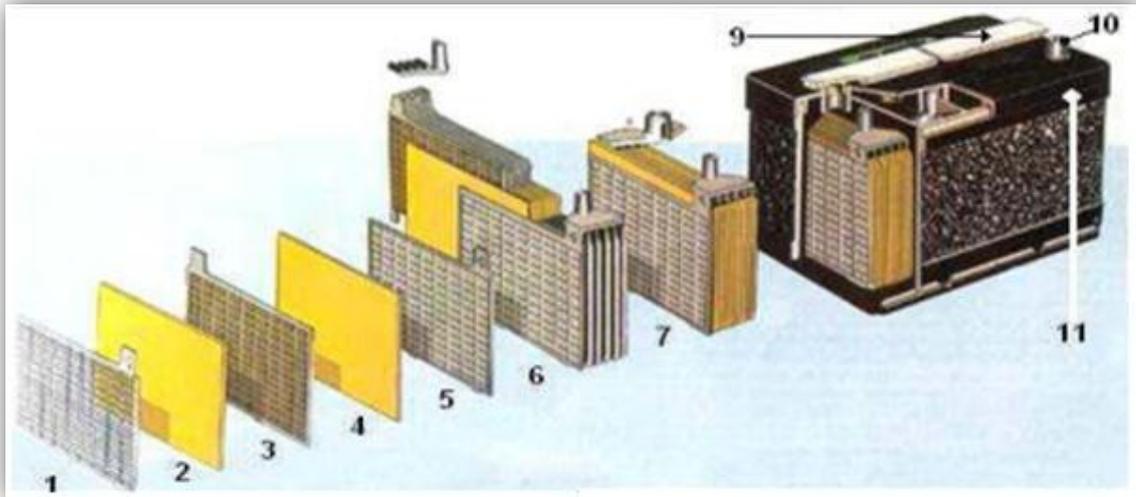
2.4.1. Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont :

2.4.1.1. Accumulateurs au plomb acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité.

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. La figure 2.11 montre la construction d'une batterie monobloc[11].



- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1:Grille. | 7: Élément complet. |
| 2: Séparateur. | 8: Pont. |
| 3: Plaque positive. | 9: Rampe de bouchons |
| 4: Plaque négative. | 10: Borne. |
| 5: Batterie. | 11: Bac. |
| 6: Faisceau négatif. | |

Figure2.11: Construction d'une batterie monobloc[11]

Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommées. Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément". Un élément dans un container plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension variant entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en conductions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85% (pour plomb- Acide). Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques.

A. Etat de décharge

En cas de décharge, le niveau de tension minimum acceptable pour une batterie plomb-acide est défini comme seuil de tension de décharge. Tomber en dessous de ce seuil est appelé profondeur de décharge, avec laquelle la batterie peut subir des dommages. Dans le cas où la batterie est laissée plus après une décharge profonde, entraîner de la structure de support est converti en sulfate de plomb en forme rugueux- cristalline, qui pendant la charge ne peut être que

Chapitre 2 : Composants du système photovoltaïque et leurs fonctionnements

mauvaise ou ne peut pas convertir plus à nouveau. En conséquence, la batterie perd une partie de son capacité de stockage, et d'ailleurs la perte de structure de soutien se pose. Ainsi, la relation entre le courant de décharge et la tension au cours de décharge de la batterie plomb-acide est présenté dans la Figure 2.12. Cette figure montre le profil de décharge du type de batterie VARTA-OPzS à plusieurs taux des courants constants[11].

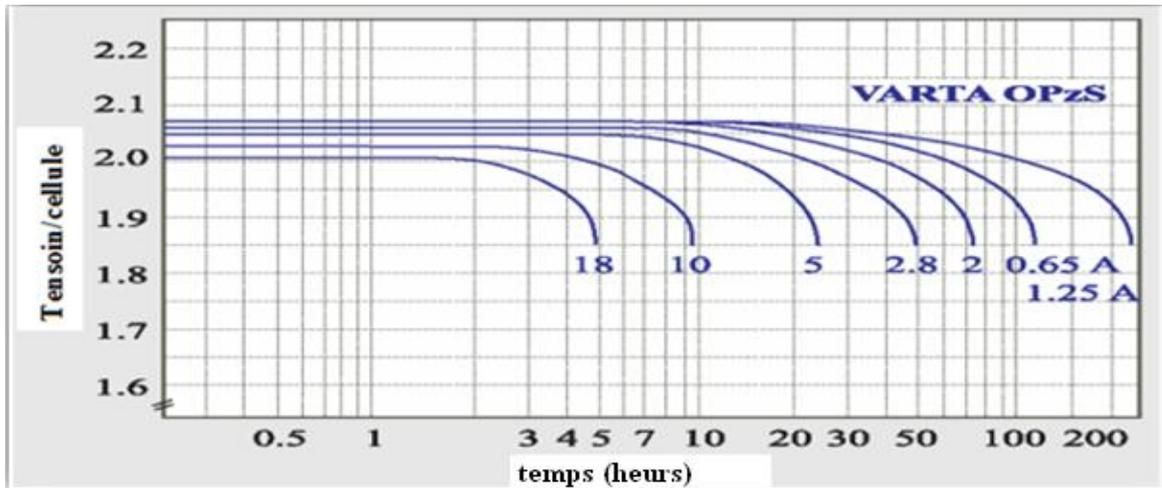


Figure 2.12 : Courbes caractéristiques de décharge

Lestypiques de fin de décharge la tension à ces taux de décharge peut également être remarquée où la tension commence à baisser fortement. Par ailleurs, la fin de décharge la tension varie entre 1,75 à 1,9V, en fonction du type de batterie et le courant de décharge. L'augmentation de la capacité du service est obtenue à des taux inférieurs de décharge.

À des taux de décharge plus élevés, l'électrolyte dans la structure des pores de la plaque devient appauvri et il ne peut pas se diffuser rapidement pour maintenir la tension de cellule. Toutefois, la décharge intermittente, laisse le temps pour la diffusion d'électrolyte qui permettra d'améliorer le rendement en vertus de taux élevés de décharge.

-Etat de charge (SOC): est le rapport entre la différence de la tension nominale et la capacité d'une part et l'équilibre des charges, d'autre part, comme on le voit dans l'équation (2,1)

$$SOC = \frac{C_{nom} - Q_{bat}}{C_{nom}} \quad (2.1)$$

Où:

$$Q_{bat} = \int_t I dt \quad (2.2)$$

Avec:

C_{nom} : la capacité nominale de la batterie.

Q_{bat} : Ampère heure balance (Ampère heure net a déchargé ou a chargé depuis le dernier plein charge) et I est le courant principal de réaction.

-*Etat relatif de charge* : est le rapport entre la différence de la réelle capacité d'une part et l'équilibre de charge d'autre part, comme dans l'équation suivante:

$$SOC = \frac{C_{act} - Q_{bat}}{C_{act}} \quad (2.3)$$

Avec :

C_{act} : est la capacité réelle de la batterie(Ah).

La capacité à déterminer l'état de charge des batteries dans un système à tout moment est très important du point de vue du fonctionnement du système. Sachant l'état de charge fait en continu la gestion de l'énergie système possible. En outre, pour un système photovoltaïque, la capacité de la batterie requise peut être plus déterminée avec précision ce qui implique une plus grande fiabilité de l'approvisionnement en énergie et moins le coût du système[11].

2.4.1.2. Accumulateurs au Nickel- cadmium

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique,
- Possibilité de supporter des décharges profondes,
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte,
- Ne craint pas de gel[11].

A. Caractéristique de décharge:

La caractéristique de décharge des cellules Ni-Cd varie suivant leur technologie, la température et le niveau de courant. On ne présente pas ici de courbe particulière, chaque fournisseur ayant des données différentes.

Un point important à noter est que le Ni-Cd peut être complètement déchargé, ce qui rend la présence d'un régulateur de décharge superflu si les utilisateurs tolèrent de fonctionner jusqu'à 0V. Contrairement aux batteries au plomb, les batteries au Ni-Cd ont une capacité qui varie peu avec le courant de décharge : par exemple à une capacité de 102 Ah / 5 h correspond une capacité de 110 Ah / 100 h.

B. Influence de la température

La capacité de la batterie est également affectée par la température, elle diminue d'environ 1% par degré au-dessous d'environ 20°C. En outre, des températures extrêmes accélèrent le vieillissement, l'autodécharge et de l'utilisation d'électrolyte.

Pour le Ni-Cd il perd la moitié de sa capacité par rapport à 20°C. A basse température, le Ni-Cd ne gèle pas contrairement au plomb. Ce dernier point peut justifier le choix du Ni-Cd pour des applications dans les pays froids ou en haute altitude.

Par contre, l'utilisation dans les pays chauds, il est préférable d'utiliser le plomb car le Ni-Cd a un taux de pertes internes qui est environ 4 à 5 fois plus élevé que celui du plomb. A 40°C, les pertes internes peuvent atteindre 1.2% de la capacité nominale, ce qui pour une batterie dimensionnée avec 5 jours d'autonomie oblige à installer un générateur 6% plus puissant pour tenir compte de ces pertes [11].

2.4.2. Caractéristiques principales d'une batterie

Les caractéristiques principales d'une batterie sont [12].

2.4.2.1. Capacité en Ampère heure

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

par exemple, une batterie de 100Ah peut fournir 100 A pendant une heure, ou 50 A pendant 2heures, ou 4 A pendant 25 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que :

A. Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

B. Température

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

C. Durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur. La durée de vie totale est exprimée en année (ou en nombre de cycles).

2.4.2.2. Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle.

La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les détériorées. Les fabricants de batteries de Nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement

Chapitre 2 : Composants du système photovoltaïque et leurs fonctionnements

être déchargées sans aucuns dommages. Cependant, elle affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

2.4.2. 3. Tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

2.4.2.4. Rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

2.4.2.5. Taux d'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants d'un système photovoltaïque.

La mise en œuvre d'un système fiable et efficace exigent une maintenance des différents composants du système photovoltaïque qui seront l'objet de notre étude dans le troisième chapitre.