

2.1 Définition d'un système photovoltaïque (PV)

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge (voir figure 2.1a). Le conditionnement de puissance peut comprendre: un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC ou/et DC/ AC) ou un convertisseur seul. Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la fig. 2.1b.

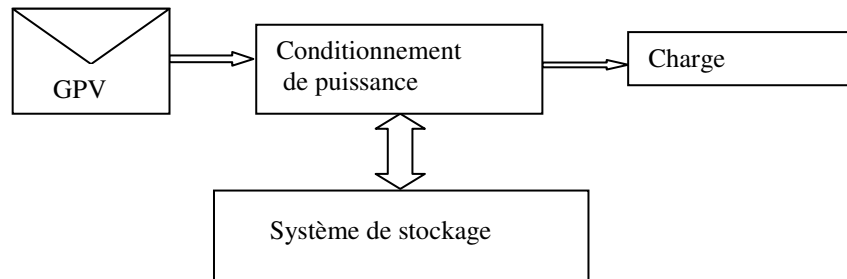


Fig.2.1a Système photovoltaïque

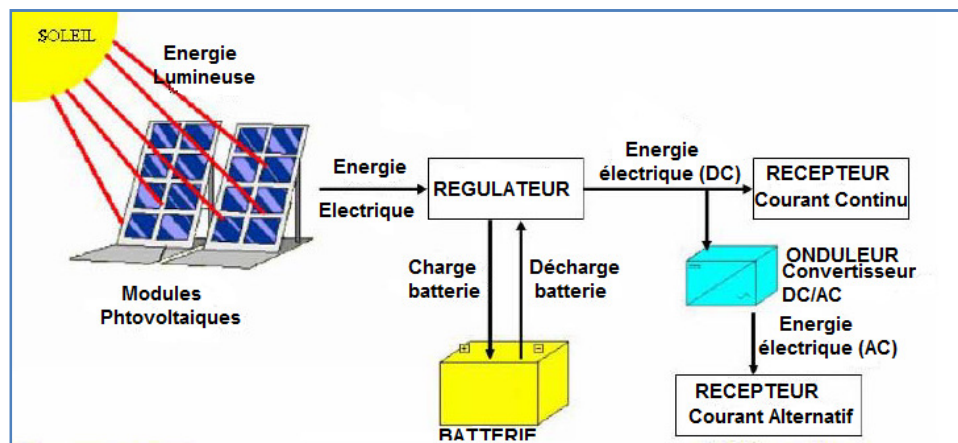


Fig. 2.1b Système photovoltaïque plus détaillé

2.2 Classification des systèmes PV

On distingue deux types de systèmes PV :

- Systèmes PV autonomes
- Système à injection au réseau.

2.2.1 Systèmes autonomes

2.2.1.1 Définition

On dit qu'un système PV est autonome si la charge est passive (exemple : lampes, les moteurs, etc.). Le système PV autonome est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autres sources d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique (Fig.2.2a). Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries ou autres moyens de stockage pour une utilisation durant les périodes de la non disponibilité de l'énergie solaire (par exemple les périodes nocturnes, les périodes non ensoleillées). Les systèmes PV autonomes servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, en îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau (dans certains cas).

En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. À l'heure actuelle, c'est dans les endroits isolés, loin d'un réseau électrique et où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement moins de 10 kWc) que l'énergie photovoltaïque est la plus concurrentielle.

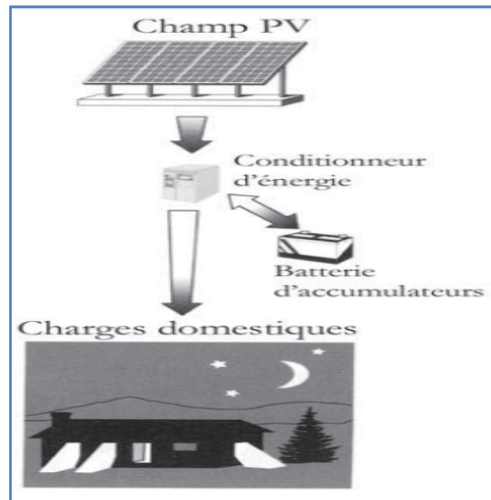


Fig.2.2a : Schéma d'un système autonome (hors-réseau).

2.2.1.2 Types de systèmes PV autonomes

On distingue deux types :

- Les systèmes au fil du soleil
- Les systèmes avec stockage

A) Les systèmes au fil du soleil

Les systèmes au fil du soleil sont des systèmes sans stockage. Ils exploitent directement l'énergie solaire sans aucune source d'appoint. Ces systèmes sont classés, selon la nature de la charge à alimenter, en deux types systèmes à courant continu et systèmes à courant alternatif. L'application la plus connue est le pompage photovoltaïque avec ses deux types : systèmes de pompage PV à courant continu et systèmes à courant alternatif. Pour le deuxième cas on doit ajouter un onduleur. La Fig. 2.2.b montre un exemple d'un système de pompage PV où le conditionneur d'énergie peut être, selon la fonction exigée, un convertisseur DC/DC, un convertisseur DC/AC ou les deux en même temps (les conditionneurs d'énergie seront étudiés aux chapitres qui suivent). Ces systèmes sont simples mais leur inconvénient est la coupure de l'alimentation en absence du soleil. Ces systèmes utilisent, en général, un autre moyen de stockage tel que les réservoirs d'eau pour le pompage PV.

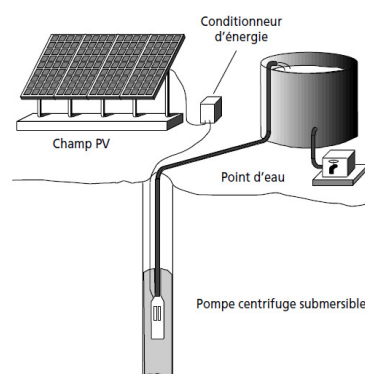


Fig. 2.2b Système de Pompage PV

B) Les systèmes avec stockage

Les systèmes avec stockage sont des systèmes qui contiennent des moyens de stockage. Un système de stockage sert à alimenter les charges durant les périodes ayant un ensoleillement faible (passage des nuages) ou une absence totale de l'ensoleillement (les nuits). Le système de stockage sert à emmagasiner l'énergie durant la présence de l'excès d'énergie photovoltaïque et de la restituer durant les autres périodes d'insuffisance d'énergie. Comme exemple, on peut citer l'alimentation des maisons en électricité dans des sites isolés.

2.2.2 Systèmes PV à injection aux réseaux

2.2.2.1 Définition d'un système PV raccordé au réseau

Un système PV raccordé au réseau est un système dont la charge est partiellement ou totalement est le réseau électrique. Ç à d. le générateur PV injecte sa puissance à travers un onduleur dans le réseau électrique (Fig.2.3a et 2.3b).

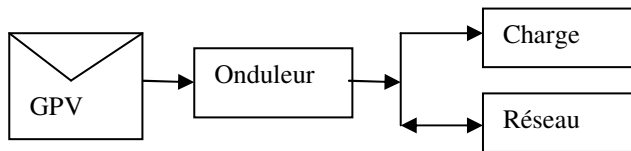


Fig.2.3a Injection partielle

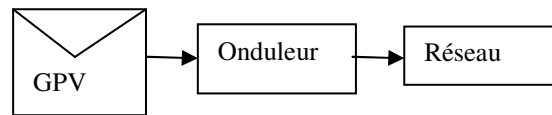


Fig. 2.3b Injection totale

Remarque

Pour le premier cas on peut avoir un système de stockage si les lois du pays encouragent la vente d'énergie renouvelable alors que pour le deuxième cas le stockage est utilisé si on veut réduire la consommation durant les heures de pointes, plus particulièrement de nuits.

2.2.2.2 Classes des systèmes raccordés aux réseaux

On a deux classes de systèmes raccordés aux réseaux :

- Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque) ;
- Systèmes à petites puissances ou systèmes décentralisés ; généralement installés chez des particuliers.

A) Systèmes à grande puissance ou systèmes centralisés (centrale solaire photovoltaïque)

Les systèmes à grandes puissances sont des systèmes PV localisés dans des endroits où l'alimentation est centralisée. Ils sont utilisés pour renforcer le réseau conventionnel durant les périodes de pic de puissances. Ces systèmes nécessitent des espaces très vastes (environ 2 hectares pour un 1MWc).

B) Systèmes à petite puissance ou systèmes décentralisés

En quantité unitaire, les systèmes décentralisés de petite puissance (inférieur à 100 kWc) sont les plus courants, avec approximativement 80 % des systèmes raccordés au réseau mondial, la majorité étant posé sur des habitations individuelles.

Selon la portion injectée dans le réseau on distingue deux sortes de systèmes :

Systèmes à Injection du surplus

Dans cette configuration, le consommateur utilise la puissance fournie par le générateur PV pour satisfaire ses besoins en énergie et dans le cas du surplus, il l'injecte dans le réseau. L'installation du client producteur avec achat des excédents de production doit être équipée de deux compteurs, l'un mesurant l'énergie soutirée au réseau lorsque la consommation excède la production (compteur de soutirage), l'autre mesurant l'énergie injectée dans le réseau (compteur d'injection). A chaque moment, un seul compteur mesure (Fig.2.4).

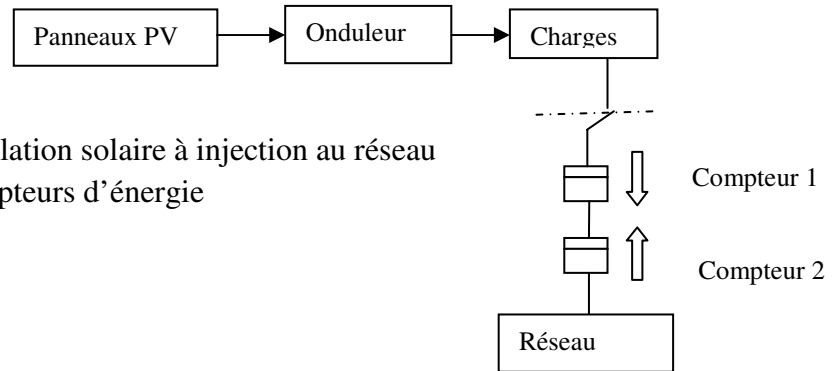


Fig. 2.4 : Installation solaire à injection au réseau avec deux compteurs d'énergie

Systèmes à injection de la totalité

Dans ce cas toute la production de la station solaire est injectée dans le réseau. Ces besoins en consommation sont satisfaits par le réseau. Cette configuration est très utilisée dans les pays qui encouragent l'introduction des énergies renouvelables où l'achat du kWh d'énergie renouvelable peut atteindre jusqu'à cinq fois le kWh des énergies fossiles dans certains pays.

2.3 Constitution des champs PV

Le champ PV est la source d'énergie électrique en courant continu. Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux (voir Fig. 2.5). Le module est un ensemble de photopiles (cellules) assemblés pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

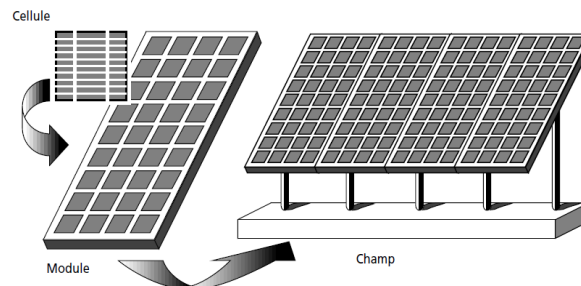


Fig. 2.5 Constituants d'un générateur PV

2.3.1 Modules

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.

2.3.1.1 Constituants

Afin de donner au module une certaine protection et rigidité, ses constituants doivent être bien choisis. Et pour un bon captage du rayonnement solaire, la réflexion des parties traversées par ce rayonnement soit bien minimisée. La structure est la suivante (figure 2.6):

- *Cadre en aluminium*

Le module est généralement entouré d'un cadre rigide en aluminium, comprenant des trous de fixation.

- *Verre trempé*

La surface avant est constituée d'un verre, trempé afin d'augmenter sa résistance aux chocs, d'une épaisseur de plusieurs millimètres. Il assure une stabilité mécanique tout en étant transparent pour la lumière incidente.

- *Couches d'encapsulant avant et arrière*

Le Silicium (cellules) est enrobé dans une résine EVA (éthylène-vinyle- acétate).

- *Surface arrière*

La couche arrière agit comme une barrière contre l'humidité et les autres contraintes. Selon le fabricant, il peut s'agir d'une autre plaque de verre ou d'une feuille de polymère composite. La combinaison de matériaux souvent utilisée est les PVF-polyster-PVF. Le PVF signifie poly fluorure de vinyle, il a une faible perméabilité aux vapeurs et est très résistant aux intempéries. Il est souvent connu sous son nom de marque Tedlar.

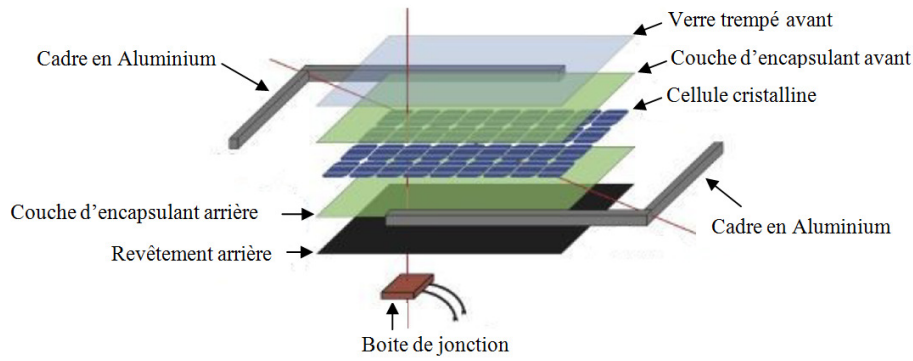


Fig.2.6 Constituants d'un module photovoltaïque (Si cristallin)

2.3.1.2 Fonction

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.

2.3.2 Caractéristiques d'un module

La figure 2.7 montre un exemple de caractéristiques d'un module (I-V et P-V) pour une variation d'éclairement de 200W/m² à 1000W/m² avec une température constante. De cette figure, on remarque que la puissance et le courant du module augmentent avec la croissance de l'éclairement alors que l'augmentation de la tension est relativement faible.

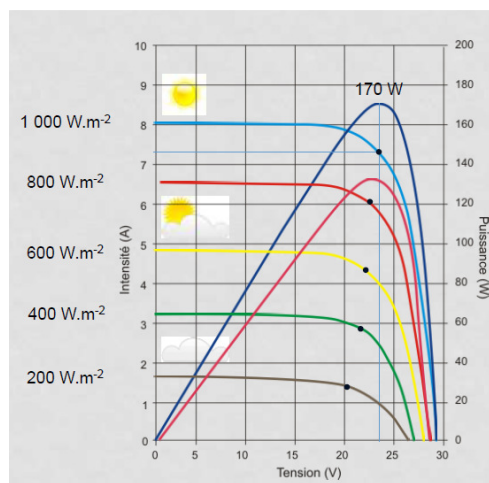


Fig.2.7 Exemple de caractéristiques (I-V et P-V) d'un module

Les caractéristiques d'un module peuvent se résumer sur les points suivants :

La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximale que peut fournir le module dans les conditions standards (Température cellule : 25°C, éclairement : 1000 W/m² et air masse : 1,5).

La caractéristique I-V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Tension à vide, V_{co} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant.

Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit.

Point de fonctionnement optimum, (U_m, I_m) : C'est le point sur la caractéristique P-V où la puissance est maximale : $P_m = U_m * I_m$. Pour les conditions standards, on parle de la puissance crête.

Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente : $\tau = \frac{P_m}{E_c \times S_{ef}}$. Avec E_c l'éclairement incident en (W/m²) et S_{ef} la surface effective du module.

Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et le produit de la tension de circuit ouvert par le courant de court circuit : $FF = \frac{P_m}{V_{co} \times I_{cc}}$.

2.3.2 Connexion des modules

La figure 2.8a montre les connexions possibles de deux modules.

2.3.2.1 Connexion des modules en série

Les modules identiques peuvent être connectés en série. Dans ce cas la tension est égale à la tension du module fois le nombre de modules en série et le courant reste le même.

2.3.2.2 Connexion des modules en parallèle

Les modules identiques peuvent être connectés en parallèle. Dans ce cas la tension est la même et le courant est égal au nombre de branches parallèles fois le courant d'une branche.

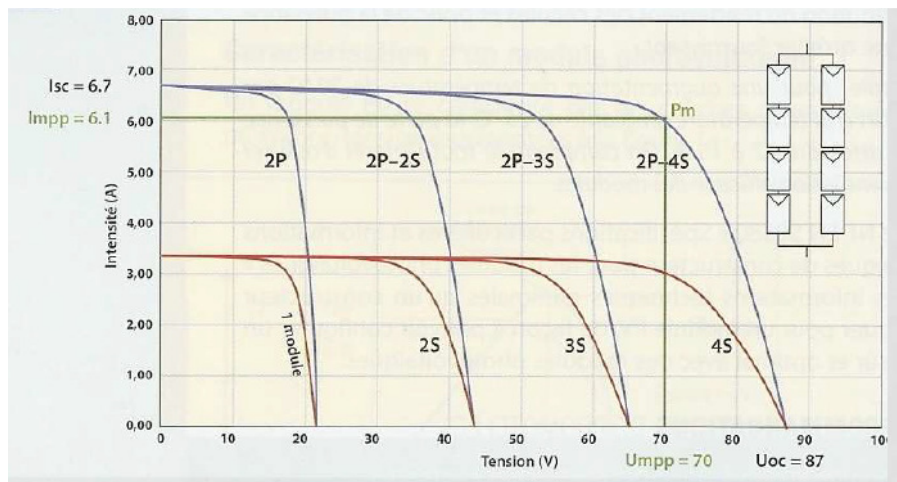


Fig. 2.8a Connexion des modules série/parallèle

2.3.3 Protection des modules

Pour la protection des modules (fig. 2.8b) connectés en série en cas de défaillance ou d'ombrage, on met en parallèle avec chaque module une diode parallèle dite by pass et pour la protection des modules connectés en parallèle, on met des diodes anti-retour.

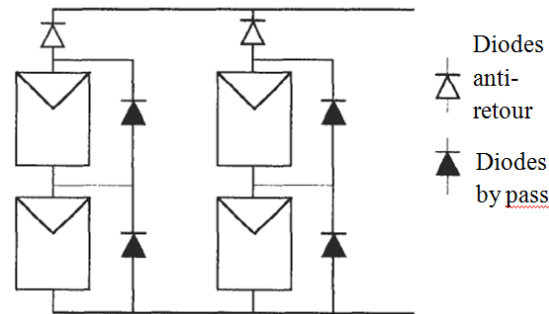


Fig. 2.8 Diodes de protection

2.3.4 Emplacements des champs PV

En général on a trois possibilités pour la position des champs PV :

- Les toits où les modules forment une partie du toit ;
- Les terrasses;
- Les surfaces libres au sol.

Le montage en toiture est le plus répandu et peut bénéficier, dans certains pays d'une prime accordée pour une installation dite intégrée au bâti.

Remarque

- Un passage libre entre les rangés des modules doit être suffisant pour donner la possibilité pour la maintenance et la réparation des modules défectueux.
- Entre les modules, un espace d'environ 2 cm est nécessaire pour une aération du champ PV.
- Les systèmes doivent comporter des gouttières à l'intérieur des raies de montage pour permettre de poser et de protéger les câbles de connexion.
- Une distance entre les lignes, dans le cas des terrasses ou surfaces libre, est de quatre à six fois la hauteur des panneaux afin d'éviter l'ombrage.