

Chapitre 01 : Généralités sur le système photovoltaïque autonome.**Introduction**

Les systèmes photovoltaïques transforment directement la lumière du soleil en électricité, et ce silencieusement et sans pièce mécanique en mouvement. Les cellules photovoltaïques exploitent les propriétés semi-conductrices de certains matériaux comme le silicium. Soumises à la lumière, elles produisent un courant électrique continu. Si nécessaire, il peut être transformé en courant alternatif selon les caractéristiques des applications électriques à raccorder. Les systèmes photovoltaïques peuvent ainsi alimenter de petits équipements portables (montres, calculatrices, ...), des applications en site isolé (habitations éloignées du réseau électrique, équipements de télécommunication, électrification rurale), ou être raccordées au réseau électrique.

I.1 Composition du système

Généralement une installation photovoltaïque autonome est constituée du générateur PV, du stockage, de la charge, du régulateur et éventuellement des interfaces de conversion continu-alternatif Figure (I-1).

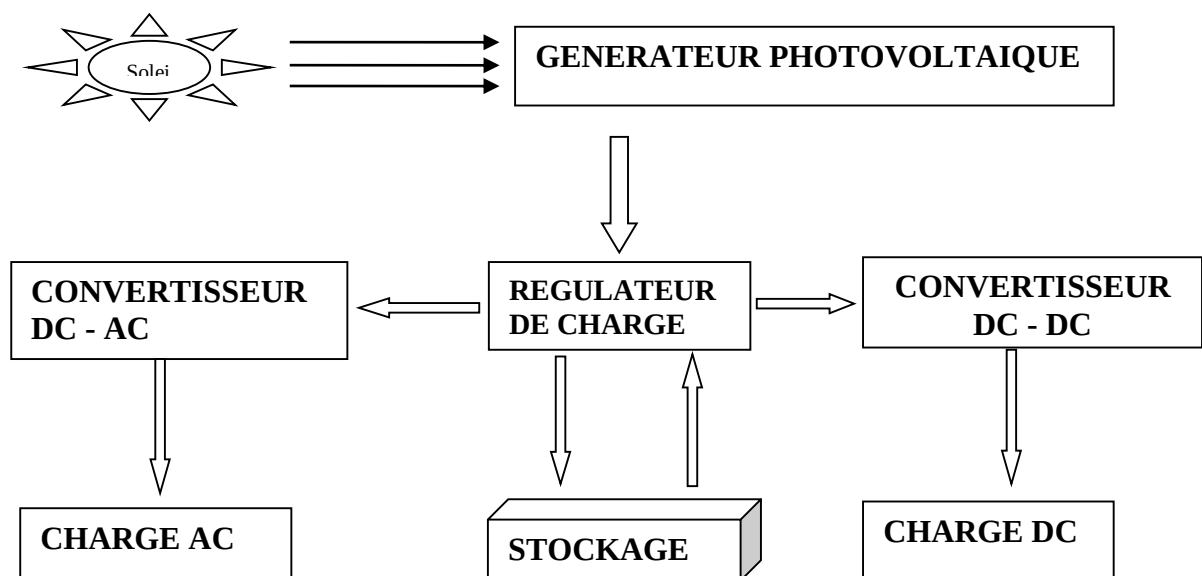


Figure (I-1) Systèmes photovoltaïques autonome

I.2 La Cellule Photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques (photon : grain de lumière et volt : unité de tension) sont des composants électroniques à semi-conducteurs (généralement faites de silicium sous ses différentes formes).

Elles convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité courant continu basse tension (effet photovoltaïque). Comme l'énergie lumineuse est le soleil, on parle alors de cellules solaires.

I.2.1 Historique et État Actuel

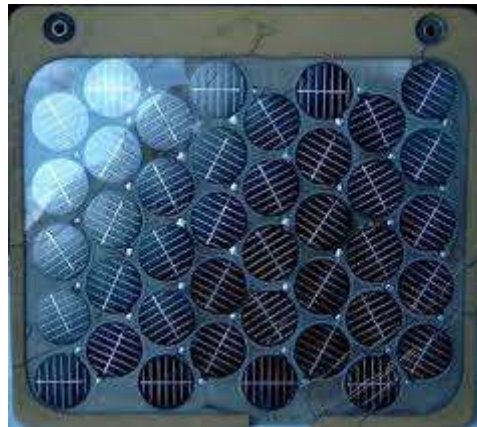


Figure (I-2) Module RTC 3Wc de 1967 (40 cellules de 3cm de diamètre)

En plaçant deux électrodes métalliques dans un liquide conducteur et en exposant l'ensemble au rayonnement solaire, on peut mesurer une faible tension. C'est ainsi que fut découvert l'effet photovoltaïque en 1839 par le physicien français Antoine BECQUEREL. Ce fut donc la première fois que l'énergie solaire fut transformée en énergie électrique. Dans les années 1880, l'américain Charles FRITTS mit au point les premières cellules solaires au sélénium. Les investigations sur le silicium, les tentatives pour l'isoler, le purifier, mettre en œuvre ses propriétés physiques, commencèrent avant 1910. Einstein en expliqua les mécanismes en 1912, mais ce n'est qu'entre 1930 et 1945 qu'un premier procédé industriel de Puri. Cation par refroidissement progressif du silicium fondu fut mis au point.

En 1954, deux chercheurs des laboratoires américains Bell, Darryl Chapin et Carl Fuller, annoncèrent au public que des cellules solaires à base de silicium avaient été obtenues avec un rendement de 6%.

Bien que ces deux scientifiques arrivent par la suite à fabriquer en laboratoire des cellules à 15% de rendement, ils rencontrèrent des obstacles économiques et les laboratoires Bell abandonnèrent leurs efforts de recherche pour diminuer les coûts de fabrication [1].

L'énergie photovoltaïque eut un regain d'intérêt dans les années 1950 lors des premiers lancements spatiaux de satellites (Vanguard I, 1958). Les crises économiques des années 1970 (flambée des prix du pétrole, 1973) puis les accidents de centrales nucléaires tels ceux de trois Mile Island (USA, 1979) ou de Tchernobyl (URSS, 1986) renforcèrent l'intérêt envers les énergies renouvelables, en particulier l'énergie photovoltaïque qui s'impose comme une des sources d'énergies renouvelables les plus prometteuses.

Deux types de technologie se partagent la quasi-totalité du marché mondial : les photopiles couches minces et les photopiles cristallines avec toujours le silicium comme matériau semi-conducteur. Les photopiles couches minces utilisent en grande majorité le silicium amorphe hydrogéné, les photopiles cristallines utilisent le silicium monocristallin et polycristallin.

Actuellement, on peut citer quelques-uns des nouveaux axes de recherches dans le domaine de l'énergie photovoltaïque tels que :

- L'utilisation des nanotubes de carbone pour un meilleur rendement.
- Le recours à de nouveaux nanomatériaux pour une meilleure absorption des rayons du soleil.
- La fabrication de cellules solaire flexibles.

I.2.2 Différentes technologies

Actuellement les principales technologies sont le silicium monocristallin, polycristallin et l'amorphe. Les cellules photovoltaïques au silicium monocristallin ont un meilleur rendement ; il varie généralement de 13 à 18%. Les cellules au silicium polycristallin possèdent les mêmes caractéristiques physiques cependant elles ont un rendement légèrement inférieur, soit de 12 à 15%. Le silicium amorphe est la troisième technologie utilisée, leur rendement est de 6 à 10%. D'une manière générale le rendement de la cellule varie selon la nature du matériau et le procédé de fabrication [2, 3, 4] (figure1.3).

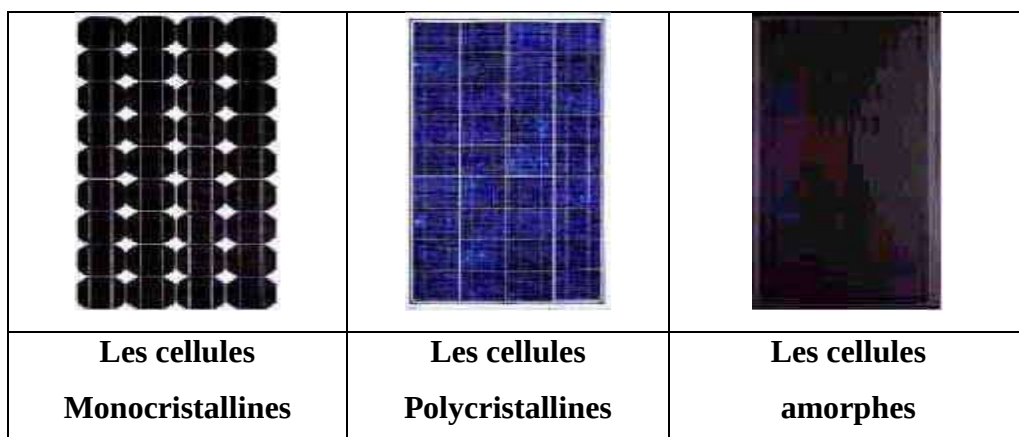


Figure (I-3) : Types de cellules photovoltaïque

I.2.3 Module Photovoltaïque

La tension générée par une cellule étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec des charges à alimenter, il faudra associer en série-parallèle plusieurs cellules. Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module Figure (I-4).

L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux :

- Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, etc. ...).
- Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique.

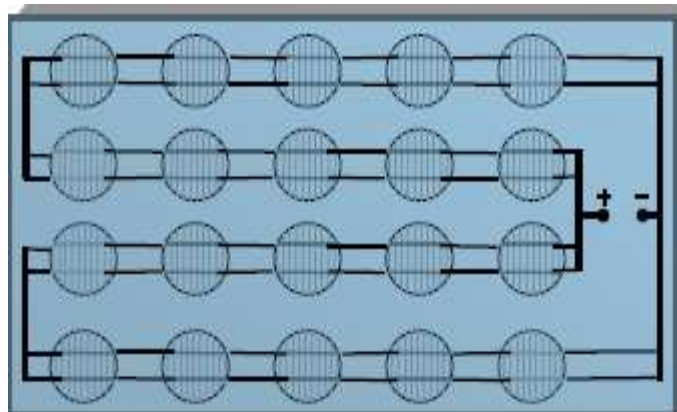


Figure (I-4) Module PV en groupement série - parallèle des cellules

I.2.4 Constitution d'un générateur PV

Actuellement la puissance d'un module est de quelques watts crêtes à quelques dizaines de watts crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série-parallèle des modules Figure (I-5) pour avoir un générateur PV. Pour des déséquilibres importants dus à l'occultation d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour remédier à ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules [5, 6, 7, 8].

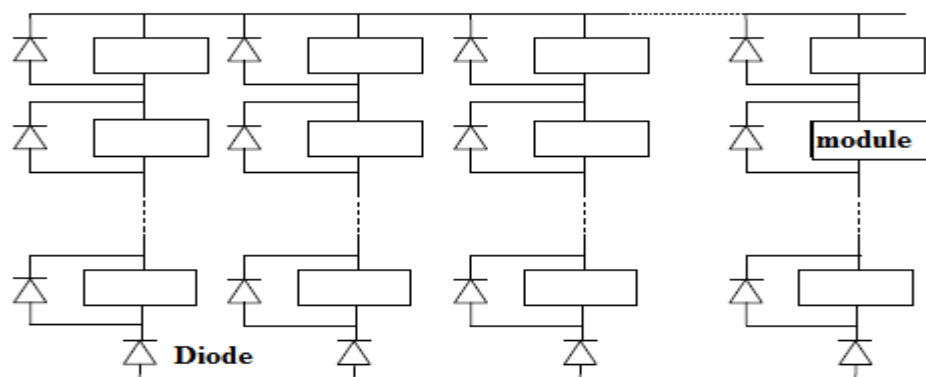


Figure (I-5) Schéma synoptique d'un générateur PV

- Les diodes en série :

Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir réceptrice du courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. On l'appelle aussi diode anti-retour et elle est située en série avec les modules.

- Les diodes en parallèles :

Au sein d'une série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masqué, défaillance), doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement ; des diodes sont donc placées en parallèle sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série et sont placées en parallèle avec les modules [6, 9, 10].

I.2.5 Caractéristiques d'un module [11] :

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- 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_{c0} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, (U_m , I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$.
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{c0} * I_{cc}$.

I-3 Système de stockage

Dans une installation PV, 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 solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales [12] :

- 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.

Les Caractéristiques principales d'une batterie sont

- 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.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [12]

- 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.

- 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 [9].
- La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [13].
- 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 endommager. Les fabricants de batteries de nickel- Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

- La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.
- La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.
- Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.
- Le taux d'autodécharge : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

I-3-1 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 [14].

a) Les 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. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [15].

a-1) Composition d'une batterie solaire plomb- Acide [16] :

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.

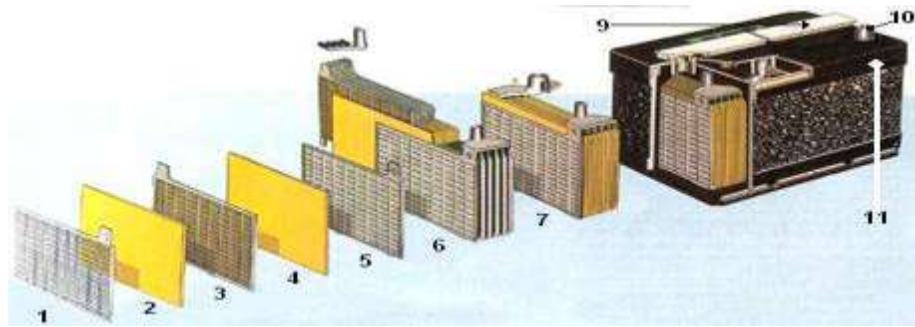


Figure (I-6) : Construction d'une batterie monobloc [16]

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

Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie. [16] Peut être l'alliage est en plomb avec 2-6% d'Antimoine. Moins la contenance en Antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge.

Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Ces batteries plomb- Antimoine sont de type de "cycle profond".

Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille. Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation.

Le Calcium fortifie aussi la grille et réduit l'autodécharge. Toutefois, le Calcium réduit la profondeur de décharge recommandée dans non plus de 25%. D'autre part, les batteries de plomb- Calcium sont de type "cycle peu profond".

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.

Les séparateurs peuvent être des feuilles individuelles ou des "enveloppes". Les enveloppes sont des manchons, ouverts par en haut, qui sont uniquement placés sur les plaques positives.

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.

Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus grande quantité d'ampères heure que la batterie peut fournir.

Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension varie 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.

Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6.

Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de terminaux externes dans la partie supérieure de la batterie.

Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte.

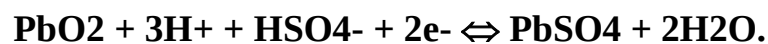
Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnés de manière à avoir une chute de tension très faible quel que soit le régime [17].

a-2) Principe de fonctionnement :

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons.

L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale :

Electrode Positive :



Electrode négative :



Réaction :



b) Les Accumulateurs au Nickel- cadmium [16] :

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 toxique à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

I.4 Régulation**I.4.1 Rôle de la régulation dans les systèmes photovoltaïques**

Le régulateur assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation.

I.4.2 Principe de fonctionnement des régulateurs

Information sur l'état de charge : La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge. De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser.

Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge.

Figure (I-7) représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension.

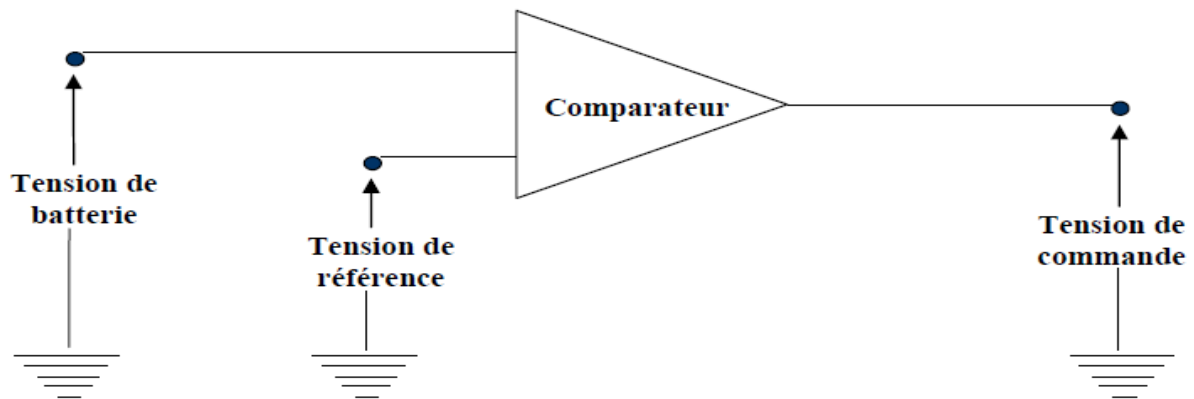


Figure (I-7) Schéma de principe d'un régulateur de charge

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils, un seuil haut et un seuil bas. Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont doublés de seuils de réenclenchement qui peuvent être ou non confondus. Le choix des seuils de régulation dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation (régime de charge, décharge, température...).

Il existe plusieurs types de régulateur, on peut citer deux types, le régulateur série et le régulateur parallèle.

I.4.2.1 Régulateur parallèle

Le circuit de débordement est connecté en parallèle sur le générateur pour dissiper l'énergie en excès. Le principe est décrit sur Figure (I-8), où la tension de fin de charge est ajustable par la tension de référence appliquée à l'entrée d'un amplificateur opérationnel.

Les principaux avantages de ce type de régulateur sont :

- La régulation de type proportionnel
- L'absence de la chute de tension dans le circuit série
- La consommation du régulateur négligeable
- Un défaut du régulateur n'interrompt pas la charge

Le principal inconvénient est le suivant :

- Les composants doivent dissiper la puissance totale du générateur

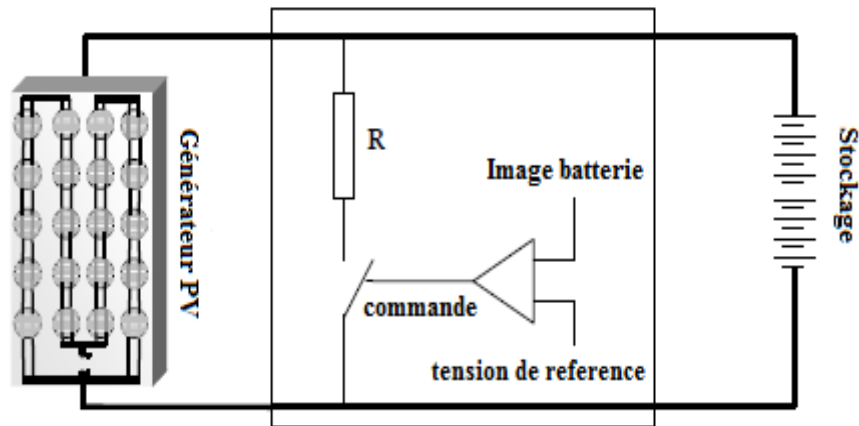


Figure (I-8) Régulateur parallèle

I.4.2.2 Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la Figure (I-9). C'est un composant électronique de puissance en série dans le circuit de charge dont la commande est assurée par une tension de référence. Le schéma ci-dessous donne un exemple possible de circuit série.

Le composant électronique série (par exemple : un transistor de puissance) se comporte comme une résistance dont la valeur augmente au fur et à mesure qu'augmente l'état de charge de la batterie.

Les principaux avantages en sont :

- La régulation de type proportionnel
- La puissance faible dissipée dans le circuit série comparée à la puissance du générateur PV

Les principaux inconvénients en sont

- Le circuit série introduit une chute de tension
- La défaillance du circuit série entraîne l'arrêt de la charge

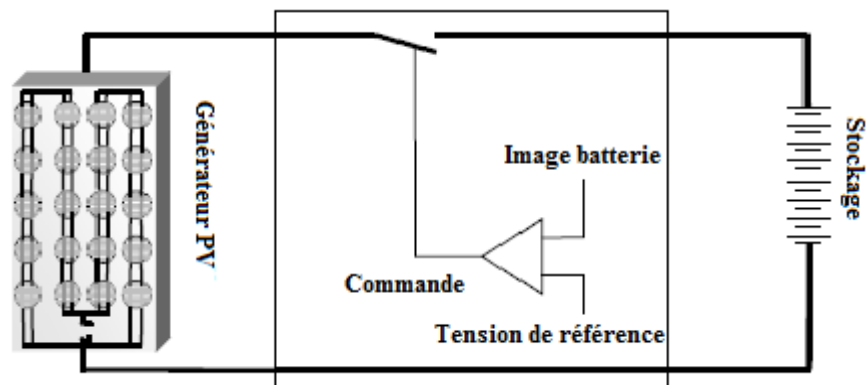


Figure (I-9) Régulateur série

I.5 Interfaces de conversion

I.5.1 Convertisseur Continu-Alternatif :

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste.

Ces appareils appelés couramment onduleurs Figure (I-10), présentent généralement deux inconvénients majeurs [5] :

- pertes à vide très élevées,
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale.

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale.

Il convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée.

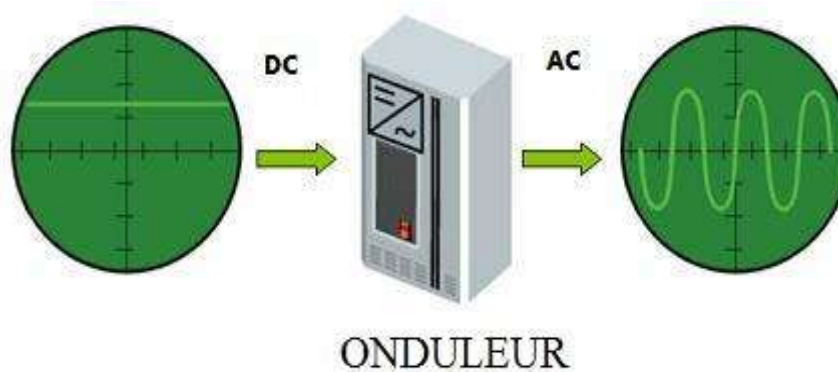


Figure (I-10) Onduleur

I.5.2 Convertisseur Continu-Continu

L'optimisation d'un générateur PV résulte du fait que la tension permettant d'extraire le maximum de puissance des modules PV est en première approximation constante quand l'éclairement varie. Par conséquent il suffit de maintenir constante la tension aux bornes du générateur PV.

L'asservissement en tension est réalisé grâce au convertisseur continu-continu Figure (I-9) dont la commande se fait par variation du rapport cyclique. Ce convertisseur appelé hacheur est un dispositif électronique (à transistor ou à thyristor de puissance) qui hache la tension d'entrée à une fréquence élevée. Ce dispositif permettant à partir d'un générateur délivrant une tension continue, de faire passer un courant constant réglable dans un récepteur à courant continu.

Suivant le branchement de l'élément commutateur (transistor ou thyristor), en série avec la charge, l'hacheur est un abaisseur de tension. Dans le cas où l'élément est en parallèle avec la charge, l'hacheur est un élévateur de tension.

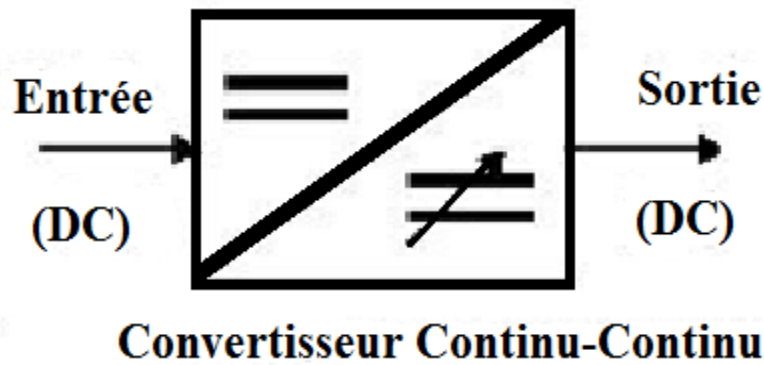


Figure (I-11) Convertisseur Continu-Continu

I.6 Charge

La charge représente les différentes applications du système PV, allant du simple chargeur de batterie aux systèmes de pompage d'eau. Ainsi les principales applications sont : utilisations domestiques (électrification), télécommunications, protection cathodique des pipelines, appareillages de contrôle de l'environnement, météorologie, transports, utilisations maritimes, activités récréatives, appareillages de sécurité, ...etc.

D'autres applications plus importantes se trouvent actuellement au stade de pratique courante, à savoir : fourniture de courant pour les stations radio et télévision (TV), le dessalement de l'eau et la production d'hydrogène par électrolyse.

Ces applications peuvent nécessiter différents types d'alimentation (tension continue ou alternative). Elles se différencient par leur utilisation diurne, nocturne ou constante sur la journée ainsi que par leur nature (puissance constante, résistive, inductive ou capacitive).

Notre étude portera sur l'électrification d'un petit village dans un site isolé.

I.7 Mise en place du système

Pour que le dimensionnement soit raisonnable, il faut qu'on assure une mise en place meilleure de notre système. Il est donc indispensable que le générateur puisse capter le plus d'énergie solaire possible. Pour les accumulateurs, leur fonctionnement et leur durée de vie dépendent autant de leur installation que des conditions d'utilisation.

I.7.1 Installation du générateur PV

I.7.1.1 Orientation et inclinaison du générateur PV

Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important. Elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année.

Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été.

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été.

Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été.

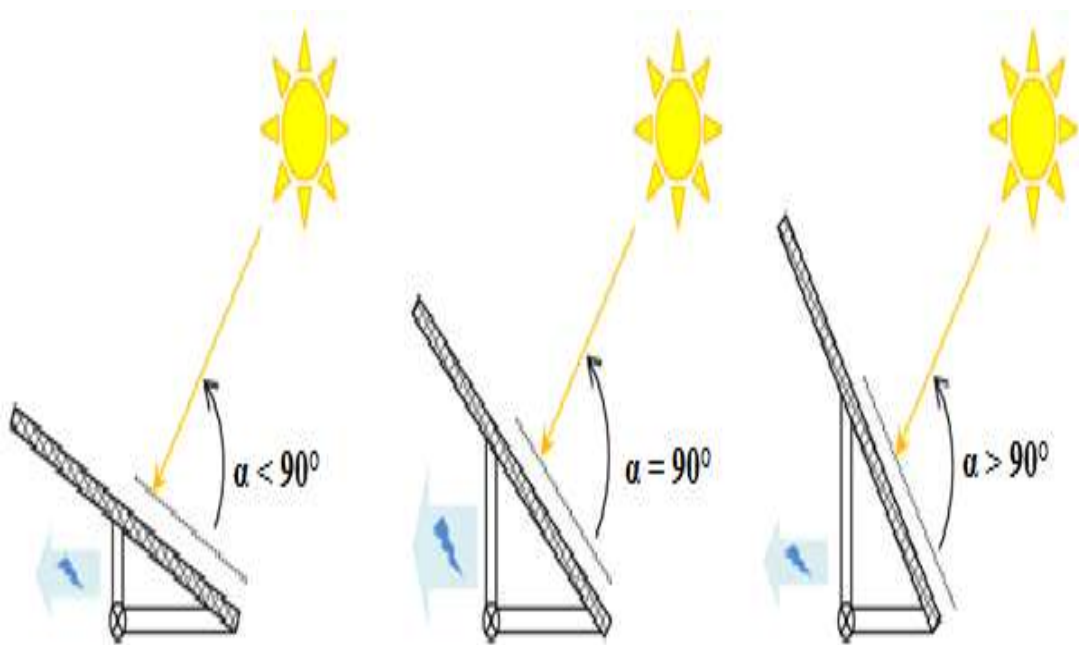


Figure (I-12) : L'orientation Sud est la plus exposée au rayonnement solaire

I.7.1.2 Montage des modules en rangs parallèles

L'occultation d'une série de modules peut provenir de l'installation du générateur lui-même.

L'écartement entre rangées doit tenir compte de ce facteur, la situation la plus défavorable étant atteinte le jour du solstice d'hiver.

I.7.1.3 Fixation des modules

La fixation des modules doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation contre le vent et les autres intempéries, contre les agressions mécaniques ;
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol ;
- Ventilation des modules afin de limiter leur échauffement ; les performances des modules diminuent quand la température moyenne des cellules augmente ;
- Rigidité de l'ensemble des modules.

De plus, le système de fixation lui-même est exposé aux intempéries et doit pouvoir leur résister, sa durée de vie doit être au moins égale à celle des modules eux-mêmes.

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation. Pour tout type de générateur, la structure classique consiste en un châssis avec une base plane pouvant recevoir des écrous de fixation eux-mêmes liés à une armature rigide (exemple : chape de béton).

Les supports sont en général réalisés en aluminium anodisé ou en acier inoxydable. Toute la boulonnerie de fixation est en général en acier inoxydable.

La structure recevant les supports doit :

- Pouvoir résister aux conditions climatiques, en particulier aux vents ;
- Permettre une bonne ventilation des modules : l'arrière des modules doit donc être suffisamment dégagé pour permettre la circulation de l'air ;
- Isoler les modules du sol. Il est conseillé d'adopter une distance minimum de 0,6 à 0,8 m entre le sol et le bas des modules [9].

I.7.2 Installation des batteries de stockage

Les accumulateurs, de par leurs constituants, sont des éléments présentant un certain nombre de dangers (toxicité, risque d'explosion). Ainsi que leur rendement est lié directement à leurs températures de fonctionnement (Il faut qu'ils soient aérés).

Une attention particulière doit donc être portée au local où sont entreposés les accumulateurs et à leur installation dans ce local.

I.7.2.1 Local des accumulateurs

Il doit assurer les fonctions suivantes :

- Isoler les accumulateurs des intempéries et des éléments extérieurs (pluie, neige, soleil...) ;
- Permettre une inspection périodique commode des accumulateurs ;
- Etre correctement ventilé, les accumulateurs dégagent des gaz qui peuvent former un mélange explosif ;
- Maintenir une température ambiante la plus proche possible de 20 °C et en tout cas compris entre 0 et 45 °C ;

I.7.2.2 Installation des accumulateurs

Elle doit assurer les fonctions suivantes :

- Isoler les accumulateurs du sol ;
- Permettre une inspection facile des niveaux et connexions, et l'addition d'électrolyte dans chaque accumulateur ;
- Permettre d'assurer des connexions électriques fiables, simples donc courtes, entre les accumulateurs ;
- Isoler électriquement les accumulateurs du sol.

I.8.3 Mise à la terre du système

La mise à la terre est l'un des moyens généralement préconisés pour éviter la destruction d'une partie du système par la foudre.

I.8 Avantages et inconvénients d'une installation PV**a) Avantages [18] :**

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

b) Inconvénients [18] :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques. Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

I-10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ainsi que les différents types de systèmes d'alimentations photovoltaïques existants et les éléments de base d'un système photovoltaïque autonome.