

8. Installation photovoltaïque isolée

Tsiliki Despoina, TDK, Crète

Attendus de l'apprentissage

A l'issue de ce cours, le lecteur sera à même de comprendre :

- comment un panneau photovoltaïque produit de l'énergie,
- le fonctionnement et les principales caractéristiques des accumulateurs (batteries),
- la nécessité de la présence et le fonctionnement d'un contrôleur de charge,
- comment fonctionne un onduleur,
- les bases de connaissance indispensable sur les autres composants nécessaires au montage et à la mise en fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

Introduction

Un système de panneaux photovoltaïques individuel est en mesure de fournir au producteur/consommateur l'énergie électrique permettant de couvrir ses besoins ou de revendre sa production. Ils sont notamment devenus communs là où il est techniquement difficile, voire impossible ou très coûteux de se connecter au réseau de distribution électrique. Avec ce type d'installation, de même qu'avec n'importe quelle installation individuelle de production à base de source renouvelable (comme par exemple une mini éolienne ou une micro turbine hydraulique), les bénéfices, au-delà des possibles aspects financiers, consistent aussi en une indépendance vis-à-vis des ressources fossiles.

Les composants d'une installation indépendante sont présentés comme un tout, mais la plupart d'entre eux sont communs aux installations PV connectées au réseau.

La sélection des composants ainsi que la réalisation et le montage ou la maintenance doivent être en accord avec les normes nationales (AFNOR en France), européennes (CE) ou internationales (ISO) en vigueur et respecter les règles de l'art.

8.1 Panneaux photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont l'élément essentiel d'une installation de panneaux photovoltaïques puisque ce sont elles qui produisent l'énergie électrique. Leur fonction est basée sur le phénomène photovoltaïque. Le principe est la conversion l'énergie solaire du rayonnement direct et diffuse en énergie électrique. À cette fin,

des matériaux semi-conducteurs sont employés pour la construction des cellules photovoltaïques, reliées en série ou en parallèle (et/ou les deux), selon la technologie, et créent ainsi ce que l'on nomme "panneaux photovoltaïques" (PV).

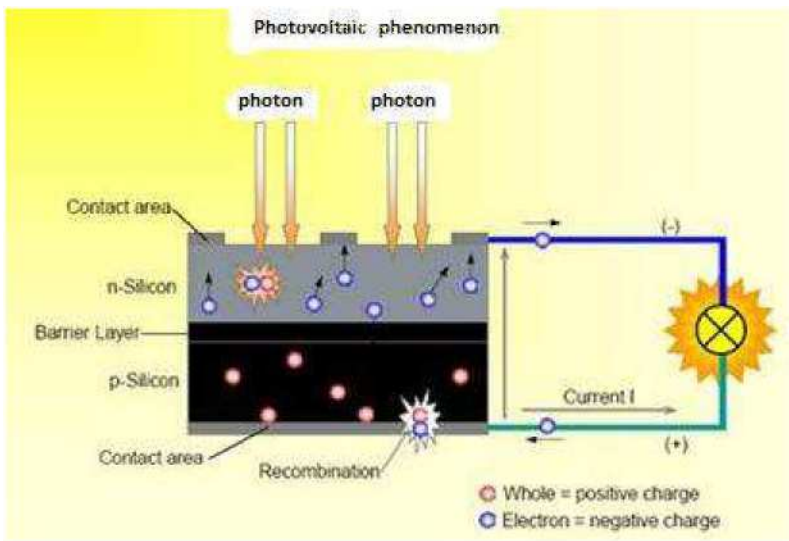


Figure 1 - Phénomène photovoltaïque

8.2 Quelle quantité d'énergie électrique est-elle produite ?

Les cellules sont les diodes semi-conductrices, habituellement p-n (positif-négatif), sans exclure d'autres types de diodes (par exemple Schottky).

Quand les photons tombent sur le matériel semi-conducteur, en provenance du rayonnement solaire, les photons avec un niveau d'énergie égal ou supérieur au domaine d'énergie du matériel semi-conducteur se heurtent aux électrons de valence du matériel et transfèrent au semi-conducteur toute leur énergie. De l'énergie égale au domaine d'énergie du matériel semi-conducteur est absorbée et mène au dégagement des électrons attachés aux atomes ou remplace un trou qui est perdu. S'il y a de l'énergie en excès, elle est convertie en énergie cinétique des électrons et, finalement, est perdue sous forme thermique. En conséquence, les électrons et les trous se déplacent irrégulièrement. Afin de diriger ce mouvement et créer le courant électrique, les matériaux semi-conducteurs avec des impuretés sont nécessaires. Le rôle de ces impuretés est de créer deux côtés différents dans le matériel, un avec plus d'électrons de valence (type de n) et un avec moins d'électrons de valence (type de p). Le raccordement des deux pièces crée une diode. De cette façon, le mouvement des électrons peut être orienté (différence potentielle) et le courant électrique peut être créé quand deux électrodes de différente polarité sont reliées (fig. 1).

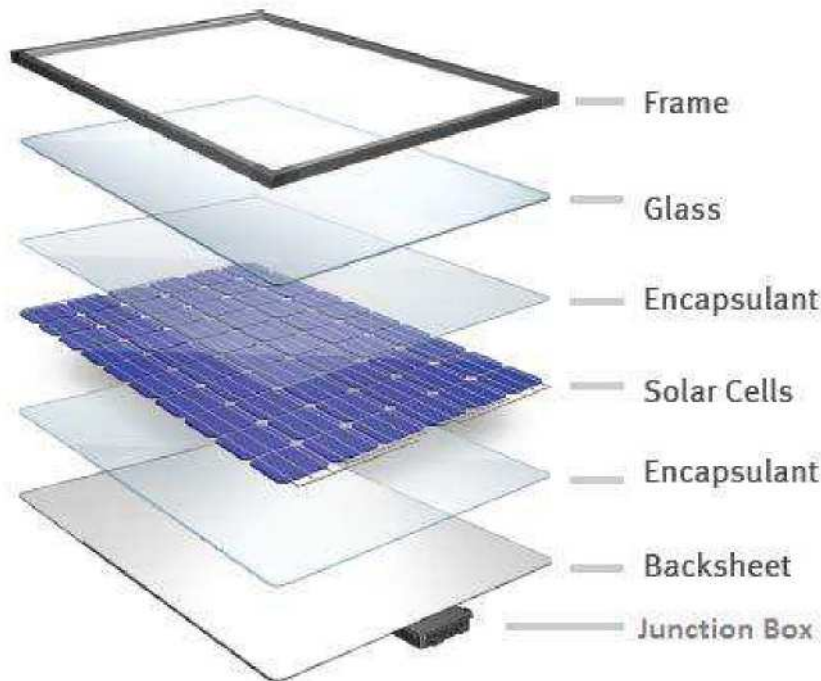


Figure 2 - PV panel's layers [1].

L'influence négative de l'augmentation de la température est représentée par une valeur caractéristique spécifique de chaque panneau.

Afin d'augmenter la tension et le courant qu'ils produisent, des cellules PV sont reliées en série et en parallèle respectivement. Ce genre d'arrangement crée le noyau du panneau PV.

À côté des cellules PV, cinq composants supplémentaires sont inclus dans le panneau PV (fig. 2) :

1. Un châssis, pour la protection contre le rayonnement UV, l'augmentation de température (avec la chaleur diffuse) et l'humidité, aussi bien que l'isolation électrique nécessaire du panneau et la résistance mécanique. Les demandes pour une durée de vie de 25 ans et la garantie d'un bon rendement durant cette période, alliée aux contraintes économiques ont généralement fait utiliser du Tedlar jusqu'à nos jours (feuille de PVF - fluorure polyvinyle) et la fabrication des feuilles de TPT, qui incluent des couches de PET (Polyéthylène Téréphtalate) entre les 2 couches de Tedlar. La nouvelle génération est constituée d'un sandwich Tedlar/PET/TPA (polyamide), avec une couche de TPA qui augmente la réflectivité (augmentation 15-20%) [2].
2. L'encapsulation, qui se compose de vitres spéciales, perméables et légères qui assurent la protection à long terme des parties les plus sensibles des cellules PV. Elles sont habituellement en silicone ou EVA (acétate d'éthylène-vinyle).
3. Verre protecteur, qui offre la résistance et la protection mécanique. La surface est antireflet pour ne pas bloquer le rayonnement entrant et son absorption.
4. Le cadre, qui est métallique ou polymère. Il peut ne pas exister du tout. Il est employé pour la protection du verre et également pour assurer la stabilité du panneau PV.

Selon la technologie utilisée, les panneaux PV peuvent être divisés en trois catégories :

1. Silicium cristallin (c-Si)
2. Les couches minces
3. Autres technologies

La première catégorie est également divisée en trois sous-catégories de base:

A) Éléments monocristallins de silicium. La maille cristalloïde des atomes de Si s'approche d'un cristal parfait (efficacité maximum 25%). Ils sont construits après avoir fondu le silicium en lingots, puis après refroidissement tronçonnage en feuilles très minces, qui sont les cellules PV. Leur épaisseur est d'environ 0.3 millimètre.

B) Les éléments polycristallins de silicium incluent des cristaux de différentes orientations. La cause de cette différence est la masse et le refroidissement plus rapide du silicium. Comme avec du silicium monocristallin, après refroidissement, le bloc cristalloïde est tronçonné en cellules très minces. L'existence de différents cristaux augmente la résistance interne aux points de raccordement (efficacité maximum 21.2%).

C) Films de silicium. Ils emploient jusqu'à 50% moins de silicium comparé "aux techniques traditionnelles" de construction monocristallines ou polycristallines (efficacité maximum 16%). Leur épaisseur est d'environ 0.3mm.

La deuxième catégorie est divisée en quatre sous-catégories de base:

D) cellules en silicium amorphe. Une caractéristique spéciale de cette catégorie est la structure non-cristalline. Ils sont construits en appliquant du silicium dans une couche en verre spéciale. Le manque de réseau cristallin limite l'efficacité (efficacité maximum 13.4%) [3].

E) Composés de chalcopyrite (CuInSe2 ou CIS, avec des CIGS de gallium). Il offre un absorbance exceptionnelle en basse lumière. Avec du gallium, l'efficacité peut monter encore plus (efficacité maximum 21.7%).

F) Tellure de cadmium, cd-Te. Son domaine d'énergie est autour de 1eV, très proche du spectre solaire, qui donne à cd-Te les possibilités pour absorber 99% du rayonnement (efficacité maximum 21.5%). Un obstacle à son utilisation est le fait que le cadmium, est cancérigène.

G) Arséniure de gallium, GaAs. Son domaine d'énergie est 1.43eV, idéal pour l'absorption de rayonnement solaire (efficacité maximum 38.8% quand elle est sous la forme de multi-jonction).

La troisième catégorie inclut les technologies encore à l'état de R&D ou en cours de développement. Cela concerne principalement les éléments organique/polymère (OPV), non-organique, et hybride (HIT) qui se composent de couches de Silicium amorphe et de silicium monocristallin.

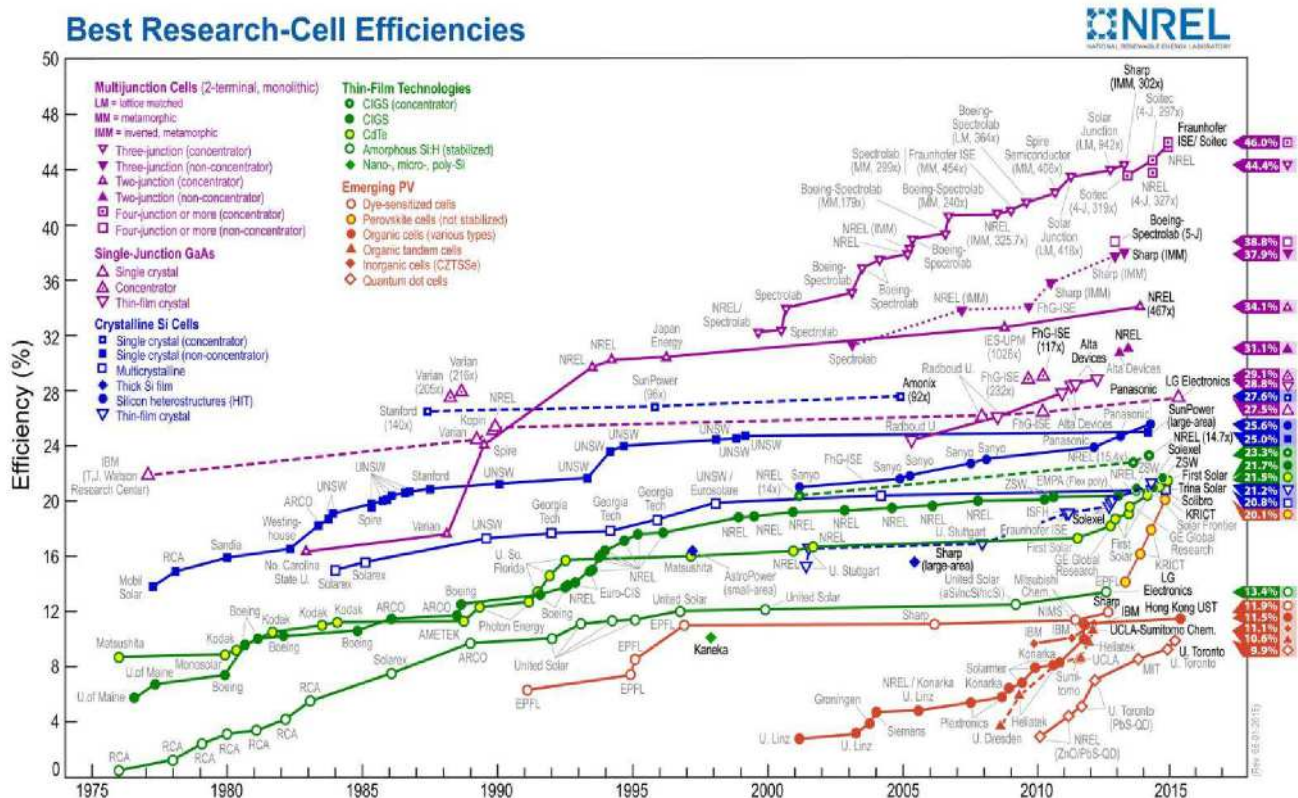


Figure 3 - Amélioration technologique des cellules PV – en fonction de l'efficacité pendant le temps [4]

Les catégories A et B dominent actuellement le marché des PV, car elles combinent le rendement élevé et un coût raisonnable.

Les caractéristiques de chaque panneau PV indiqué par les fabricants sont:

le courant de court-circuit I_{sc} , la tension V_{oc} , la puissance nominale P_{nom} , la tension maximale V_{mpp} , l'intensité maximum I_{mpp} , la puissance maximum P_{max} , et l'efficacité du panneau solaire (%), en tant que cette dernière est définie pour les conditions normales d'essais (STC : 25°C, rayonnement 1000W/m²).

Par principe, les panneaux PV produisent du courant continu. Les panneaux PV produisent la majeure partie de l'énergie par temps clair, quand le soleil est vertical au-dessus des panneaux PV de chaque rangée, et moins d'énergie le matin et l'après-midi, pendant des saisons où le soleil est bas sur l'horizon, et par jour nuageux. Les panneaux PV ne produisent naturellement pas d'énergie pendant la nuit.

Rappelons que les panneaux PV utilisés dans les systèmes autonomes peuvent être, selon la taille et le coût du système, les mêmes que ceux employés par des systèmes PV reliés au réseau électrique. La différence des installations, sans compter le coût financier, est le raccordement électrique différent: accumulateurs ou utilisation directe.

8.3 Batteries et accumulateurs-stockage

Les accumulateurs ou batteries rechargeables ou batteries d'accumulateurs, constituent l'élément qui fournit au système électrique de production énergétique son autonomie. L'énergie électrique qui est produite et non employée peut alors être stockée afin d'être employée où et quand cela est nécessaire (par exemple après le coucher du soleil). La quantité d'énergie électrique qui doit être stockée dépend des conditions locales, des besoins de l'utilisateur et particulièrement du nombre maximum de jours nuageux consécutifs possibles, aux crêtes de consommation et au degré de fiabilité du système, en combinaison avec l'existence ou pas de toute source d'énergie auxiliaire. Habituellement, des systèmes PV autonomes sont conçus afin d'assurer l'autonomie en énergie pendant trois à dix jours [5]. En même temps, les accumulateurs ont le rôle de préserver la tension de système de PV dans des limites définies, pour qu'elle soit utilisable par la charge reliée.

Les accumulateurs sont chargés quand l'énergie électrique produite dépasse la demande et déchargés dans le cas opposé. La période de temps de la charge complète jusqu'à l'épuisement complet de l'énergie stockée et au relancement du remplissage est appelée **cycle de charge** (le procédé inverse constitue le cycle de décharge).

Les caractéristiques pour chaque accumulateur sont: tension (V), capacité (Ah) et profondeur de la décharge (DOD). Le nombre de cycles et la profondeur de la décharge sont liés; en effet, plus profonde est la décharge, plus le nombre de cycles (donc la durée de vie) sera réduit. En même temps, dans la vie de l'accumulateur, la capacité utilisable se réduit de plus en plus en raison de son vieillissement. Le nombre de jours autonomes que chaque utilisateur exige, définit toute la capacité de l'accumulateur.

Certaines des demandes les plus importantes qui doivent être prises en compte pour le classement par taille du système de stockage de l'énergie sont les suivantes:

Efficacité-durée: efficacité de haute énergie, longue vie (comptée en années) et stabilité de capacité, efficacité de charge élevée même avec un à faible intensité, faible taux de décharge.

- Coût financier: coût bas pour l'acquisition de l'équipement, des bas coûts de maintenance et des besoins, facilement disponibles internationalement, pour avoir la possibilité de s'approvisionner en pièces détachées.
- Matériel: Basse exposition aux conditions inadéquates, faible toxicité et facilité de recyclage.
- Sécurité - fiabilité: Comportement dans le cas de surtension et de charges ou décharges trop profondes, facilité d'augmenter la tension ou la puissance par raccordement en série et parallèle de nouveaux modules, risques d'explosion limités, fiabilité à long terme.

Dans les systèmes PV autonomes, des batteries à décharge profonde avec beaucoup de cycles de remplissage

sont utilisées. La valeur commune pour les cycles de charge est 1500 avec une décharge même de 80% de sa capacité nominale sous 12V.

Les accumulateurs plomb-acide couvrent la plupart des demandes courantes du marché. Ils sont séparés en deux types selon la méthode de fabrication et sont tous deux utilisés dans les systèmes PV autonomes. Le premier type est ouvert ou type inondé, et le deuxième type est le type fermé ou scellé. Tous les accumulateurs plomb-acide produisent de l'hydrogène et de l'oxygène lors de la charge par le phénomène d'électrolyse. Dans une batterie de type ouvert les gaz s'échappent, en conséquence l'élément spécifique a besoin d'un complément en électrolyte pour pallier cette perte. Dans le type fermé, l'élément est construit de telle façon que les gaz sont retenus et recombinés. Rappelons que le dioxygène est explosif pour un teneur dans l'atmosphère de seulement 4% volumique.

Les accumulateurs ouverts (type commun OpZs) exigent une bonne ventilation, une réserve d'électrolyte, mais ils ont également de grandes capacités, combinées à un nombre élevé de cycles de charge et un coût relativement bas. Les accumulateurs de type fermé, habituellement régulés par une soupape eux offrent une bonne efficacité à forte intensité (brève durée de la décharge) et incluent une faible quantité d'acide. Cela signifie qu'ils sont peu sensibles aux pertes d'eau qui se produisent principalement à températures élevées, mais résistent également au gel car il y a assez d'espace pour l'expansion du liquide dans l'enceinte dans l'espace de la soupape. En outre, ils n'ont pas besoin d'entretien, mais sont plus chers et offrent moins de cycles de charge.

À côté des accumulateurs plomb-acide, nous pouvons également trouver des accumulateurs cadmium-nickel Ni-Cd (rares en installation PV) aussi bien que les accumulateurs Lithium-ion, qui évoluent ces dernières années afin de pouvoir être utilisés en systèmes PV.

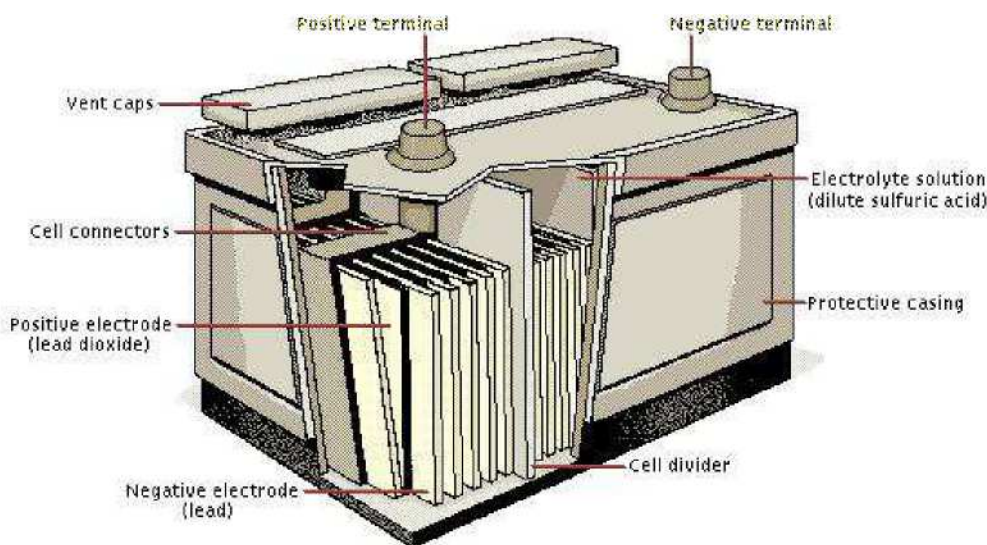


Figure 4. Accumulateur plomb-acide en coupe [10]

8.4 Chargeur - contrôleur de charge

Les procédures du charge et de décharge des accumulateurs, aussi bien que leur commande, sont essentielles pour les maintenir en bon état et, en conséquence, prolonger leur vie. La charge des batteries doit être faite en courant continu. Le courant alternatif doit donc être transformé (rectifié). Dans ce but, des redresseurs à semi-conducteur sont utilisés [7]. Pour le courant alternatif, Les chargeurs convertissent l'alternatif en continu (convertisseurs) afin de recharger les batteries. La charge peut être obtenue de plusieurs manières, mais son but, demeure le même en tous cas [8].

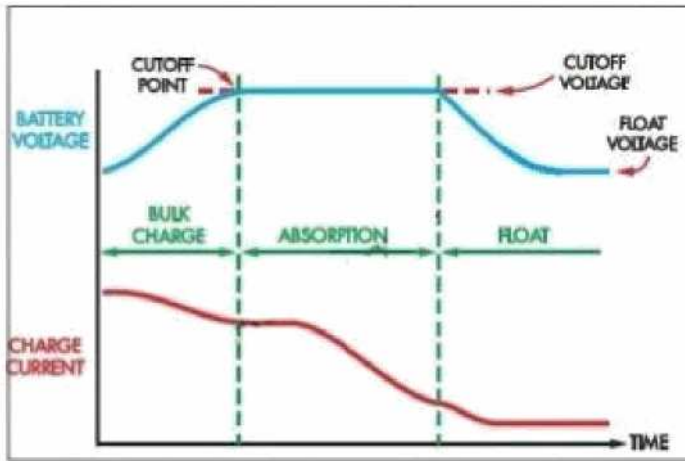


Figure 5 - États idéaux de charge pour un accumulateur plomb-acide [11]

Les méthodes de base qui ont été développées pour charger les accumulateurs plomb-acide sont:

1. Courant stable - un courant
2. Courant stable - étapes multiples de courant décroissant
3. Courant stable modifié
4. Potentiel stable
5. Potentiel stable modifié avec le courant initial stable
6. Potentiel stable modifié avec le pas final stable
7. Potentiel stable modifié avec le pas initial et final stable
8. Charge impulsionnelle
9. Charge stable ou flottante
10. Charge rapide

Un paramètre important pour le fonctionnement sûr et efficace d'un accumulateur est le maintien d'un niveau de charge le plus élevé possible. Ce rôle est tenu par le contrôleur de charge, qui rassure également la protection de l'accumulateur contre les surcharges ou les décharges trop profondes.

Que pilote le contrôleur de charge?

A) Protection contre la surcharge. Habituellement, le contrôleur limite la tension de l'accumulateur à une valeur maximum (régulation de tension de point de consigne - VR). Le courant est réglé tant que la tension d'ensemble est stable ou l'accumulateur demeure déconnecté jusqu'à ce que les chutes de tension de l'accumulateur au-dessous de la valeur réglée permettent le rebranchement, tension-AVR.

B) Protection contre la décharge. Habituellement, ceci est réalisé par l'ouverture du circuit de raccordement entre l'accumulateur et la charge quand la tension atteint le point de consigne de débranchement pour basse tension. La plupart de contrôleurs de charge ont une alarme légère ou audio qui informe l'utilisateur du système PV de la déconnexion de la charge. Après vérification, on peut alors rebrancher l'installation

B) Disposition pour la charge commandée. Il est possible de définir le raccordement et la décharge automatiques d'une ou plusieurs charges électriques à un instant spécifique pendant le jour, par exemple pour la fonction d'une charge légère quand le système PV ne fonctionne pas (du coucher du soleil jusqu'à l'aube).

Il y a deux catégories de base des contrôleurs de charge qui servent de base à beaucoup d'autres variations: des contrôleurs réglables en séries et contrôleurs réglables en parallèles. Les contrôleurs en série

fonctionnent en série entre la rangée de PV et l'accumulateur, en circuit ouvert. Ce système est employé dans de petits et grands systèmes PV autonomes. Le contrôleur en parallèle règle la charge, court-circuitant intérieurement le PV. Son utilisation est limitée aux systèmes PV de avec un courant plus moins 20 A. par ligne. La technologie des contrôleurs de charge a évolué et maintenant les systèmes les plus utilisés sont PWM et MPPT. Le système de PWM (modulation d'impulsions en largeur) diminue graduellement la puissance fournie à l'accumulateur pendant qu'il atteint le point de la pleine charge. Le plus populaire et meilleur système de commande de charge est MPPT (suivi de point de puissance maximum). Sa fonction est basée sur le fait d'assortir la tension du panneau PV à sa sortie avec la tension de l'accumulateur et, en conséquence, on obtient l'efficacité de charge maximale. Son efficacité peut atteindre 30% de plus que d'autres contrôleurs, c'est parce qu'il exploite presque toute la puissance fournie. C'est particulièrement vrai pendant les heures de faible ensoleillement, quand le rendement de puissance du système PV est bas, où la charge serait exclue tant que la valeur prédéfinie de la tension ne serait pas atteinte avec les autres technologies. Le contrôleur de MPPT doit également être relié à un amplificateur CC/CC afin de régler et diminuer ou augmenter la tension si nécessaire.

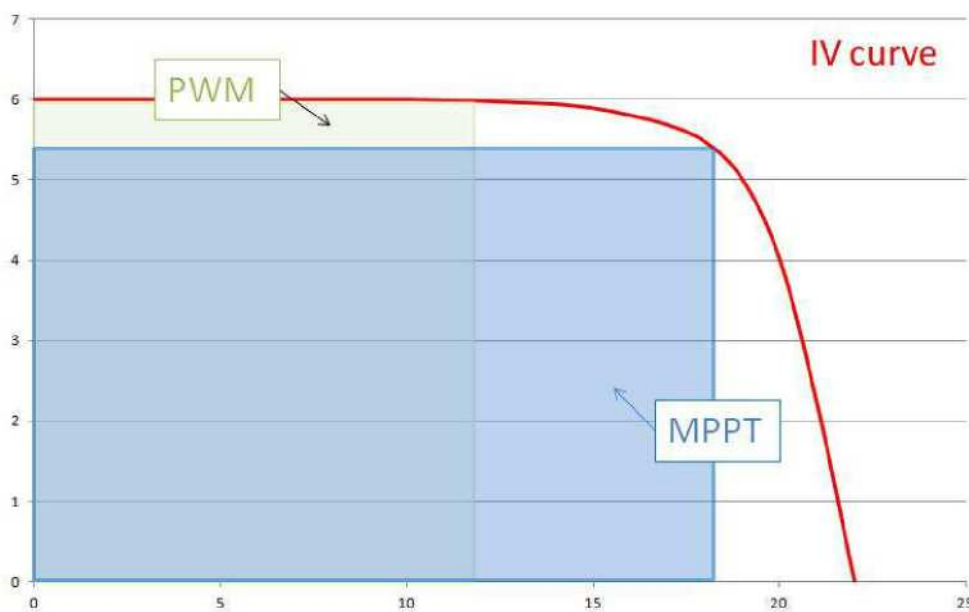


Figure 6. Comparaison de l'efficacité de PWM et de MPPT [9]

Les chargeurs et les contrôleurs de charge doivent fonctionner dans les mêmes conditions de charge pour que l'efficacité du système soit la plus élevée. En installations PV, CE sont habituellement des éléments différents (chargeur - contrôleur). Néanmoins, il y a certains types d'inverseurs avec un chargeur intégré et avec les possibilités de charge par générateur externe/de secours ou branchés sur le réseau. Dans ce cas, il n'y a aucun besoin de chargeur/contrôleur séparés.

En outre, pour des raisons de sécurité, les accumulateurs doivent être placés dans des espaces aérés et isolés des espaces habités aussi bien que de l'électronique, parce qu'ils sont susceptibles de libérer des substances chimiques dangereuses et de libérer de l'hydrogène et de l'oxygène pendant la charge. D'ailleurs, la zone d'installation devrait être protégée contre des températures excessives et être facile d'accès pour leur entretien, service et installation. Les accumulateurs peuvent être recyclés en fin de vie.

8.5 INVERSEURS CC/CA

On a presque toujours besoin de convertir le courant en CA car les appareils domestiques sont conçus pour être alimentés en CA par le réseau. L'inverseur est un appareil électronique qui convertit la tension CC en CA. L'inverseur (ou les inverseurs, selon la taille de l'usine) est relié directement aux batteries du côté CC et du côté CA à l'armoire électrique qui alimente les appareils.

Selon les panneaux PV choisis, l'inverseur approprié est choisi, tenant compte de la tension d'opération et de la puissance maximum d'opération.

Dans les systèmes PV autonomes, à la différence des systèmes PV reliés réseau, deux types d'inverseurs sont employés: inverseurs purs d'onde sinusoïdale et inverseurs modifiés d'onde sinusoïdale (fig. 7), selon la courbe de tension produite. Inverseurs purs d'onde sinusoïdale sont préférés cependant quand certains dispositifs exigent un courant pur d'onde sinusoïdale. L'onde sinusoïdale modifiée peut être employée couramment, excepté pour les charges spécifiques, par exemple des charges capacitives et électromagnétiques. La deuxième catégorie des inverseurs est préférée en raison de son coût plus faible, ainsi que pour certaines occasions par exemple pour le fonctionnement des appareils électroniques sensibles qui exigent une faible déformation harmonique totale (THD).

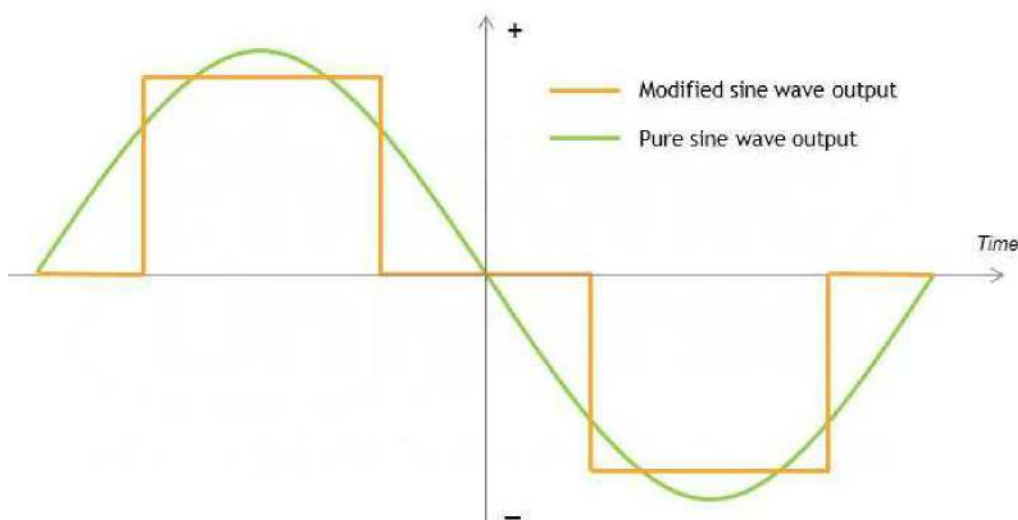


Figure 7 - Onde sinusoïdale pure et onde sinusoïdale modifiée

8.6 Autres équipements

En plus de l'équipement de base qui a été analysé dans les chapitres précédents, chaque système PV comprend les éléments suivants:

A) Système de support de panneaux PV

Selon leur placement, indépendamment de si c'est une installation résidentielle de toit ou une plus grande installation pour l'usage industriel (locaux commerciaux, terrains découverts à côté des équipements utilisant le courant électrique), des panneaux PV sont montés sur les bâtis appropriés, généralement avec une orientation spécifique (inclinaison fixe/bases fixes). L'orientation dépend de la latitude de chaque installation et les critères de sélection sont: l'utilisation du maximum d'énergie solaire et les possibilités données à chaque utilisateur selon la géographie du lieu.

Les châssis sont habituellement faits d'aluminium, acier inoxydable, acier galvanisé à chaud, ou polymère. Ils sont toujours choisis pour être entièrement statiques avec les panneaux PV montés sur eux et assurant leur résistance au vent ou au poids de la neige.

Dans le cas d'installations de toit, les bases se composent de rails adjacents, vissés sur la toiture, ainsi l'inclinaison est donnée par le bâtiment existant. Dans le cas d'installation en toit terrasse les bâtis sont des armatures en métal vissées sur le plancher, tandis que pour les installations au sol les bâtis sont montés sur le béton ou directement sur le sol. En général, on réalise sur place des socles en béton armé, ou des éléments préfabriqués, le tout placé correctement afin de pouvoir visser les bâtis [12].

Les supports se composent habituellement de pièces qui sont assemblées pendant la construction. Chaque partie est caractérisée par la surface de montage maximum qu'elle a, qui est normalement calculée en tenant compte des dimensions moyennes des panneaux. Des panneaux peuvent être placés dans des rangées simples ou doubles, en position portrait ou paysage.

8.7 RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

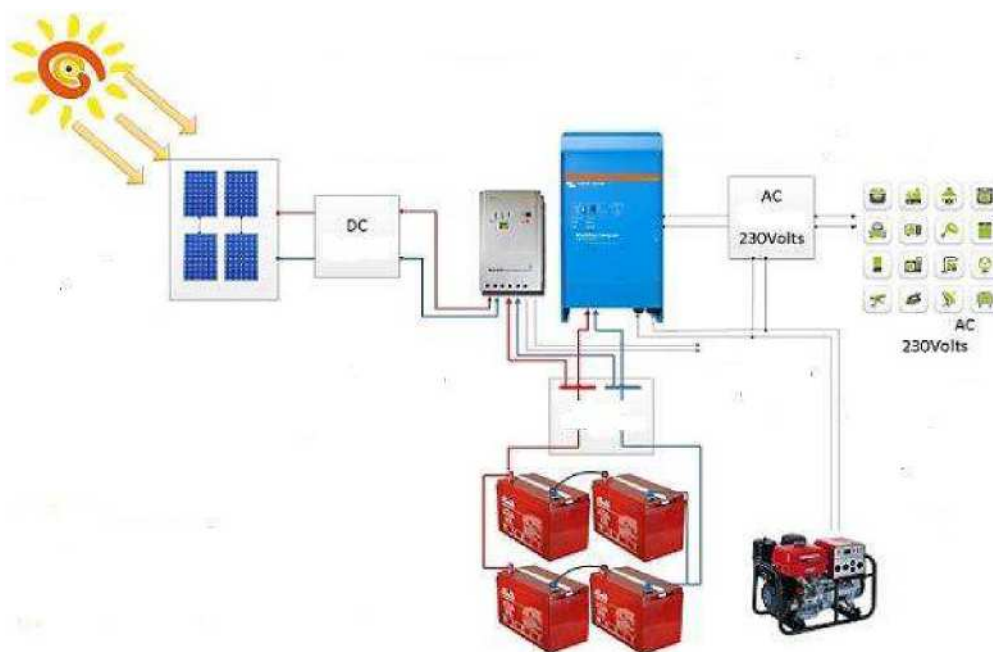


Figure 8 - Raccordement électrique d'une installation PV autonome [13]

Pour le bon fonctionnement d'un système PV autonome, une conception et une construction appropriées de l'installation électrique sont nécessaires.

La Fig. 8 montre la configuration électrique d'un système PV autonome. Les raccordements électriques des divers dispositifs sont faits avec le câblage CC (pour la partie jusqu'au côté CC de l'inverseur) et CA (pour la partie du côté CA de l'inverseur). Pour la sûreté et l'isolement du côté CC et CA, suivant les indications du schéma, des panneaux électriques appropriés sont placés chaque fois avec les fusibles à fonte rapide, disjoncteurs miniatures, les dispositifs de surintensité (RCD), dispositifs de protection contre la surtension (OVR) avec les cartouches réutilisables, isolant des commutateurs, dispositifs de protection contre la foudre. Le choix de l'équipement mentionné ci-dessus dépend des détails de chaque projet. Dans de grandes installations (au-dessus de 100kW) la tension est augmentée vers la moyenne tension par l'intermédiaire d'un transformateur, parce qu'elle est habituellement reliée à un générateur électrique pour la sûreté de l'installation. Dans ce cas-ci, on exige en plus que les dispositifs de sécurité appropriés pour la moyenne tension soient ajoutés (commutateurs automatiques, fusibles, relais de fuite, dispositifs contre la surtension et la surintensité, dispositifs de protection contre la foudre, relais de protection, disjoncteur, etc.).

Pour de grands équipements, on groupe les armoires côté CC (boîtes de câble, surveillance de circuit et unités de protection), sur les bâtis au dos des panneaux PV de quelques rangées, afin de limiter les pertes en limitant la longueur de câble soumis à du CC jusqu'au contrôleur de charge. D'autre part, parce que pour du câblage CC installé dehors, les câbles de basse tension devraient être type « câble solaire », c.-à-d. avoir la protection et la résistance contre le rayonnement UV - classe de protection II.

Des panneaux PV sont habituellement reçus avec les câbles CC exigés de sorte qu'ils puissent être reliés en série les uns avec les autres. À partir du bord de chaque rangée, les câbles partent pour se relier dans une boîte de groupement. Le cheminement de ces câbles est directement sous terre, même possible sans fourreau. La plupart de ces câbles sont arrangées dans des plateaux situés directement au-dessous des bases fixes. Ceux qui ne peuvent pas être conduits par les plateaux dans les boîtes de groupement, peuvent alternativement être conduits sous terre.

Tous les câbles de puissance et de communication (pour le raccordement du système et le raccordement aux dispositifs de basse tension) sont installés dans des goulottes. On ajoute à l'installation une unité d'UPS (alimentation d'énergie non interruptible), onduleur ou backup, pour servir les besoins fondamentaux en cas

de panne de batterie et que la fourniture de courant à l'équipement est strictement indispensable.

8.8 Protection - système de sécurité pour l'installation PV et les humains.

Habituellement, sur un système PV, un système automatique ou manuel de détection de feu et de protection contre les incendies est inclus. En cas de système de détection de feu automatique et de système de déclaration du feu, il y a des détecteurs d'incendie qui sont reliés à un panneau de signal d'incendie et de commandes qui déclenche à la sirène d'alarme. Dans le cas d'un système d'alarme incendie manuel, il y a habituellement seulement des moyens préventifs, tels que des extincteurs.

La mise à la terre est également cruciale pour l'exploitation du système, car c'est le moyen principal de protection pour les personnes et l'équipement. Le choix de mise à la terre d'une installation PV sera fait pour réduire au minimum la résistance au sol de l'installation PV (<1ohm), réduire au minimum le coût matériel, faciliter l'installation de mise à la terre.

La mise à la terre est conçue après mesure de la résistivité de sol à chaque emplacement où un système PV est installé, et en employant un progiciel approprié. Le moyen au sol habituel est un film/ruban en acier, galvanisé à chaud. Elle est installée autour du panneau électrique ou de la sous-station de production (dépendant à la taille de l'installation) et habituellement fixée aux tiges de cuivre de mise à la terre. Le système de la mise à la terre environnante, où la cathode et les conducteurs d'anti-foudre finissent, sera relié au reste du système de mise à la terre de la station PV.

8.9 Bibliographie - Sitographie

[1] [hotovoltaicmaterials de l'ucts-a nd-services/sola RP de
http://www.dupont.com/prod/what-makes-up-solar-panel.html#](http://www.dupont.com/prod/what-makes-up-solar-panel.html#)

[2] Issue 03/2014, PV-magazine , Industry and suppliers, Enduring to the end, Sara Ven-bruggen

[3] Evolution in photovoltaic systems for sparse electric energy production, I. Kompougias, A. Kiritsis, A. Nanakos, E. Tatakis, 2006

[4] National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, [United States Department of Energy](http://www.energy.gov), 01 June 2015

[5] K. Kagkarakis, Photovoltaic Technology, Symmetria Publications, Athens 1992

[6] Tom Markvart, Luis Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Ltd 2003

[7] H.A. Kiehne, Battery Technology Handbook, Marcel Dekker Inc, 2nd edition 2003

[8] DOE Handbook, Primer on Lead Acid Storage Batteries, Department of Energy, United States of America, 09/1995

[9] <http://www.victronenergy.com/blog/2014/03/28/matching-victron-energy-solar-modulesto-the-new-mppt-charge-regulators/>

[10] <http://www.molis.gr/ilektrismos.html>

[11] Sandeep Anand, Rajesh Singh Farswan, Bhukya Mangu, B.G. Fernades, "Optimal charging of battery using solar pv in standalone DC system", Industrial Electronics Magazine, vol.7, no-3, pp.6-20, Sep 2013

[12] M. Damianidhs, Γ.Katsaros, M.Tolis, Φ.Stergiopoulos, Technical Chamber of Greece,
Department of Central Macedonia, Constant commission of energy, .Guide for design and
actualization of photovoltaic projects., Thessaloniki, April 2011

[13] M.P. energy solutions, 2015