

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ces objectifs grâce aux nouvelles technologies des matériaux en particulier cellule photovoltaïque.

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [1].

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi le générateur solaire photovoltaïque et leurs performances.

I.2. L'effet photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » vient du Grec et qui signifie Lumière, il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta) qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés" par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être "arrachés":

Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique: c'est l'effet photovoltaïque [1].

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toute fois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux Etats-Unis, parviennent à fabriquer la première cellule photovoltaïque, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [1].

I. 3. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10^{-6} m. Sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbe. On distingue trois types de rayonnement solaire : direct, diffus et L'albédo[2].

I.3.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre.

I. 3.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Il peut être mesuré par un pyrano mètre avec écran masquant le soleil.

I.3.3 L'albédo

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.4. Les cellules photovoltaïques

I.4.1: Description de la cellule

C'est l'élément de base qui grâce à lui la conversion est faite par l'assemblage de plusieurs cellules, on peut atteindre une puissance acceptable.

Les photopiles ou **cellules photovoltaïques** sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide des matériaux semi-conducteurs ayant des propriétés intermédiaires entre conducteurs et isolants [2].

Le matériau de base est dans la plupart des cas le **silicium**. Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes [2].

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des "impuretés") sont substitués à des atomes de silicium dans un réseau cristallin : c'est ce que l'on appelle le dopage :

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type "N" (ex : dopage au phosphore).
- Si l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le Silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il sera dit de type "P" (ex : dopage au bore).

Une cellule solaire sera obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposées (jonction PN). Au voisinage de la jonction, un champ électrique apparaît provoqué par le déséquilibre de charges. Il va contribuer à drainer les électrons qui auront été détachés par l'énergie des photons (grains de lumière) incidents [2]. Pratiquement, la cellule PV est composée de plusieurs couches minces:

- Une couche "antireflet" sur la face avant dont le but est de faciliter au maximum la pénétration d'un maximum de photons à travers la surface et de réduire les pertes par réflexion;
- Une grille conductrice avant " collectrice des électrons " qui doit également être liée au silicium et ne pas être sensible à la corrosion.
- Une couche dopée N avec porteurs de charge libres négatifs (électrons).
- Une couche dopée P avec porteurs de charge positifs (trous).
- Une surface de contact conductrice en métal (collectrice des électrons), ayant une bonne conductivité ainsi qu'un bon accrochage sur le silicium.

I.4.2: Principe de fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif; conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trou dans le matériau semi-conducteurs; collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons / trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN.

D'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure I-1.

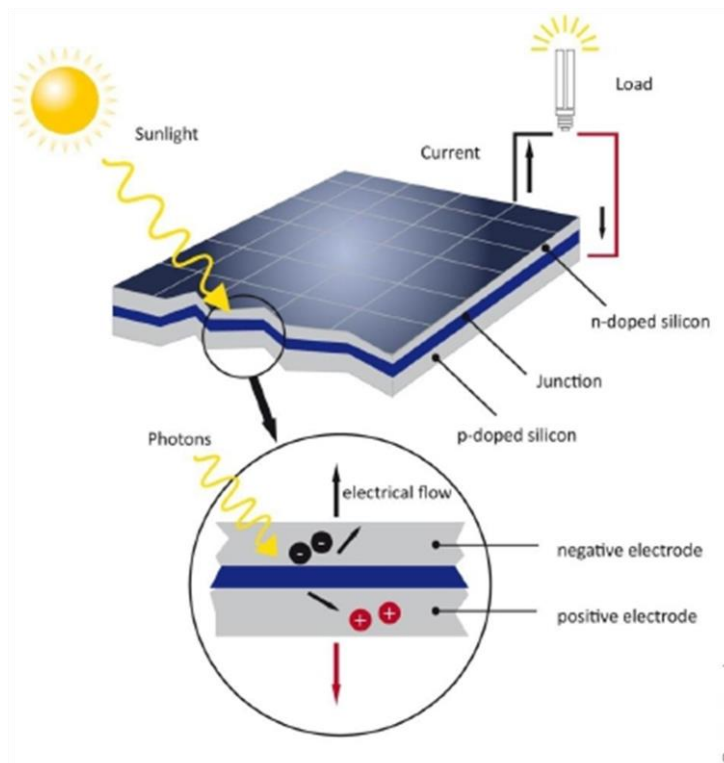


Figure I.1 : fonctionnement de la cellule pv

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont "envoyés" par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photocourant de diffusion dans la zone de charge d'espace, les paires électron/ trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique: les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura un photocourant de génération [3].

I.4.3: La jonction PN utilisée comme capteur PV

Un capteur PV est proche d'une diode PN de par sa constitution, les matériaux utilisés, et les phénomènes physiques identiques mis en oeuvre. Le comportement d'une cellule PV peut donc se modéliser comme celui d'une mauvaise jonction PN autant en statique qu'en dynamique lorsque cette dernière n'est pas éclairée.

En polarisant électriquement une jonction PN classique, on obtient les caractéristiques statique semblables à celles de la diode figure I.2.

Sans éclairage, le comportement d'une cellule PV est semblable à celui d'une mauvaise diode. Ainsi, sous polarisation directe, la barrière de potentiel est abaissée et le courant de porteurs peut se développer.

Sous polarisation inverse, seul un courant de porteurs minoritaires (courant de saturation) circule. Ce dernier varie peu avec la tension appliquée tant que cette tension est inférieure à la tension de claquage. Ces courants, directs ou inverses, comme pour des jonctions classiques, sont sensibles à la température de jonction [4].

Si cette jonction PN est soumise au rayonnement solaire, un courant électrique proportionnel à l'éclairage apparaît, c'est cette particularité qui est employée dans les générateurs photovoltaïques.

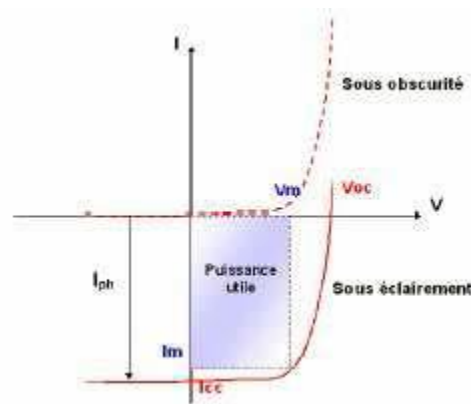


Figure I.2 : Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

I.5. Module PV

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module figure I.3.a. La connexion en série des cellules permet d'augmenter facilement la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle permet d'accroître le courant [5].

Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyl-acétate) figure 1.3-b et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière de polyéthylène [6].

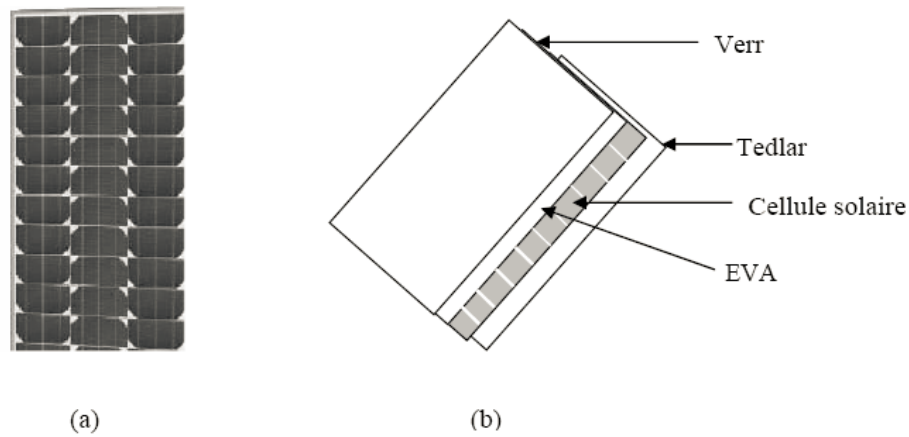


Figure I.3 : Module photovoltaïque

I.5.1: Panneaux PV

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série (augmenter la tension) et en parallèle (augmenter le courant) pour former un panneau.

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend :

- Des besoins en électricité
- De la taille du panneau
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisation
- De la saison d'utilisation

I.5.2: Générateur PV

Le câblage série/parallèle des panneaux est utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées, ce dernier que l'on appelle un central photovoltaïque.

I.5.3: Les caractéristiques d'un module PV

I.5.3.1 La tension en circuit ouvert

Si l'on place une photopile sous une source lumineuse constante, sans aucune charge à ses bornes celle-ci va produire une tension continue d'environ 0,6 V, appelée tension en circuit ouvert UCO ou à vide (elle varie légèrement avec la température et l'éclairement) [7].

I.5.3.2 Le courant de court-circuit

A l'inverse du cas précédent, si l'on place une photopile en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle. Ce courant est dit courant de court-circuit ICC. De plus, comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, le photo-courant fourni par la cellule est proportionnel à

l'intensité lumineuse et à la surface du panneau mis en oeuvre, Ainsi, plus ces deux paramètres seront élevés, plus l'intensité produite sera grande [7].

I.5.3.3 La puissance maximale

L'objectif principal de l'utilisateur du générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible, c'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale U_m et à une intensité maximale I_m . Lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement STC standard (25°C et un éclairement de 1000 W/m²), on parle alors de puissance crête, mesurée en watts-crête (Wc) [7].

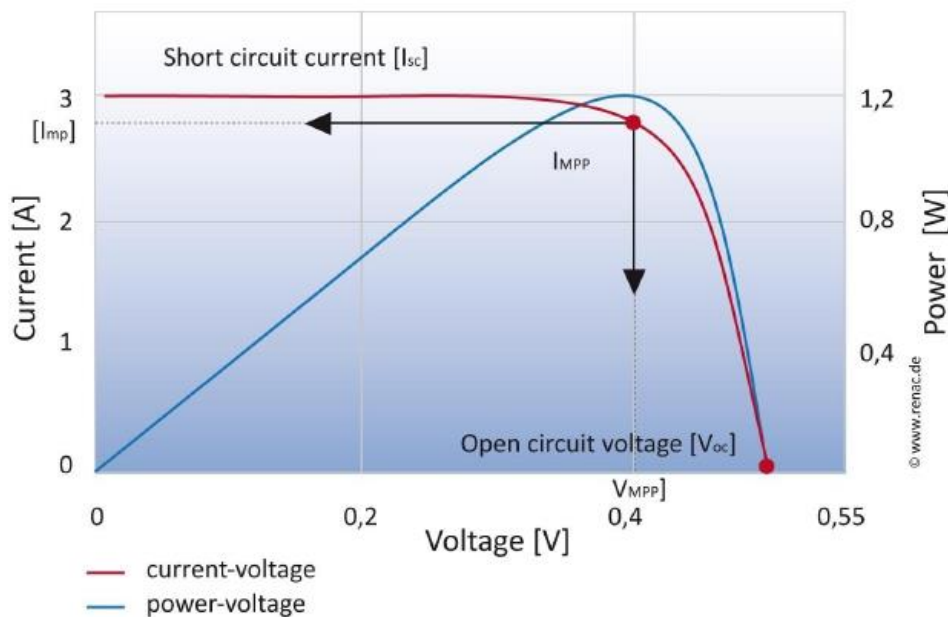


Figure I.4 : Caractéristique courant-tension d'une photopile .

I.7. Les critères influant sur le rendement de module PV

Pour que le module photovoltaïque garde toujours un rendement élevé, plusieurs paramètres entrent en jeu et perturbent sa fiabilité ou l'inverse, on peut classer ces critères en deux :

I.7.1 Critères atmosphériques

Ces critères sont imposés généralement par les conditions climatiques et dépendent principalement de l'atmosphère et des lieux des installations, on peut citer plusieurs paramètres tels que l'éclairement, la température, la vitesse du vent, la présence de poussières ...etc.

I.7.1.1 L'éclairement

Le rendement dépend de l'éclairement, ce facteur est variable le long de la journée et ne peut agir pour l'augmenter, la meilleure solution est de choisir un endroit de forte ensoleillement pour exposer les modules.

I.7.1.2 La température de fonctionnement

L'augmentation de la température influe directement sur le comportement de la photopile, elle engendre la diminution de la tension de l'ordre de 2 mV par degré, cette augmentation se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible, donc, sur le rendement de la cellule.

I.7.2: Critères non atmosphérique

Ce sont les critères qui ne dépendent pas de l'atmosphère et en fonction de ceux-ci on peut augmenter le rendement du module, Les principaux sont les suivants :

I.7.2.1. Le matériau de fabrication

Ce facteur est très important, et influe directement sur la conversion photovoltaïque, en général le silicium reste le matériau le plus fiable dans la fabrication du module et son rendement est le plus élevé.

I.7.2.2. L'inclinaison et l'orientation du module

En général, les modules sont statiques. Comme le soleil est en mouvement permanent, il faut donc leur donner une orientation et une inclinaison qui optimise l'énergie fournie annuelle.

L'orientation plein Sud des modules permet de capter un maximum de lumière au cours de la journée et résulte en un pic de production autour de midi [8].

L'inclinaison joue un rôle très important pour attirer le maximum de flux solaire, les expériences ont montré qu'il suffit incliner le module d'un angle de 30 degrés pour obtenir un meilleur rendement [8].

I.7.2.3 L'utilisation des régulateurs de charge

Afin d'améliorer les performances des modules photovoltaïque et d'assurer une meilleure durée de vie, il est primordial d'installer les régulateurs de charge. [7].

I.8 Commande MPPT

La cellule photovoltaïque a un point de puissance maximale (PPM) qui varie en fonction de l'ensoleillement et de la température ainsi que de la charge. Pour que le PV fournisse sa puissance maximale il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque.

Cette adaptation s'effectue par l'insertion d'un convertisseur DC-DC (hacheur Boost) contrôlé par un mécanisme de poursuite «Maximum Power Point Tracking» (MPPT).

La commande MPPT place le système au point de fonctionnement maximums (V_m , I_m). Pour cela, plusieurs systèmes ont été publiés dans la littérature.

- Les méthodes de poursuite du point de puissance maximale

- * Algorithme de la tension constante (CV, Constant Voltage).
- * Algorithme du Courant constant (Constant Current).
- * Algorithme MPPT basé sur le modèle.
- * Algorithme Perturbation et Observation (P&O).

* Algorithme de l'Incrémentation de la Conductance (IC).

On a choisi la commande Perturb and Observe.

I.9 Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (convertisseur continu alternatif) [8].

I.9.1 Convertisseur continu -continu

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking).

I.9.1.1 Convertisseurs DC-DC (hacheurs)

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le hacheur se compose de Condensateurs, d'inductance et de commutateurs.

Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS travaillant en mode bloqués-saturés sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance dans le cas idéal, c'est pour cette raison que les hacheurs ont de bons rendements [9].

Le commutateur du convertisseur est commandé par un signal PWM (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation Largeur d'Impulsion), avec une fréquence de commutation F_s fixe et un rapport cyclique α variable. Pour la commande PWM du commutateur on ferme d'abord le commutateur pendant un temps de fermeture égal à $\alpha.T_s$, ensuite on l'ouvre durant un temps d'ouverture égal à $(1-\alpha).T_s$, où :

- T_s est la période de commutation qui est égale à $1/F_s$;
- α est le rapport cyclique du commutateur $\alpha = (1,0)$.

Il existe plusieurs types des convertisseurs DC-DC. Parmi les quels, on présente le principe des deux types des convertisseurs (dévolteur, et survolteur) utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux solaires.

I.9.1.1.a Hacheur dévolteur (Buck)

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur « buck » ou hacheur « série ». Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion $M=V_s/V_i$ change avec le rapport cyclique du commutateur .

Le hacheur dévolteur sous sa forme de base est composé d'inductance (L), de commutateur (transistor) (S), de diode (D) et de condensateur (C). Ce dernier se charge par le commutateur (S) et maintient la tension à ses bornes jusqu'à l'ouverture de (S) qui fait décharger son énergie à travers la diode sur la charge (R) pour un cycle de période de fonctionnement [9].

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement.

La tension de la source (V_i) doit être plus grande que la tension (V_s) aux bornes de la charge.

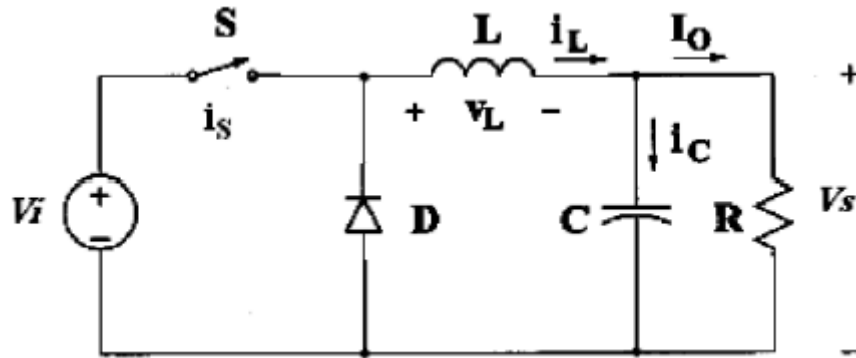


Figure I.5 Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur.

I.9.1.1.b Hacheur survolteur (Boost)

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élévateur de tension ou hacheur parallèle son schéma de principe de base est celui de la figure I.6. Dans un premier temps (αT), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, ensuite au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin de la première période. Après le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'oppose à la diminution de courant (I_L), ce qui génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D) [9] .

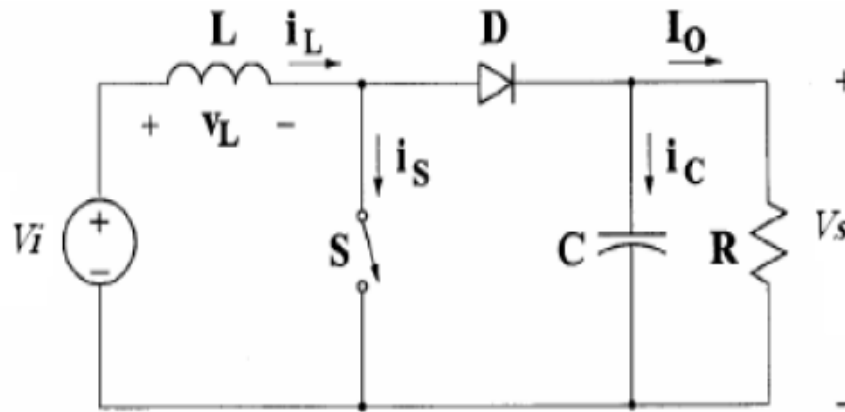


Figure I.6 : circuit électrique de base du hacheur survolteur.

La tension et le courant de la charge du convertisseur Boost dans le cas de la conduction continue sont donnés par :

$$V_s = \frac{1}{1-\alpha} \cdot V_i \quad (\text{I-1})$$

Et

$$I_0 = (1 - \alpha) \cdot L_i \quad (\text{I-2})$$

Lorsque l'interrupteur du transistor (S) est sur la position (on), le courant de l'inductance du hacheur augmente linéairement et au même instant la diode (D) est bloquée (off) [9].

Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure .

Le hacheur Boost possède de nombreux avantages décisifs pour cette application :

- Le Boost est élévateur de tension, critère primordial pour notre application .
- Il présente une entrée inductive apte à réduire le filtrage capacitif en sortie des cellules .
- Il possède un bon rendement.
- Il est de structure simple et peu coûteuse.
- Il est fiable.
- Il peut réaliser la fonction de MPPT .

I.9.1.1.c Hacheur dévolteur-survolteur (buck-boost)

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée ;il permet de faire remonter l'énergie depuis la sortie à cause de réversibilité des interrupteurs (cellule de commutation réversible) son schéma de base est illustré par la figure I.7

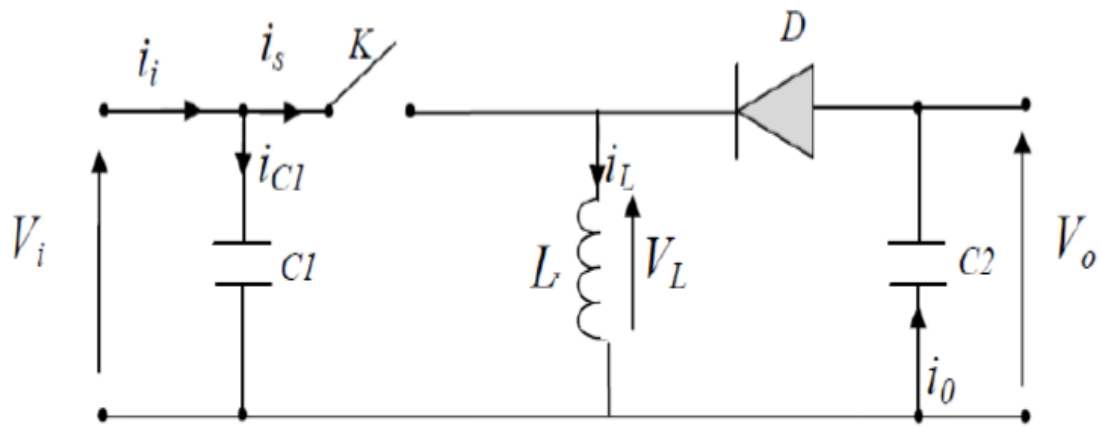


Figure I.7 Convertisseur buck-boost.

I.9.2 Convertisseur continu –alternatif :

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance il convertit la tension continue, en tension alternative contrôlée de façon très précise. La source de tension continue soit un aérogénérateur ou des panneaux solaires.

La commande de l'onduleur est basée sur la prédiction de la tension de sortie d'un pas en avant que nous appellerons « Dead beat control » par cette commande, la tension de sortie de l'onduleur est forcée de suivre une référence sinusoïdale échantillonnée pour la production à la sortie du filtre une onde proche d'une sinusoïde avec un taux de distorsion harmonique très réduit.

I.9.2.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion :

- Onduleur Monophasé.
- Onduleur Triphasé.

I.9.2.2 Onduleur Monophasé

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie.

a-Onduleur monophasé en demi-pont

Le schéma de principe d'un tel onduleur monté en demi-pont est montré sur la figure I.8.

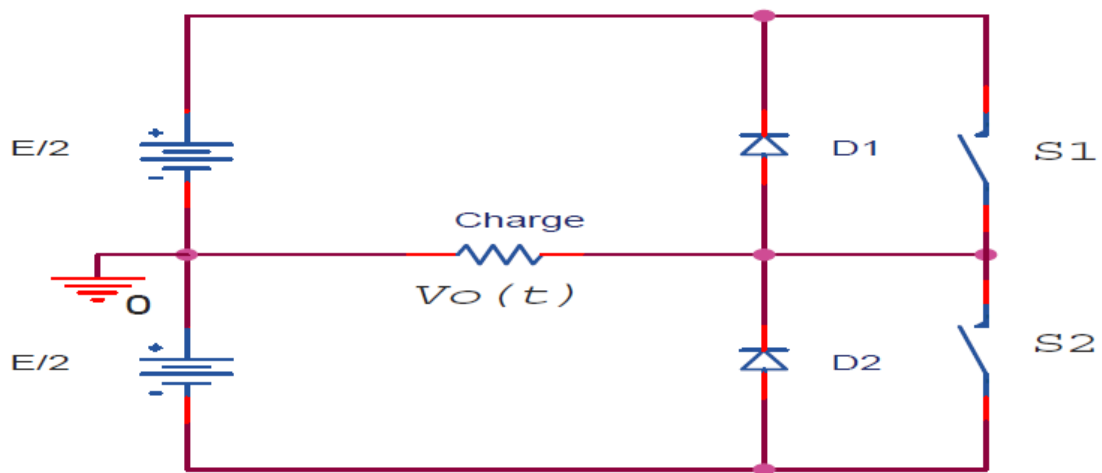


Figure I.8: Schéma de Principe d'un Onduleur Monophasé En Demi-pont.

Il est constitué principalement de deux interrupteurs de puissance notés $S1$ et $S2$ à commande complémentaire. La durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d'un demi cycle (180°) correspondant à la fréquence du signal de sortie requis.

Lors de la fermeture de l'interrupteur $S1$, la tension aux bornes de la charge serait donc de $+ E/2$, et prend la valeur $- E/2$ quand le second interrupteur, $S2$ est fermé.

La conduction simultanée des deux interrupteurs est évitée par l'élaboration d'une commande adéquate qui tient compte des différentes caractéristiques des imperfections de ces interrupteurs de puissance (temps de montée t_r , temps de descente t_f et temps de stockage t_s).

Les diodes $D1$, $D2$, dites de récupération, assurent la conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge.

B- Onduleur monophasé en pont (Pont H)

L'onduleur en pont est représenté en figure (I.9) il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par $S1$, $S2$, $S3$ et $S4$ quand les interrupteurs $S1$ et $S2$, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur $+ E$, et de $-E$ lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs $S3$ et $S4$.

Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément, à cause d'un court-circuit de la source de tension continue.

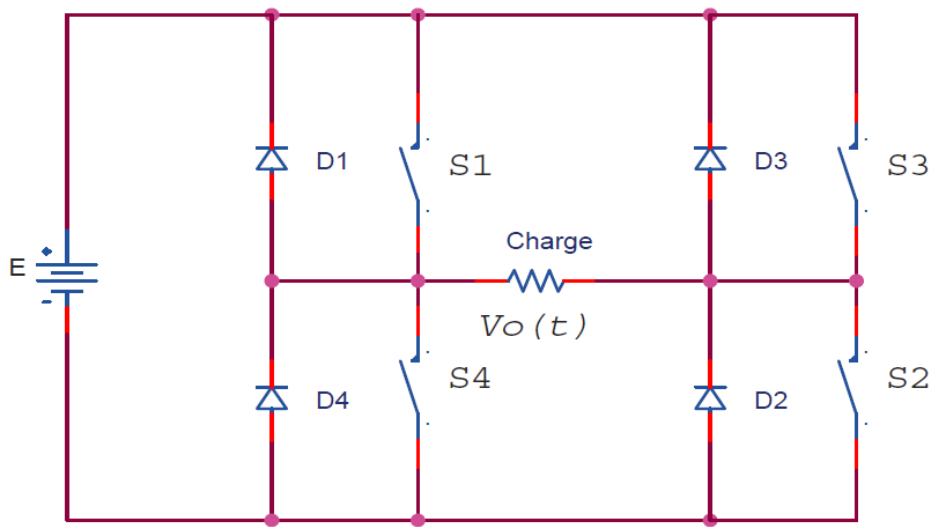


Figure I.9 : Schéma de Principe d'un Onduleur Monophasé En Pont.

I.9.2.3 Onduleur triphasé

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance .

La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre.

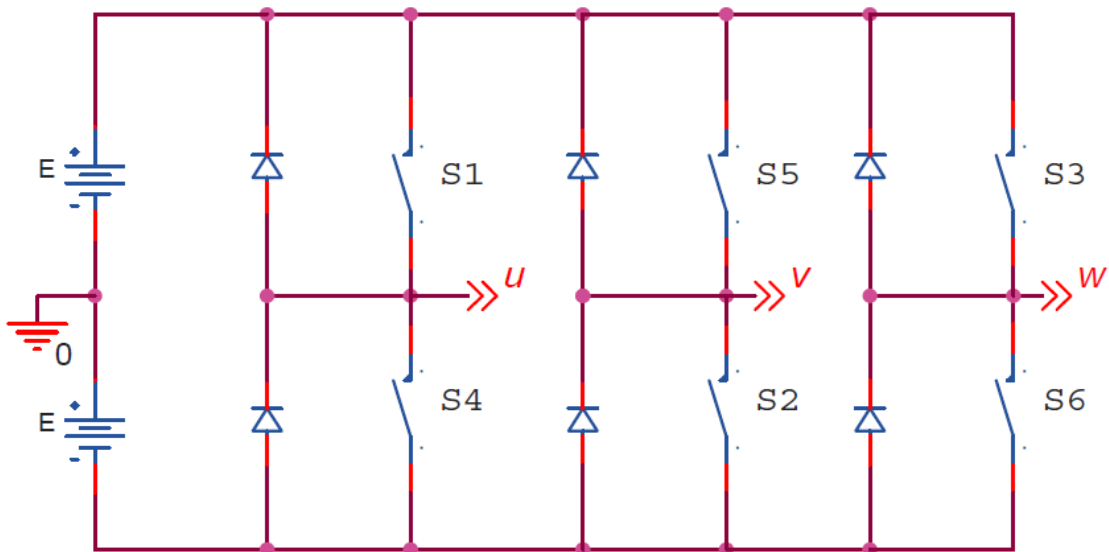


Figure I.10: Schéma de Principe d'un Onduleur Triphasé En Pont

Figure (I.10) illustre la topologie d'un onduleur triphasé à six interrupteurs de puissance.

Le décalage entre les signaux de commande est de 60° [10].

I.10 Système de stockage

La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les Appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande. L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, Été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques).

Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un Stockage d'électricité pour assurer une fourniture d'énergie quasi permanente quelles que soient les séquences d'ensoleillement. Cette fourniture d'énergie sera assurée, par des batteries.

La batterie est un ensemble de cellules électrochimiques capables de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique (pendant la charge), puis de la restituer par la suite (pendant la décharge) grâce à la réversibilité des réactions mises. Ces réactions consistent en des oxydations et des réductions (oxydoréductions en abrégé, soit perte ou gain d'un ou plusieurs électrons) au niveau des électrodes .

I.10.1 Les Caractéristiques principales d'une batterie

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

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

*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.

*Température: la température est un facteur qui influence la capacité de la batterie. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité. 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.

*La durée de vie: Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois 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)

*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.

*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 [06].

I.10.2 Différents Dispositifs de stockage

- * Les inductances supraconductrices [stockage magnétique]
- * Les volants d'inertie [stockage mécanique]
- * Les batteries d'accumulateurs [stockage électrochimique]
- * L'hydrogène [stockage pneumatique/conversion électrochimique]
- * L'air comprimé en bouteille [stockage pneumatique]
- * Les super-capacités ou super-condensateurs [stockage électrostatique] [12]

Le dispositif le plus utilisé pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques [13].

I.10.3 accumulateurs

Les accumulateurs et les piles sont des systèmes électrochimiques servant à stocker de l'énergie sous forme d'énergie électrique exprimée en wattheure (Wh).

Des réactions électrochimiques se produisent au niveau de l'accumulateur, elles sont activées au sein d'une cellule élémentaire entre deux électrodes baignant dans un électrolyte. Ces réactions génèrent une énergie dite chimique.

Un accumulateur, quelle que soit la technologie utilisée, est pour l'essentiel défini par trois grandeurs:

Sa densité d'énergie massique (ou volumique) qui correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de masse (ou de volume) dans l'accumulateur.

Sa densité de puissance massique, en watt par kilogramme (W/kg), qui représente la puissance (énergie électrique fournie par unité de temps) que peut délivrer l'unité de masse d'accumulateur.

Sa cyclabilité, exprimée en nombre de cycles, qui caractérise la durée de vie de l'accumulateur, c'est-à-dire le nombre de fois où il peut restituer un niveau d'énergie supérieur à 80 % de son énergie nominale.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait des descriptions générales sur l'énergie photovoltaïque, tous les éléments ont été introduits (cellule, module, panneau, générateur) afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes PV.

Ce chapitre nous a permis d'explorer le principe de la conversion photovoltaïque ainsi que le principe de fonctionnement de chaque élément constituant le système photovoltaïque à étudier.