

### III.1 Introduction

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 15000 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KW/m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une année.

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité encore importante arrive à la surface du sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m<sup>2</sup> dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m<sup>2</sup> lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau. Le flux solaire reçu au niveau du sol terrestre dépend ainsi de plusieurs paramètres comme :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude.
- La période de l'année.
- L'instant considéré dans la journée.
- La nature des couches nuageuses.

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et en optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur l'énergie solaire et le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi les types de refroidissement des panneaux photovoltaïques.

### III.2 Le rayonnement solaire :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol on distingue plusieurs composantes :

- Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion dans l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.
- Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel ce sont à la fois les molécules

d'air, les gouttelettes d'eau (nuage) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

- L'albédo est la partie réfléchi par le sol, il dépend de l'environnement du site. La neige par exemple renvoi énormément de rayons lumineux.

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions. [18]

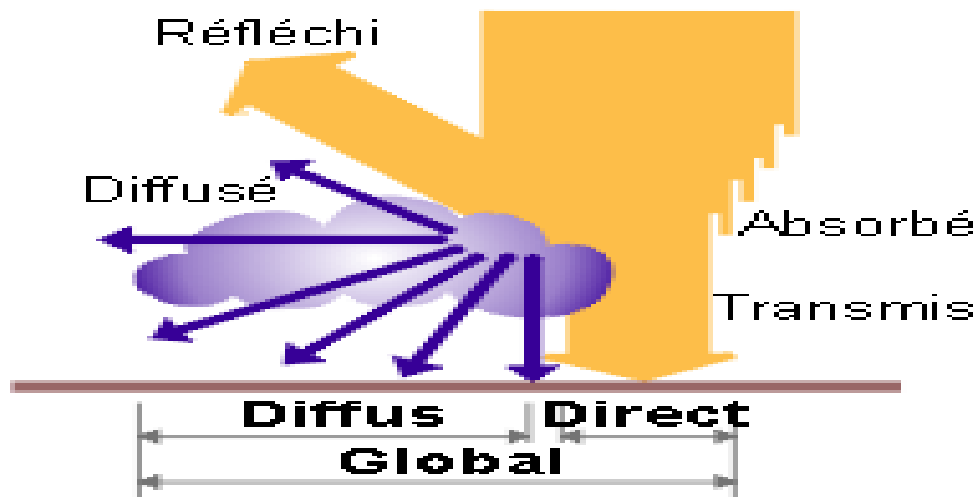


Figure III.1 : Différents composants de rayonnement solaire.

### III.3 Energie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie accessible à tous (industriels, collectivités et particuliers). Grâce à celle-ci, il est possible de produit trois types d'énergie : l'énergie calorifique avec les installations solaires thermiques, l'énergie électrique avec les installations solaires photovoltaïques et le solaire à concentration thermodynamique.

L'électricité photovoltaïque a dans un premier temps été développée pour des applications autonomes sans connexion à un réseau électrique pour par exemple des satellites de télécommunication ou pour des habitations isolées. On la trouve maintenant dans des applications de diverses puissances comme les calculatrices, les montres et d'autres objets d'utilisation courante. En effet, cette électricité produite par des cellules photovoltaïques individuelles peut alimenter diverses charges continues sans difficulté. Plus récemment, avec l'émergence d'installations photovoltaïques connectées au réseau de distribution, le photovoltaïque a connu un développement important en tant que moyen de production d'électricité.

Cette évolution constante a été rendue possible grâce aux recherches fondamentales menées dans le domaine des matériaux photovoltaïques, mais aussi par l'amélioration progressive des dispositifs de gestion de cette énergie menée en parallèle. En effet, l'électricité photovoltaïque est une source d'énergie intermittente, à caractère non-linéaire et dépendante de nombreux paramètres comme l'irradiance et la température.

Pour exploiter l'énergie solaire, on utilise des capteurs solaires, qui sont de deux types :

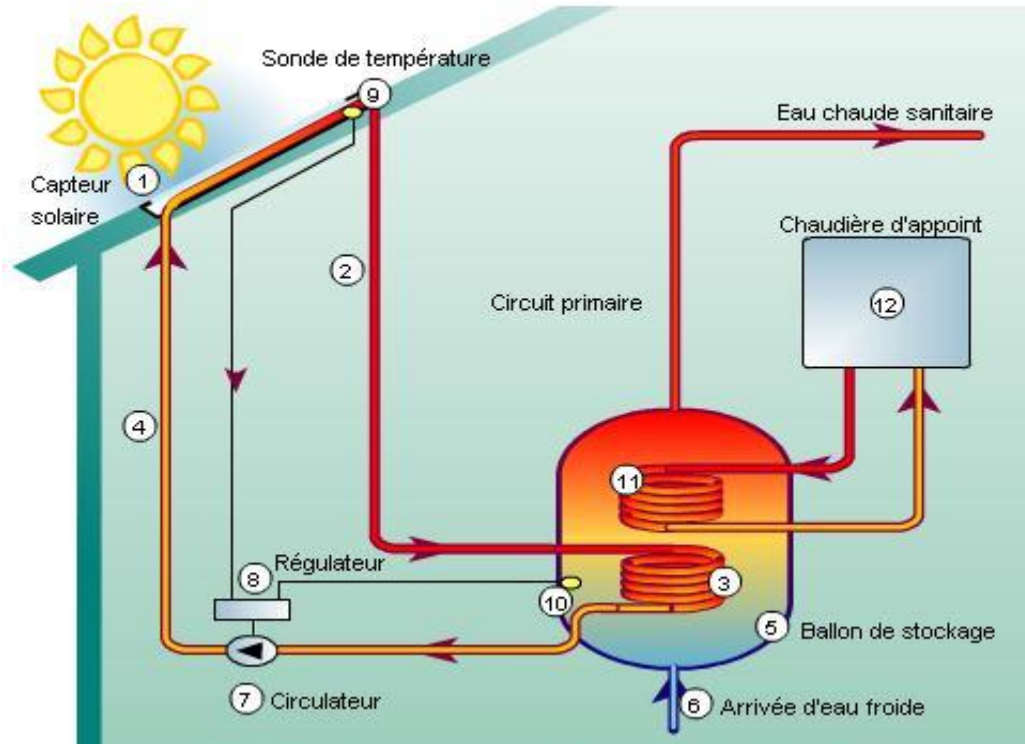
- les capteurs solaires thermiques : permettant soit la production de chaleur à partir de l'énergie solaire, c'est l'énergie solaire thermique ; soit une conversion indirecte de l'énergie solaire en électricité, on parle alors d'énergie solaire thermodynamique ;
- les capteurs (panneaux) solaires photovoltaïques : permettant une conversion directe de l'énergie solaire en électricité, c'est l'énergie solaire photovoltaïque. [19]

### III.3.1 Energie solaire thermique :

Est une forme d'énergie solaire. Elle désigne l'utilisation de l'énergie thermique du rayonnement solaire dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) ou indirectement (production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique, production de froid, etc.).

L'énergie solaire thermique provient de la chaleur transmise par le soleil par rayonnement et ne doit pas être confondue avec d'autres formes d'énergie solaire et notamment l'énergie solaire photovoltaïque qui utilise l'effet photoélectrique afin de transformer les photons émis par le soleil en électricité.

Le capteur solaire est l'instrument utilisé pour transformer le rayonnement solaire en chaleur. Les principes physiques fondamentaux sur lesquels se basent cette production d'énergie sont notamment l'absorption, et la conduction thermique. Dans le cas particulier des systèmes à concentration (centrale solaire thermodynamique, four solaire, , etc.), la réflexion joue aussi un rôle important.



**Figure III.2 :** Schéma de principe de l'utilisation de l'énergie solaire thermique.

### III.3.2 L'énergie solaire photovoltaïque :

Est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire. L'énergie produite par une centrale solaire photovoltaïque est dite renouvelable, car sa source est considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine.

Cette énergie n'est cependant pas totalement renouvelable, car la fabrication des panneaux photovoltaïques, leur installation et leur exploitation consomment de l'énergie issue en grande partie de sources non renouvelables ; mais un système photovoltaïque produit entre 20 et 40 fois plus d'énergie que ce qui a été utilisé pour le fabriquer.

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir les ondes électromagnétiques émises par le soleil en électricité. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules regroupés forment une installation solaire. L'électricité est soit consommée ou stockée sur place, soit transportée par le réseau de distribution et le réseau de transport.

### III.4 Historique :

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

\_ **1838** : Le physicien français EDMOND BEQUEREL découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide : c'est l'effet photovoltaïque.

\_ **1875** : WERNER VON SIEMENS expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

\_ **1954** : Trois chercheurs américains mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale cherche des solutions pour alimenter ses satellites.

\_ **1958** : une cellule avec un rendement de 9% est mise au point, les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

\_ **1973** : la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques.

\_ **1985** : la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque en Australie.

### III.5 Définition :

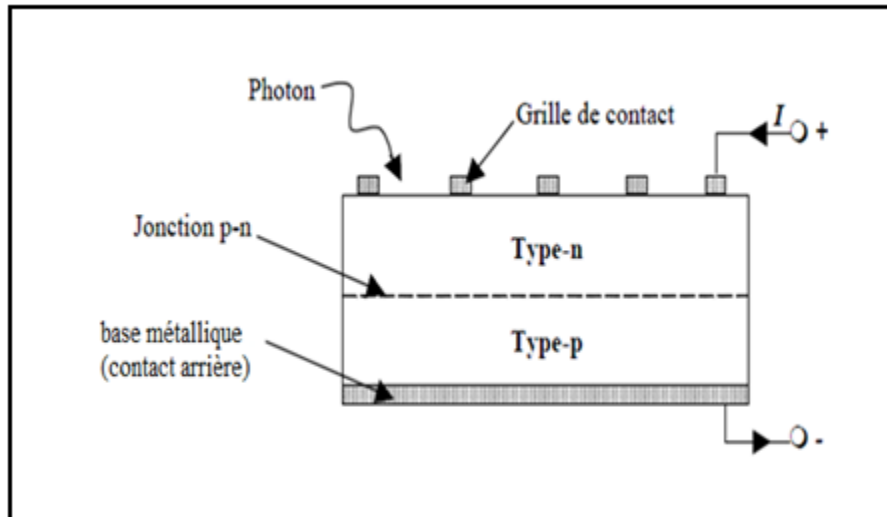
La conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu directement utilisable.

### III.6 Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque ayant été découvert par A. Becquerel en 1839. C'est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs. Le plus connu d'entre eux est le silicium utilisé pour les composants électroniques. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère un courant. En effet Lorsque les photons heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique.

### III.7 Principe d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée **P** (dopée au bore) et l'autre dopée **N** (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction **PN** avec une barrière de potentiel (**figure III.3**).



**Figure III.3.** Coupe transversale d'une cellule photovoltaïque.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction **PN** de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charge **N**) et des trous (charge **P**). Ceci crée alors une différence de potentiel électrique entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

La tension électrique maximale de la cellule est d'environ **0,6 V** pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert.

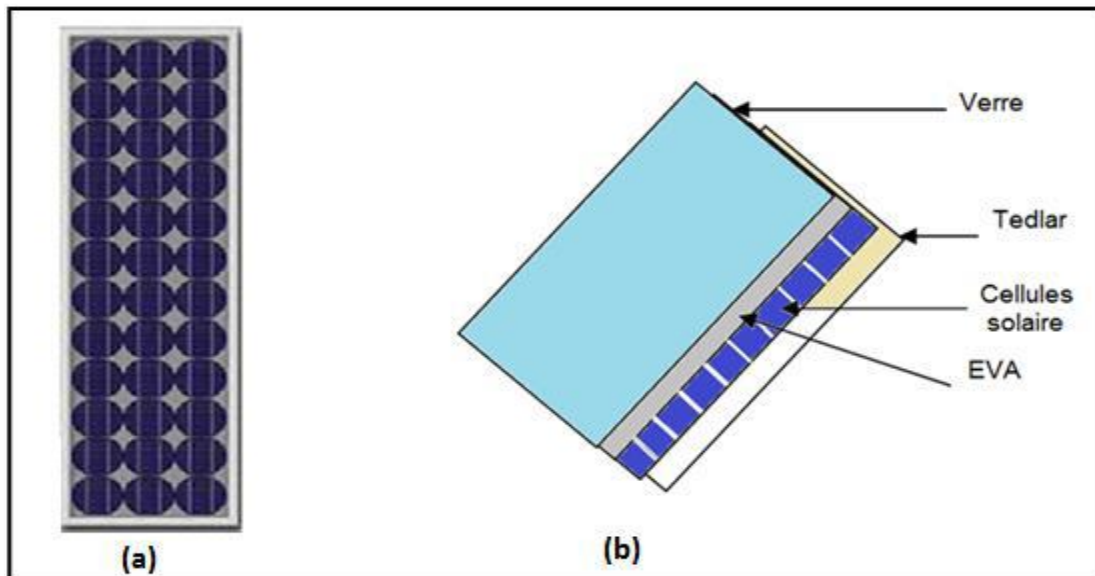
Le courant électrique maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit et dépend fortement du niveau d'éclairage.

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module **figure III.4(a)**. La connections en série de plusieurs cellules augmente la tension électrique pour un même courant, tandis que la mise en parallèle de cellules accroît l'intensité électrique du courant en conservant la tension électrique. Les cellules sont protégées de l'humidité par une encapsulation dans un polymère EVA (Éthylène-Vinyl- Acétate) (**figure III.4(b)**) et protégées sur la surface avant par une couche de verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une couche de polyéthylène [20].

Un module photovoltaïque se compose de :

- Une couche protectrice de verre.
- Une couche d'EVA de polymère éthylène-vinyl- acétate.
- Les cellules photovoltaïques à base du matériau de silicium mono ou poly-cristallin, amorphe d'autre matériau semi-conducteur.
- Les grilles collectes qui relient les cellules entre elle, en série ou en parallèle.

- Une couche de matériau de tedlar en dessous des cellules photovoltaïques pour protéger l'arrière de ces dernières contre l'humidité.
- Un couvert métallique qui regroupe la structure.



**Figure III.4.** Représentation schématique d'un panneau photovoltaïque.

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation pour associer les modules et les fixer à une structure (toiture ...). A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant deux diodes antiparallèles. Ces diodes permettent d'éviter qu'un module, au soleil, ne se décharge dans un module à l'ombre [21].

### III.8 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

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

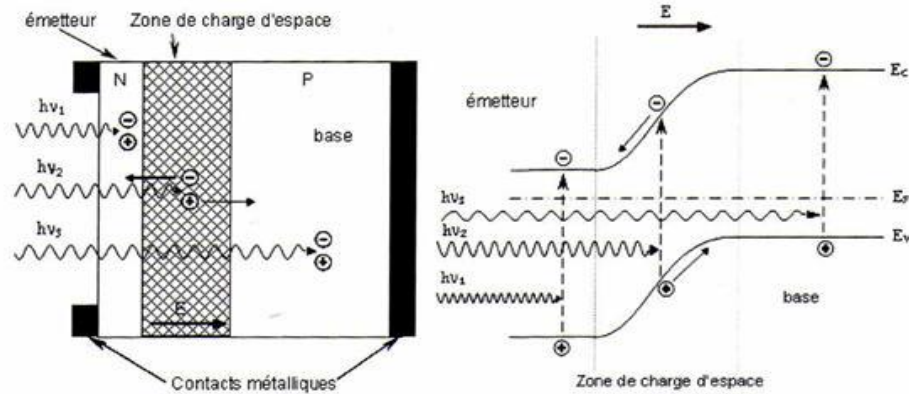
- ✓ Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- ✓ Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trou dans le matériau semi-conducteurs.
- ✓ Collecte des particules générées dans 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 créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-

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

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la **figure III.6**



**Figure III.5 :** Structure (droite) et diagramme de bande (gauche) d'une cellule photovoltaïque.

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 une photo courant de diffusion,
- ✓ Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons/ 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 une photo courant de génération. [22]

### III.9 Description d'une cellule photovoltaïque :

La première photopile (cellule) a été développée aux États-Unis en **1954** par les chercheurs des laboratoires Bell qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des « impuretés ». C'est une technique appelée le « dopage » qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité pour les satellites artificiels, ainsi que pour produire de l'électricité dans tout site isolé de la planète.

### III.10 Le module photovoltaïque :

Les modules photovoltaïques transforment la lumière (les photons) du soleil en électricité. C'est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles, soit en série soit en parallèle. Il est destiné à alimenter en électricité soit des



équipements autonomes (non reliés au réseau électrique), soit un réseau électrique. Ils sont parfois associés à un onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif.

### III.11 Panneau solaire :

Un **panneau solaire** est un dispositif technologique énergétique à base de capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques et destiné à convertir le rayonnement solaire en énergie thermique ou électrique.



**Figure III.6 :** Panneau solaire.

On distingue trois types de panneaux solaires :

- les panneaux solaires thermiques, appelés capteurs solaires thermiques, collecteurs solaires ou simplement capteurs solaires, qui piègent la chaleur du rayonnement solaire et la transfèrent à un fluide caloporteur.
- les panneaux solaires photovoltaïques, appelés modules photovoltaïques ou simplement panneaux solaires, qui convertissent le rayonnement solaire en électricité. Le solaire photovoltaïque est communément appelé PV.
- les panneaux photovoltaïques thermiques qui produisent à la fois de l'électricité et de la chaleur tout en améliorant le rendement des panneaux solaires photovoltaïques en évitant la surchauffe des modules. La combinaison de ces deux technologies peut être considérée comme de la cogénération.

Dans les trois cas, les panneaux sont habituellement plats, d'une surface approchant plus ou moins le m<sup>2</sup> pour faciliter et optimiser la pose. Les panneaux solaires sont les composants de base de la plupart des équipements de production d'énergie solaire.

### III.12 Système de stockage :

L'énergie produite par les panneaux photovoltaïques est stockée dans les batteries solaires. Ces batteries permettent ainsi d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour, nuit, ciel couvert).

La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conceptions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principale :

- 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 :

- 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 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 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).
- 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. [23].

### III.13 Les différentes technologies photovoltaïques :

L'industrie photovoltaïque est concentrée à près de 90% sur l'utilisation du silicium comme matériau de base. Ce semi-conducteur présente en effet différents avantages : il est abondant à la surface du globe car facilement extrait à partir du sable ; il n'est pas toxique ; il peut se doper facilement (avec le phosphore ou le bore). Mais d'autres matériaux semi-conducteurs sont également employés pour la fabrication des photo- générateurs : le CuInSe<sub>2</sub> (Cuivre, Indium, di-Sélénium) abrégé CIS. Le CdTe (Tellure de Cadmium) et l'AsGa (Arséniure de gallium).

Nous allons à présent décrire ces différents matériaux utilisés dans l'industrie photovoltaïque.

#### III.13.1 Le silicium monocristallin :

C'est un matériau de très haute pureté, qui est obtenu par des procédés industriels tels que le tirage Czochralski (CZ) ou la purification par fusion de zone (FZ), le produit fini se présente sous la forme de lingots qu'il faut ensuite découper en plaquettes de 300µm. C'est un matériau qui présente d'excellentes qualités électroniques et permet la fabrication de cellules à haut rendement (15-18%) [7], mais il est très coûteux. La part du marché du silicium monocristallin est de moins en moins importante (33,6% actuellement).

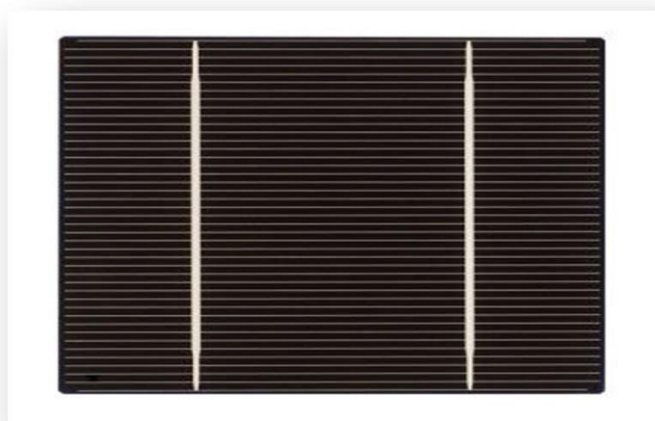


Figure III.7 : Monocristallin.

**Avantage :**

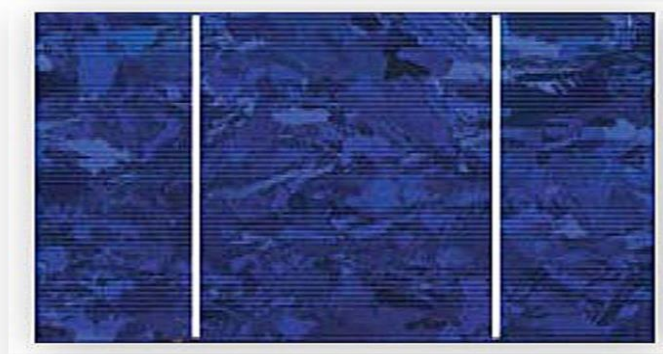
- Très bon rendement (17.2%).

**Inconvénients :**

- Coût élevé,
- Rendement faible sous un faible éclairement.

**III.13.2 Cellule en silicium polycristallin :**

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.



**Figure III.8:** Multicristallin.

**Avantage :**

- Bon rendement (13%), mais cependant moins bon que pour le monocristallin.
- Moins cher que le monocristallin.

**Inconvénient :**

- Les mêmes que le monocristallin.

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

**III.13.3 Le silicium amorphe :**

Une autre forme de silicium est également utilisé pour la fabrication de cellules solaires photovoltaïques : le silicium amorphe hydrogéné (a-Si :H). Il est fabriqué à base du gaz silane  $\text{SiH}_4$  et contient une proportion importante d'hydrogène qui va se lier à ses liaisons pendantes ce qui réduit la densité de défauts. Le silicium amorphe absorbe la lumière beaucoup plus fortement, une couche de  $1\mu\text{m}$  suffit à capter le rayonnement reçu sur terre.

La technique la plus courante utilisée pour fabriquer les cellules au silicium amorphe est le dépôt par plasma (PECVD : Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition). Sa part du marché est de l'ordre de 4%.



**Figure.III.9.** Module rigid Sharp (115Wc, 1,42 m<sup>2</sup>). Module souple Unisolar (68Wc, 1,12 m<sup>2</sup>)

#### Avantage :

- Fonctionnement avec un éclairage faible.
- Moins chères que les autres.

#### Inconvénients :

- Rendement faible en plein soleil (environ 7%)
- Performances diminuent sensiblement avec le temps.

On trouve aussi certaines cellules qui utilisent d'autres matériaux :

- GaAs : arséniure de galium. Matériau monocristallin, qui fournit des cellules en couches minces ayant un très bon rendement mais dont le prix les destine au domaine spatial.
- CdTe : tellure de cadmium. Matériau polycristallin déposé sur un substrat en verre.
- CIS : diséléniure de cuivre et d'indium. Ce matériau donne des photopiles très stables dans le temps.
- TiO<sub>2</sub> : dioxyde de titane. Cette technologie en est au stade expérimental.

Ces technologies sont encore très coûteuses mais elles laissent espérer des rendements bien supérieurs au silicium et une durée de vie plus grande. [24]

### III.14 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

#### III.14.1 Avantages

- ❖ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- ❖ Le photovoltaïque est une technologie sûre et sans risque. En général, les panneaux photovoltaïques sont garantis 25 ans (et peuvent fonctionner 40 ans quasiment sans diminuer leur rendement).
- ❖ L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

- ❖ Ce sont des systèmes simples et rapides à installer qui nécessitent très peu de maintenance (d'où des frais de maintenance relativement faibles).
- ❖ Le solaire photovoltaïque ne comporte aucune pièce en mouvement, la production électrique est réalisée sans combustion ; il n'existe donc ni d'usure due aux mouvements, ni d'usure thermique comme pour les chaudières.
- ❖ Cette technologie utilisée dans l'aérospatiale a prouvé sa stabilité et sa fiabilité durant des dizaines d'années. Les systèmes sont conçus pour résister aux intempéries, au rayonnement UV et aux variations de température.
- ❖ Les installations photovoltaïques présentent un bilan énergétique positif. Les modules sont recyclables et la majorité des composants peut être réutilisée ou recyclée.
- ❖ En devenant producteur d'électricité avec une installation photovoltaïque, chacun peut améliorer son écobilan, réduire les émissions de Dioxyde de Carbone et préserver les ressources naturelles.
- ❖ La mise en place d'une installation photovoltaïque donne de la valeur au logement qui en est équipé car sa classe énergétique augmente.
- ❖ Ce système produit de l'électricité sur place ; il peut donc être installé là où on en a besoin, sans être raccordé à un quelconque réseau.
- ❖ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple, des installations éoliennes.

### III.14.2 Inconvénients

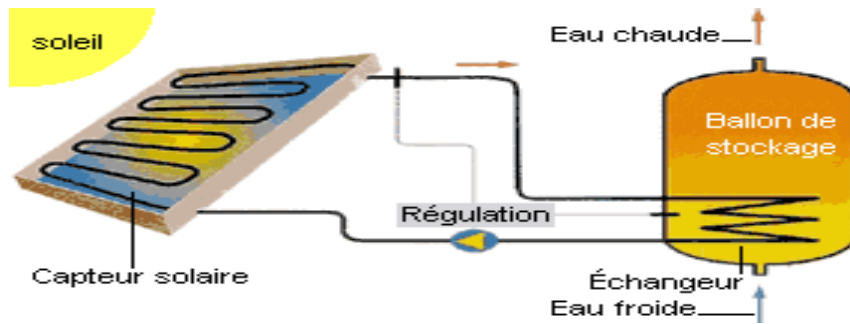
- ❖ Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent.
- ❖ Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance. De ce fait, pour couvrir un besoin familial, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire.
- ❖ Le rendement maximum d'un panneau solaire s'obtient uniquement quand la surface du panneau est strictement perpendiculaire aux rayons solaires. Idéalement, il faudrait donc que la position du panneau varie suivant les saisons et au cours de la journée, ce qui n'est quasiment pas réalisable.
- ❖ Pour cette même raison d'ensoleillement, les panneaux solaires ne peuvent pas s'installer n'importe où, ni n'importe comment, sous peine de voir le gain d'énergie divisé par deux par rapport aux valeurs théoriques.
- ❖ La production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande se fait la nuit.

- ❖ Le stockage de l'électricité est également très difficile avec les technologies actuelles (problème contourné en cas de raccord avec le réseau EDF).
- ❖ Le recyclage des cellules photovoltaïques en fin de vie pose des problèmes environnementaux. Les batteries utilisés par les panneaux photovoltaïques sont composés de plomb, de zinc, de cadmium, . . . et donc ont un impact sur l'environnement.
- ❖ Les usines de production de cellules photovoltaïques émettent un grand taux de Dioxyde de Carbone.
- ❖ La transformation du silicium de sa forme naturelle (non exploitable) à sa forme traitée (exploitable) nécessite une très haute température (donc beaucoup d'énergie).
- ❖ Le photovoltaïque souffre d'une "pénurie" de silicium : l'accroissement de la demande ayant été sous-estimé, la production de cet élément chimique n'arrive pas à couvrir la demande actuelle des industries électroniques et solaires.
- ❖ Les panneaux noirs ne sont pas toujours esthétiques, notamment sur des bâtiments non modernes.
- ❖ Le matériau qui constitué le panneau P est très sensible aux hautes température tel que son rendement réduit avec l'augmentation de température au delà de 50°C qui peut causer la fondation de la cellule ,donc dans les zones qui possède des hautes températures comme la zone de sahara il nous faut un système de refroidissement tout dépend des besoins et le type de PV .

**III.15 Refroidissement des panneaux photovoltaïques :** On a deux types de refroidissement des panneaux photovoltaïques comme on a vu dans le chapitre I : le refroidissement avec l'eau, le refroidissement avec l'air.

#### **III.15.1 Système de refroidissement à l'eau :**

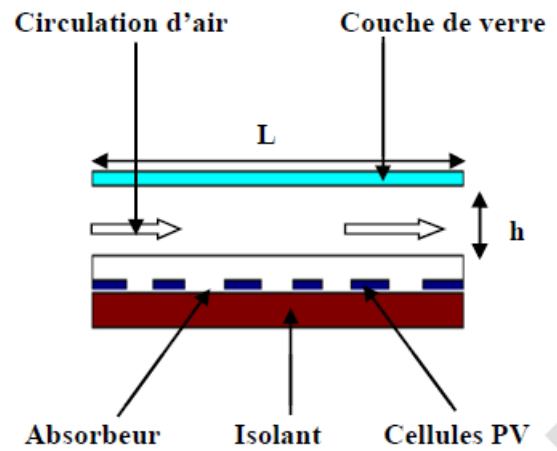
C'est une méthode de refroidissement des panneaux photovoltaïques et au même temps c'est une méthode de chauffage de l'eau. Le capteur comprend une surface qui absorbe le rayonnement solaire. Le fluide caloporteur qui circule dans les tubes, sous le capteur refroidit les cellules photovoltaïques et réchauffé par l'énergie solaire.



**Figure III.10 :** Système de refroidissement à l'eau.

### III.15.2 Système de refroidissement à l'air :

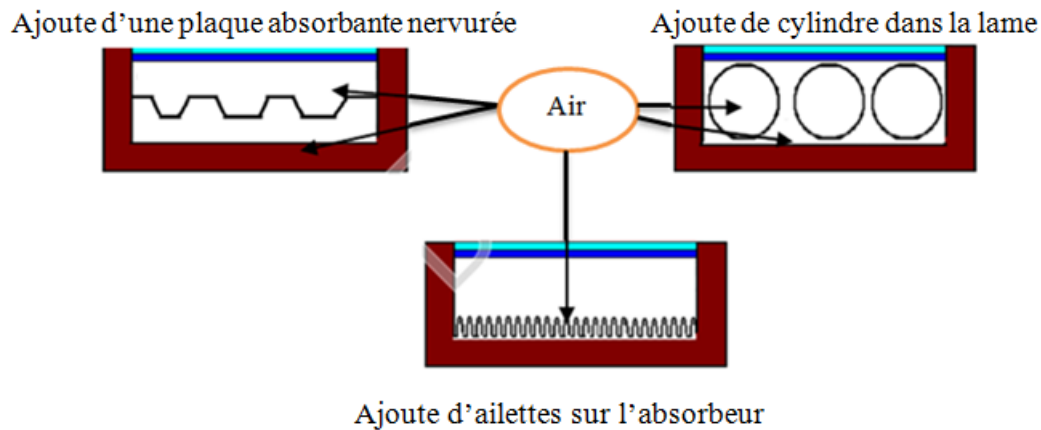
Dans les systèmes de refroidissement à l'air (ou systèmes de refroidissement par voie sèche), circule dans des serpentins, tubes ou conduites qui sont refroidis par un flux d'air.



**Figure III.11 :** Système de refroidissement à l'air.

Et pour réduire la température de fonctionnement des modules PV, d'accroître la production d'air préchauffé et de réduire les pertes thermiques à travers l'isolant en sous-face du composant. On a des études paramétriques menées sur un système PV/T à air ont montré qu'une faible épaisseur de lame d'air améliore les transferts thermiques mais réduit le débit massique de ventilation de la lame, d'où une réduction du rendement thermique du système. Pour pallier ce problème en optimisant les transferts de chaleur convectifs et radiatifs, la solution proposée est d'accroître la surface d'échange entre l'air et les modules PV. Pour cela, des configurations intégrant des plaques nervurées ou planes, des tubes soudés à l'absorbant ou des ailettes au sein de la lame d'air ont été envisagées (Figure.I.17).





**Figure.III.12** : Quelques exemples de modifications du capteur solaire PV/T hybride à air.

### III.16 Conclusion :

La minimisation des aspects environnementaux se traduit souvent par une comparaison entre les systèmes de refroidissement à eau et à air. Il fut préconisé plus tôt dans ce chapitre de ne pas choisir entre système de refroidissement à l'eau et à l'air à partir de considérations générales.

Le point de bascule économique dans le choix entre les systèmes à refroidissement par air sec et par eau n'est pas fixe et, selon les sources, se situera pour des températures. [25]