

I.1. Introduction

Le développement de l'exploitation des énergies renouvelables a connu une forte croissance ces dernières années. La production d'électricité par des sources d'énergie renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant les normes écologiques de l'énergie. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à la quelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à la quelle elle est consommée. [1]

I-2- Energie solaire :

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante. La quantité d'énergie libérée par le soleil et captée par la planète terre pendant une heure et pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre pour une distance moyenne terre-soleil de 150 Millions de km, c'est ce que l'on appelle la constante solaire qui est égale à 1367 W/m^2 . La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air (AM) [2]. Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m^2 et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1). Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, et perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000 W/m^2 [3].

I-3- Rayonnement solaire :

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de $0,22 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$. La figure (I-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique.

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement a :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$) [4].

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), a plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du

soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200 W/m^2 . La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus [5].

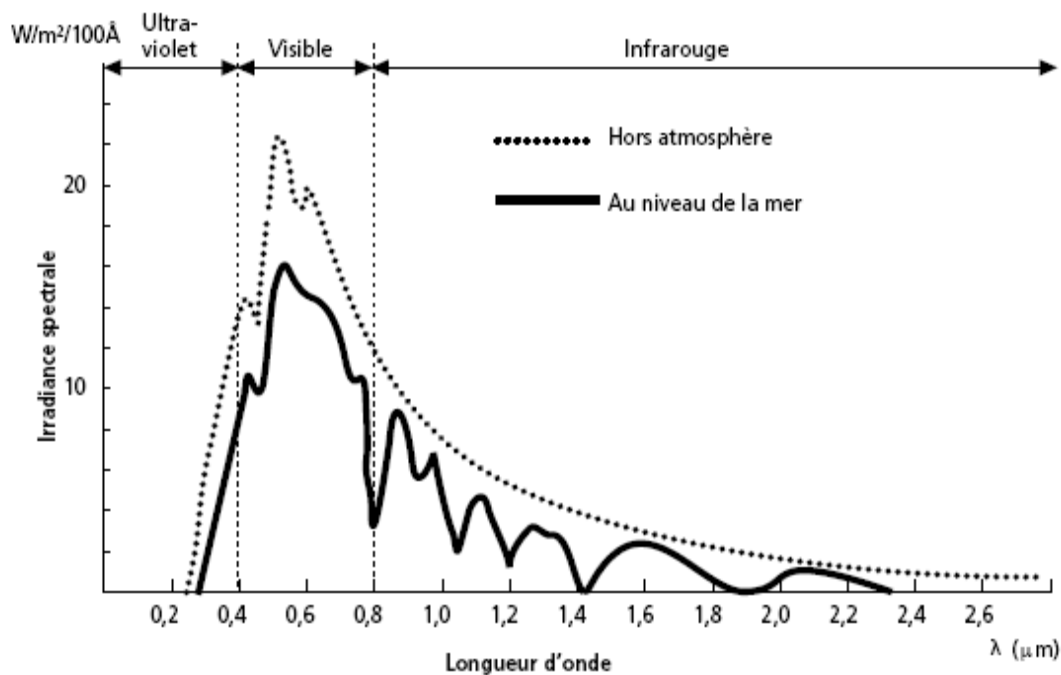


Figure (I-1) Analyse spectrale du rayonnement solaire [4].

Il y a quatre types de rayonnement:

- **Rayonnement direct** : rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un **pyrhéliomètre**.
- **Rayonnement diffus** : rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un **pyranomètre** avec écran masquant le soleil.
- **Rayonnement solaire réfléchi** ou l'albédo du sol : 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).

- **Rayonnement global** : la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un **pyranomètre** ou un **solarimètre** sans écran [4].

À noter que certains capteurs solaires concentrent le rayonnement solaire afin d'augmenter le rendement du capteur par rapport à une surface donnée. Ces capteurs à concentration ne peuvent utiliser que le rayonnement direct provenant du soleil. Dans les endroits avec une forte proportion d'ensoleillement diffus, ces capteurs ne peuvent pas fonctionner efficacement car l'ensoleillement diffus ne peut être concentré en un point [6].

I-4-Conversion photovoltaïque :

La possibilité de transformer directement l'énergie lumineuse, et en particulier le rayonnement solaire en énergie électrique est apparue en 1954 avec la découverte de l'effet photovoltaïque. Cet effet utilise les propriétés quantiques de la lumière permettant la transformation de l'énergie incidente en courant électrique dont la cellule solaire ou photopile, cette dernière est l'élément de base de cette conversion photovoltaïque [8].

I-4-1 L'effet photovoltaïque :

L'effet Photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu utilisable. Les cellules photovoltaïques sont donc capables à la fois de permettre le transfert d'énergie du photon absorbé à un électron et la collecte de cet électron de plus haute énergie par un circuit extérieur.

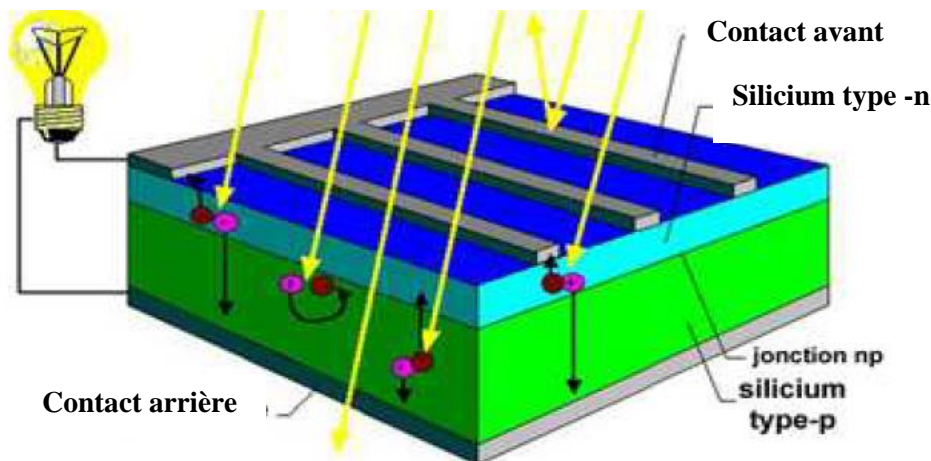


Figure 1.2. Mouvement électron- trou dans un semi conducteur [9]

I-4-2 Le principe de conversion photovoltaïque :

- Comment fonctionne une cellule solaire photovoltaïque?

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du

transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée [7]. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule [10], voir la figure (I-3).

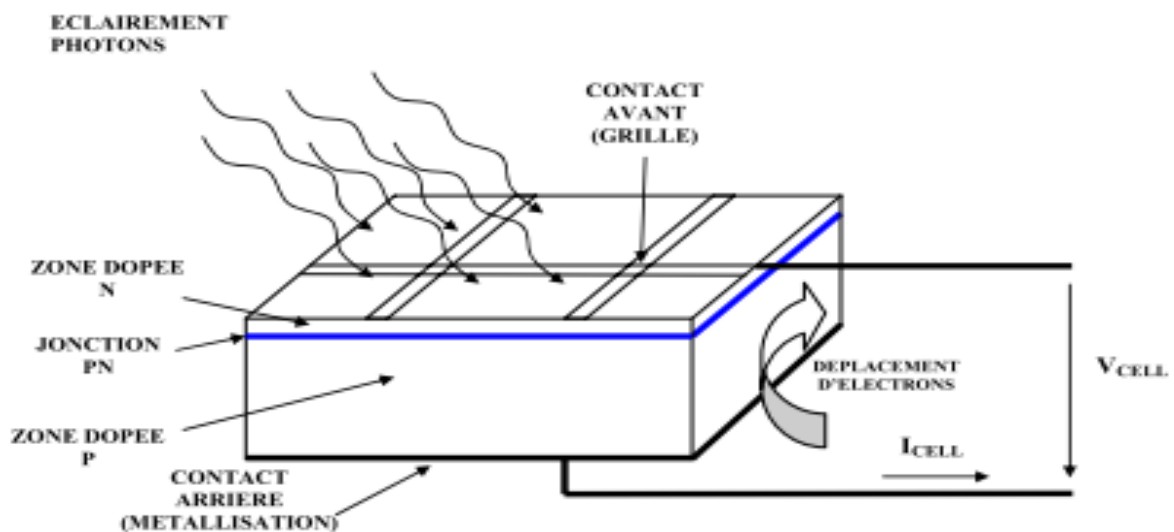


Figure (I-3) Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque [10].

1.5 Schéma équivalent d'une cellule

Technologiquement, un capteur PV est proche à la structure d'une diode PN de par sa construction, les matériaux utilisés, et les phénomènes physiques identiques mis en œuvre.

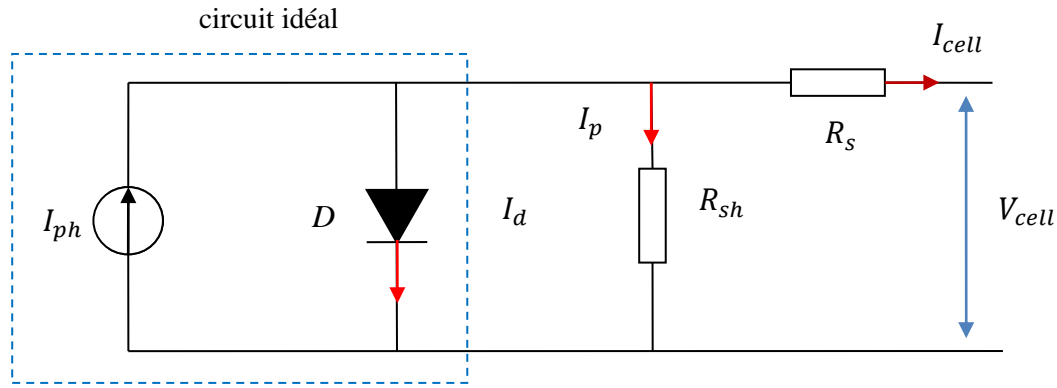


Figure 1.4 : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque[10]

La cellule photovoltaïque présentée comporte en réalité une résistance série R_s et une résistance shunt R_{sh} . Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique $I=f(V)$.

➤ La résistance série

Elle représente la résistance interne de la cellule, elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles [16].

➤ La résistance shunt

Elle est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

Lorsqu'une jonction PN réalisée à partir de matériaux sensibles à la lumière est éclairée, elle présente la particularité de pouvoir fonctionner en générateur d'énergie. Ce comportement en statique peut être décrit par l'équation électrique définissant le comportement d'une diode classique. Ainsi, le régime électrique statique d'une cellule photovoltaïque constituée d'une jonction PN en silicium peut être décrit via l'équation suivante

$$I_{CELL} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{V_{CELL} + (I_{CELL} * R_{serie})}{nV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V_{CELL} + (I_{CELL} * R_{serie})}{R_{shunt}} \quad (I.1)$$

Où $V_t = \frac{KT}{e}$ représente le potentiel thermodynamique, I_s , le courant de saturation de la jonction, K , la constante de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23}$ Joules/Kelvin), T , la température de la cellule en Kelvin, e , la charge d'un électron, n , le facteur de non idéalité de la jonction, I_{CELL}

le courant fourni par la cellule, V_{CELL} , la tension aux bornes de la cellule, I_{ph} le courant produit par la cellule lorsqu'elle est mise en court-circuit, R_{shunt} , la résistance modélisant les courants de fuites de la jonction, et finalement, R_{serie} , la résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions. La Figure (1.4) représente avec des composants électriques, le comportement électrique équivalent déduit de l'équation (1.1)

1.5.1 Caractéristique Courant-Tension

La courbe caractéristique d'une cellule PV représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit (tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert, (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule). Cette caractéristique $I = f(V)$ se met sous la forme mathématique à partir des deux équations (I.1) et (I.2) suivantes :

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (I.2)$$

$$I_D = I_s \left(\exp \left(q \frac{V + R_s I}{A K T} \right) - 1 \right) \quad (I.3)$$

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(q \frac{V + R_s I}{A K T} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

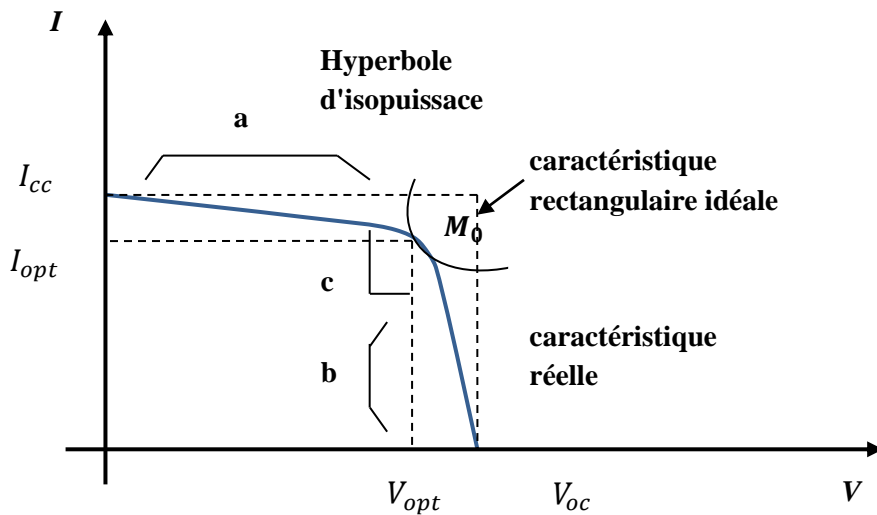


Figure 1.5: Caractéristique d'une cellule photovoltaïque réelle [11].

1.5.2 La puissance caractéristique d'une cellule PV

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc..), la puissance électrique P (W) disponible aux

bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni I par une tension continue V donnée par :

$$P = V \cdot I \quad (\text{I.5})$$

➤ **La puissance max :**

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximum $P_{\text{max idéale}}$ correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{CO} multipliée par le courant de court-circuit I_{CC} .

$$P_{\text{max idéale}} = V_{\text{CO}} \cdot I_{\text{CC}} \quad (\text{I.6})$$

I-5.3 Facteur de forme :

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement P_{M} ($I_{\text{M}}, V_{\text{M}}$) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{OC}). Ce point P_{M} est obtenu en modifiant la valeur de la résistance externe, quand l'aire du rectangle défini par les axes Ox , Oy et les droites $x = I_{\text{M}}$ et $y = V_{\text{M}}$ passe par un maximum.

Le nom "facteur de forme" (fill factor) dérive de la représentation graphique. Il est défini par la relation suivante:

$$ff = \frac{P_{\text{M}}}{V_{\text{OC}} \times I_{\text{CC}}} = \frac{V_{\text{M}} \times I_{\text{M}}}{V_{\text{OC}} \times I_{\text{CC}}} \quad (\text{I.7})$$

I.5.4 Le rendement d'une cellule PV :

Le rendement d'une photopile est le rapport entre l'énergie électrique (Wh ou J) qu'elle fournit et l'énergie du rayonnement (visible ou invisible à l'œil, lumineux ou solaire) (Wh ou J) reçue ou incidente, c'est à dire le rapport :

$$n = E_{\text{électrique}} / E_{\text{lumineuse}} \quad (\text{I.8})$$

L'énergie électrique disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque est fonction des caractéristiques du type de rayonnement de la répartition spectrale, de l'angle d'incidence de la quantité d'énergie reçue, de la surface de la cellule, de ses caractéristiques dimensionnelles, de la forme de la cellule, et des conditions ambiantes de fonctionnement de la cellule PV (température de l'environnement, vitesse du vent ...).

En pratique, les cellules photovoltaïques ne transforment qu'une partie de l'énergie incidente en électricité. La cellule PV, comme l'œil, n'utilise pas la totalité du spectre solaire de plus, une grande partie n'est pas utilisée et est transformée en chaleur.

I.6 La cellule solaire :

On appelle cellule solaire un convertisseur qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque [6].

Il existe trois grands types de silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe.

I.6.1 Cellule au silicium mono-cristallin :

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique.

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher [14].

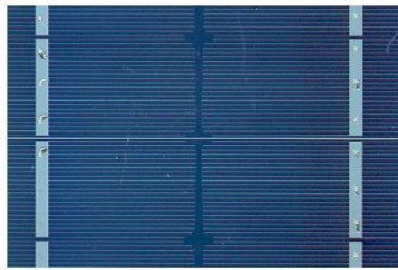


Figure (I-6) Cellule au Silicium Monocristallin

I.6.2 Cellule au silicium poly-cristallin :

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le mono-cristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser



Figure (I-7) Cellule au Silicium Polycristallin [14].

I.6.3 Cellule au silicium amorphe :

Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin ; les cellules sont constituées par des couches très minces. [14]

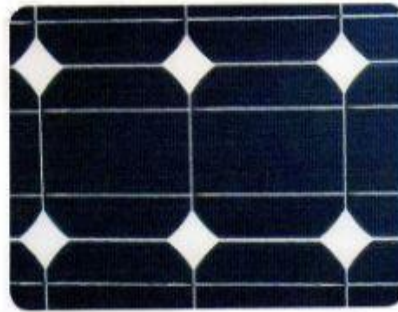


Figure (I-8) Cellule au Silicium amorphe (couche mince). [14]

I.6.4 Module photovoltaïque

Généralement, chaque cellule photovoltaïque ne peut pas produire qu'une tension continue nominale de 0,5V à 0,6V en circuit ouvert et une puissance nominale voisine de 1.5Wc.

Pour satisfaire les besoins des charges couramment utilisées, il faut envisager un assemblage de plusieurs cellules photovoltaïques soit en série soit en parallèle. Cet assemblage forme ce qu'on appelle « module solaire » ou « module photovoltaïque ».

Le dimensionnement du système solaire détermine le nombre de modules à mettre soit en parallèle afin d'accroître le courant en conservant la tension, soit en série afin d'augmenter la tension en conservant le courant, et pour avoir une satisfaction en courant et en tension, un groupement mixte « série- parallèle » est obligatoire.

Généralement, un module composé de 36 cellules en silicium cristallin est adapté pour la charge d'une batterie de 12 V

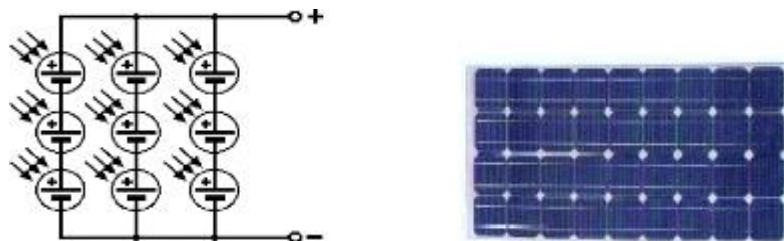


Figure (1.9) Module photovoltaïque

I.7. Différents groupements des cellules solaires photovoltaïques

I.7.1. Groupement des cellules en série

La tension générée par une photopile est limitée à la valeur du gap optique du matériau duquel elle est issue. Typiquement, la tension d'extraction de la puissance maximale d'une cellule au silicium cristallin vaut environ 475mV dans les conditions standards. Pour obtenir la tension compatible avec la charge d'une batterie d'accumulateurs au plomb de 12V, on doit assembler au moins 34 cellules en série. En effet, la tension de fin de charge d'un élément de batterie au plomb est de 14,5V, ce qui impose une tension maximale au niveau de la batterie de 14,5V. A cela il faut ajouter les pertes dans les câbles, la tension de déchet de la diode anti retour et l'effet de la température.

Pour des raisons de symétrie et pour fonctionner dans les conditions de température les plus extrêmes, la plupart des constructeurs fabriquent des modules de 36 cellules pour charger des accumulateurs au plomb de 12V.

La caractéristique courant-tension d'un groupement quelconque de photopiles sera homothétique de la courbe $I(V)$ d'une cellule de base. Il sera de même pour tout le réseau de caractéristiques. En conséquence, tout ce qui a été dit pour une cellule reste valable pour un groupement de cellules.

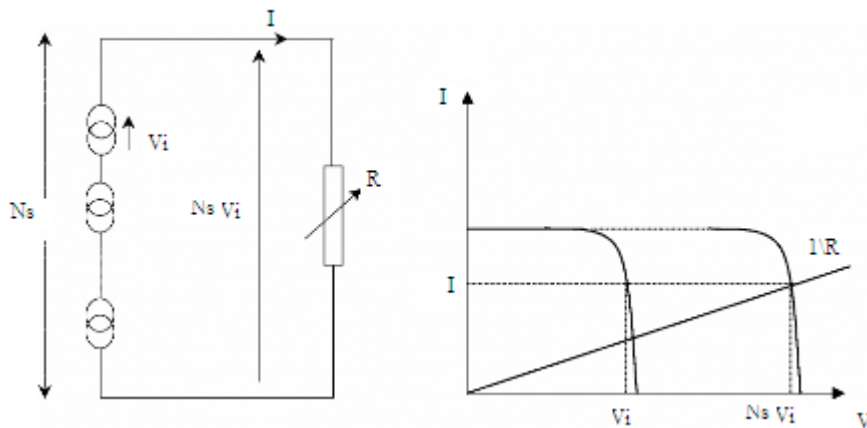


Figure (I.10) Groupement des cellules en série

Le courant généré par N_s générateurs en série étant le même dans toute la branche, on prendra soit de ne connecter en série que des cellules identiques ayant une même densité de courant, d'où la nécessité en production de tester toutes les cellules et de les classer en fonction de leur rendement. La figure (I.10) présente la courbe de puissance du groupement ainsi réalisé. La caractéristique résultante est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant la tension individuelle par N_s . En particulier, l'impédance optimale du groupement sera N_s fois plus grande que celle de la cellule de base. Les résistances séries s'ajoutent et les résistances parallèles s'ajoutant également. Comme l'augmentation de la résistance série est synonyme de perte de puissance, on se souciera donc en priorité de la

résistance d'interconnexion des cellules dans un assemblage série. Le facteur de forme ne peut en général pas être meilleur que celui de ses éléments constitutifs. En fait, il se rapprochera de celui de la plus mauvaise des cellules. On peut en déduire une méthode de détection des défaillances d'une cellule dans un module.

I.7.2. Groupement de cellules en parallèles

La figure (I.11) présente la courbe de puissance d'un groupement de N_p cellules au de N_p modules en parallèles. Cette fois-ci, c'est la tension de chacun des éléments qui doit être identique, les courants s'ajoutant, la nouvelle courbe est obtenue en multipliant point par point et pour chaque valeur de tension, le courant de la cellule élémentaire par N_p , l'impédance optimale du groupement sera N_p fois plus faible que celle de l'élément de base. Ce sont les inverses des résistances séries qui s'ajoutent, ainsi que les conductances shunts [12].

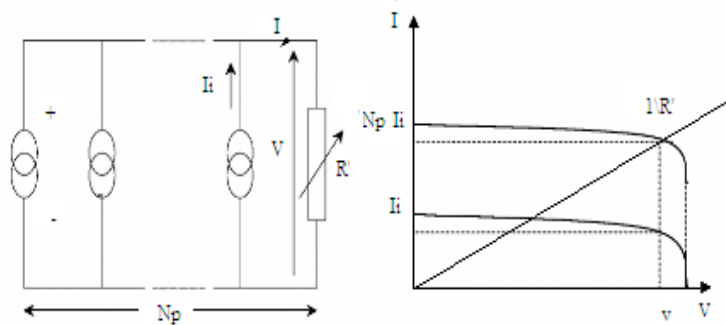


Figure (I.11) Groupement des cellules en parallèle

I-8 Zones de fonctionnement du module solaire :

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seule la courbe $I(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (I.12) représente trois zones essentielles :

- **La zone (I)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (II)** : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (III)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension [11].

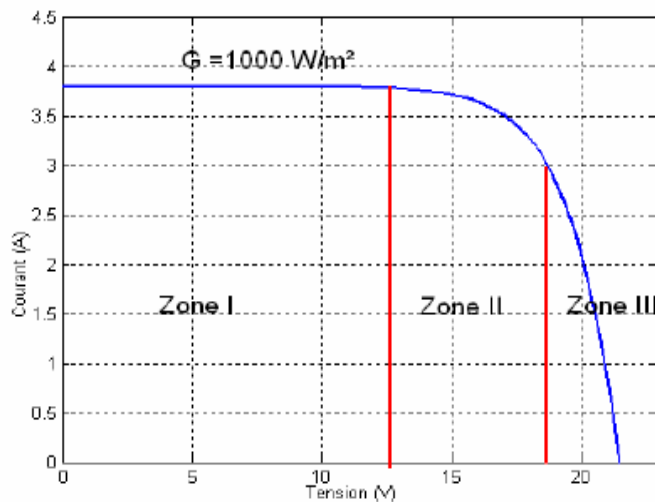


Figure (I.12) : Les différentes zones de la caractéristique I (V), $T=25^{\circ}\text{C}$ [11].

I-9 Fonctionnement optimal du générateur :

Dans les conditions données, c'est au point de puissance maximale que l'on exploite au mieux la puissance crête installée. C'est pourquoi ce point est souvent qualifié de point de puissance optimale, terme traduisant mieux le caractérisé relatif aux conditions d'éclairement et de température de la puissance fournie, l'utilisation du générateur étant le plus souvent considérée comme optimal en ce point. Ce point est alors noté $(V_{\text{opt}}, I_{\text{opt}})$.

Le point fonctionnement (V_p, I_p) du générateur est défini par l'intersection de sa caractéristique électrique avec celle de la charge. Seule une charge dont la caractéristique passe par le point $(V_{\text{opt}}, I_{\text{opt}})$ permet d'en extraire la puissance optimale disponible dans conditions considérées et l'impédance statique optimale de charge vaut alors

$$R_{\text{opt}} = V_m / I_m = V_{\text{opt}} / I_{\text{opt}}.$$

Etant donné que ce point dépend totalement des conditions telles que l'éclairement G et la température, il en est de même de l'impédance de charge optimal [11].

L'utilisation optimale du générateur consiste alors à ce que sa charge conserve à chaque instant les valeurs optimales R_{opt} lorsque les conditions varient : il y a donc lieu d'effectuer en permanence l'adaptation d'impédance nécessaire [12].

I-10 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients qui peuvent être résumés comme suit :

I-10-1 Les avantages

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages à savoir :

- une haute fiabilité – elle ne comporte pas de pièces mobiles – qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. D'où son utilisation sur les engins spatiaux.
- le caractère modulaire des panneaux photovoltaïque permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissance allant du milliwatt au Mégawatt [11].
- le coût de fonctionnement est faible vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [12].

I-10-2 les inconvénients :

- la fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium est de 28%).
- les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée [11].

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis [12].

I-11 Avenir du photovoltaïque:

Source d'énergie 100% propre et faible pour des usages très variés, elle figurera à l'avenir parmi les principales sources mondiales. Son handicap majeur reste un coût encore élevé comparée aux sources conventionnelles et aux filières renouvelables [11]. Ce coût diminue de 10% par an, et pour accélérer cette baisse, les autorités nationales et internationales doivent engager une politique de soutien à long terme de la filière photovoltaïque [9]. C'est précisément l'objectif des programmes lancés depuis quelques années dans plusieurs pays industrialisés. Dans notre pays, l'application du PV reste encore modeste. La première utilisation a été dans le domaine des télécommunications. Après, certains puits dans les hauts plateaux ont été équipés par des systèmes de pompes PV. A nos jours,

quelques dizaines de village saharien de la région de Tamanrasset et Adrar jouissent des avantages de cette source d'énergie [12].

I-12 Secteurs d'applications:

Domaine spatial

C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante.

Depuis lors, des recherches et développements nombreux ont été réalisés dans le domaine militaire (NASA aux Etats-Unis) et public (ESA en Europe) pour accroître les performances électriques tout en réduisant le poids des modules.

Habitation isolée

L'approvisionnement en électricité dans les régions rurales isolées est un problème d'actualité, en particulier dans les pays en voie de développement. L'extension du-

réseau pour des demandes relativement faibles et isolées n'est pas rentable pour les sociétés d'électricité.

De nombreuses organisations internationales d'aide aux pays en voie de développement ont choisi la technologie photovoltaïque comme outil de développement social et économique pour fournir des services de base à la population, tels que:

- Le pompage de l'eau pour la consommation du village ou pour l'irrigation, la réfrigération pour la production de glace et la conservation de vaccins, sang, produits agricoles,....,
- l'éclairage (lampe portative, éclairage public, électrification villageoise, ...)

Industrie isolée

Beaucoup d'applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, autonome, sans entretien et sans combustible. Le générateur photovoltaïque est de loin l'option la plus séduisante; on l'utilise avec succès dans les télécommunications (stations relais pour TV, radio, téléphonie, émetteur-récepteur,...), mais aussi pour d'autres applications telles que:

- protection cathodique,
- systèmes silencieux ou sans vibration,
- éclairage, balises et signaux pour la navigation,
- équipement de monitoring,
- télémétrie, etc.

Centrale de puissance

Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, une nouvelle tendance se dégage; elle est caractérisée par un fort potentiel de diffusion dans les pays

industrialisés. La plupart des projets utilisent des champs de capteurs plans, mais on expérimente aussi les systèmes à concentration dans les régions riches en rayonnement direct.

Lorsque la pointe de la demande est en phase avec l'ensoleillement, la centrale photovoltaïque connectée au réseau permet de fournir les pointes. C'est le cas dans le sud des E.U. où la demande est maximum aux heures les plus ensoleillées à cause du conditionnement d'air omniprésent.

Résidence urbaine

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et façades de bâtiments.

La façade photovoltaïque suscite beaucoup d'enthousiasme en Europe et aux E.U.; le recouvrement des façades de bâtiments commerciaux - où la consommation est essentiellement diurne - correspond mieux aux heures d'ensoleillement. L'orientation verticale (ou quasi) peut être avantageuse dans nos régions de haute latitude pour rehausser la production au creux de l'hiver. Cependant, l'apport énergétique d'une façade recouverte de modules photovoltaïques risque d'être assez négligeable par rapport aux consommations de bâtiments commerciaux. En réalité, l'enthousiasme découle du fait que le revêtement à l'aide de panneaux solaires photovoltaïques reviendrait pratiquement au même prix qu'un recouvrement à l'aide de matériaux classiques.

Biens de consommation

L'électronique moderne requiert de très petites puissances - du milliWatt à la dizaine de Watt de sorte que beaucoup de petits appareils peuvent être alimentés par une petite surface de cellules photovoltaïques. Les calculatrices et les montres sont de loin les applications les plus connues. Les chargeurs de batteries, radios, lampes de poche, luminaires de jardin, systèmes d'alarme, jouets, fontaines, tondeuses à gazon, etc., sont d'autres exemples et cette liste n'est pas limitative.

La plupart de ces mini-générateurs photovoltaïques utilisent des cellules au silicium amorphe, bon marché et mieux appropriées aux faibles illuminations et petites puissances. Ils constituent une alternative très intéressante aux piles qui comportent des risques divers de contamination de l'environnement par les métaux lourds principalement. Le Japon est le principal producteur et consommateur de ces articles [13].

I.13.CONCLUSION :

On peut dire que la filière photovoltaïque d'utilisation de l'énergie solaire entre dans sa phase de maturité .les chercheurs visent à améliorer le rendement des cellules photovoltaïque et à abaisser leur coût de production afin d'étendre leurs applications au delà des spécifiés liées à l'isolement des sites et au domaine spatial, et de les rendre compétitives par rapport aux sources traditionnelles d'énergie.