

1.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce chapitre présente les concepts dont la connaissance est nécessaire à la compréhension du fonctionnement des cellules photovoltaïques constituées de semi-conducteur en silicium

1.2 Energie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h [1], les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1367W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite autour de 1000 W/m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (1.1)$$

h : la constante de Planck.

C : la vitesse de la lumière.

λ : la longueur d'onde du photon.

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande. Une façon commode d'exprimer cette énergie en (e.v)est:

$$E = \frac{1.26}{\lambda(mm)} \quad (1.2)$$

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique figure (1.1) compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm) [1]. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

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

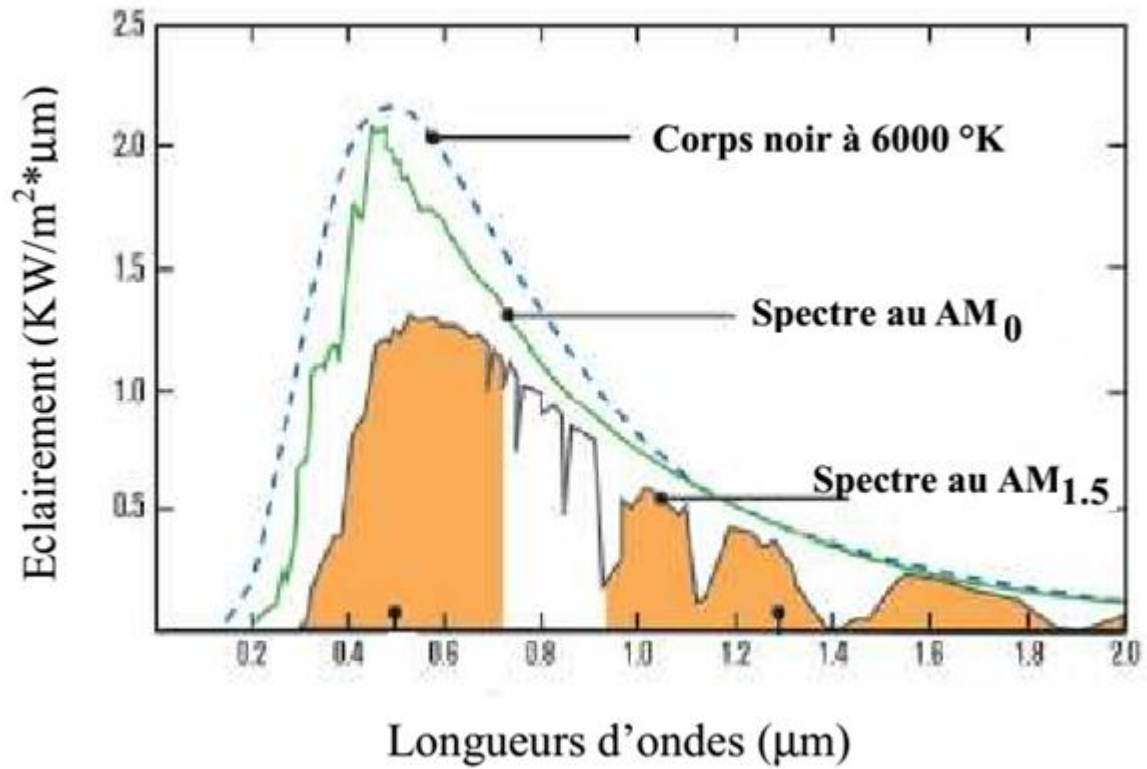


Figure (1-1) : spectre solaire hors atmosphère

1.3 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée .Il est utilisé pour déterminer l'énergie reçue par un système énergétique solaire et aide au dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire. La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc.....

1.3.1 Gisement solaire disponible à la surface de la terre

L'atmosphère terrestre absorbe une partie de l'énergie reçue de l'énergie soleil et modifie la nature du rayonnement. La conception de systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du solaire utile sur le site de l'installation, des modules photovoltaïques. C'est un des paramètres essentiels de l'étude préalable : pour un besoin électrique donné, plus d'énergie solaire reçue implique moins de module PV à installer et inversement.

Le diffus représente plus de 50% du rayonnement annuel disponible dans les régions tempérées contre 30 à 45% dans les pays ensoleillés et en montagne, et 15 à 20% lors des belles journées, même dans les pays du sud. Or, la modification par l'atmosphère du rayonnement solaire obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie aléatoires. L'état de notre ciel et le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépendent, d'un grand nombre de paramètres qui sont les gaz présents dans l'atmosphère ; les nuages ; l'albédo ; la température ambiante ; le vent ; l'humidité relative et autres aérosols ou particules polluantes. Ces paramètres dépendent aussi du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée et des conditions météorologiques du moment.

1.3.2 Composants du rayonnement solaire

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

a) Le rayonnement direct

Est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Ils forment donc des ombres et peuvent être concentrés par des miroirs.

b) Le rayonnement diffus

Est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui repartit un faisceau parallèle à une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions dans le ciel, Ce sont à la fois les molécules d'air, et les gouttelettes d'eau et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

c) **Le rayonnement réfléchi**

Est la partie réfléchi par le soleil et dépend de l'environnement du site.

d) **Le rayonnement global**

Est tout simplement la somme de ces diverses contributions

1.3.3 Mass atmosphérique de l'air (Air Mass)

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2 μm) à l'infrarouge lointain (2.5 μm). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en terme d'énergie émise. L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de 1367W/m^2 (AM0 dans l'espace hors atmosphère terrestre. Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz, l'eau et les poussières. Ainsi, la couche d'ozone absorbe une partie du spectre lumineux provenant du soleil, et en particulier une partie des ultraviolets dangereux pour la santé. Le rayonnement solaire direct reçu au niveau du sol (à 90° d'inclinaison) atteint 1000 W/m^2 du fait de l'absorption dans l'atmosphère (AM1). Cette valeur change en fonction de l'inclinaison des rayons lumineux par rapport au sol figure (1.2). Plus l'angle de pénétration θ est faible, plus l'épaisseur atmosphérique que les rayons auront à traverser sera grande, d'où une perte d'énergie conséquente. Par exemple, l'énergie directe transportée par le rayonnement solaire atteignant le sol avec un angle de 48° avoisine les 833 W/m^2 (AM1.5). Pour connaître le rayonnement global reçu au sol, il faut ajouter à ce dernier le rayonnement diffus. Le rayonnement diffus concerne tout le rayonnement dont la trajectoire entre le soleil et le point d'observation n'est pas géométriquement rectiligne et qui est dispersé ou réfléchi par l'atmosphère ou bien le sol. En considérant ceci, on obtient une référence du spectre global notée AM1.5 avec une puissance de 1000W/m^2 .

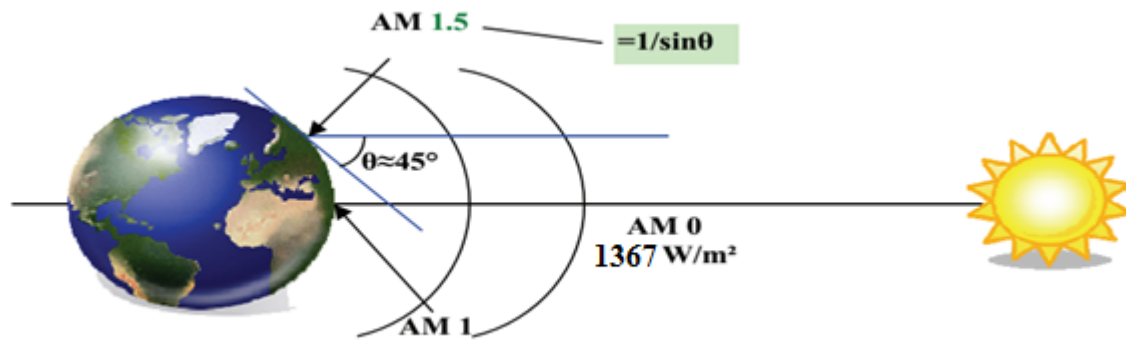


Figure (1.2) : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de Convention AM

1.4 La conversion photovoltaïque :

Elle est définie comme la transformation de l'énergie des photons en énergie électrique grâce au processus d'absorption de la lumière par la matière. Lorsqu'un photon est absorbé par le matériau, il passe une partie de son énergie par collision à un électron l'arrachant littéralement de la matière. Ce dernier étant précédemment à un niveau d'énergie inférieur où il était dans un état stable passe alors vers un niveau d'énergie supérieur, créant un déséquilibre électrique au sein de la matière se traduisant par une paire électron-trou, de même énergie électrique. Généralement, la paire électron-trou revient rapidement à l'équilibre en transformant son énergie électrique en énergie thermique. De même, toute l'énergie des photons n'arrivant pas à se transformer en électricité est absorbée par le matériau sous forme thermique. Le matériau constituant les capteurs PV a alors sa température interne qui augmente proportionnellement à l'énergie solaire reçue. Le taux de conversion photon-électron est faible car un certain nombre de conditions doivent être réunies pour que ce phénomène se produise. L'effet thermique est donc majoritaire sur la plupart des capteurs détériorant d'autant plus les performances de ces derniers. Même si le phénomène électrique est secondaire devant le phénomène thermique, récupérer tout ou partie de l'énergie électrique est le premier objectif des capteurs photovoltaïques sous forme de cellules ou de générateurs. Cela est possible grâce par exemple à des cellules solaires réalisées en associant un matériau semi-conducteur dopé N à un autre semi-conducteur dopé P. L'énergie produite par l'absorption d'un photon dans un matériau se traduit du point de vue électrique par la création d'une paire électron-trou figure (1.3). Cette réaction entraîne une différence de répartition des charges créant ainsi une différence de potentiel électrique, c'est l'effet photovoltaïque. Le fait d'avoir associé deux types de matériaux pour créer une jonction permet de pouvoir récupérer les charges avant que ces dernières ne se soient recombinées dans le matériau qui redevient alors neutre. La présence de la jonction PN permet ainsi de maintenir une circulation de

courant jusqu'à ses bornes. Le nombre de photons par unité de longueur d'onde est une donnée à connaître pour les applications photovoltaïques pour estimer l'énergie totale disponible. La longueur d'onde correspondant au maximum de photons est de l'ordre de 650-670nm.

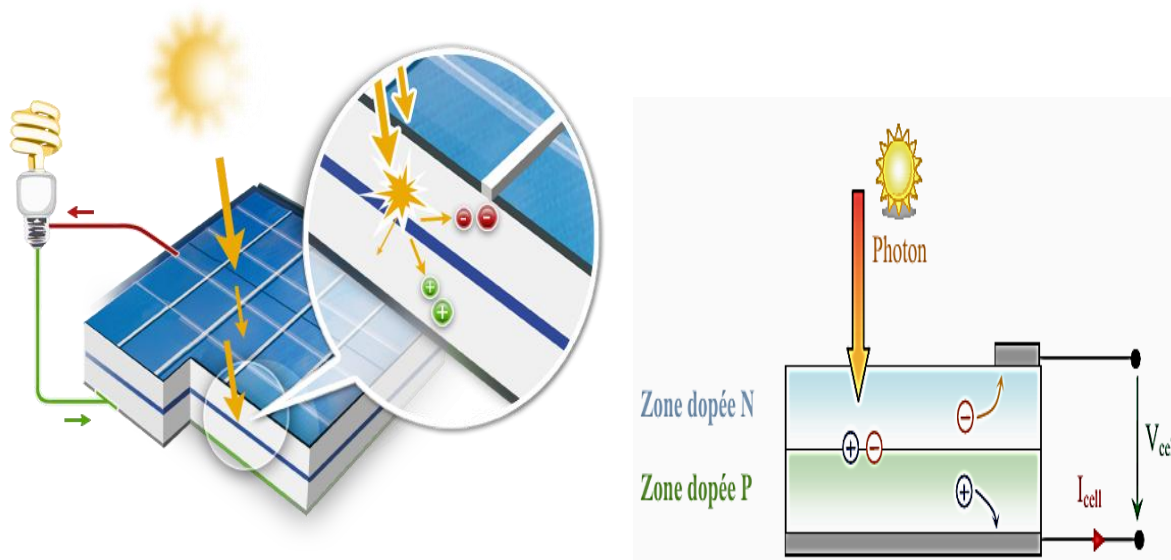


Figure (1.3) : Schéma de principe de la conversion photoélectrique.

La plupart des cellules photovoltaïques utilisent des semi-conducteurs pour récolter les paires électron-trou créées par la collision des photons dans le matériau. Cependant, selon le matériau utilisé, le nombre de photons utiles (qui peuvent être absorbés) diffère. En effet, chaque matériau possède son propre gap énergétique (bande d'énergie interdite). Tout photon possédant une énergie inférieure à ce gap et arrivant à la surface du matériau n'aura pas assez d'énergie pour arracher un électron au matériau même s'il entre en collision avec un électron. Le courant produit par un capteur PV est donc beaucoup plus faible que la quantité de photons arrivant sur le matériau car plusieurs conditions doivent être réunies pour que réellement l'énergie d'un photon se traduise en courant (compatibilité du matériau avec les longueurs d'ondes du spectre solaire, énergie des photons à leur arrivée sur le matériau, probabilité de rencontre d'un photon avec un électron, incidence du rayonnement, épaisseur du matériau,...). De plus, un autre compromis doit être fait par le concepteur de capteurs PV. Si le gap du matériau est grand, peu de photons auront assez d'énergie pour créer du courant mais aux bornes de la cellule, la tension en circuit ouvert sera grande et facilitera d'autant plus l'exploitation de l'énergie électrique. A l'inverse, un matériau avec un faible gap absorbe plus de photons mais présente une tension plus faible à ses bornes. Ce compromis a été quantifié

par Shockley et Quassier . Ainsi par exemple, avec un seul matériau, le rendement de conversion maximal théorique est de 31% [] pour un gap énergétique d'environ 1.4eV. Par comparaison, le gap du silicium qui est aujourd'hui le matériau le plus utilisé pour constituer des cellules dans les capteurs PV terrestres, n'est pas très loin de cet optimum avec 1.12eV

Ainsi, le maximum théorique pour une simple jonction Si est d'environ 29%. La différence de potentiel présente aux bornes d'une jonction PN soumise à un éclairage est également mesurable entre les bornes de la cellule PV. Typiquement, la tension maximale d'une cellule (PN) est d'environ 0.5 à 0.8V. Elle peut être directement mesurée à ses bornes sans charge (circuit ouvert). Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (Voc). Lorsque les bornes d'une cellule sont court-circuitées, on peut mesurer le courant maximal produit par la cellule PV et on le nomme communément courant de court-circuit (Icc). Ces valeurs peuvent changer fortement en fonction du matériau utilisé, de la température et de l'ensoleillement.

1.4.1 Matériau semi-conducteur

Un matériau semi-conducteur est un matériau dont la conductibilité électrique peut varier en fonction des conditions dans lesquelles il se trouve.

C'est la mécanique quantique et la théorie des bandes qui permettent d'expliquer ce comportement. Schématiquement, le phénomène peut être représenté de la manière suivante figure (1.4):

Le niveau d'énergie d'un électron d'un atome ne peut prendre qu'un certain nombre de valeurs discrètes. Ces plages sont appelées "bandes d'énergie". Suivant leur niveau d'énergie, les électrons peuvent soit se trouver dans une bande de valence ou dans une bande de conduction. Dans le premier cas, ils contribueront aux liaisons de l'atome, dans l'autre, à la conductibilité du matériau. Entre ces bandes, il existe des bandes dites "interdites", correspondant aux valeurs énergétiques que l'électron ne peut prendre.

Pour les matériaux conducteurs, cette bande interdite n'existe pas. Les électrons de liaisons contribuent alors directement à la conductibilité. Pour les matériaux isolants, cette bande est quasi infranchissable tant l'énergie nécessaire est importante. Pour les semi-conducteurs, cette

bande interdite est suffisamment petite pour permettre un passage aisé des électrons de la bande de valence à la bande de conduction.

Cette représentation permet d'expliquer la différence de comportement à la chaleur des conducteurs et des semi-conducteurs. Dans un métal, les électrons de valence soumis à la chaleur s'agitent, diminuant la zone conductrice de la bande d'énergie. Pour les semi-conducteurs, une augmentation de la température favorise le passage des électrons situés sur la bande de valence vers la bande de conduction, améliorant la conductibilité de l'atome (diminution de la résistance).

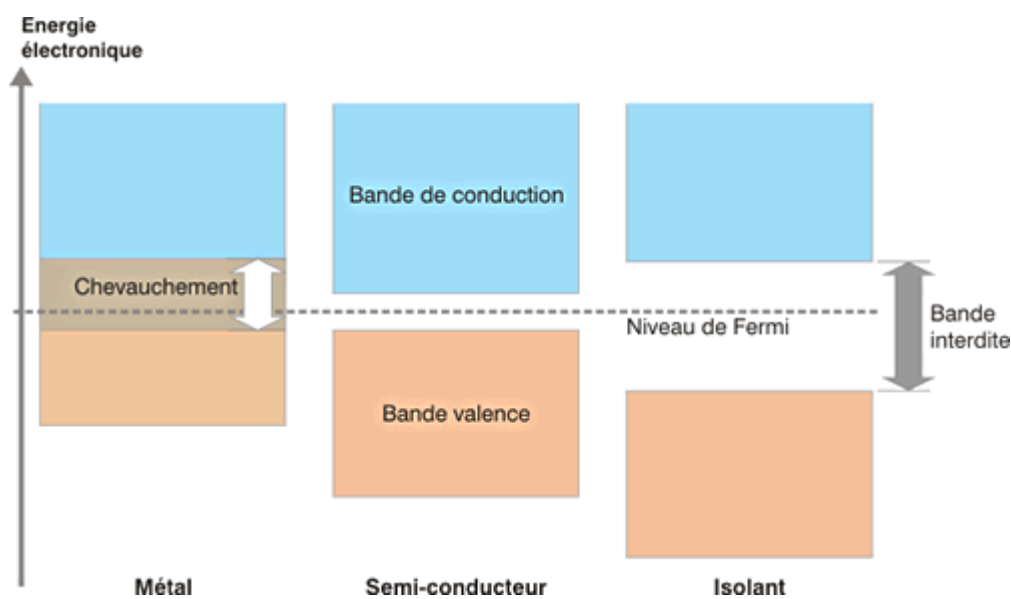


Figure (1.4) : Niveau d'énergie d'électron

Remarque : le niveau de fermi représente le plus haut niveau d'énergie que les électrons peuvent prendre à une température de 0K.

1.4.2 Dopage

Il est possible d'augmenter la conductibilité d'un semi-conducteur par un procédé chimique, appelé dopage, qui consiste à insérer des impuretés dans le semi-conducteur.

On réalise ainsi des semi-conducteurs de type *n* et des semi-conducteurs de type *p*.

Pour obtenir un matériau de type *n*, on dope le matériau semi-conducteur (généralement du silicium) avec un élément de valence supérieure (possédant plus d'électrons que le semi-

conducteur), comme le phosphore, afin d'ajouter des électrons à la bande de conduction. La conduction est alors assurée par le déplacement de ces électrons.

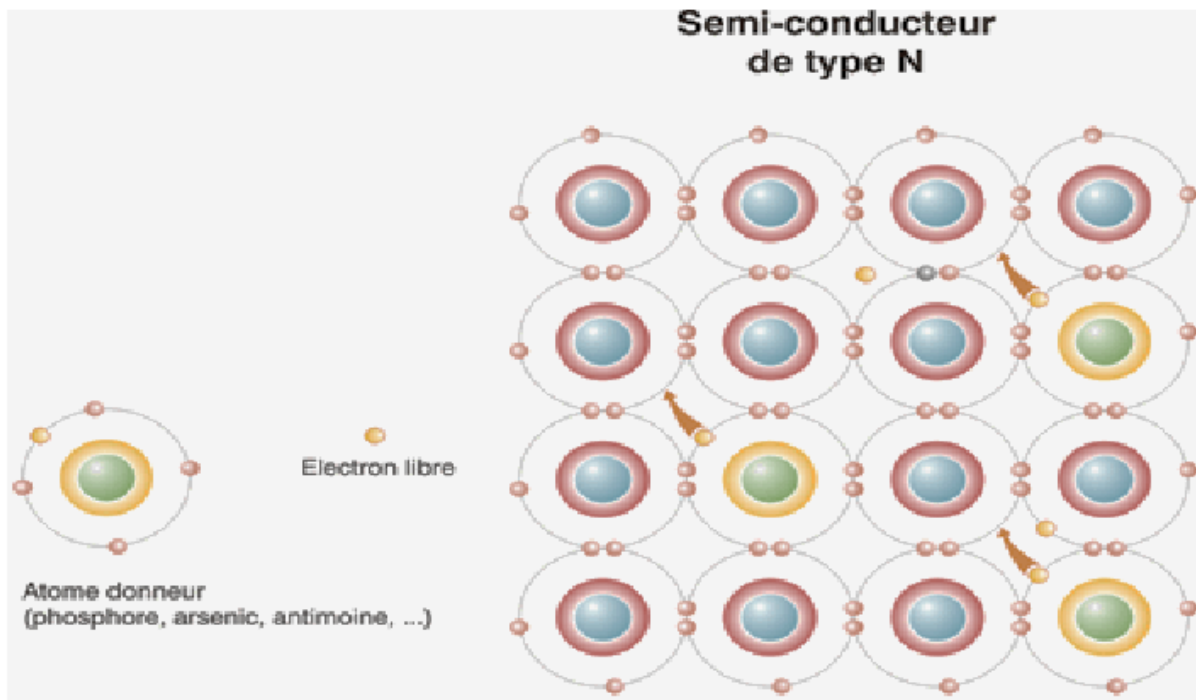


Figure (1.5) : Semi-conducteur type N

Pour obtenir un matériau de type p, on dope le matériau semi-conducteur par un élément de valence moins importante, comme le Bore figure (1.6), afin de diminuer le nombre d'électrons de la bande de valence. La conduction est alors assurée par le déplacement de porteurs chargés positivement (trous correspondant au manque d'électrons).

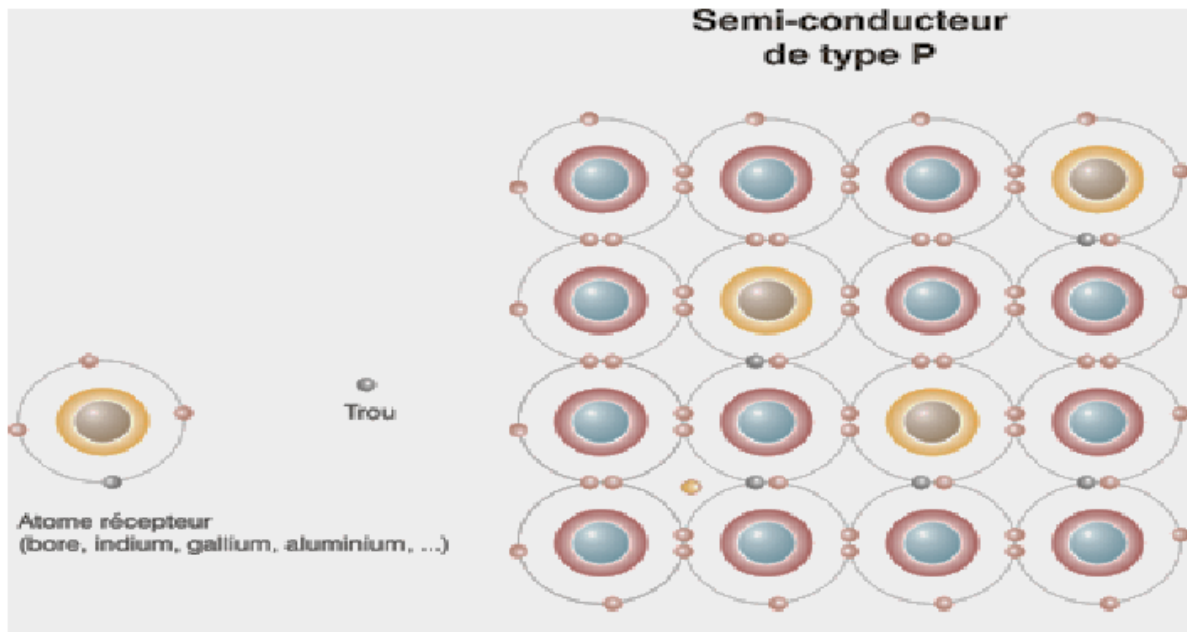


Figure (1.6) : Semi-conducteur type P

1.4.3 Jonction PN

Une diode électroluminescente ou une cellule solaire photovoltaïque est composée d'une jonction p-n, la couche supérieure étant un matériau de type n et la couche inférieure de type P figure (1.7). Pour fabriquer ces jonctions, on effectue un traitement de surface pour déposer un semi-conducteur de type n sur la surface externe d'un matériau de type p.

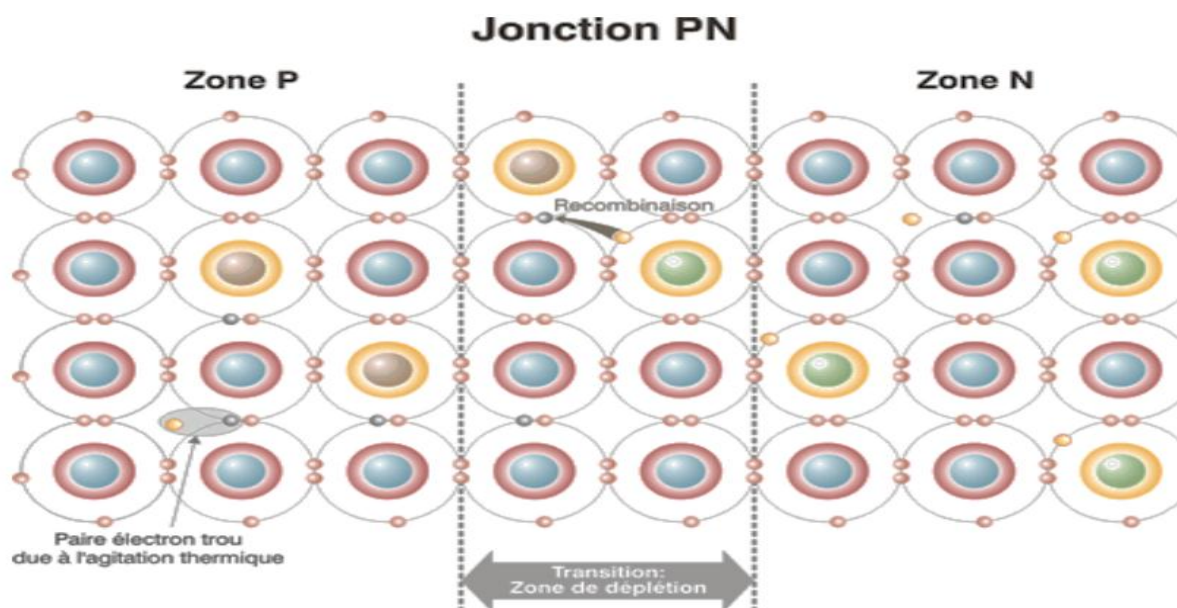


Figure (1.7) : Jonction PN

La mise en contact de ces matériaux génère une barrière de potentiel à la base du champ électrique permanent. Cette barrière, appelée zone de déplétion, est formée par recombinaison du surplus de trous et d'électrons des zones p et n remise en contact. Le schéma de la figure (1.8) représente les niveaux d'énergie au voisinage de la jonction :

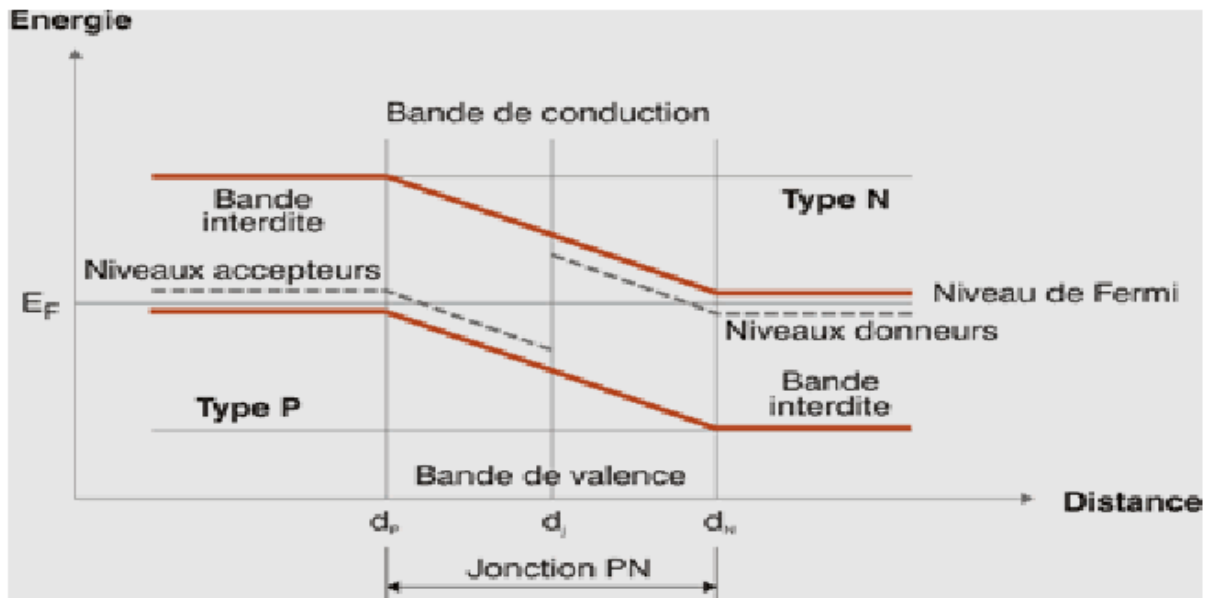


Figure (1.8) : Niveaux d'énergie au voisinage de la jonction

Si la température d'une telle jonction augmente, les électrons rempliront progressivement tous les états d'énergie, annulant la bande interdite et par là, l'effet de la jonction p-n.

1.4.1 Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [2] . Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu' à 100 cm² ou plus Sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries. Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et 24 V. la figure (1.9) représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque [3] .

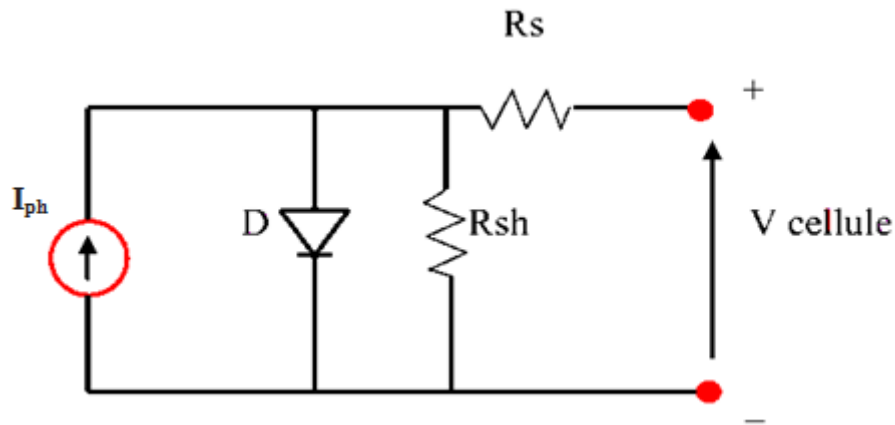


Figure (1.9) : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication. R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus au diode et aux effets de bord de la jonction [4].

I_{ph} : est le courant photo-généré ou photo courant.

1.4.5 Technologie d'une cellule photovoltaïque

a) Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales, bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes.

b) Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commercial s'étend entre 10 et 14%.

b) Silicium amorphe

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des

montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière [5]

1.4.6 Nouvelle technologie

On utilise de plus en plus de matériaux organiques dans le domaine de l'optoélectronique, avec des perspectives d'électronique organique voire moléculaire, pour l'éclairage à l'aide de diodes électroluminescentes organiques (OLED : Organic Light- Emitting Diode). Bien que les optimisations des matériaux à mettre en œuvre ne soient pas les mêmes, le domaine du photovoltaïque bénéficie depuis quelques années des avancées technologiques de l'optoélectronique. Ainsi, bien que cette filière soit vraiment récente, les progrès annuels sont spectaculaires. Les matériaux organiques, moléculaires ou polymériques, à base de carbone, d'hydrogène et d'azote, sont particulièrement intéressants en termes d'abondance, de coût, de poids et de mise en œuvre. Le tableau (1.1) présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque [6].

Type	Silicium mono cristallin	Silicium poly Cristallin	Amorphe	organique
Durée de vie	35 ans	35 ans	<10 ans	la durée de vie (record mondial de 5,9% en laboratoire)
Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse Prix moins élevé que le cristallin Bon rendement en diffus	le coût de fabrication est faible (pas de silicium)
Inconvénient	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil.	dont la durée de vie et le rendement sont encore insatisfaisants.

Tableau (1.1): Avantages et inconvénients des cellules photovoltaïques

1.4.7 Regroupement des cellules

a) Regroupement en série

Une association de (N_s) cellule en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (N_s) cellules [6]

$$V_{coNs} = N_s \cdot V_{co} \text{ et } I_{sc} = I_c \quad (1.3)$$

V_{coNs} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{scNp} : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

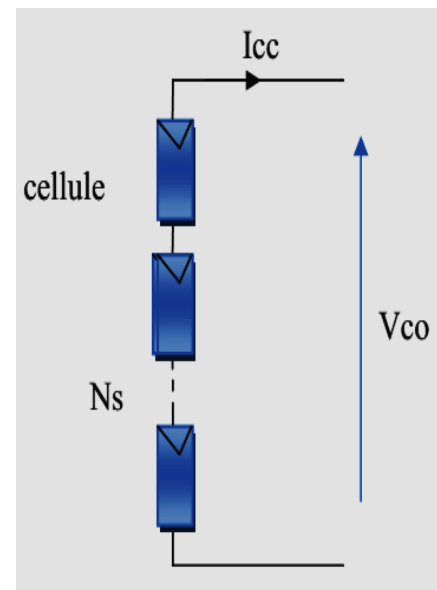
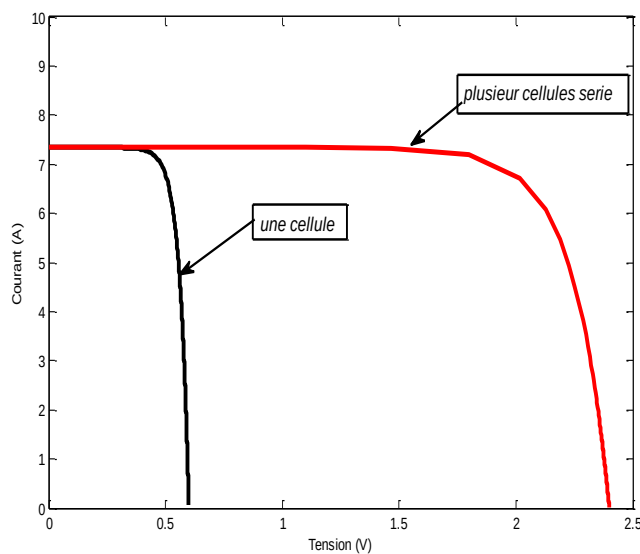


Figure (1.10) : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série

b) Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellule est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [7]

Avec :

$$I_{scNP} = N_p \cdot I_{sc} \quad (1.3)$$

$$V_{co} = V_{coNp} \quad (1.4)$$

I_{scNP} : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle

V_{coNp} : tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle

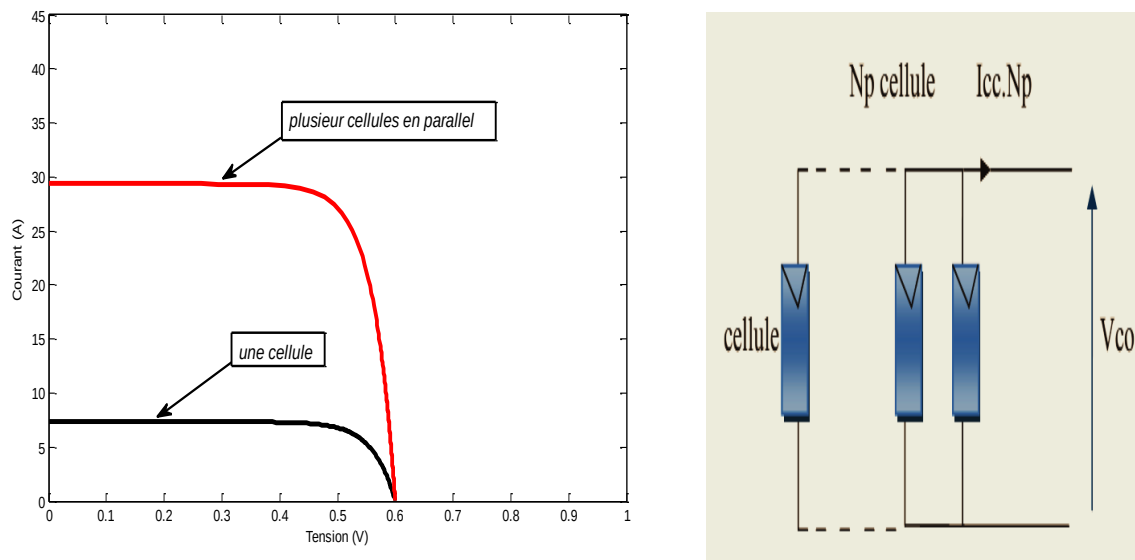


Figure (1.11) : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle

1.5 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

1.5.1 Cellule photovoltaïque idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure(1.6) qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV. Après la loi de nœuds [4]:

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1.5)$$

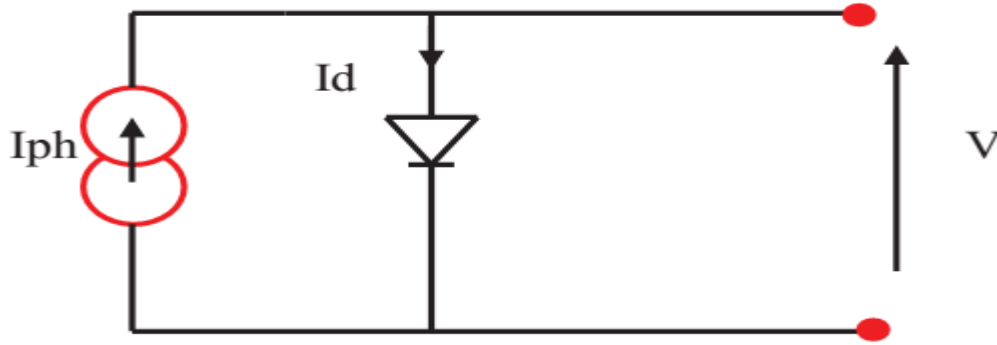


Figure (1.12) : Modèle de la cellule Photovoltaïque idéal

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode : $V = V_d$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_0 \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (1.6)$$

Avec:

I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode.

V_d : la tension au borne de diode

$V_t = KT/q$ potentielle thermique Donc :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (1.7)$$

5.2 Cellule photovoltaïque réel

Le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_s et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_{sh} [2].

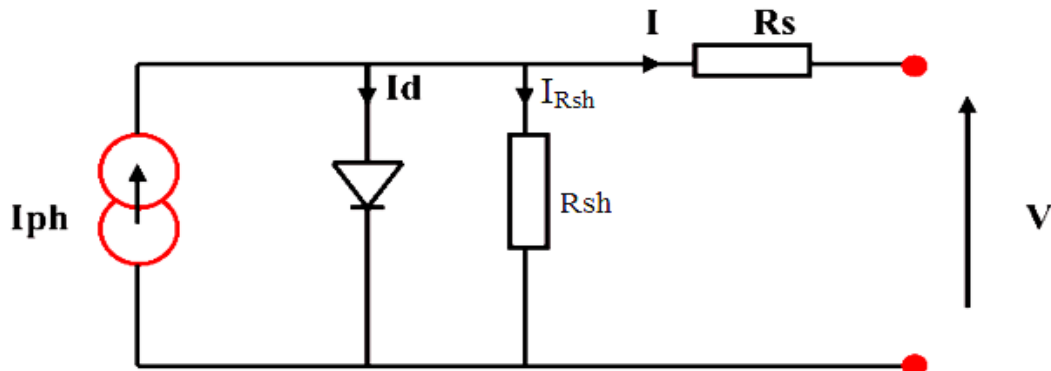


Figure (1.13) : Modèle de la cellule photovoltaïque réel.

Donc on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \quad (1.8)$$

$$I_{Rsh} = \frac{V+Rs.I}{Vt} \quad (1.9)$$

$$I_d = I_0 \left(\exp\left(\frac{V+Rs.I}{Vt}\right) - 1 \right) \quad (1.10)$$

Avec:

I : Le courant fourni par la cellule

$I_{ph} = I_{sc} \cdot \left(\frac{G}{1000}\right)$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

I_{sc} : le courant de court-circuit dans les conduction standard.

I_0 : Le courant de saturation de la diode.

K : constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/Kelvin).

q :charge d'électron $=1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

n : Le facteur de qualité de diode.

T : La température de cellule en kelvin.

Donc :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{V+Rs.I}{Vt}\right) - 1 \right) - \frac{V+Rs.I}{Vt} \quad (1.11)$$

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur l'énergie solaire, son pouvoir énergétique et les propriétés de son rayonnement puis nous avons décrit l'élément de base de la conversion photovoltaïque; la cellule solaire. Nous avons abordé sa structure, sa caractéristique électrique, son circuit électrique équivalent, les paramètres photovoltaïques, le mécanisme de la conversion photovoltaïque, l'influence du regroupement de plusieurs cellules solaires sur la caractéristique $I(V)$.

Table des matières

1.1 Introduction	3
1.2 Energie solaire	3
1.3 Gisement solaire	5
1.3.1 Gisement solaire disponible à la surface de la terre	5
1.3.2 Composants du rayonnement solaire	5
1.3.3 Mass atmosphérique de l'air (Air Mass)	6
1.4 La conversion photovoltaïque :	7
1.4.1 Matériau semi-conducteur	9
1.4.2 Dopage	10
1.4.3 Jonction PN	12
1.4.1 Cellule photovoltaïque	13
1.4.5 Technologie d'une cellule photovoltaïque	14
1.4.6 Nouvelle technologie	15
1.4.7 Regroupement des cellules	16
1.5 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	17
1.5.1 Cellule photovoltaïque idéal	17
5.2 Cellule photovoltaïque réel	18
1.6 Conclusion	19