

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N° :.....



DOMAINE : SCIENCES TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

Par:

CHEBLI Soumia et FERHATI Wafa

Intitulé

**L'effet de la température et de l'éclairement sur
la caractéristique électrique I(V) d'une cellule
solaire**

Soutenu devant le jury composé de:

Nom et prénom Enseignant

Dr. F. BENMEDDOUR

Université M'sila

Président

M^{me}. R.CHABANE

Université M'sila

Rapporteur

Dr. F. KEBAILI

Université M'sila

Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

REMERCIEMENS

Nous remercions avant tout ALLAAH, le tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'étude.

Nous tenons à remercier notre encadreur M^{me} R. CHABANE pour sa collaboration et aussi pour son aide constante.

Nous adressons également un merci particulier aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Enfin, nous tenons à adresser nos sincères remerciements à nos familles pour leur soutien, particulièrement durant cette période.

Soumia et Wafa

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد
الحمد لله الذي وفقنا هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح
بفضله تعالى مهداة الى
درعي الذي به احتमित وفي الحياة به اقتديت والذي شق لي بحر العلم والتعلم الى من احترقت
شموعه ليضيء لنا درب النجاح
ركيزة عمري وصدر أمانى وكبريائى وكرامتى أبى أطل الله في عمره.
الى ملاكى في الوجود الى معنى الحنان والتفانى الى بسمة الحياة وسر الوجود الى من كان
دعائها سر نجاحى وحنانها بلسم جراحي أُمى
اليك اخي هشام سندي ودرعي فخري واعتزازي
الى من يذكرهم القلب قبل أن يكتب القلم الى من قاسموني حلو الحياة ومرها تحت سقف واحد
اخوتي وأخواتي أحلام منى ايناس دينة وجمال
الى أروع من جسد الحب بكل معانيه فكان السند والعطاء قدم لي الكثير صور من صبر وأمل
ومحبة لن أقول شكرا بل سأعيش الشكر معك دائما.
الى من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والابداع الى من تكاتفنا يدا بيد ونحن
نقطف زهرة تعلمنا الى صديقتي نور وأمينة.
الى العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال خاصة عمي فيصل الذي كان خير سند وداعم.
اليك يا من كنتي لي خير الأخت الرفيقة والزميلة شريكتي في التخرج سمية.
الى من علموني حروفا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى وأجل عبارات في العلم
الى من صاغوا لي من علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا مسيرة العلم والنجاح أساتذتي
الكرام.
وأخيرا أهدي هذا العمل المتواضع الى الذي أختم به اهدائي الذي أرى فيه دائما الصبر
والتفاؤل أخي الذي لم تلده أُمى.
ولكل من ساهم في نجاحي ولو بكلمة جزاكم الله خيرا.

فرحاتي وفاء

الإهداء

الى منارة العلم والامام المصطفى
سيد الخلق ورسولنا الكريم
محمد صلى الله عليه وسلم
الى الوالدة الكريمة أطل الله في عمرها نادية
الى الوالد الكريم رحمه الله بلقاسم
الى كل الإخوة والأخوات القريب منهم والبعيد
الى كل من ساهم في هذا العمل
وكل أساتذة قسم الإلكترونيك بكلية العلوم والتكنولوجيا بالقطب الجامعي محمد بوضياف
الى الأستاذة المشرفة شعبان ريان
الى كل من علمني حرفا
وخير الختام السلام

شيلي سمية

Résumé

Les cellules solaires sont les structures de base des systèmes photovoltaïques et de la conversion de l'énergie solaire. Notre étude concerne la simulation de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire et plus précisément l'effet de la température et de l'éclairement sur cette caractéristique. La température et l'éclairement sont des paramètres très importants et ne peuvent être négligés dans le comportement des cellules solaires.

Le paramètre le plus affecté par l'accroissement de la température est le courant du court circuit I_{cc} , et le paramètre le plus affecté par l'accroissement de l'éclairement est la tension de circuit-ouvert V_{co} . La réduction de cette dernière avec l'augmentation de la température entraîne ainsi la réduction de la puissance maximale P_{max} fournie par la cellule.

***Mots clés :** cellules solaires, systèmes photovoltaïques, courant du court circuit I_{cc} , tension de circuit-ouvert V_{co} .*

Abstract

Solar cells are the basic structures of photovoltaic systems and solar energy conversion. Our study concerns the simulation of the I-V characteristic of a solar cell and more precisely the effect of temperature and illumination on this characteristic.

Temperature and irradiance are very important parameters and cannot be neglected in the behavior of solar cells.

The parameter most affected by the increase in temperature is the short-circuit current I_{cc} , and the parameter most affected by the increase in illumination is the open-circuit voltage V_{co} .

The reduction of the V_{co} with the increase in temperature thus leads to the reduction of the maximum power P_{max} supplied by the cell.

Key words: Solar cells, photovoltaic system, I-V characteristic, short-circuit current I_{cc} , open-circuit voltage V_{co} .

Liste des figures

<i>Chapitre I Généralités sur les cellules solaires</i>		Page
Figure I-1 : Présentation schématique d'une cellule solaire conventionnelle		02
Figure I-2 : jonction p-n		03
Figure I-3 : Système photovoltaïque indépendant		06
Figure I-4 : Système photovoltaïque connectés au réseau		07
Figure I-5 : Réflexion, transmission et absorption		09
Figure. I.6: Schéma de principe de fonctionnement d'un générateur PV		10
Figure I.7. Photos de cellules mono-cristalline (a) et poly cristalline (b)		11
<i>Chapitre II Modèle électrique réel d'une cellule solaire</i>		
Figure II-1 : caractéristique courant-tension d'une diode dans l'obscurité et sous illumination		14
Figure II-2 : schéma équivalent de la cellule solaire idéale		15
Figure II.3 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel		15
Figure II-4 : puissance maximale sur une caractéristique courant-tension		17
Figure II.5: différents régimes selon la puissance d'éclairement		18
Figure II-6 : Différents composants d'un champ de modules photovoltaïques		21
<i>Chapitre III Modélisation d'un système photovoltaïque</i>		
Figure III.1: A température et éclairement fixés, caractéristique I(V) d'une cellule $T = 298^{\circ}\text{K}$ et $G = 1000 \text{ W/m}^2$		24
Figure III.2 : A température et éclairement fixés, caractéristique P(V) d'une cellule $T = 298^{\circ}\text{K}$ et $G = 1000 \text{ W/m}^2$		25
Figure III.3 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension		26
Figure III.4 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension		26
Figure III.5 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension		27
Figure III.6 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension		28

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	01
-----------------------------	----

CHAPITRE I : Généralités sur les cellules solaires

I.1 Introduction	03
I.2 Cellule solaire	03
<i>I.2.1 Historique de la cellule solaire</i>	<i>03</i>
<i>I.2.2 Présentation de la cellule solaire</i>	<i>04</i>
<i>I.2.3 Physique de la cellule solaire</i>	<i>04</i>
<i>I.2.3.1 La diode</i>	<i>04</i>
<i>I.2.3.2 La jonction p-n</i>	<i>05</i>
<i>a. Polarisation directe</i>	<i>05</i>
<i>b. Polarisation inverse</i>	<i>06</i>
<i>I.2.4 Structure de la cellule solaire</i>	<i>06</i>
I.3 Système photovoltaïque	07
<i>I.3.1. Systèmes photovoltaïque indépendant</i>	<i>07</i>
<i>a. Le système de régulation de charge.....</i>	<i>08</i>
<i>b. Les batteries</i>	<i>08</i>
<i>c. Système connecté à un réseau local</i>	<i>09</i>
<i>I.3.2 Système photovoltaïque connectés au réseau.....</i>	<i>09</i>
<i>I.3.3 Effet photovoltaïque</i>	<i>10</i>
I.4 Principe de Fonctionnement de la Cellule Photovoltaïque	10
<i>I.4.1 L'absorption de la lumière.....</i>	<i>10</i>
<i>I.4.2 Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.....</i>	<i>11</i>
<i>I.4.3 La collecte des charges.....</i>	<i>11</i>
I.5 Matériaux utilisés dans les cellules photovoltaïques	13

<i>I.5.1 Silicium mono-cristallin</i>	13
<i>I.5.2 Silicium poly-cristallin</i>	13
<i>I.5.3 Silicium amorphe (a-si)</i>	13
<i>I.5.4 Nouvelle technologie</i>	14
I.6 Conclusion	14

CHAPITRE II: Modèle électrique réel d'une cellule solaire

II.1 Introduction	15
II.2 La structure d'une cellule solaire	15
<i>II.2.1 Caractéristique courant-tension</i>	16
II.3 Schéma équivalent d'une cellule solaire	16
<i>II.3.1 Cas d'une cellule idéale</i>	16
<i>II.3.2 Cas d'une cellule réelle</i>	17
II.4 Grandeurs caractéristiques d'une cellule solaire	18
<i>II.4.1 Courant et tension max I_m, V_m</i>	18
<i>II.4.2 Courant de court-circuit (I_{cc})</i>	19
<i>II.4.3 Tension de circuit ouvert (V_{co})</i>	19
<i>II.4.4 Facteur de forme FF</i>	21
<i>II.4.5 Le rendement η</i>	21
II.5 Pertes dans les cellules solaires	22

<i>II.5.1. Absorption incomplète</i>	22
<i>II.5.2. Excès d'énergie</i>	22
<i>II.5.3. La résistance série</i>	22
<i>II.5.4. La résistance parallèle</i>	22
<i>II.5.5. Le rendement de collecte</i>	22
<i>II.5.6. Réflexion à la surface</i>	22
<i>II.5.7. Facteur de forme</i>	23
II.6 Module photovoltaïque	23
II.7 Conclusion	23

CHAPITRE III: Résultats simulés

III.1 Introduction	24
III.2 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du modèle	24
III.3 Influence de la température et de l'éclairement	25
<i>III.3 Influence de la température</i>	25
<i>III.3.2. Influence de l'éclairement</i>	27
III.4 Conclusion	28
 CONCLUSION GÉNÉRALE	 29

Introduction Générale

Introduction générale

Le mot « photovoltaïque » vient de « photons » qui signifient lumière et de « volta » du nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électronique. Mais c'est le savant français Antoine Becquerel qui, le premier en 1839, observa le changement de la tension d'une électrode en platine sous l'effet de l'illumination de la lumière [1].

La première cellule solaire à base de silicium fut développée dans les laboratoires Bell en 1954. Le rendement était de 6% mais fut rapidement augmenté à 10% [2].

Durant de longues années, la principale application des cellules solaires resta le domaine spatial. Leurs intérêts dans une utilisation terrestre rebondissent dans les années 1970. Aujourd'hui, le développement de l'industrie des semi-conducteurs et ses très nombreuses avancées (tant en termes de qualité du matériau que de développement des équipements) a favorisé la très large expansion des cellules solaires [2].

De plus, le besoin total d'énergie dans le monde s'accroît proportionnellement à la croissance démographique et à la disponibilité des sources d'énergie qui est limitée dans ce monde. C'est pourquoi la recherche de nouvelles sources d'énergies s'avère très indispensable.

L'énergie solaire est l'énergie renouvelable par excellence. Respectueuse de l'environnement, elle permet de produire de l'électricité par transformation du rayonnement solaire grâce à des cellules solaires reliées entre-elles pour former un module solaire photovoltaïque. Bien que les cellules solaires à base de la jonction PN soient les plus exploitées.

Pour une installation photovoltaïque, la variation de l'éclairement ou de la température induit à un changement de la caractéristique courant-tension et de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque.

Dans ce contexte, s'inscrit l'objectif de notre travail qui est la simulation des caractéristiques électriques ($I-V$) de la cellule solaire, et l'étude de l'effet de l'éclairement et de la température sur ses caractéristiques.

A cet effet, notre mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous commençons par des notions sur la physique de la cellule solaire, le système photovoltaïque ainsi que le principe de fonctionnement de cette cellule. Ensuite, nous présenterons les différents matériaux utilisés dans la fabrication des cellules photovoltaïques.

Dans le second chapitre, nous allons étudier le modèle électrique choisi pour la simulation courant-tension $I(V)$ de la cellule solaire et ses caractéristiques.

Dans le dernier chapitre, nous présenterons nos résultats simulés concernant l'effet de l'éclairement et de la température sur la caractéristique électrique courant-tension et la puissance fournie par la cellule solaire. Ces résultats ont été simulés en utilisant un programme sous Matlab.

A la fin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale où on récapitule toute l'étude théorique et les résultats simulés obtenus dans ce modeste travail.

Chapitre I

Généralités Sur Les Cellules Solaïres

Chapitre I

Généralités sur les cellules solaires

I.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette énergie est l'une des sources les plus importantes d'énergie renouvelable qui suscitait un intérêt croissant ces dernières années [1].

Ce chapitre est consacré à un rappel théorique sur les cellules solaires et en particulier une brève présentation de l'élément énergétique essentiel qui constitue le rayonnement solaire. Nous aborderons également le phénomène photovoltaïque et les différentes technologies utilisées dans la fabrication des cellules photovoltaïques.

I.2. Cellule solaire

1.2.1. Historique de la cellule solaire

Quelques dates importantes dans l'histoire de la photovoltaïque:

- **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre 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, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement.
- **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 est construite à l'Université de Delaware.
- **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.
- **Lem** " et "**Heweliusz** ", les premiers nano-satellites polonais de la constellation BRITe, décolleront en 2013.

1.2.2. Présentation de la cellule solaire

La cellule solaire est un composant optoélectronique qui a pour rôle de transformer l'énergie lumineuse provenant du soleil à une énergie électrique. La structure la plus simple d'une cellule solaire est basée sur une jonction constitué de deux zones dopées différemment ; soit du même matériau (homo-jonction), ou bien de deux matériaux différents (hétérojonction) [2].

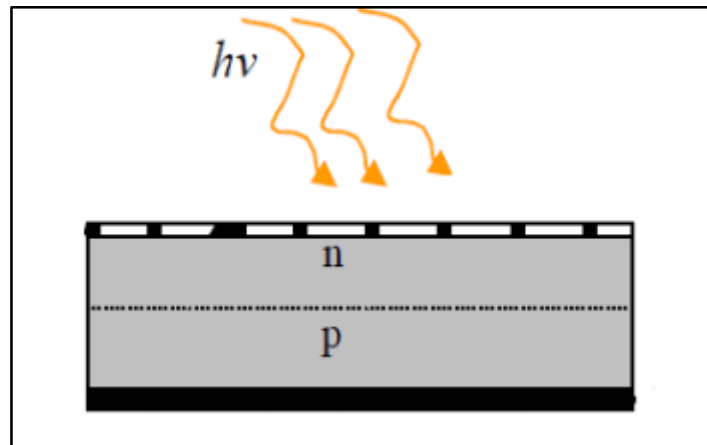


Figure I-1 : Présentation schématique d'une cellule solaire conventionnelle

1.2.3. Physique de la cellule solaire

La cellule solaire est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux.

La cellule solaire est donc liée très fortement à la diode est très facile de comprendre que l'équation qui exprime la caractéristique d'une cellule solaire est similaire à celle d'une diode.

1.2.3.1 La diode

La diode est à la base des composants semi-conducteurs. Son fonctionnement est semblable à celui d'un interrupteur commandé qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. La fonction diode a existé bien avant l'arrivée du silicium, ou utilisant ; alors des tubes à vides (les lampes) par l'effet thermoélectrique. Le Silicium a apporté les avantages suivants : coût, fiabilité, simplicité d'utilisation [3].

1.2.3.2 La jonction p-n

Lorsqu'on met en contact deux semi-conducteurs à dopage opposé (de type p et de type n), on obtient un élément très connu qui s'appelle jonction p-n ou diode. Donc la jonction p-n est l'endroit où la zone de type p (majoritaire en trous, minoritaires en électrons) et la zone de type n (majoritaire en électrons, minoritaire en trous) se rencontre.

Deux types de dopage sont possibles [4] :

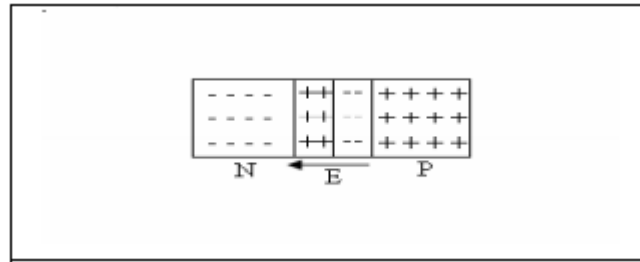


Figure I-2: jonction p-n

- ❖ Le dopage de type n, qui consiste à introduire dans la structure cristalline semi-conductrice des atomes étrangers pentavalents (ex : le phosphore) qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire, libre de se mouvoir dans le cristal [4].
- ❖ Le dopage de type p utilise des atomes trivalent (ex : le bore) dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire [4].

L'échange de porteurs dans la zone de charge spatiale crée un champ électrique qui va contrebalancer la diffusion des charges et rétablir l'équilibre thermodynamique. Le courant est nul dans le cas d'une jonction p-n non polarisée.

a. Polarisation directe

La barrière de potentiel interne empêche toute circulation de courant. Si on applique un champ externe à l'aide d'un générateur en branchant le pôle (+) à la zone p et le pôle (-) à la zone n, on peut contrebalancer les effets du champ interne et permettre au courant de circuler.

La densité du courant total à travers la jonction est :

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_p(-\mathbf{x}_n) + \mathbf{J}_n(\mathbf{x}_p) \quad (\text{I.1})$$

Si S est la surface de la jonction, on trouve que :

$$I = -S \left(\frac{qD_p p_n}{L_p} + \frac{qD_n n_p}{L_n} \right) \left[\exp \left(\frac{V}{V_{th}} \right) - 1 \right] \quad (I.2)$$

C'est l'équation de la caractéristique idéale de la diode.

Où, $D_n D_p$ sont les coefficients de diffusion des électrons et des trous ;

L_p et L_n sont les longueurs de diffusions de porteurs ;

D et μ sont liés par la relation d'Einstein, tel que :

$$V_{th} = \frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q} \quad (I.3)$$

Le courant total est pratiquement le courant direct dû aux porteurs majoritaires dès que la tension atteint quelque mV. Le phénomène d'attraction des électrons libres de la partie n par les trous de la partie p (diffusion) n'est plus contrarié et le générateur va pouvoir injecter des électrons dans la zone n et les repomper par la zone p.

b. Polarisation inverse

Si on branche le générateur dans le sens inverse du cas précédent, on renforce le champ électrique interne et on empêche le passage des porteurs majoritaires, les électrons libres sont repoussés dans la zone n et les trous dans la zone p. On accentue la séparation des charges (zone de déplétion) par contre les porteurs minoritaires (trous pour la zone n et électrons libres pour la zone p) peuvent traverser la jonction et reboucler par le générateur il forme le courant inverse I qui dépend essentiellement de la température, le courant est donné par :

$$I = S \left(\frac{qD_p p_n}{L_p} + \frac{qD_n n_p}{L_n} \right) \left[\exp \left(\frac{V}{V_{th}} \right) - 1 \right] \quad (I.4)$$

Comme $V < 0$ on trouve une augmentation de barrière de potentielle de la jonction, le champ extérieur repousse les charges qui vont se trouver à une distance sensiblement proportionnelle à $|V|$, créant ainsi une capacité proportionnelle à cette distance donc à $|V|$.

1.2.4. Structure de la cellule solaire

La structure d'une cellule solaire est similaire à celle d'une jonction p-n, le courant sous obscurité dans telle structure est donné par la formule suivante [5] :

$$I_{\text{obs}} = I_s \left[e^{\frac{qV}{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{I.5})$$

I_{obs} : Le courant sous obscurité.

I_s est le courant de saturation de la diode ;

q est la charge de l'électron ;

V est la tension appliquée ;

k est la constante de Boltzmann ;

T est la température absolu en Kelvin.

Et sous éclaircissement le courant est donné par la formule :

$$I = I_{\text{ph}} - I_s \left[e^{\frac{qV}{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{I.6})$$

Avec:

I_{ph} est la photo-courant de la diode.

I.3. Système photovoltaïque

On appelle système photovoltaïque l'ensemble des composants nécessaire à l'alimentation d'une application en toute fiabilité. Il est composé d'un module photovoltaïque, d'un régulateur et d'une batterie.

Un panneau photovoltaïque se compose de petites cellules qui produisent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue de moins d'1 V. Ces cellules sont disposées en série pour former un module ou panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque. Il existe 2 types de systèmes photovoltaïques.

I.3.1. Systèmes photovoltaïque indépendant

C'est un système photovoltaïque (figure I-3) qui alimente l'utilisateur en électricité (sans être connecté au réseau électrique). En effet, ces systèmes appelés aussi " autonomes " sont des systèmes qui ne dépendent pas de l'existence d'un réseau d'électricité. C'est bien souvent le seul

moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau n'est pas disponible : dans les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne et en désert.

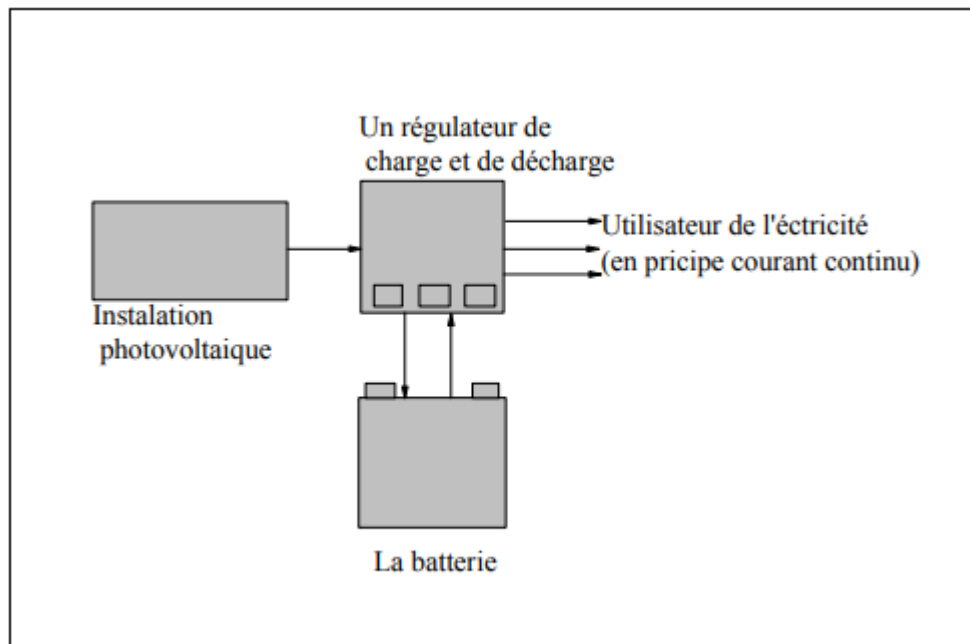


Figure I-3 : Système photovoltaïque indépendant

a. Le système de régulation de charge

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Presque toutes les installations autonomes sont équipées d'un régulateur qui contrôle le flux d'énergie allant des cellules solaires vers la batterie et les utilisateurs.

b. Les batteries

Il existe très peu d'installations autonomes qui n'ont pas besoin de stocker de l'énergie, cependant, elles existent.

- L'énergie photovoltaïque peut faire fonctionner une pompe pour les besoins en eau dans une région isolée sans forcément avoir recours à une batterie de stockage.
- Une autre utilisation serait pour pomper l'eau d'une piscine.
- On peut aussi relier des ventilateurs directement sur les panneaux PV si on se contente des heures de soleil pour leur fonctionnement. Une batterie s'impose, dans la majorité des cas.

Cette batterie aura pour le rôle de maintenir en service une charge en période de faible ensoleillement ou en l'absence d'ensoleillement. Dans les systèmes nécessitant un stockage de l'énergie électrique, la batterie électrochimique à accumulateur constituera souvent l'option la plus simple et la plus adéquate ; on se contente des heures de soleil pour leur fonctionnement.

c. Système connecté à un réseau local

Dans certains cas, on alimentera de nombreux utilisateurs à partir de cellules solaires. L'exemple le plus courant est celui d'une petite île où le réseau local servant à l'approvisionnement d'énergie des habitants sera alimenté par l'énergie solaire.

I.3.2. Système photovoltaïque connectés au réseau

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système dont le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu-courant alternatif.

Le convertisseur ou onduleur remplit les fonctions suivantes :

- Conversion de courant continu en courant alternatif compatible avec la tension du réseau.
- Optimisation de la tension continue de manière à ce que le champ de modules fonctionne dans des conditions de puissance optimales.
- Sécurité.

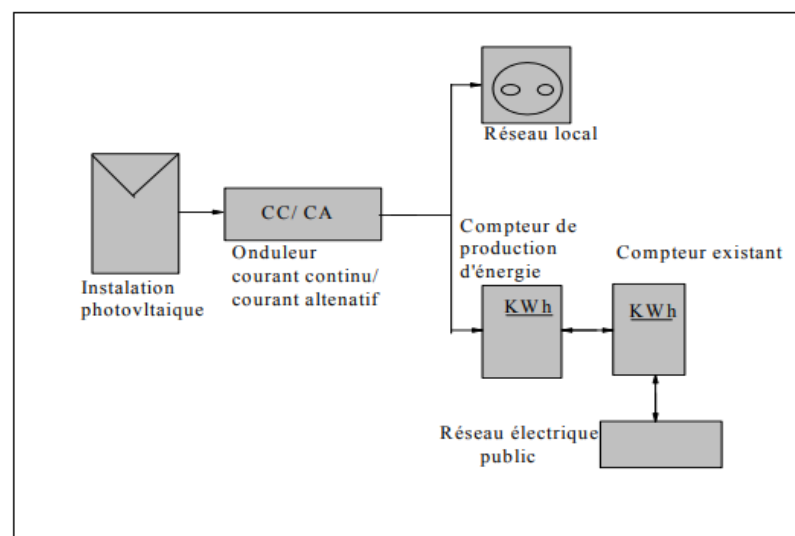


Figure I-4: Système photovoltaïque connectés au réseau

1.3.3. Effet photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule. La figure I.4 illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11% à 12 % avec du silicium poly cristallin et enfin 7 à 8 % pour le silicium amorphe en films minces [6]. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque [7].

I.4. Principe de Fonctionnement de la Cellule Photovoltaïque

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-conducteur ;
- collecte des particules générées dans le dispositif.

Il est donc clair qu'un matériau doit avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque.

1.4.1. L'absorption de la lumière

La lumière se compose de photons, chacun est porteur d'une énergie dépendant de sa longueur d'onde. Ces photons peuvent pénétrer dans certains matériaux, et généralement, un rayon qui arrive sur un solide subit les événements optiques suivants :

- la réflexion : la lumière est renvoyée par la surface de l'objet ;
- la transmission : la lumière traverse l'objet ;
- l'absorption : la lumière pénètre dans l'objet et n'en ressort pas, l'énergie est restituée sous une autre forme.

Ce sont les propriétés optiques du matériau rencontré qui conditionnent la répartition de ces diverses contributions.

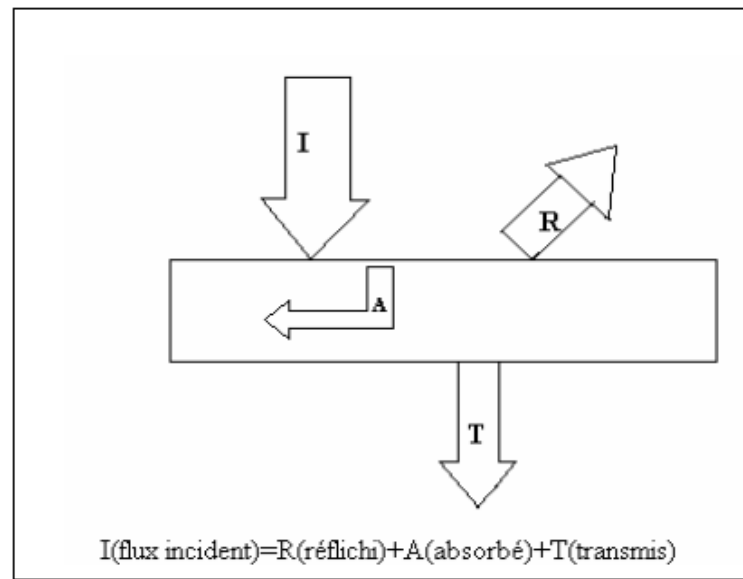


Figure I-5 : Réflexion, transmission et absorption

1.4.2. Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques

On va s'intéresser maintenant à la lumière absorbée dans le matériau photovoltaïque et expliquer comment son énergie est convertie en électricité.

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, charges négatives élémentaires, contenus dans la matière semi-conductrice.

Tout solide est, en effet, constitué d'atomes qui comprennent chacun un noyau et un ensemble d'électrons gravitant autour. Les photons absorbés vont tout simplement transférer leur énergie aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau), leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction de leur noyau.

Ces électrons libérés sont susceptibles de produire un courant électrique si on les « attire » ensuite vers l'extérieur.

1.4.3. La collecte des charges

Le rayonnement solaire est constitué de photon transportant une énergie donnée par la relation [8, 9]:

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (I.7)$$

Avec :

E : Énergie en Joule ;

λ : Longueur d'onde en m ;

ν : Fréquence en Hz ;

h : Constante de Planck.

Les électrons créés par les photons seront collectés avant de reprendre leur énergie initiale, afin de fournir un courant électrique.

La structure périodique des atomes dans un solide entraîne des bandes d'énergie interdites pour l'électron et chaque matériau est caractérisé par une largeur de bande interdite (gap) exprimé en eV dont la valeur détermine la nature de matériau (conducteur ; semi-conducteur, isolant). Si E_v est l'énergie maximale de la première bande d'énergies autorisées (bande de valence) et E_c l'énergie maximale de la seconde bande d'énergie premières (bande de conduction) la largeur de la bande interdite E_g du matériau est donnée par :

$$E_g = E_c - E_v \quad (I.8)$$

Les photons dont l'énergie est supérieure à E_g peuvent faire passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction laissant ainsi un trou dans la bande de valence. L'électron et le trou ainsi libérés doivent rapidement être collectés.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure I.6 :

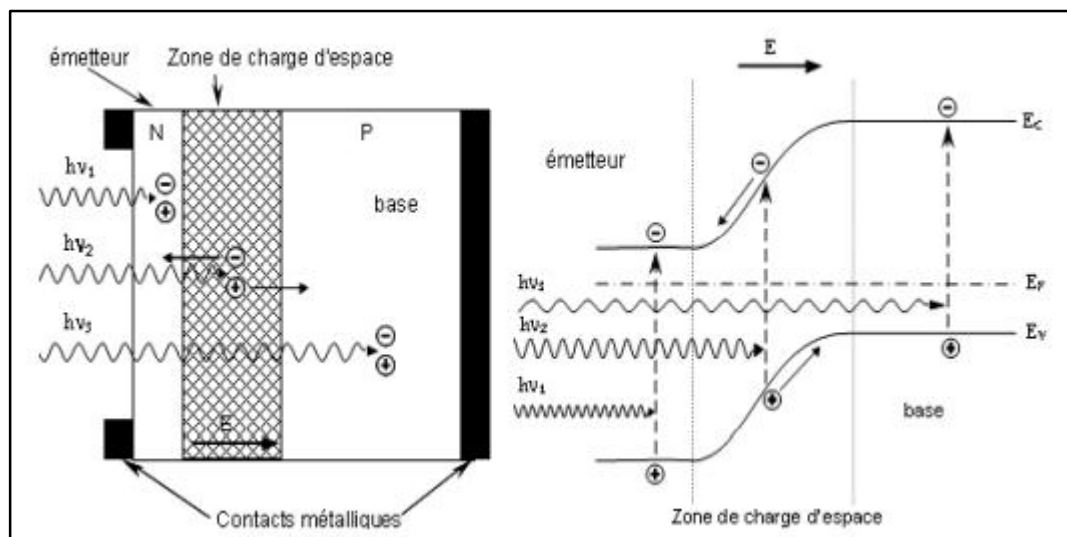


Figure. I.6: Schéma de principe de fonctionnement d'un générateur PV

I.5. Matériaux utilisés dans les cellules photovoltaïques

I.5.1. 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.

I.5.2. 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%.



Figure I.7 : Photos de cellules mono-cristalline (a) et poly cristalline (b)

I.5.3. Silicium amorphe (a-si)

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 [10].

1.5.4. 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 [11].

Le tableau I.1 présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque :

Type	Silicium mono cristallin	Silicium poly cristallin	Amorphe
Durée de vie	35 ans	35 ans	35 ans
Avantages	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le mono-cristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse, prix moins élevé que les cristallins, bon rendement en diffus
Inconvénients	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux..), prix élevé	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil

Tableau I.1: Avantages et inconvénients des différentes technologies

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des rappels théoriques sur les cellules solaires, la physique de cette cellule, la conversion et le système photovoltaïque et les différents matériaux utilisés dans la fabrication des cellules solaires.

Chapitre II

Modèle Électrique Réel D'une Cellule Solaire

Chapitre II

Modèle électrique réel d'une cellule solaire

II.1. Introduction

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule photovoltaïque, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie plusieurs modèles électriques ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque.

Dans cette partie, nous allons présenter deux modèles de cellules solaires, dont le modèle réel qui a été choisi dans la suite de notre simulation.

II.2. La structure d'une cellule solaire

La structure d'une cellule solaire est similaire à celle d'une jonction p-n, le courant sous obscurité dans telle structure est donné par la formule suivante [5] :

$$I_{obs} = I_s \left[\frac{qV}{e^{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{II-1})$$

I_{obs} : Le courant sous obscurité ;

I_s : Le courant de saturation de la diode ;

q : charge de l'électron ;

V : tension appliquée ;

k : constante de Boltzmann ;

T : température absolu en Kelvin.

Et sous éclaircissement le courant est donné par la formule suivante :

$$I = I_{ph} \left[\frac{qV}{e^{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{II-2})$$

Avec :

I_{ph} : photocourant de la diode.

II.2.1. Caractéristique courant-tension

On représente sur la figure II-1 la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire dans l'obscurité d'une part, et d'autre part sous illumination [8]:

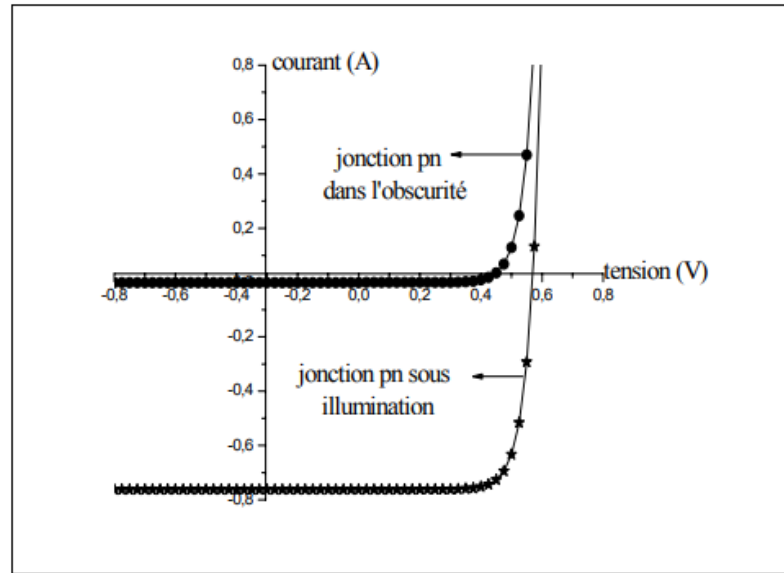


Figure II-1 : caractéristique courant-tension d'une diode dans l'obscurité et sous illumination

On remarque que la courbe sous illumination est simplement décalée par rapport à la courbe dans l'obscurité d'une valeur I_{CC} , qui traduit la génération constante du courant pour la lumière. Cette valeur est appelée courant de court-circuit, puisque c'est le courant que génère la cellule sous éclairage à tension nulle (en court-circuit). La valeur V_{CO} à l'inverse, est la tension de circuit ouvert, tension de la cellule solaire sous éclairage à courant nul.

II.3. Schéma équivalent d'une cellule solaire

II.3.1. Cas d'une cellule idéale

La cellule solaire est dite idéale si la relation courant-tension est donnée par l'expression suivante [9]:

$$\mathbf{I} = I_{ph} - I_s \left[\frac{qv}{e^{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{II-3})$$

La cellule solaire sous éclairage peut-être schématisé par un générateur de courant I_{ph} (un courant inverse proportionnel à la lumière incidente) en parallèle avec une diode délivrant un courant

$$I_d = I_s \left[\frac{qV}{e^{nkt}} - 1 \right] \quad (\text{II-4})$$

Nous obtenons ainsi le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale, présenté sur la figure suivante :

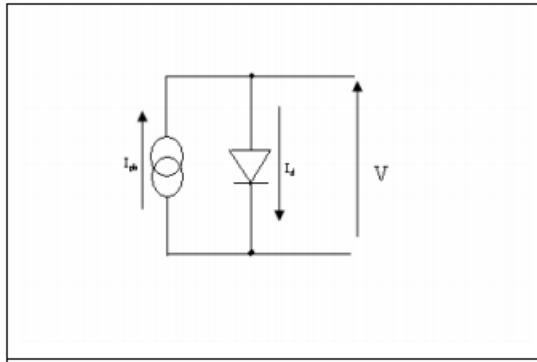


Figure II-2 : schéma équivalent de la cellule solaire idéale

II.3.2. Cas d'une cellule réelle

Une cellule photovoltaïque a un comportement équivalent à une source de courant shuntée par une diode (Figure II.3). Le modèle est complété par une résistance série R_s due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière et une résistance parallèle ou shunt R_p qui provient des contacts métalliques et des résistances de fuite sur la périphérie de la cellule [12] .

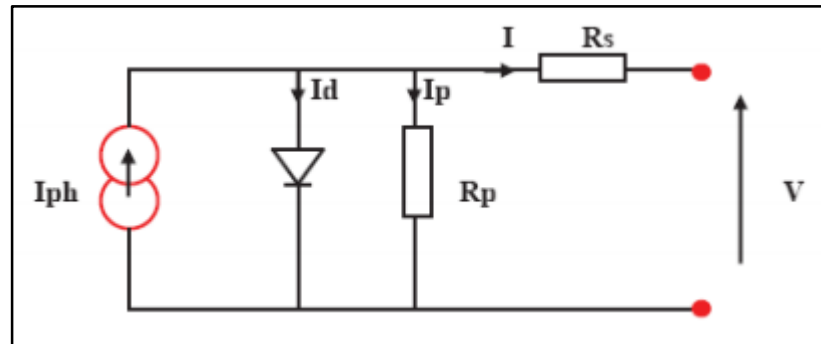


Figure II.3 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque est donné par :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{V_t n}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}}\right) \quad (\text{II-5})$$

Avec:

$V_t = \frac{KT_c}{q}$ est le potentiel thermodynamique.

Où I_s : le courant de saturation ;

K : la constante de Boltzmann (1,38110 – 23 J/K) ;

T_c : la température effective des cellules en Kelvin (°K) ;

e : la charge de l'électron ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$) ;

n : le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$) ;

I_{pv} : le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur ;

V_{pv} : la tension aux bornes de cette même cellule ;

I_{ph} : le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit) ;

R_{sh} : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction ;

R_s : la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions.

II.4. Grandeurs caractéristiques d'une cellule solaire

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique I(V) [5].

II.4.1. Courant et tension max I_m , V_m

La puissance maximale d'une cellule photovoltaïque sous illumination est le paramètre essentiel, c'est le point idéal de la caractéristique courant-tension. Les valeurs de tension (V_m) et de courant (I_m) tel que $P_m = I_m \times V_m$, appelés également tension et courant maximums, sont

importantes aussi. On a tracé sur la figure suivante la caractéristique courant-tension sous lumière d'une cellule solaire, les valeurs des paramètres utilisés pour générer la courbe I - V sont tirées de la référence [13].

Le point situé au coude de la caractéristique, est dit point de puissance maximale.

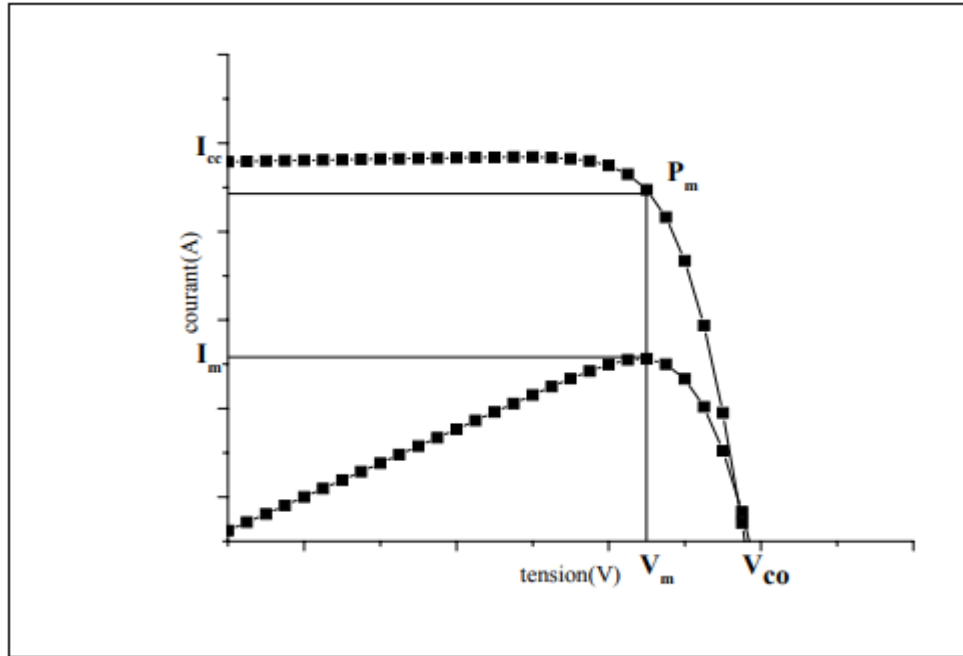


Figure II-4 : Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension

$$(I_s = 0.325\mu A, I_{ph} = 0.762A, n = 1.5)$$

II.4.2. Courant de court-circuit (I_{cc})

Il s'agit du courant lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celui-ci est fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface active de la cellule, de la mobilité des porteurs ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue.

II.4.3. Tension de circuit ouvert (V_{co})

Comme son nom l'indique, c'est la tension aux bornes de la cellule lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge ou lorsqu'elle est connectée à une charge de résistance infinie. Elle dépend essentiellement du type de cellule solaire (jonction PN, jonction Schottky), des matériaux de la couche active et de la nature des contacts de la couche active électrode. Elle dépend de plus de l'éclairement de la cellule.

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (\text{II-6})$$

Deux régimes peuvent être observés suivant le degré d'éclairement figure :

- Régime des faibles flux lumineux : dans ce cas, $I_{ph} \ll I_s$, ce qui permet d'écrire :

$$\log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) = \frac{I_{ph}}{I_s} \quad (\text{II-7})$$

D'où :

$$V_{co} \approx \frac{KT_c}{q} \cdot \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad (\text{II-8})$$

C'est la zone de comportement linéaire de la cellule. La formule précédente peut s'écrire aussi $V_{co} = R_0 \cdot I_{ph}$ en posant $R_0 = \frac{KT_c}{q \cdot I_s}$: R_0 est la résistance interne de la diode en polarisation externe nulle (circuit ouvert) et sous faible flux lumineux.

- Régime des flux lumineux suffisamment intenses pour que $I_{ph} \gg I_s$, soit :

$$\frac{I_{ph}}{I_s} \gg 1 \quad (\text{II-9})$$

D'où :

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad (\text{II-10})$$

C'est le domaine du comportement logarithmique :

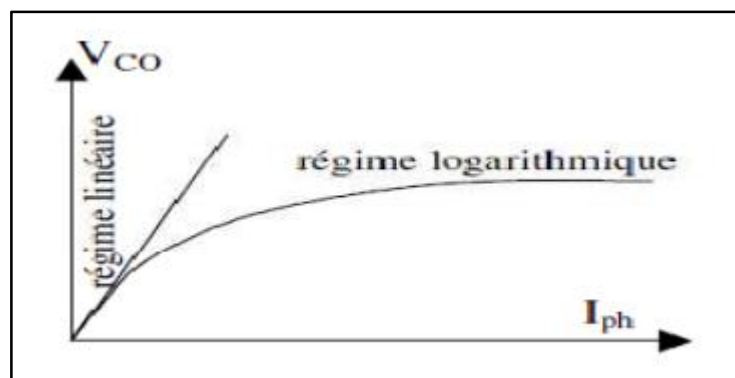


Figure II.5: Différents régimes selon la puissance d'éclairement

Il est important de remarquer que cette tension augmente avec le log de I_{ph} , donc avec le log de l'illumination. En revanche, elle décroît avec la température, malgré le terme $\frac{KT_c}{q}$. En effet, le courant de saturation, I_s dépend de la surface de la diode (donc de la cellule) et des caractéristiques de la jonction : il varie exponentiellement avec la température et cette dépendance en température compense largement le terme $\frac{KT_c}{q}$. Donc la tension de circuit ouvert V_{co} baisse avec la température, ce qui est important dans le dimensionnement des systèmes [14].

II.4.4. Facteur de forme FF

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou full factor (FF). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle $I_{cc} * V_{oc}$. Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales [14]. Il est défini par la relation suivante:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{oc}} \quad (II-11)$$

II.4.5. Le rendement η

Le rendement η des cellules solaires désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale P_{max} délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{in} :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF * I_{cc} * V_{oc}}{P_{in}} \quad (II-12)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. Le rendement de conversion est un paramètre essentiel. En effet, la seule connaissance de sa valeur permet d'évaluer les performances de la cellule.

II.5 Pertes dans les cellules solaires

En pratique, la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique n'est pas totale. Différentes pertes viennent influencer le rendement d'une cellule. Elles sont dans la plupart des cas dues à la nature du matériau et à la technologie utilisée. Ces pertes sont citées ci-dessous.

II.5.1. Absorption incomplète

Les photons dont l'énergie est inférieure à la largeur de la bande interdite (E_g) sont soit E_g dissipés en chaleur, soit absorbés par les contacts ohmiques. Plus E_g est élevée, plus ce phénomène est probable [15].

II.5.2. Excès d'énergie

Les photons d'énergie supérieure au gap ne pourront générer qu'une seule paire électron-trou. L'excès d'énergie est dissipé en chaleur. Dans ce cas, plus E_g est élevée moins ce phénomène est probable [15].

II.5.3. La résistance série

La résistance série R_s qui caractérise essentiellement la résistance d'accès au cœur de la cellule solaire, peut varier de 1 à 3 Ω [16].

II.5.4. La résistance parallèle

La résistance parallèle R_p traduit quant à elle, la présence d'un courant de fuite à travers l'émetteur, causé par un défaut. Ceci est le cas lorsque la diffusion des contacts métalliques à haute température perce l'émetteur, elle peut aussi être due à un court-circuit sur le bord de la cellule. Cette valeur devra être la plus élevée possible [17].

II.5.5. Le rendement de collecte

Correspondant au rapport entre le nombre de porteurs de charge effectivement collectés et le nombre total photogénérés.

II.5.6. Réflexion à la surface

Une partie de la radiation incidente est réfléchie à la surface de la cellule.

II.5.7. Facteur de forme

Le facteur de forme est limité à 0.89% du fait de caractère exponentiel de la caractéristique courant-tension.

II.6 Module photovoltaïque

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de cellules solaires assemblées pour une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière, la cellule solaire ne produit qu'une très faible puissance électrique de l'ordre de 1 à 3 W avec une tension de moins d'1 volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque.

Les connexions en séries de plusieurs cellules augmentent la tension pour même le courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Un assemblage de plusieurs modules dans un même plan s'appelle un panneau et l'ensemble des panneaux d'une installation s'appelle un champ photovoltaïque (figure II-6) [18].

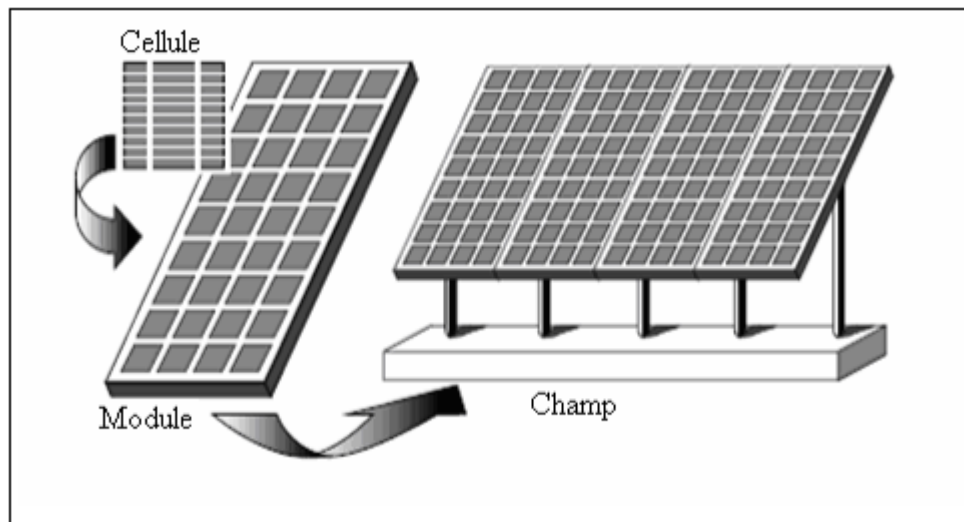


Figure II-6 : Différents composants d'un champ de modules photovoltaïques

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux modèles de cellules solaires : le model idéal et le model réel. Ainsi que les principaux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique I(V).

Chapitre III

Résultats De La Simulation

Chapitre III

Résultats de la simulation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la simulation de la caractéristique courant-tension ($I-V$) d'une cellule solaire. Ainsi de cerner l'effet de la température et de l'éclairement sur cette caractéristique électrique.

III.2 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du modèle :

La Figure III.1 et III.2 représentent, respectivement, la caractéristique courant-tension $I(V)$ et la caractéristique puissance-tension $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque en utilisant le modèle réel décrit dans le chapitre précédent.

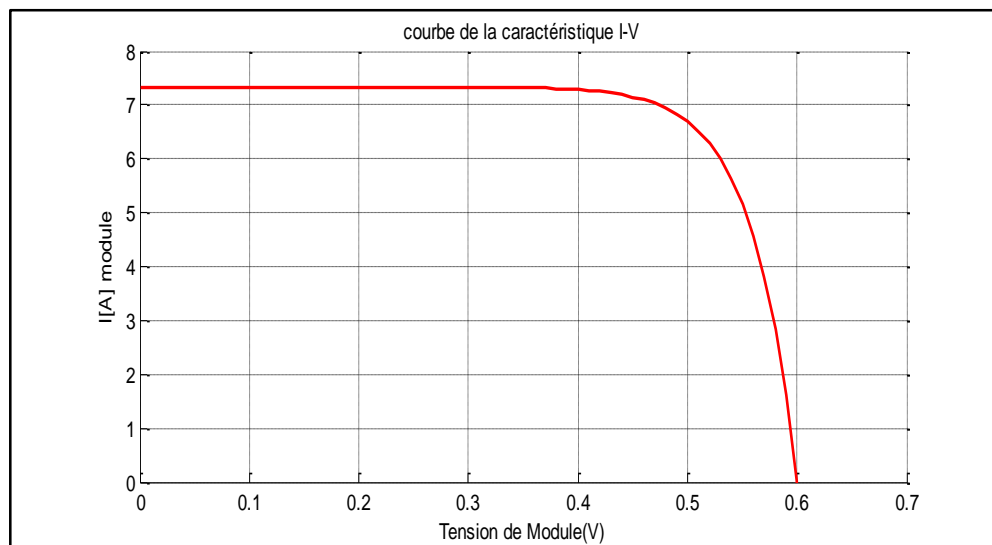


Figure III.1 : A température et éclairement fixés, caractéristique $I(V)$ d'une cellule $T = 298^{\circ}K$ et $G = 1000 W/m^2$

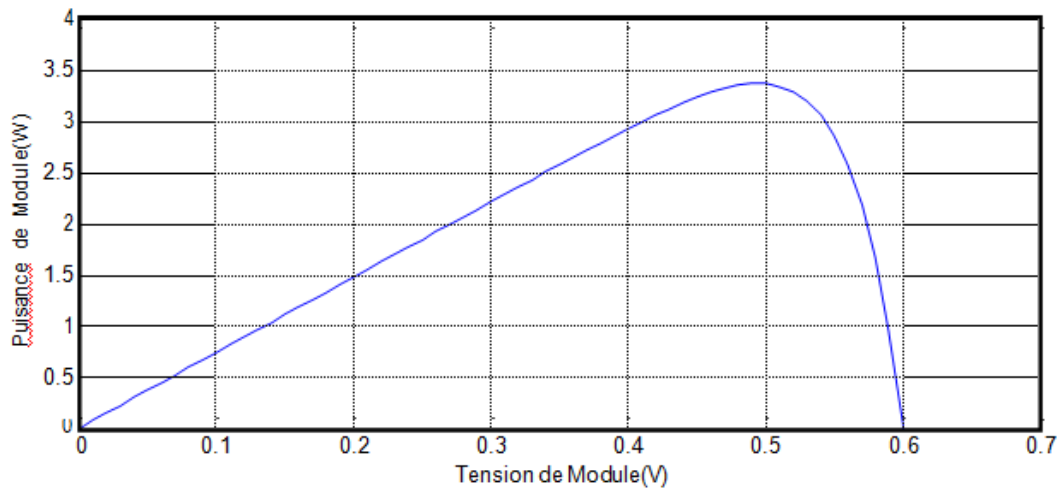


Figure III.2 : A température et éclairement fixés, caractéristique $P(V)$ d'une cellule $T = 298^{\circ}K$ et $G = 1000 \text{ W/m}^2$

Les courbes obtenues de la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ sont très familières pour les spécialistes des cellules solaires. Ce sont des courbes classiques. On remarque que lorsque les valeurs de la tension sont négatives, le courant reste constant, est égale à I_{ph} .

III.3 Influence de la température et de l'éclairement

Les caractéristiques d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) sont directement dépendantes de la température et de l'éclairement.

III.3.1. Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules solaires tans que ces dernières sont exposées au rayonnement solaire. La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV. La figure III.3 et la figure III.4 présentent les variations des caractéristiques électriques d'une cellule PV en fonction de la température à un éclairement donné. Dans ce cas, l'éclairement est fixé à 600 W.m^{-2} .

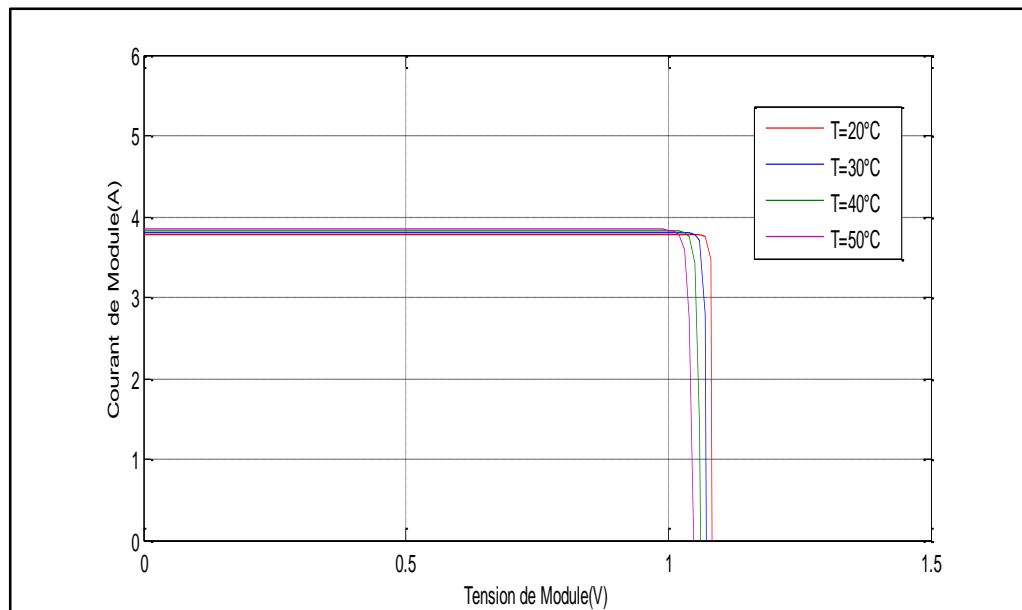


Figure III.3 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension

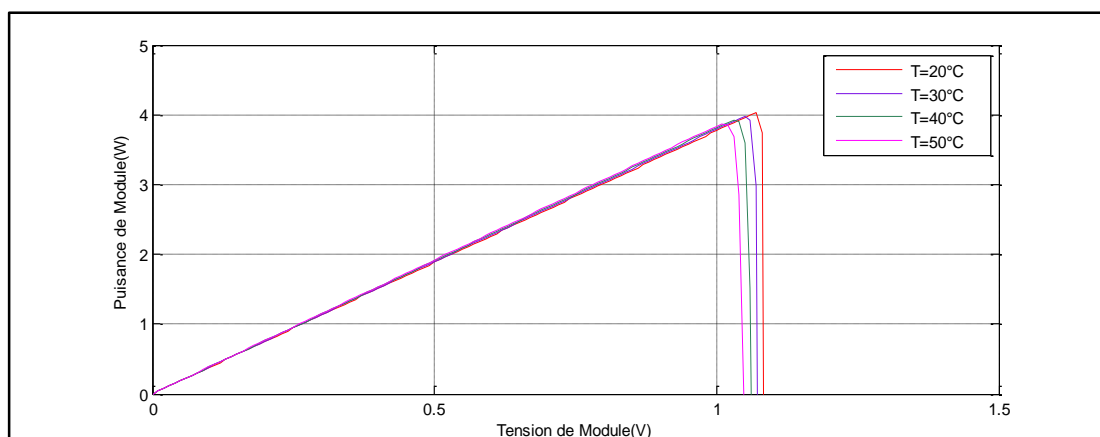


Figure III.4 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension

La figure III-3 montre l'influence de la température, sur la caractéristique de la cellule solaire lorsque la température varie. On observe que la température de la cellule photovoltaïque induit un effet notable sur la tension de celle-ci. Par contre, l'effet de la température sur le courant de la cellule photovoltaïque est négligeable.

Il apparaît que plus la température de la cellule augmente, plus la tension à vide de celle-ci diminue. La puissance de la cellule étant égale au produit du courant et de la tension, la même règle s'applique sur la puissance : plus la température de la cellule augmente, plus la puissance de celle-ci diminue (figure III.4).

III.3.2. Influence de l'éclairement

Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents éclairements à température maintenue constante 25°C (298°K), sont illustrés dans les figures III.5 et III.6, respectivement.

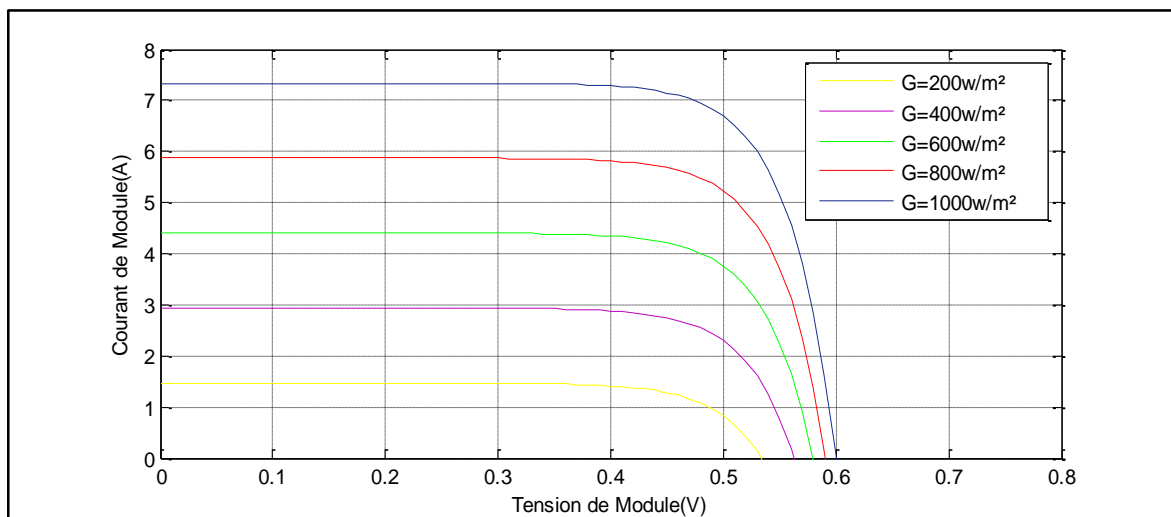


Figure III.5 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension

A température constante, la caractéristique $I = f(V)$ dépend fortement de l'éclairement : sur la courbe suivante, on remarque que le courant de court-circuit I_{cc} augmente avec l'éclairement alors que la tension de court circuit (à vide) varie très peu.

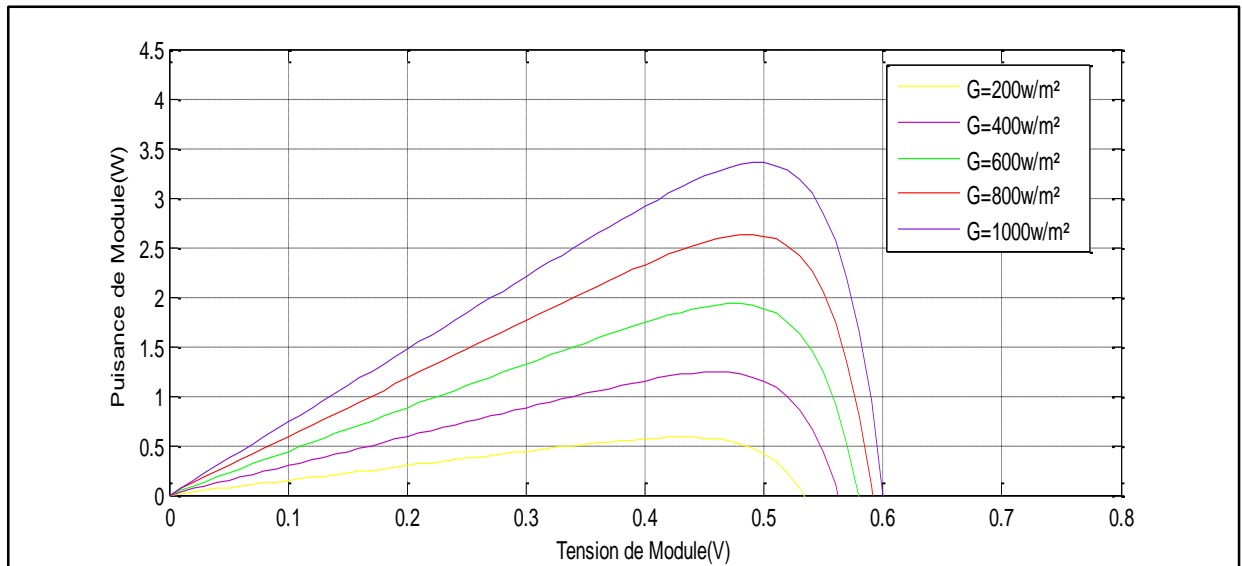


Figure III.6 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension

A partir de la courbe précédente, on peut tracer les courbes de puissance $P = f(V)$ pour les éclairements. On remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement. La tension à vide et la puissance maximum diminuent très faiblement lorsque la température augmente (figure III.6).

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'influence de quelques paramètres sur les caractéristiques électriques fondamentales d'une cellule solaire.

Nos résultats simulés montrent que le courant de court-circuit et la tension à vide évoluent principalement avec l'éclairement et la température, respectivement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La cellule solaire, est un dispositif semi-conducteur qui convertit des photons (la lumière) en électricité. Fondamentalement, le dispositif doit accomplir deux fonctions :

- Photo génération de transporteurs de charges (électron trous) dans un matériel d'absorption de la lumière.
- Séparation des transporteurs des charges, de préférence en un contact conducteur qui transmettra l'électricité.

L'objectif de notre travail est la simulation des caractéristiques électriques ($I-V$) de la cellule solaire, et l'étude de l'effet de l'éclairement et de la température sur ces caractéristiques.

La température et l'éclairement sont des paramètres très marquants dans le comportement des cellules solaires car les performances électriques d'une cellule solaire sont très sensibles à ceux-ci.

Il est important d'étudier l'effet de la température sur les caractéristiques électriques des cellules solaires puisque, dans les applications terrestres, les cellules solaires sont généralement exposées à des températures dans la gamme 15°C ($288\text{ }^{\circ}\text{K}$) à 50°C ($323\text{ }^{\circ}\text{K}$) et même à des températures encore plus élevées comme dans les régions extrêmement chaudes.

On a abouti que le paramètre le plus affecté par l'accroissement de la température est le courant du court circuit I_{cc} , et le paramètre le plus affecté par l'accroissement de l'éclairement est la tension de circuit-ouvert V_{co} . La réduction de cette dernière avec l'augmentation de la température entraîne ainsi la réduction de la puissance maximale P_{max} fournie par la cellule.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] S.Aminata, " Simulation du système hybride Photovoltaïque " Thèse de Doctorat, canada, 1998.
- [2] Masson, "Les piles solaires, les composants et ses applications", Edition (1985).
- [3] T. Belkacemi, S. Hallal, " simulation des caractéristiques courant-tension d'une diode Schottky avec barrière inhomogène", mémoire de l'ingénieur, faculté des sciences, département de physique Université de Sétif, 2005.
- [4] C. Frédéric, C .Thomas, "Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire de satellite", mémoire de l'ingénieur, faculté de l'ingénieur. Département d'Electronique, 2002
- [5] S. Quoizola, "Epitaxie en phase valeur de silicium sur silicium, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale, L'institut National des Sciences appliquées de Lyon, 2003.
- [6] B. Flèche, D. Delagnes, "Energie solaire photovoltaïque.doc", juin 2007,
- [7] M. belhad, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", mémoire de magister, université de Bachar, 2008.
- [8] A. LABOURET, M. VILLOZ, "énergie solaire photovoltaïque", le manuel du Professionnel, édition Dunod, Paris, 2003.
- [9] H. Chenoufi, "Optimisation des procède technologique de réalisation d'une cellule solaire par la technique de diffusion", Mémoire de Magister, Département d'Electronique, Université Batna, 2005.
- [10] S. ABADA, "Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic", Mémoire Maître es Sciences, Université laval, 2011.
- [11] S. PETIBON, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques", université de Toulouse, 2009.

- [12] A. T.SINGO, "Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome", Thèse de doctorats, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [13] A. Sellai, Z. Ouennoughi, "extraction of illuminated solar cell and Schottky diode parameters using a genetic algorithm", *International Journal of Modern Physics* Vol. 16, No. 7(2005) 1043-1050.
- [14] HELALI KAMELIA, "Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque", Etude comparative, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Thèse de Magister, 2012.
- [15] A. Ferhat Hamida, "Modélisation des phénomènes de transport et étude du rendement dans les structures métal/isolant/semi-conducteur", Thèse de doctorat d'état, Département d'Electronique, Fac. Sci. Ingé, Univ. Sétif, 2006.
- [16] Alain Ricaud, "Photopiles solaires", matériaux et procédés, première édition ISBN 2-88074-326-5, 1997.
- [17] Nichiporuk Oleksiy, "Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières inter-digités, Thèse de doctorat, Lyon, 2005.
- [18] J. ROYER, T. DJIAKO, E. SCHILLER, B .SADA SY, "Le pompage photovoltaïque", manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, édition Multi Mondes IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA, Institut de l'Énergie des Pays ayant en commun l'usage du Français, 1998.