

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA  
-ADRAR-



جامعة أحمد دراية - أدرار

Année/ 2022

Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

**Physique**

**Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables**

**Thème**

**Etude d'une cellule solaire à base du Cadmium par  
SCAPs**

Présenté Par : *M<sup>elle</sup>. Hadda Ouihmi*

*et M<sup>elle</sup>. Jakani Aicha*

Devant le jury composé de:

Mr. Sakher El Fahem

Président

MCB Université Ahmed Draia-Adrar

Mr. Mennad Boufedja

Examinateur

MCB Université Ahmed Draia-Adrar

Mlle. Boudaoud Lahouaria

Promoteur

MCA Université Ahmed Draia-Adrar

**Année Universitaire 2021/2022**



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Université Ahmed Draia Adrar  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Matière  
Réf : ..... /U.A/F.S.T/D.S.M/2022

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم علوم المادة  
رقم..../ج.أ.ك.ع.ت/ق.ع.م/2022

## Déclaration de correction - Mémoire Master

**Spécialité** : Physique énergétique et énergies renouvelables

### 1. Candidat :

Matricule	Nom	Prénom	Date de Naissance
37004445	Ouihmi	Hadda	10/06/1996
37005502	Jakani	Aicha	12/05/1997

**Intitulé**..... Etude d'une cellule solaire à base du Cadmium par SCAPs

**PV de Soutenance N°:07/06/2022**

**Important !** Le dépôt définitif du mémoire est conditionne par la prise en compte de toutes les corrections formulées par les membres du jury. Cette activité est supervisée sous la responsabilité e exclusive de l'encadrant.

### 2. Encadrant :

Nom	Prénom	Grade	Département
<u>Boudaoud</u>	<u>Lahouaria</u>	<u>MCA</u>	<u>SM</u>

Par la presente, je certifie avoir examine intégralement ce mémoire compte tenu des modifications apportées par mes étudiantes. En effet, toutes les corrections ont été rigoureusement apportées conformément aux recommandations et remarques formulées par les membres du jury à l'issue de la soutenance

**Fait le : 12../06./2022**

Signature de l'encadrant  
Boudaoud Lahouaria

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and  
Scientific Research  
University Ahmed Draia of Adrar  
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة أحمد دراية - أدرار  
المكتبة المركزية  
مصلحة البحث الببليوغرافي

## شهادة الترخيص بالإيداع

بـوداود الهوارية

أنا الأستاذ(ة):

المشرف مذكرة للمستور الموسومة بـ : Etude d'une cellule solaire à base du Cadmium par SCAPs :

من إنجاز الطالب(ة): ويهمي حدة

و الطالب(ة): جكاني عائشة

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : علوم المادة

التخصص : فيزياء

تاريخ تقييم / مناقشة : 2022/06/07

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة،  
وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والايكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 2022/06/12.



7

## Dédicace

- ✚ A la joie de l'âme et à la source de la tendresse de ma mère, que Dieu prolonge sa vie.
- ✚ A mon cher père.
- ✚ À toute ma généreuse famille qui m'a soutenu et soutenu dans mon cheminement, mes frères et sœurs.
- ✚ A mes amis ( Djamila, Mborokua, Naima , Aicha ) et ceux qui m'ont accompagné et accompagné durant mes études à l'université.
- ✚ À tous ceux qui ont contribué à recevoir ne serait-ce qu'une seule lettre dans ma vie universitaire.

*Hadda Ouihmi*

## **Dédicace**

Je dédie cet humble travail:

A mes chers parents pour leur patience et leur aide à travers toutes ces questions longues années.

À mes sœurs

À mes frères

À mon oncle

À mon fiancé

A mes amis : Sabreen et Hada

A tous mes professeurs qui ont contribué à ma formation jusqu'à présent.

**Jakani Aicha**

## **Remercîments**

Les premiers remerciements vont à Dieu Tout Puissant, puis mes parents pour tous leurs efforts depuis ma naissance jusqu'à ces moments, vous êtes tout ce que je vous aime le plus en Dieu.

Je suis heureux d'adresser mes remerciements à tous ceux qui m'ont conseillé, guidé, dirigé ou contribué à la préparation de cette recherche en me fournissant les références et les sources nécessaires à n'importe quelle étape de celle-ci. J'exprime mes sincères remerciements, ma grande gratitude et ma profonde reconnaissance au superviseur **Dr Boudaoud Lahouaria**, pour le temps, les efforts, les conseils, les conseils et les encouragements qu'elle m'a accordés. Egalement, je tiens à remercier mes estimés maîtres et tous ceux qui ont contribué à mon éducation. Je remercie également et sincèrement les membres du comité de jury d'avoir accepté à valoriser ce mémoire, Dr Sakher El Fahem et Dr Mennad Boufedja. Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, même avec un mot ou une invitation valable.

## Résumé

Dans le contexte général de l'utilisation diversifiée des ressources naturelles, le retour aux énergies renouvelables, et en particulier à l'énergie solaire photovoltaïque, s'est renforcé. Et c'est pourquoi le développement d'une nouvelle génération de cellules photovoltaïques à base de (CdTe) s'annonce prometteur en fait, le rendement de ces cellules a dépassé les 20% ces dernières années. Par conséquent, notre travail consiste à simuler une cellule solaire basée sur (CdTe), notre objectif de cette étude est d'améliorer les performances en fonction de l'épaisseur et impuretés afin d'obtenir le meilleur rendement électrique possible.

## Abstract

In the general context of diversified use of natural resources, the return to renewable energy, and in particular solar photovoltaic, has become stronger. And this is why the development of a new generation of photovoltaic cells based on (CdTe) looks promising in fact, the efficiency of these cells exceeded 20% in recent years. Therefore, our work consists of integrating a solar cell based on (CdTe), and our goal of this study is to improve Physical parameters thickness and impurities in order to achieve the best possible electrical yield. The 1D-SCAPS pair is a very practical tool, recommended for this study.

## ملخص

المتنوع الموارد الطبيعية الرجوع الى الطاقة المتجددة وبشكل خاص الطاقة الشمسية الكهروضوئية أصبح أقوى. ولهذا تطوير جيل جديد من الخلايا الضوئية القائمة على أساس (CdTe) تبديوا واعدة في الواقع فاق المردود هذه الخلايا % 20 في السنوات الأخيرة. وبالتالي فان عملنا يتكون من نمذجة خلية شمسية القائمة على (ZnTe) وهدفنا من هذه الدراسة هو تحسين المعلمات الفيزيائية السمك والشوائب من اجل تحقيق افضل مردود كهربائي ممكن

## Liste des figures

### Chapitre I : Rayonnement Solaire

Figure I.1 Mouvement de la terre autour du soleil.....	4
Figure I.2 Variation de la distance terre –soleil en fonction du nombre du jour de l'année.....	5
Figure I.3 Repérage d'un site sur la surface terrestre.....	7
Figure I.4 Coordonnées terrestres.....	7
Figure I.5 Station L'héliographe.....	9
Figure I.6 Appareil Pyranomètre.....	10
Figure I.7 Appareil Pyrhéliomètre.....	10
Figure I.8 Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.....	11

### Chapitre II : Cellule Solaire

Figure II.1 Diagramme de bande d'un semi- conducteur intrinsèque.....	13
Figure II.2 Dopage de type N.....	14
Figure II.3 Dopage de type P.....	15
Figure II.4 Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque.....	15
Figure II.5 Courbes $I=f(v)$ .....	17
Figure II.6 Cellule photovoltaïque (monocristalline).....	19
Figure II.7 Cellule photovoltaïque (poly-cristallin).....	19
Figure II.8 Structure de base d'une cellule à base de Tellurure de Cadmium.....	20

### Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III.1 Fenêtre du logiciel SCAPS.....	25
Figure III.2 Schéma de la cellule étudiée CdTe.....	28
Figure III.3 Comparaison du courant en fonction de la tension pour les deux cas.....	29
Figure III.4 Variation de la densité du courant en fonction de la tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe en fonction de la température.....	30
Figure III.5 Variation de la tension en circuit ouvert et de la densité du courant en court-circuit en fonction de la température de la cellule n-CdTe/p-CdTe.....	31
Figure III.6 Variation du fill facteur et du rendement de la cellule n-CdTe/p- CdTe en fonction de la température.....	31
Figure III.7 Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour	



différente valeur de l'épaisseur de la base (p-CdTe).....	
Figure III.8 Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de la base.....	33
Figure III.9 Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de la base.....	33
Figure III.10 Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe.....	34
Figure III.11 Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe.....	35
Figure III.12 Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe.....	36
Figure III.13 Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de la résistance série.....	37
Figure III.14 Variation du Voc et du Jsc en fonction de la résistance série.....	38
Figure III.15 Variation du rendement et du FF en fonction de la résistance série.....	39
Figure III.16 Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de la résistance parallèle.....	39
Figure III.17 Variation du Voc et du Jsc en fonction de la résistance parallèle.....	40
Figure III.18 Variation du rendement et du FF en fonction de la résistance parallèle.....	41
	41

## Liste des tables

Chapitre III : Résultats et Discussion	24
Tableau III.1 Illustration des paramètres d'entrés des matériaux étudiés.....	28
Tableau III.2 Comparaison des caractéristiques de sortie la cellule.....	29
Tableau III.3 Illustration du rendement et de tension Voc en fonction de la température de la cellule n-CdTe/p-CdTe .....	32

## Nomenclature

Symbole	Définition et Unité
AM	Masse atmosphérique
$D_{(\alpha, \beta)}$	Plan du capteur le rayonnement diffus
Dh	Rayonnement diffus horizontal w/m <sup>2</sup>
Gh	Rayonnement global horizontal w/m <sup>2</sup>
H <sub>h</sub>	Angle horaire du soleil Degré (°)
Alb	Albédo du sol
$\alpha$	Azimut du capteur Degré (°)
$D_{\square}$	Rayonnement diffus Pour un plan vertical
<b>G</b>	Rayonnement global reçu par une surface horizontale
S	Rayonnement direct reçu par une surface horizontale.
D	Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale
h	Constante de Planck
$\lambda$	Longueur d'onde
C	Vitesse de lumière
E	Quantité d'énergie
$\nu$	Fréquence de l'onde lumineuse
V <sub>d</sub>	Tension de diode
E <sub>g</sub>	Largeur de la bande interdite (gap). Ev
N <sub>A</sub> N <sub>D</sub>	Concentration des atomes accepteurs et des atomes sonneurs respectivement
<b>U</b>	Tension
U <sub>t</sub> =KT/q	Tension thermique
K	Constant de Boltzmann (1,38.10 <sup>-23</sup> J/K)
T	Température absolue en °K de la cell
<b>I<sub>D</sub></b>	Courant de diode.
I <sub>ph</sub>	Photo - courant.

$I_s$	Courant de saturation de la diode
$Q$	Charge de l'électron ( $1,6 \cdot 10^{-19}$ C)
$A$	Facteur d'idéalité de la jonction ( $1 < A < 3$ )
$I_0$	Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la Jonction p - n de la cellule
$R_s$	Résistance en série. $\Omega$
$R_{sh}, R_p$	Résistances en shunt. $\Omega$
$T_c$	température de jonction (K)
<b><math>P_m</math></b>	Puissance maximale. W
$V_m$	Point de tension à la puissance maximale. A
$I_m$	Point du courant à la puissance maximale. V
$N_s$	Nombre des cellules associé en série
$N_p$	Nombre des cellules associé en parallèle
FF	Factor de suffisance
$I_{cc}, J_{sc}$	Courant de court-circuit
$V_{co}$	Tension de circuit ouvert
$\eta$	Rendement de la cellule
$Q$	Facteur de qualité
$F(\lambda)$	Flux solaire au sol
$R(\lambda)$	Coefficient de réflexion
$P_i$	Puissance incidente du rayonnement solaire au sol

## Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Rayonnement Solaire	2
I.1 Introduction.....	4
I.2 Gisement solaire.....	4
I.3 Mouvement de la terre autour du soleil .....	4
I.4 Distance de la terre du soleil.....	5
I.5 Coordonnée géométrique .....	6
I.5.1 coordonnées géographiques d'un site .....	6
I.5.1.1 Latitude du lieu ( $\varphi$ ) .....	6
I.5.1.2 Longitude du lieu (L).....	6
I.6 Coordonnée solaire .....	7
I.7 Aspects énergétique .....	8
I.8 Les type du rayonnement solaire .....	8
I.8.1 Rayonnement direct .....	8
I.8.2 Rayonnement diffus .....	8
I.8.3 rayonnement global.....	8
I.9 Appareils de mesures de rayonnement solaire.....	9
I.9.1 L'héliographe.....	9
I.9.2 Pyranomètre .....	9
I.9.3 Pyrhéliomètre .....	10
I.10 Gisement solaire en Algérie.....	10
I.11 Conclusion .....	11
Chapitre II : Cellule Solaire	12
II.1 Introduction .....	13
II.2 Cellule solaire photovoltaïque .....	13
II.3 Matériaux semi-conducteurs.....	13
II.3.1 Semi-conducteurs intrinsèque .....	13
II.3.2 Semi-conducteurs extrinsèque.....	14
II.3.2.1 Dopage de type N.....	14
II.3.2.2 Dopage de type P.....	14
II.4 Principe de fonctionnement de cellule solaire.....	15
II.5 Module photovoltaïque.....	16
II.6 Caractéristiques d'une cellule solaire.....	16
II.6.1 Courant de court-circuit $I_{cc}$ .....	16
II.6.2 Tension a circuit ouvert $V_{co}$ .....	16
II.6.3 Puissance maximale $P_m$ .....	17
II.6.4 Facteur de forme FF .....	17
II.6.5 Rendement d'une cellule solaire .....	17
II.7 Différents types de cellules solaires .....	18
II.7.1 Cellules amorphe .....	18
II.7.2 Cellules monocristallin.....	18
II.7.3 Cellules poly cristallin.....	19
II 8 Caractérisation des cellules.....	19
II.8.1 Poly-cristalline.....	19
II.8.2 Cellules à base de Tellure de cadmium (CdTe) .....	20
II.8.3 Les couches minces .....	21
II.9 Les avantages et les inconvénients .....	22

II.9.1 Les avantage .....	22
II.9.2 Les Inconvénients .....	22
II.10 Conclusion .....	23
Chapitre III : Résultats et discussion	24
III.1 Introduction .....	25
III.2 Logiciel SCAPs .....	25
III.3 Les couches minces .....	26
III.4 Semi-conducteur CdTe .....	26
III.5 Résultats et discussion .....	27
III.5.1 Description de la cellule n-CdTe/ p-CdTe .....	27
III.5.2 Impact de la température sur la cellule étudiée .....	29
III.5.3 Effet de l'épaisseur sur les caractéristiques de sortie de la cellule .....	32
III.5.3.1 Influence de la variation de l'épaisseur de la base .....	32
III.5.3.2 Influence de l'épaisseur de l'émetteur .....	35
III.5.4 Effet de la résistance sur les caractéristiques .....	37
III.5.4.1 Effet de la résistance série .....	37
III.5.4.2 Effet de la résistance parallèle .....	40
III.6 Conclusion .....	42
Conclusion Générale .....	43
Référence .....	44

## **Introduction générale**

L'énergie est la base de toutes les activités humaines, elle joue un rôle très important dans la vie quotidienne et dans le développement des nations.

L'énergie est l'un des moteurs de développement des sociétés, elle est aussi, le pilier de l'économie moderne. Elle est l'étincelle qui permet l'accomplissement de toute activité humaine. Ses sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire les besoins toujours accrus de l'industrie et des consommateurs.

Selon les besoins technologiques, les énergies sont apparues au fur et à mesure du développement de la civilisation humaine.

Généralement, ces formes proviennent des sources d'énergie fossiles telles que le charbon, le pétrole, le gaz naturel et l'uranium.

Ces énergies non renouvelables qui ont contribué à la pollution atmosphérique et au réchauffement climatique, la pollution nucléaire par radiation qui est aujourd'hui le problème non résolu du stockage des déchets radioactifs, ainsi que la pérennité des ressources en énergies fossiles, l'épuisement et la pollution provoquent par ces sources ainsi que la crise énergétique des années soixante-dix, amènent les pays qui ont de grands besoins d'énergie à se tourner vers des sources d'énergies renouvelables telles que le soleil, le vent, l'eau, la biomasse et la géothermie., une des solutions les plus prometteuses pour la future énergétique de l'humanité l'énergie solaire est le photovoltaïque (cellule solaire).

Parmi ces sources d'énergie, on trouve l'énergie solaire. Contrairement aux autres sources d'énergies renouvelables, elle est abondante et propre. Annuellement, elle fournit à la terre une énergie supérieure à celle de la consommation mondiale.

La transformation des rayons du soleil en énergie électrique est l'une des formes non polluantes, elle se produit au moyen d'un dispositif de conversion appelée « cellule solaire » basé sur l'effet photovoltaïque.

Dans le présent mémoire, nous avons mené une étude théorique et des simulations à l'aide du simulateur SCAPs d'une cellule solaire, la première c'est une homo-jonction n-CdTe/p-CdTe afin de déterminer l'influence de certains paramètres de la cellule (épaisseur et concentration du dopage) sur les performances photovoltaïques : Tension de circuit ouvert  $V_{co}$ , Courant de court-circuit  $J_{sc}$ , Facteur de forme et le rendement de conversion.

Le mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les généralités du rayonnement solaire, mouvements de la terre, les différents types de rayonnement ainsi que les notions de rayonnement solaire et les appareils de rayonnement solaire, enfin gisement solaire en Algérie.

Dans le second, les notions des cellules solaires photovoltaïques, matériaux semi conducteurs, les caractéristiques d'une cellule solaire et les différentes filières technologiques de cellule solaire, avec les avantages et les limites de l'énergie photovoltaïque.

Dans le dernier chapitre, des simulations à l'aide du logiciel SCAPs de la cellule solaires, c'est une homo-jonction n-CdTe/p-CdTe afin de déterminer l'influence de certain paramètres de ces cellule (épaisseur et concentration du dopage) sur les performances photovoltaïques : Tension de circuit ouvert  $V_{co}$  , Courant de court-circuit  $J_{sc}$ , Facteur de forme et le rendement de conversion  $\eta$ .

Finalement, une conclusion générale résumant notre travail est présentée



**Chapitre I**  
**Rayonnement**  
**Solaire**

## I.1 Introduction

Le soleil émet une quantité considérable d'énergie, appelée énergie solaire, ou rayonnement solaire. Bien que notre planète soit très éloignée du soleil, elle reçoit de sa part une puissance extrêmement importante, d'environ 180 103 TW [1].

Dans ce chapitre, nous introduisons quelques concepts liés au rayonnement solaire, ce que sont Gisement solaire et aspects géométriques, ainsi que mouvement de la terre autour du soleil. Il décrit ensuite les coordonnées géométriques. Il définit les types du rayonnement solaire. Enfin, il recense les appareils de mesure du rayonnement solaire.

## I.2 Gisement solaire

Le gisement est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée [2].

## I.3 Mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit une ellipse dans son mouvement autour du soleil. La révolution complète d'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique [3].

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. L'axe des pôles et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison, il est égal à  $23^{\circ}27'$  [3].

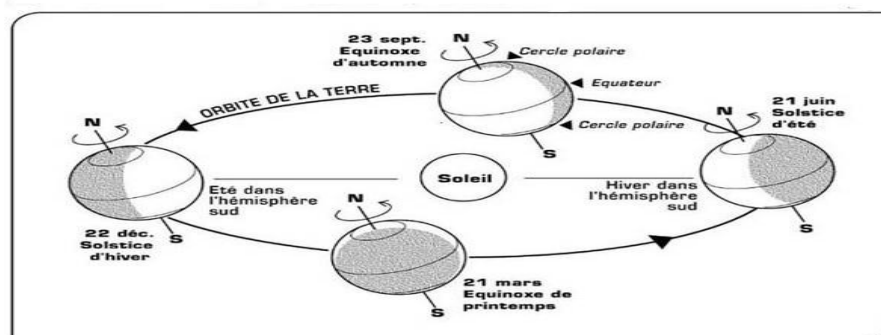


Figure I.1 Mouvement de la terre autour du soleil [3]

### I.4 Distance de la terre du soleil

La variation de la distance terre-soleil en fonction de la date est donnée par la formule suivante [4-3]:

$$d(N) = 1 - 0.017 \cos [(360/365) \cdot (N-2)] \quad (1.1)$$

Avec:

N : le numéro du jour de l'année compté à partir du 1er janvier, il varie de 365 ou 366 selon l'année :

Année civile :  $N = (1, 365)$  jours

Année bissextile :  $N = (1, 366)$  jours

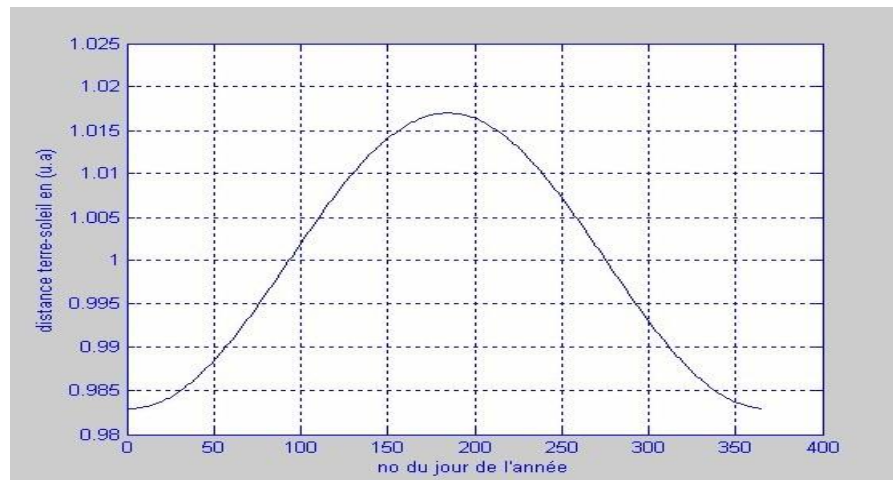
$d_{TS}(\min) = 0,983$  UA vers le 2 janvier (Périgée).

$d_{TS}(\max) = 1,017$  UA vers le 5 juillet (Apogée).

Avec :

$1UA = 149\,597\,890 \pm 500km \approx 150$  million km = 500 secondes lumière = 8.3 mn-lumière

La variation de la distance terre-soleil est illustrée par la figure I.2.



**Figure I.2** Variation de la distance terre –soleil en fonction du nombre du jour de l'année [4]

## I.5 Coordonnée géométrique

### I.5.1 coordonnées géographiques d'un site

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir la latitude  $\varphi$  et la longitude  $L$  [5].

#### I.5.1.1 Latitude du lieu ( $\varphi$ )

C'est l'angle que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de  $-90^\circ$  au pôle Sud à  $+90^\circ$  au pôle Nord.

$\varphi < 0$  L'hémisphère Sud

$\varphi > 0$  L'hémisphère Nord

$\varphi = 0$  Sur le plan de l'équateur [5]

#### I.5.1.2 Longitude du lieu ( $L$ )

Ce paramètre permet de localiser un point à l'Est ou à l'Ouest d'une ligne Nord- Sud de référence appelée le méridien Greenwich.

$\psi$  varie de  $-180^\circ$  à  $+180^\circ$

tel que :

$\psi > 0$  à l'est du méridien de Greenwich

$\psi < 0$  à l'ouest du méridien de Greenwich [3]

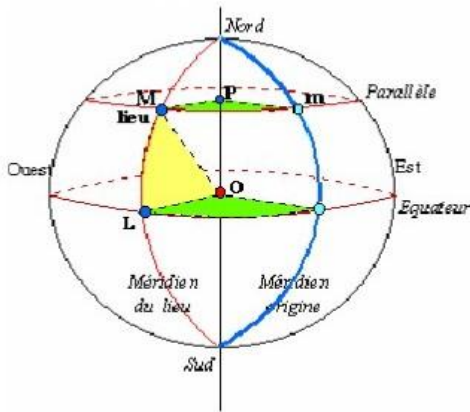


Figure I.3 Repérage d'un site sur la surface terrestre [3]

### I.6 Coordonnée solaire

Ce sont les coordonnées locales du soleil définies de la façon suivante : l'azimut est l'angle dans le sens direct défini par le Sud et la projection du soleil sur le plan horizontal, la hauteur qui est l'angle défini par le plan horizontal du lieu et la position du soleil à l'instant considéré. Dans l'hémisphère sud l'azimut est mesuré à partir de la direction du nord

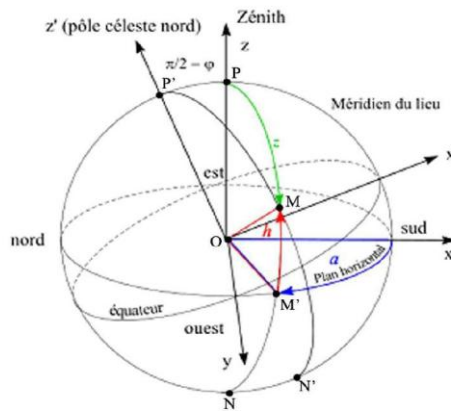


Figure I.4 Coordonnées terrestres

## I.7 Aspects énergétique

Le rayonnement solaire hors atmosphère est caractérisé par la constante solaire. Cette dernière est la puissance reçue par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires en dehors de l'atmosphère terrestre. Sa valeur approximative est égale à  $1367 \text{ w/m}^2$ . Suivant les variations de la distance terre soleil ( $\pm 3,4\%$ ), elle varie cependant légèrement au cours de l'année. Elle passe par un maximum en janvier (environ  $1423 \text{ w/m}^2$ ) et un minimum en juin (environ  $1321 \text{ w/m}^2$ ) [4].

## I.8 Les type du rayonnement solaire

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que  $1354 \text{ w/m}^2$  (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc. [6].

### I.8.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct ou la composante directe du rayonnement solaire est celui incident sur un plan quelconque en provenant d'un angle solide autour du disque solaire. Il parvient en ligne droite et par temps clair [4].

### I.8.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement solaire indirect est appelé rayonnement diffus. Le terme "diffus" signifie que la lumière est dispersée de manière irrégulière et qu'elle n'a pas de direction unique. C'est par exemple le cas lorsque les rayons du soleil traversent les nuages ou que d'autres particules dans l'air modifient leur direction et/ou leur intensité [4].

### I.8.3 rayonnement global

Le rayonnement global correspond à la somme des deux composantes du rayonnement solaire définies précédemment à savoir la composante directe et diffus [2].

## I.9 Appareils de mesures de rayonnement solaire

### I.9.1 L'héliographe

L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée de l'ensoleillement sur un point de la surface de la planète. Plus précisément, il enregistre la durée pendant laquelle le rayonnement solaire est d'une intensité suffisante pour produire des ombres distinctes [7,8].

Un héliographe est constitué d'une boule de cristal de 10 cm de diamètre, qui, exposée au Soleil, fait effet de lentille. Cette lentille concentre le rayonnement de manière à brûler une feuille de papier rigide spécialement placée sur un support incurvé (équivalent à la bande équatoriale d'un cadran éponyme) [7].

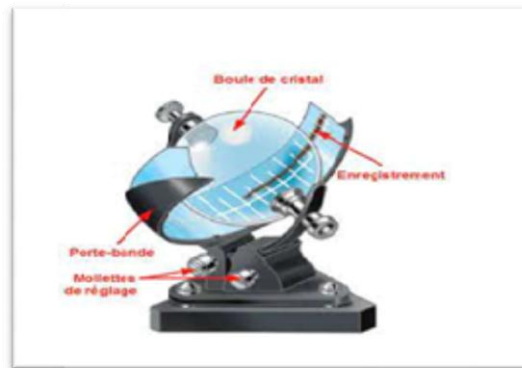


Figure I.5 Station L'héliographe [7,8]

### I.9.2 Pyranomètre

Un pyranomètre permet de mesurer le rayonnement solaire, toutes longueurs d'ondes de rayonnement confondues, par la mesure de l'effet thermique, et donc associé à une température. C'est la méthode la plus utilisée, et qui remplace le traditionnel héliographe qui brûlait en papier.

Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Habituellement un pyranomètre est en station fixe horizontale et est en mesure de prendre le rayonnement dans tous les azimuts du lever au coucher du soleil [7].



**Figure I.6** Appareil Pyranomètre [7]

### I.9.3 Pyrhéliomètre

L'élément sensible (thermopile) du pyrhéliomètre est constitué de thermocouples montés en série, exposés au rayonnement solaire et dont les soudures froides sont maintenues à la température de l'air par conduction. Il délivre une différence de potentiel proportionnelle au flux incident.

La géométrie de l'appareil limite le rayonnement incident au rayonnement solaire direct et au rayonnement provenant du ciel circumsolaire [7,8].



**Figure I.7** Appareil Pyrhéliomètre [7,8]

### I.10 Gisement solaire en Algérie

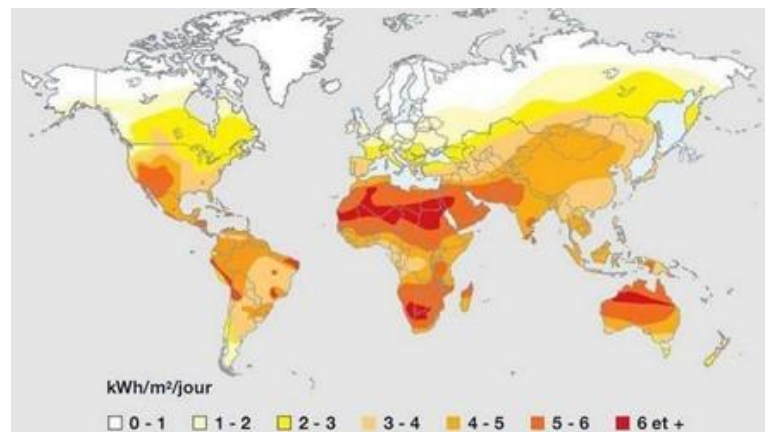
Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée [8,9].

Le Sahara algérien constitue un des plus importants gisements solaires au monde. Avec un ciel clair, quasiment sans nébulosité, le Sahara est le domaine du soleil. La durée d'insolation, de l'ordre de 3 500 heures/an est la plus importante au monde. Elle est



toujours supérieure à 8 heures/jours à l'exception de l'extrême sud où elle descend jusqu'à 6 heures/jour durant l'été. Pendant l'été, elle peut atteindre jusqu'à plus de 12 heures/jour au centre du Sahara. De par sa position géographique, la durée d'insolation journalière ne présente pas d'importants écarts entre les différents mois de l'année, comme c'est le cas des villes du nord du pays. Ceci permet une disponibilité égale durant toute l'année. L'irradiation solaire reçue par an est de l'ordre de 2650 kWh/m<sup>2</sup>.

La puissance reçue par jour est toujours supérieure à 5 kWh/m<sup>2</sup> et peut atteindre facilement les 7 kWh/m<sup>2</sup>. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de tout le pays. Si toute cette énergie est mise en valeur, cela constituerait une source d'énergie très importante et un revenu inestimable [9,10].



**Figure I.8** Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [9,10]

## I.11 Conclusion

Le rayonnement solaire possède plusieurs propriétés techniques et énergétiques, dont certaines que nous avons rappelées dans ce chapitre en les considérant comme la principale source de lumière et de chaleur.

# **Chapitre II Cellule**

## **Solaire**

## II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous donnerons des notions sur les cellules solaires et les semi-conducteurs, puis les différences technologiques de la cellule solaire à couche minces [11].

## II.2 Cellule solaire photovoltaïque

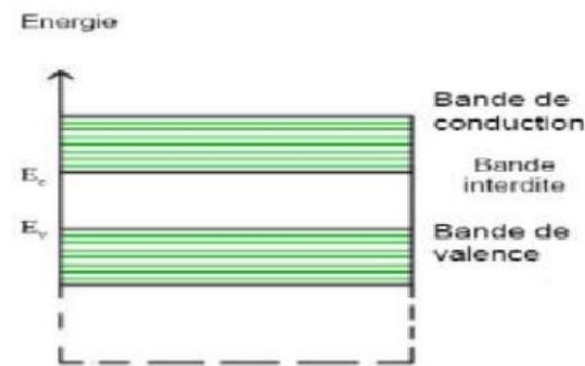
Les cellules solaires photovoltaïques sont des dispositifs de conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique [12].

## II.3 Matériaux semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique.

### II.3.1 Semi-conducteurs intrinsèque

Un semi-conducteur est dit "intrinsèque" s'il est à l'état pur. Dans ce cas, le nombre d'électrons dans la bande de conduction est égal au nombre de trous dans la bande de valence [11].



**Figure II.1** Diagramme de bande d'un semi-conducteur intrinsèque

### II.3.2 Semi-conducteurs extrinsèque

La méthode utilisée pour créer ce type de semi-conducteurs est "dopage" par des impuretés. Deux types de dopage sont possibles [11]. Dans un semi-conducteur intrinsèque, le nombre de porteurs étant faible à température ordinaire, alors la conductivité médiocre [12].

#### II.3.2.1 Dopage de type N

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième resté disponible va être excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. D'où le nombre d'électron libre que va fortement augmenter: dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif) [12].

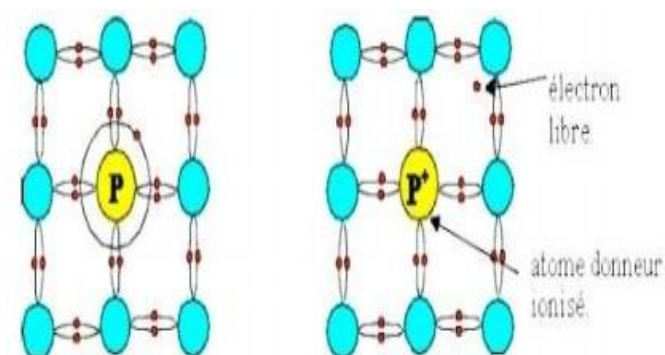


Figure II.2 Dopage de type N

#### II.3.2.2 Dopage de type P

De la même façon, on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace dans le cristal pour créer un courant. Le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électron libre du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore [12].

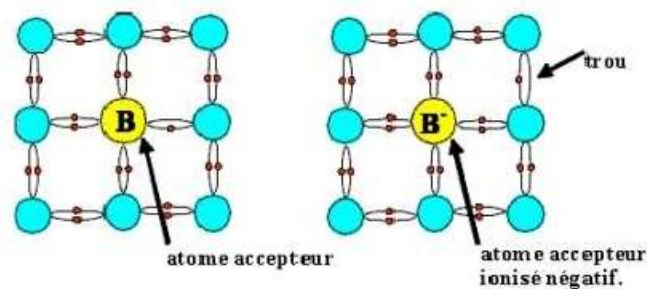


Figure II.3 Dopage de type P

## II.4 Principe de fonctionnement de cellule solaire

Elle a été découverte en 1839 par Antoine Becquerel, ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire [13].

En effet, lorsque les photons de la lumière du soleil rentrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transmettent leur énergie aux électrons des semi-conducteurs qui génèrent alors une tension électrique [4].

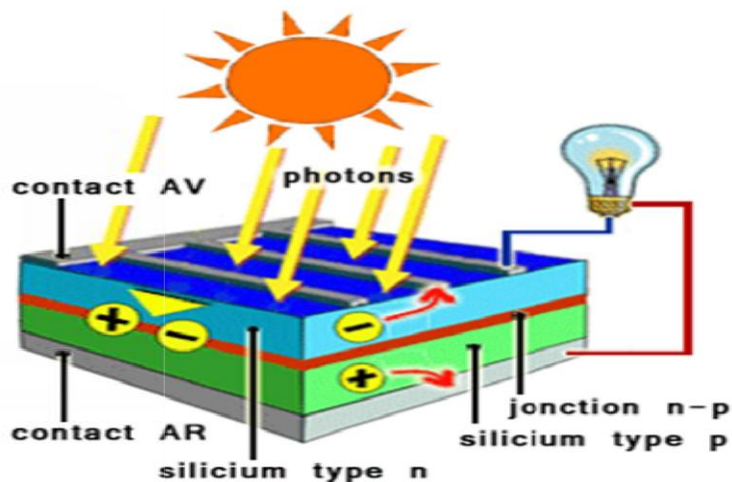


Figure II.4 Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés P(positif) et n(négatif), dénommé comme jonction P-n (ou n-P).

Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente. Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie  $h\nu$  à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure [4].

## II.5 Module photovoltaïque

Pour produit plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la même tension [14].

Un module photovoltaïque classique se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série, protégées de l'humidité par un encapsulage de verre et plastique.

L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique [14].

## II.6 Caractéristiques d'une cellule solaire

### II.6.1 Courant de court-circuit $I_{cc}$

Le courant de court-circuit est le courant débité par la cellule sous éclairement en court-circuitant la sortie. C'est-à-dire que:  $I_{cc}=I(V=0)$ . Pour une cellule solaire idéale le courant de court-circuit est égal au courant photovoltaïque  $I_{ph}$  [15].

### II.6.2 Tension à circuit ouvert $V_{co}$

La tension de circuit ouvert est la différence de potentiel mesurée aux bornes de la cellule lorsque la sortie est en circuit ouvert [9-4]., c'est-à-dire  $V_{co}=V(V=0)$ ; Pour une cellule solaire idéale la tension de circuit ouvert est donnée ;

$$V_{co} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} + I_s}{I_s} \right) \approx V_{co} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad (II.1)$$

### II.6.3 Puissance maximale $P_m$

La puissance débitée par une cellule solaire est maximum quand le produit  $V.I$  est maximum. si  $V_m$  et  $I_m$  sont la tension et le courant pour lesquels on a ce maximum, la puissance maximale est la surface du plus grand rectangle de côté  $V_m$  et  $I_m$  qu'on peut inscrire sous la courbe  $I(v)$  [15].

### II.6.4 Facteur de forme FF

Le facteur de forme indique à la qualité de cellule, il indique l'influence de des pertes par les deux résistances parasites  $R_s$  et  $R_{sh}$ . Le facteur de forme est le rapport de la puissance maximale au produit  $I_{sc} V_{co}$  [15].

$$FF = P_m / I_{sc} V_{co} \quad (II.2)$$

### II.6.5 Rendement d'une cellule solaire

Le rendement (efficacité) des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente  $P_{in}$

$$\eta = P_m / P_i \quad (II.3)$$

Où:  $p_i$  est la puissance incidente du rayonnement solaire au sol  $P_{solaire} = 100 \text{w/cm}^2$ . [9-4]

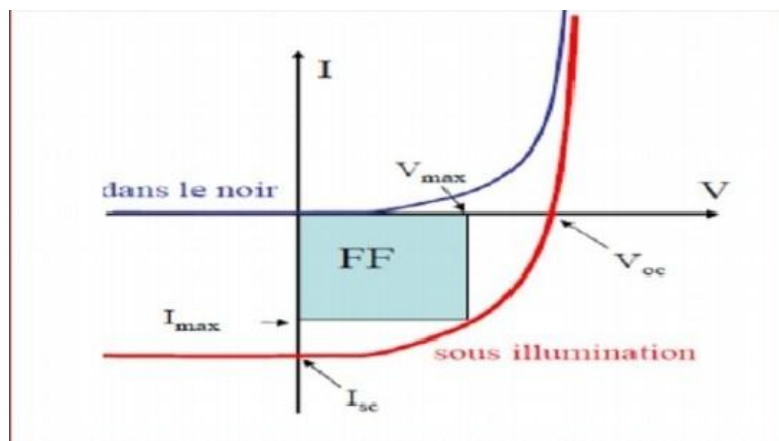


Figure II.5 Courbes  $I = f(v)$

## II.7 Différents types de cellules solaires

Il existe trois types de cellules:

### II.7.1 Cellules amorphe

Depuis les années 1970 des recherches intensives ont été entreprises pour utiliser du silicium non cristallisé, c'est-à-dire amorphe. Ce sont les cellules des calculatrices ou des montres.

Le silicium amorphe présente plusieurs avantages, en particulier son fonctionnement possible en intérieur sous faible éclairage contrairement au silicium cristallin, son fort coefficient d'absorption, sa faible consommation énergétique durant le cycle de production et son aptitude à être déposé sur des grandes surfaces (de l'ordre de  $1 \text{ m}^2$ ).

Cependant, les cellules photovoltaïques à base de silicium amorphe présentent de faibles rendements (inférieurs à 10% au niveau industriel) et une diminution assez rapide de performances au cours du temps.

L'avenir des couches de silicium amorphe passera probablement, par un mariage avec le silicium cristallin. En effet, les hétéro structures à base de silicium amorphe/silicium cristallin (Structure HT de Sanyo présentent des rendements de laboratoire de plus de 21% et de 16% en production industrielle) [12].

### II.7.2 Cellules monocristallins

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique: cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches de dopages opposés . Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de  $25.0 \pm 0.5 \%$  (UNSW PERL). Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients suivants: · Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très onéreuse.

Il faut fournir une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur. Une durée élevée d'amortissement de l'investissement en énergie (jusqu'à 7 ans) [14].





**Figure II.6** Cellule photovoltaïque (monocristalline)

### **II.7.3 Cellules poly cristallin**

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes.

## **II.8 Caractérisation des cellules**

### **II.8.1 Poly-cristalline**

Un coût de production moins élevé : Nécessite moins d'énergie. Un rendement de  $20,4\pm 0,5\%$  (Fh-ISE) [14].

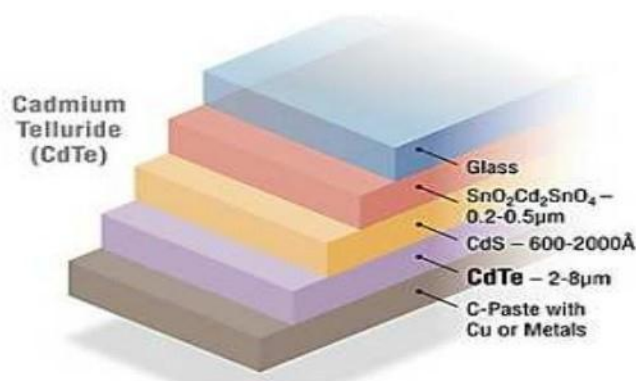


**Figure II.7** Cellule photovoltaïque (poly-cristallin)

### II.8.2 Cellules à base de Tellurure de cadmium (CdTe)

La technologie à base de Cd Te présente des rendements en dessous du cristallin, de l'ordre de 9 – 17 % (module 13% - record à 18,2%) mais bénéficie d'un faible coût à la production. Sa capacité d'absorption de la lumière et son coefficient thermique avantageux lui permettent d'être en adéquation presque parfaite avec le spectre solaire. Son principal inconvénient est sans nul doute la limitation naturelle de la quantité de tellurure sur terre qui oblige la recherche à réduire au maximum son épaisseur, qui avoisine aujourd'hui 3  $\mu\text{m}$ . De plus, le cadmium est toxique. Il faut tout de même préciser que celui-ci est dangereux seulement lors de la fabrication et qu'un module PV ne contient que très peu de cadmium : un module Cd Te de 60W (~12 kg) contient environ 2g de Cd [16].

L'emploi du tellurure de cadmium procure plusieurs avantages aux cellules. Seuls 1 à 8  $\mu\text{m}$  de Cd Te suffisent pour absorber une grande quantité de lumière. Les panneaux solaires rigides se comportent également mieux que les autres lorsque leur température monte, ce qui survient aux plus chaudes heures de la journée [16].



**Figure II.8** Structure de base d'une cellule à base de Tellurure de Cadmium

- Une vitre protectrice.
- une couche conductrice transparente, par exemple faite d'oxyde d'indium-étain ou d'oxyde de zinc. Elle récolte les charges négatives sur une épaisseur de 0,2 à 0,5  $\mu\text{m}$ .
- De sulfure de cadmium CdS dopé N d'épaisseur de 0,06 à 0,2  $\mu\text{m}$ .

- De tellurure de cadmium dopé P d'épaisseur de 2 à 8  $\mu\text{m}$ .
- De la couche conductrice inférieure métallique. Elle est parfois fabriquée à partir d'une pâte de carbone enrichie en cuivre.
- Du substrat, dont la nature peut varier selon les propriétés désirées (souple ou rigide) [17].

D'un point de vue rendement énergétique, la filière Cd Te, présente des rendements de cellules record de 17 % en laboratoire et des modules commerciaux à près de 11 % où les coûts de fabrication semblent être compétitifs avec la filière c-Si.

Les recherches montrent que le Cd Te pourrait atteindre un rendement de 15% pour un prix de 0.5€/W<sub>c</sub> à moyen terme [17].

### II.8.3 Les couches minces

Les inconvénients physiques du silicium cristallin ont encouragé l'orientation de recherche vers la découverte de matériaux de substitution. Elle a particulièrement privilégié les couches minces, c'est-à-dire le dépôt sur un substrat de matériaux semi-conducteurs. L'opération de dépôt elle-même constitue un véritable enjeu technologique et plusieurs méthodes plus ou moins avancées coexistent à l'heure actuelle: l'évaporation sous vide, la pulvérisation cathodique, l'électro-dépôt ou encore la sérigraphie. L'avenir proche dira sans doute quelle technique porte les meilleures perspectives de développement.

Toutefois, les applications possibles suscitent un fort intérêt: libérées de la contrainte d'épaisseur qui frappe le silicium leur transformation en cellules photovoltaïques. Trois filières semblent en passe de s'imposer.

La première utilise des formes modifiées du silicium, formes amorphes ou polycristallines. La seconde met en œuvre le tellurure de cadmium. La troisième enfin procède à des combinaisons à partir de l'indium. Toutes appellent l'emploi de surfaces de verre qui représentent une part de non négligeable du cout final, mais celui-ci demeure suffisamment bas pour poursuivre le développement malgré des performances moindres.

## II.9 Les avantages et les inconvénients

### II.9.1 Les avantage

Les systèmes photovoltaïques présents de nombreux avantage

1. Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
  2. Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du Milliwatt au Mégawatt.
  3. Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
  4. La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant (électricité propre), silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
  5. Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.
  6. Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité.
  7. Temps minimum de réalisation d'une centrale PV.
  8. Ils ont une longue durée de vie.
  9. On élimine les frais et les risques de transport associés aux énergies fossiles.
- [14]

### II.9.2 Les Inconvénients

Les cellules solaires ont cependant des inconvénients :

1. La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements à coût élevé.
2. Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule à 28%.
3. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
4. Tributaire des conditions météorologiques.
5. Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent en 220 à 230V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et faible voltage ( $< 30V$ ), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.
6. Le stockage de l'énergie électrique dans des accumulateurs qui sont les plus souvent des batteries au Plomb. Sachant que les batteries ne doivent pas se décharger à plus de 60%(70% maximum) de leur capacité maximale. En outre, les batteries ont une faible durée de vie (3 à 5ans), ce qui entraîne un surcoût au fonctionnement [14].

## **II.10 Conclusion**

A travers ce que nous avons touché avec ce chapitre, vous connaissez peut-être quelques propriétés de la cellule solaire.

# **Chapitre III**

## **Résultats et**

### **Discussion**

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va donner un résumé sur le simulateur SCAPS. Ensuite on va illustrer les résultats de simulation avec une discussion. ,

### III.2 Logiciel SCAPS

SCAPS est un programme de simulation des cellules solaires unidimensionnelles développé au département de l'électronique et des systèmes d'information (ELIS) de l'université de Gand, en Belgique. Plusieurs chercheurs ont contribué à son développement : Alex Niemegeers, Marc Burgelman, Koen Decock, Johan Verschraegen, StefaanDegrav

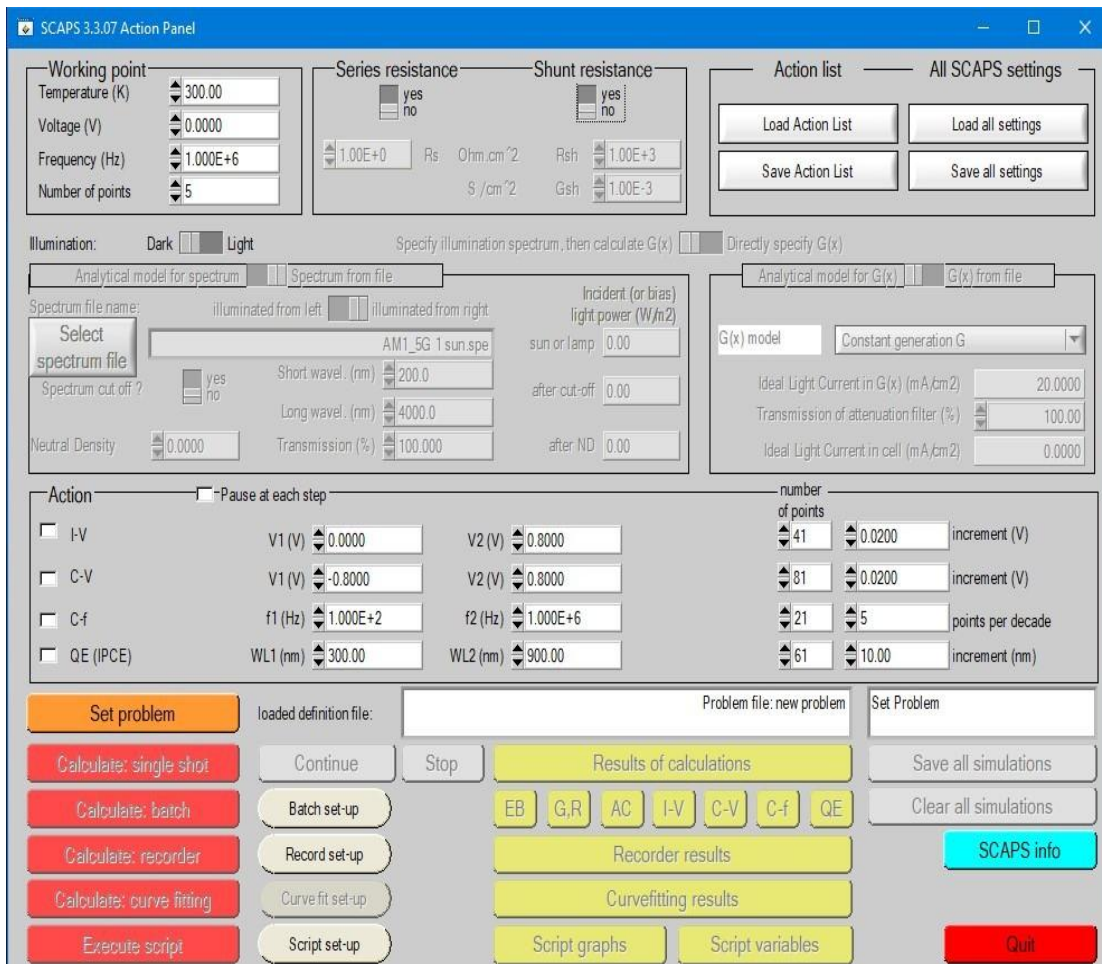


Figure III.1 Fenêtre du logiciel SCAPS

### III.3 Les couches minces

Les cellules solaires à base de couches minces présentent 17 % des cellules du marché et elles sont issues des technologies du revêtement de différents supports : revêtements sur du verre, sur des métaux, sur des plastiques ; ce sont des accumulations de couches minces de quelques microns d'épaisseur que l'on peut classer en trois grandes catégories : les cellules basées sur le silicium amorphe – ce sont les cellules utilisées dans les calculatrices , les cellules basées sur du tellure de cadmium (CdTe), et enfin celles basées sur un alliage de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium (Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>, noté CIGS). Il faut souligner qu'en quelques années, ce type de cellules (CIGS) a beaucoup progressé pour atteindre des rendements de 20 % en laboratoire.

### III.4 Semi-conducteur CdTe

Le tellure de cadmium (CdTe) est un matériau cristallin à structure cubique (de groupe d'espace F43m) composé de cadmium et de tellure. Il s'agit d'un semi-conducteur de la famille des II-VI. Le tellure de cadmium est disponible commercialement sous forme de poudre ou sous forme de cristaux. Le CdTe est utilisé pour de nombreuses applications, dont :

- cellules photovoltaïques à couches minces (construites sur le principe de la PIN) ; développé depuis les années 1960, ce type de cellule présente des avantages (prix inférieur) et des inconvénients (utilisation de matériaux rares et à la toxicité potentiellement élevée) par rapport aux cellules à base de silicium [18] ;
- optique (pour ses propriétés dans l'infrarouge notamment) ;
- les systèmes de détection infrarouge (HgCdTe) ;
- la détection de rayonnements ionisants (CdTe:Cl, CdZnTe) (spectrométrie et imagerie des rayons X et gamma) ;
- « étiquettes moléculaires » en biologie médicale : des nanoparticules fluorescentes constituées de semi-conducteurs à base de cadmium brillent lorsqu'elles sont frappées par une certaine lumière. Elles sont en train de devenir un outil standard de laboratoire pour étudier le comportement moléculaire de cellules vivantes ou marquer certaines cellules.



La luminosité de leur fluorescence, leur stabilité et la facilité avec laquelle on peut les modifier chimiquement ont aussi incité les chercheurs à explorer leur usage comme agents d'imagerie médicale et pour désigner des tumeurs [19].

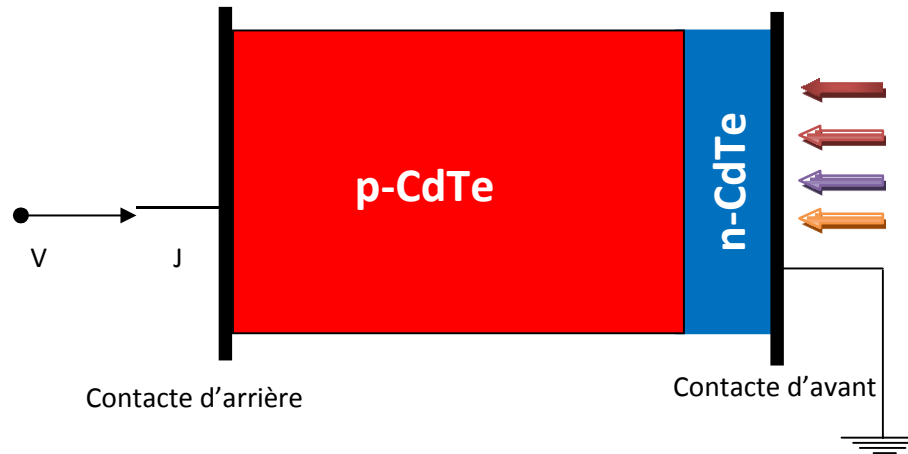
Depuis quelques années, pour produire un panneau photovoltaïque, un nombre croissant d'entreprises recourent au tellure de cadmium en tant que composé semi-conducteur, à la place du silicium. C'est en effet un produit très stable. Il accroît le rendement des panneaux, tout en diminuant leur coût, grâce à une meilleure capacité d'absorption de la lumière (maintien d'une bonne performance en cas de faible luminosité, le matin et en soirée notamment) et à un coefficient thermique bas.

Une couche d'absorption en tellure de cadmium est ainsi placée sur un support de verre puis couverte par une autre plaque de verre qui scelle hermétiquement le panneau. Les modes de production et d'utilisation du CdTe ont permis de réduire l'empreinte carbone des techniques de production de cellules et panneaux photovoltaïques. Dans le domaine des panneaux photovoltaïques, c'est la technique qui a l'empreinte carbone la plus basse pour le cycle de vie [20].

### **III.5 Résultats et discussion**

#### **III.5.1 Description de la cellule n-CdTe/ p-CdTe**

Les cellules étudiées par le simulateur SCAPs est le n-CdTe/ p-CdTe Dans le Tableau III.1, on donne les paramètres d'entrés des deux cellules solaires des matériaux utilisés tels que : (Epaisseur de la couche ( $\mu\text{m}$ ),  $E_g$  Energie du gap, (eV). dans la figure III-2, on présente le schéma illustratif des deux cellules solaires : n-CdTe/p-CdTe.

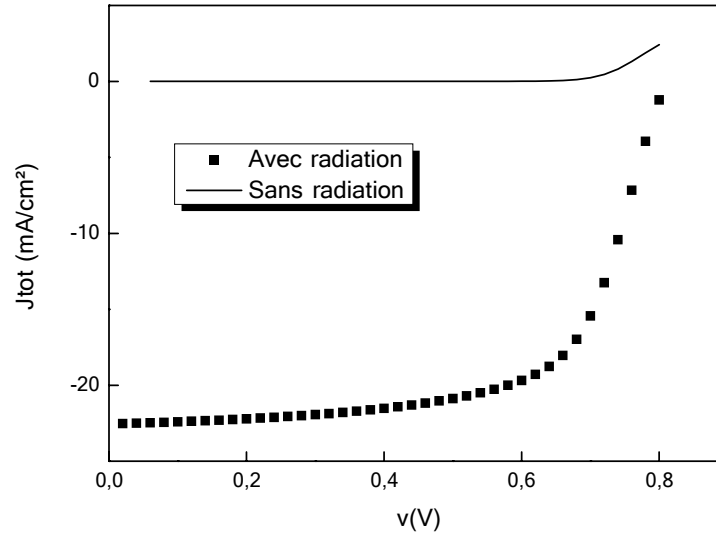


**Figure III.2** Schéma de la cellule étudiée CdTe

**Tableau III.1** Illustration des paramètres d'entrés des matériaux étudiés

Matériaux	CdTe-p	CdTe-n
Epaisseur de la couche ( $\mu\text{m}$ )	3	1
$E_g$ Energie du gap, (eV)	1.450	1.450
$\chi$ Affinité électronique, (eV)	4.5	4.5
$\epsilon_r$ Permittivité relative,	10	10
$\mu_n$ mobilité électronique ( $\text{cm}^2 / \text{Vs}$ )	$7,9 \cdot 10^{17}$	$7,9 \cdot 10^{17}$
$C_B$ Densité effective d'états ( $/\text{cm}^3$ )	$1,3 \cdot 10^{19}$	$1,3 \cdot 10^{19}$
$V_B$ densité effective des états ( $/\text{cm}^3$ )	$3.710^6$	$3.710^6$
vitesse thermique des électrons ( $\text{cm} / \text{s}$ )	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$
Vitesse thermique du trou ( $\text{cm} / \text{s}$ )	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$
$\mu_p$ mobilité des trous ( $\text{cm}^2 / \text{Vs}$ )	70	70
$N_D$ densité des donneurs ( $/\text{cm}^3$ )	-	$1 \cdot 10^{14}$
$N_A$ densité des accepteurs ( $/\text{cm}^3$ )	$4 \cdot 10^{14}$	-

La figure III.4 illustre la variation densité de courant en fonction de la tension pour les deux cas avec radiation et sans radiation.



**Figure III.3** Comparaison du courant en fonction de la tension pour les deux cas

**Tableau III.2** Comparaison des caractéristiques de sortie la cellule

Caractéristiques de sortie	Voc(V)	FF(%)	Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)
CdTe	0.80894	65.8249	22.55100916	12.0081

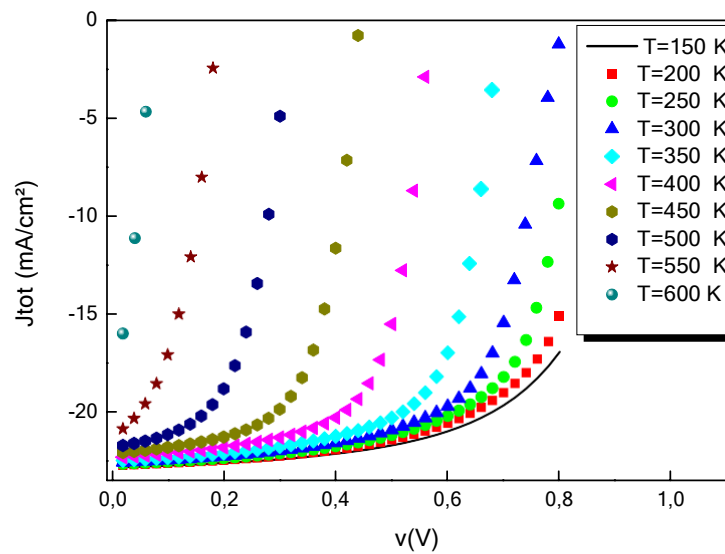
D'après le Tableau III.2, on donne les caractéristiques de sortie de la cellule solaire étudiée dans ce mémoire. L'homo-jonction n-CdTe/p-CdTe donne un rendement égal à .

### III.5.2 Impact de la température sur la cellule étudiée

La température est un paramètre très marquant dans le comportement des cellules solaires ; car les performances électriques d'une cellule solaire sont très sensibles à celle-ci. Il est important d'étudier l'effet de cette dernière sur les caractéristiques électriques des cellules solaires puisque, dans les applications terrestres, les cellules solaires sont généralement exposées à des températures dans la gamme (150 °K) à (600 °K) et même à des températures encore plus élevées comme dans les régions extrêmement chaudes.

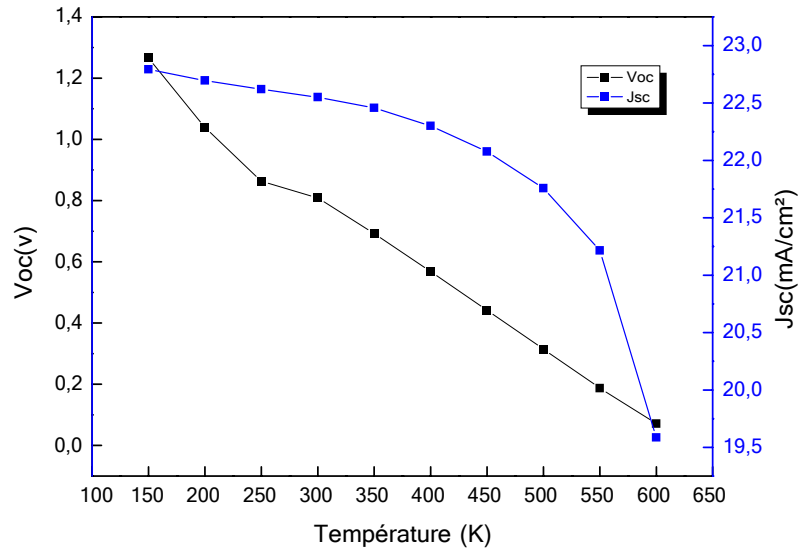
Dans cette partie, nous allons étudier l'effet de température sur les paramètres de sortie : densité du courant de court-circuit ( $J_{cc}$ ), la tension du circuit ouvert ( $V_{co}$ ), le facteur de forme (FF), et le rendement de la conversion photovoltaïque ( $\eta$ ) de la cellule solaire n-CdTe/p-CdTe.

D'après la figure III.4, on remarque le courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe diminue avec la croissance de la température. La courbe a une forme exponentielle, la densité du courant augmente rapidement. D'après, cette figure, on remarque que la cellule est dans son meilleur état pour la température 350 k.

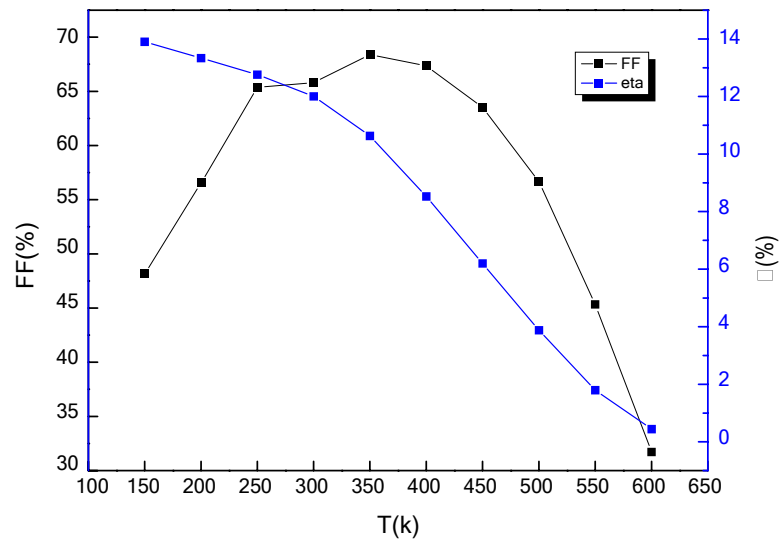


**Figure III.4** Variation de la densité du courant en fonction de la tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe en fonction de la température

D'après la figure III.5, on remarque que la tension en circuit ouvert de la cellule n-CdTe/p-CdTe décroît en fonction de la température et même décroissance pour la densité du courant en court-circuit. Pour une température 350 k, on trouve un courant de 22.4575 mA/Cm<sup>2</sup>, et une tension de 0.629 V.



**Figure III.5** Variation de la tension en circuit ouvert et de la densité du courant en court-circuit en fonction de la température de la cellule n-CdTe/p-CdTe



**Figure III.6** Variation du fill factor et du rendement de la cellule n-CdTe/p-CdTe en fonction de la température

La figure III.6 illustre le rendement de la cellule n-CdTe/p-CdTe, on remarque la décroissance du rendement quand la température augmente. Pour le fill factor, on a une

augmentation du facteur jusqu'à 68.3369 % pour la température  $T= 350$  K. Et ensuite, il y a une chute et une décroissance du fill facteur.

D'après le Tableau III.3, on résume les valeurs des caractéristiques de sortie en fonction de la température de la cellule n-CdTe/p-CdTe.

**Tableau III.3** Illustration du rendement et de tension  $V_{oc}$  en fonction de la température de la cellule n-CdTe/p-CdTe

Température (k)	150	250	300	350	450	600
$\square$ (%)	13,8991	12,7612	12,0081	10,6321	6,1986	0,445
$V_{oc}$ (V)	1,26585	0,86299	0,80894	0,69209	0,44201	0,07164

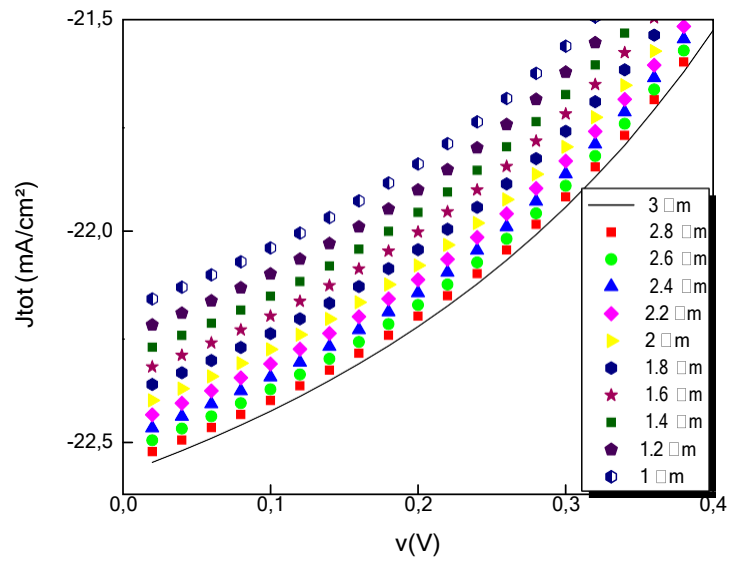
### III.5.3 Effet de l'épaisseur sur les caractéristiques de sortie de la cellule

Effet de l'épaisseur est un paramètre très marquant dans le comportement des cellules solaires ; car les performances électriques d'une cellule solaire sont très sensibles et on fait varier l'épaisseur de l'émetteur et de base de la cellule n-CdTe/p-CdTe est de voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée et l'objectif de ce changement est d'améliorer les paramètre suivant ; densité du courant de court-circuit ( $J_{sc}$ ), la tension du circuit ouvert ( $V_{co}$ ), le facteur de forme (FF), et le rendement de la conversion photovoltaïque ( $\eta$ ).

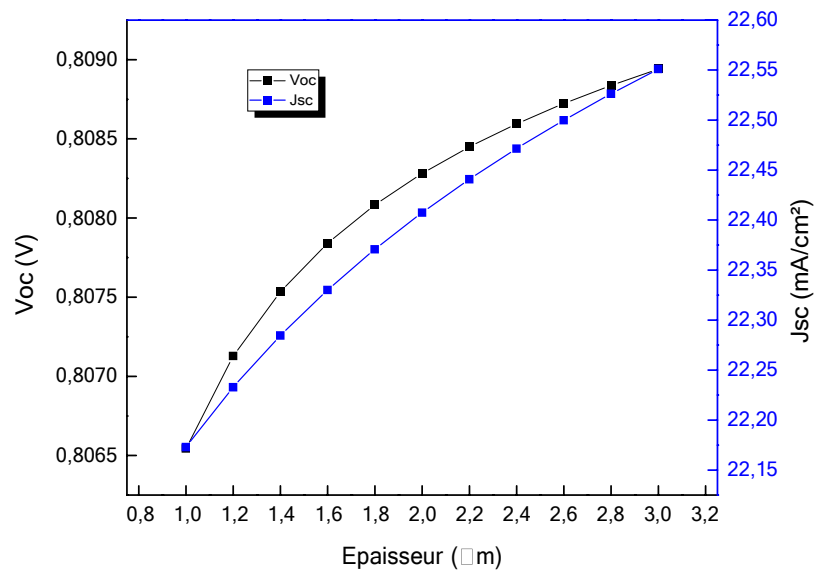
L'épaisseur de la couche en n-CdTe varie de  $1 \mu\text{m}$  à  $0.1 \mu\text{m}$  tandis que l'épaisseur de la couche en p-CdTe varie de  $1 \mu\text{m}$  à  $3 \mu\text{m}$ .

#### III.5.3.1 Influence de la variation de l'épaisseur de la base

D'après la figure III.7, on remarque la courbe densité du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe augment pour différente valeur de l'épaisseur de la base et la meilleure épaisseur de la base est  $3 \mu\text{m}$ .



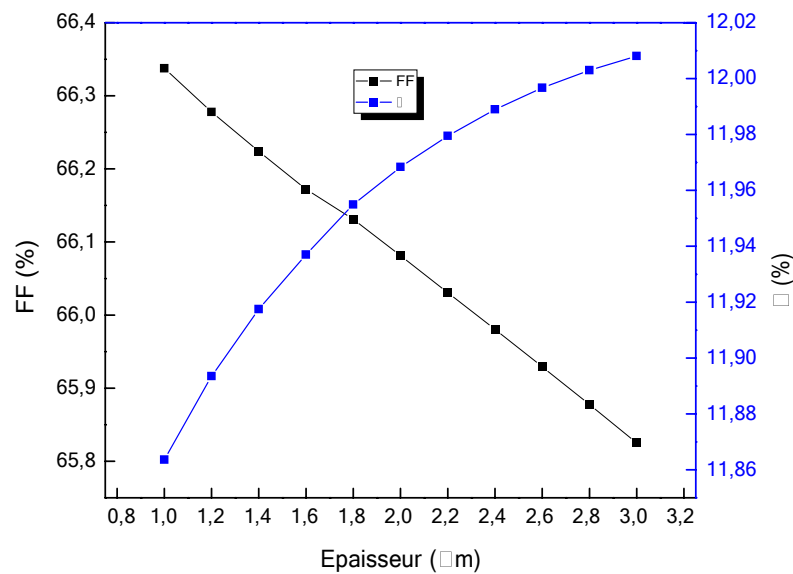
**Figure III.7** Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de l'épaisseur de la base (p-CdTe)



**Figure III.8** Variation du  $V_{oc}$  et du  $J_{sc}$  en fonction de l'épaisseur de la base

D'après la figure III.8, on remarque la tension circuit ouvert et le courant en court-circuit n-CdTe/p-CdTe augment presque linéairement en fonction de l'épaisseur de la base et on remarque la meilleure épaisseur est de  $3\mu\text{m}$  pour une tension circuit ouvert  $0,741803\text{V}$  et un courant en court-circuit égale à  $40.65988819\text{ mA/cm}^2$ .

Pour des valeurs de l'épaisseur de la base plus petite, Il en résulte quelque photon ayant des longueurs d'onde plus longues peuvent être collectées dans la couche absorbante, or une couche absorbante très mince signifie physiquement que le contact en arrière et la région de déplétion sont très proches, ce qui favorise la capture d'électrons par ce contact. Cette forme de processus de recombinaison est préjudiciable aux performances de la cellule car il affecte la  $V_{co}$ , le  $J_{sc}$  et le rendement de conversion.



**Figure III.9** Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de la base

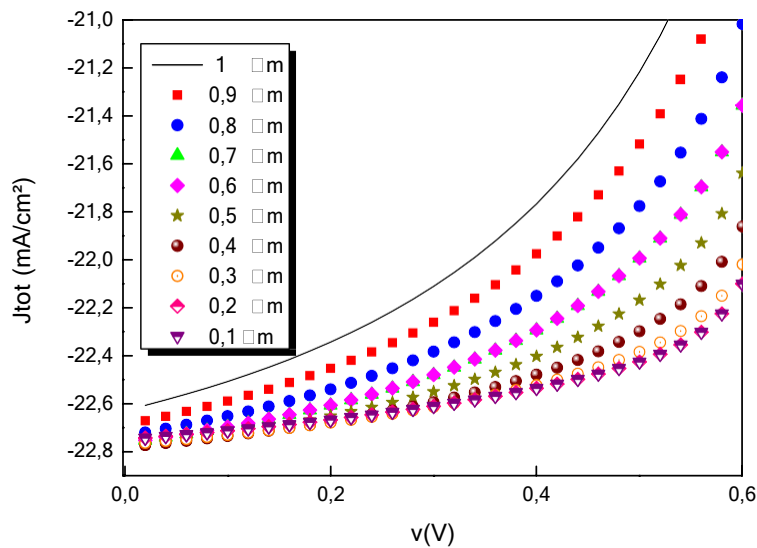
D'après la figure III.9, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule n-CdTe/p-CdTe qui augmentent en fonction de l'épaisseur de la base. Et toujours pour l'épaisseur  $3\mu\text{m}$ , on a un meilleur rendement, dont le facteur de forme est de  $84.2300\%$  et le rendement est de  $25.4051\%$ .



Par conséquent, toute variation de courant est de tension accompagné d'un changement de rapport de rendement et le facteur de forme. D'après ces résultats, On constate que l'impact de l'épaisseur de la base sur les paramètres est positive.

### III.5.3.2 Influence de l'épaisseur de l'émetteur

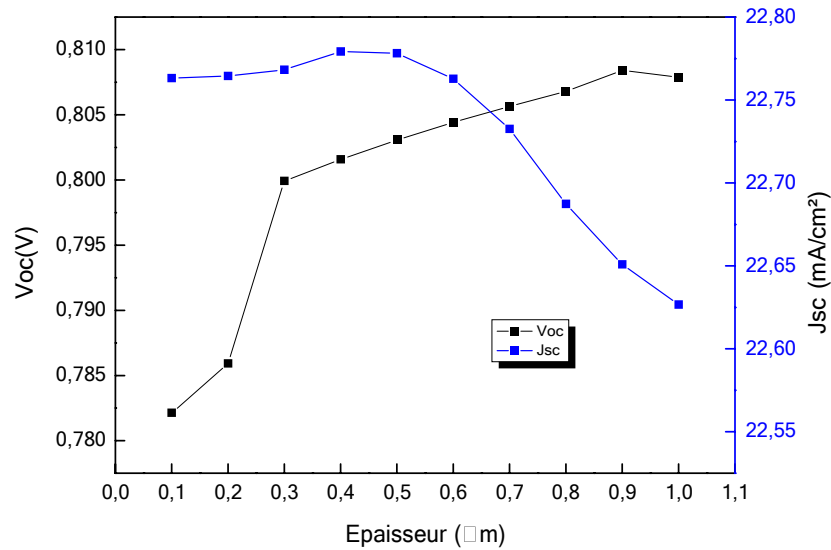
D'après la figure III.10, on remarque la courbe courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe augment pour différente valeur de l'épaisseur du l'émetteur et montre que la meilleure épaisseur de la de l'émetteur est 0.1 $\mu$ m. On voit que, la première phase de la variation du courant est presque constante et pour une valeur précise de la tension, on remarque une augmentation rapide du courant.



**Figure III.10** Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe

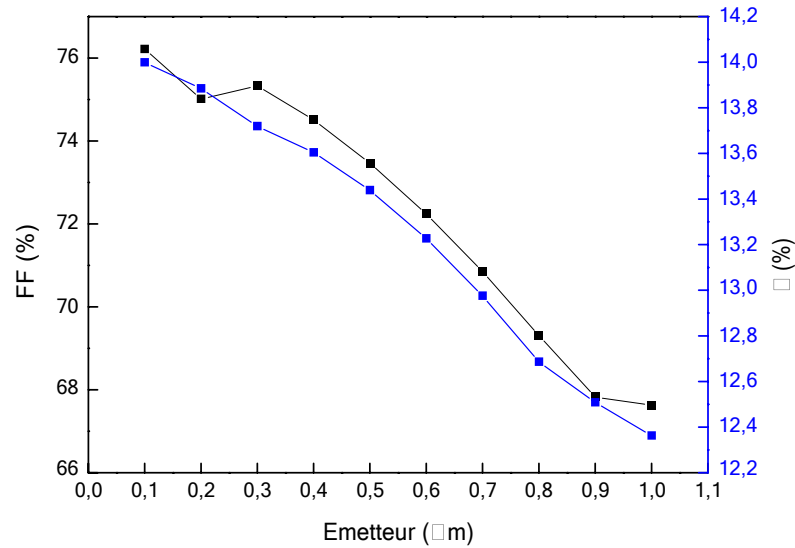
La figure III.11 montre la variation de la tension en circuit ouvert et la densité de courant en court circuit en fonction de la variation de l'épaisseur de l'émetteur. On a fait varier l'émetteur en décroissance et on a remarqué aussi la décroissance de la tension et l'augmentation du courant. Ceci est dû à l'augmentation des porteurs en cause de l'épaisseur du l'émetteur. Et que la meilleure épaisseur est obtenue pour la valeur 0.1  $\mu$ m.

pour cette dernière, on a une tension circuit ouvert est de 0.783 V et le courant en court-circuit augmente est atteint la valeur de 22.76 mA/cm<sup>2</sup>.



**Figure III.11** Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe

Concernant la figure III.12, on trace le fill facteur et le rendement aussi en fonction de la décroissance de l'épaisseur de l'émetteur. On peut distinguer qu'il y a augmentation des deux paramètres de la homo-jonction.



**Figure III.12** Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de l'émetteur n-CdTe

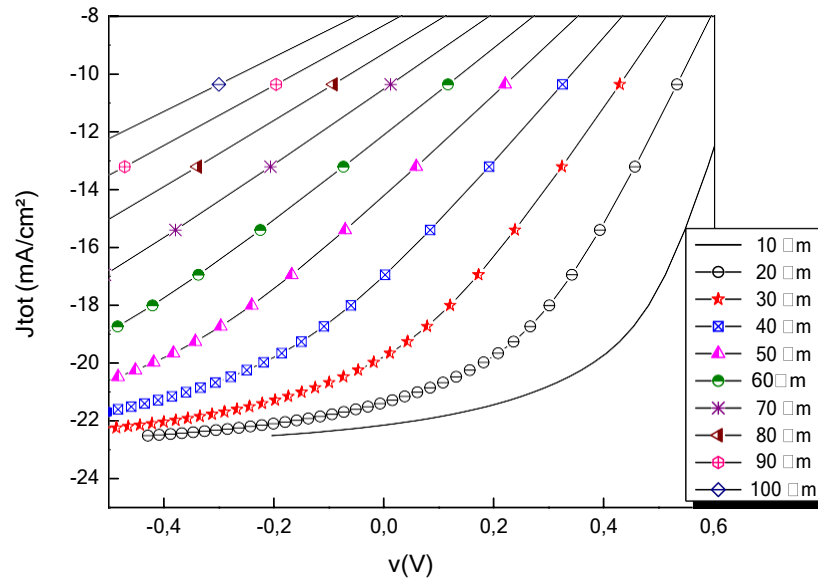
Pour des valeurs de l'épaisseur de l'émetteur plus grande, le courant de court-circuit diminue donc les photons de courtes longueurs d'onde sont absorbés à une distance plus loin de la jonction n-CdTe/p-CdTe doivent parcourir des distances plus grandes que leurs longueurs de diffusion, et seront plus susceptibles de se recombiner que d'être collectés, de plus, la lumière est absorbée par la couche fenêtre qui est épaisse et n'est que faiblement transmise à la couche active. Et que la meilleure épaisseur est de 0.1 ( $\mu\text{m}$ ), on a pour un rendement de 14.82 % et un facteur de forme de 76.32 %.

### III.5.4 Effet de la résistance sur les caractéristiques

#### III.5.4.1 Effet de la résistance série

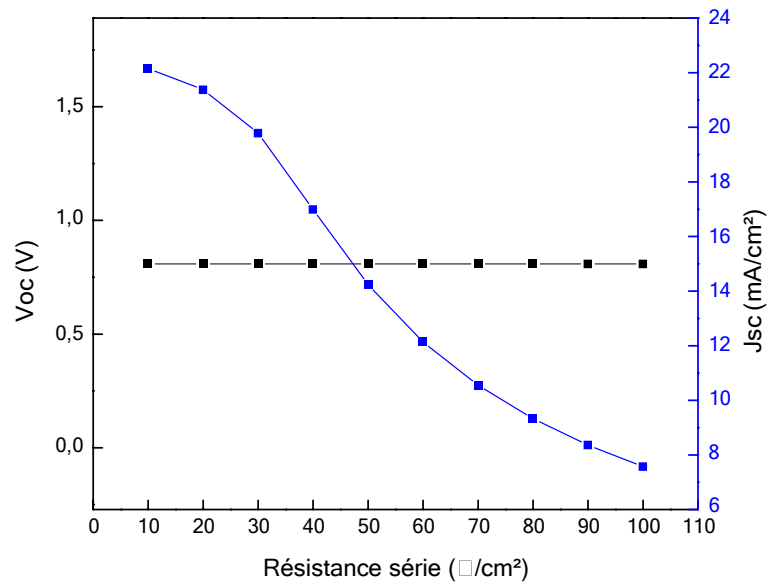
Dans cette partie, on a voulu voir l'effet des résistances sur les caractéristiques extérieures de la cellule solaire. Dans la figure III.13, on a tracé le courant total en fonction de la tension où la résistance série varie dans l'intervalle [10-100]  $\Omega/\text{cm}^2$  avec un pas de 10  $\Omega$ .

On voit bien l'effet de la résistance série sur le courant, ce dernier diminue quand celle-ci augmente et pour la tension on un retour où la cellule donne une tension négative.

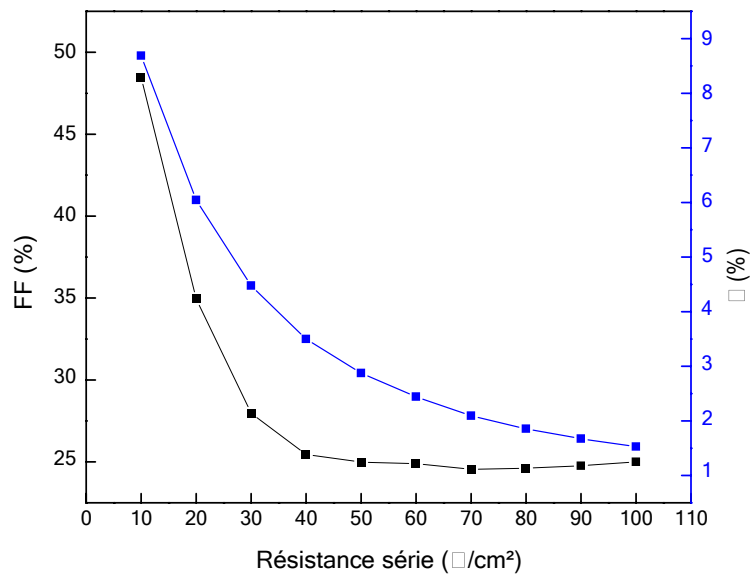


**Figure III.13** Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de la résistance série

Pour la figure III.14, on trace la tension circuit ouvert et la densité du courant court circuit en fonction de la résistance série. On a une tension  $V_{oc}$  constante et une diminution de la densité de courant en court circuit. Pour le facteur de remplissage et le rendement sont illustrés dans la figure III.15. on voit qu'il y a dégradation des valeurs des deux paramètres avec une certaine stabilité du FF à partir d'une résistance de 40  $\Omega$ .



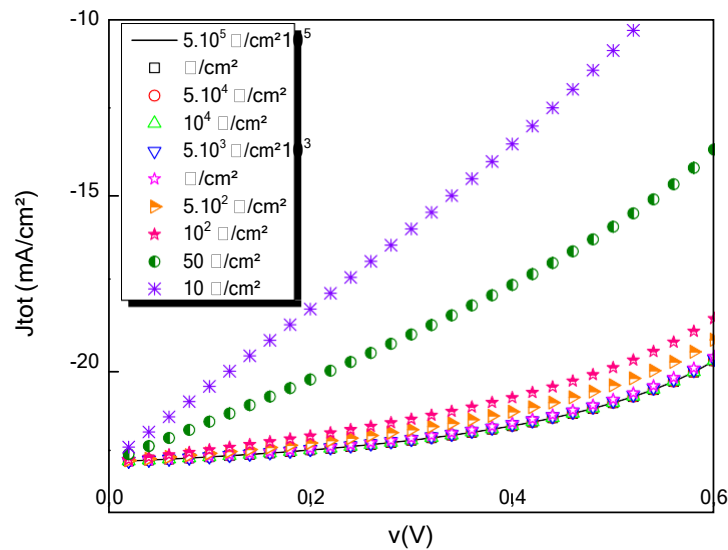
**Figure III.14** Variation du Voc et du Jsc en fonction de la résistance série



**Figure III.15** Variation du rendement et du FF en fonction de la résistance série

### III.5.4.2 Effet de la résistance parallèle

Pour effet de la résistance parallèle sur les caractéristiques de sortie de la homojonction. On a les courbes du courant en fonction de la tension pour une variation de la résistance parallèle dans l'intervalle  $[5 \cdot 10^5 - 10] \Omega/\text{cm}^2$  avec un pas de  $50 \Omega$ . Selon la figure III.16 on a une diminution dans les valeurs des courants et une dégradation de courbure des graphes.



**Figure III.16** Présentation du courant-tension de la cellule n-CdTe/p-CdTe pour différente valeur de la résistance parallèle

Pour les caractéristiques de sortie, on a tracé  $V_{oc}$  et  $J_{sc}$  dans la figure III.17 et le FF et le rendement dans la figure III.18. Pour la première figure, on a un courant en court circuit stable et une diminution de la tension en circuit ouvert. Parce qu'on a commencé par une résistance parallèle la plus élevée. Pour le FF et le rendement, on presque une variation linéaire puis une chute de ces paramètres pour une résistance de  $500 \Omega$ .

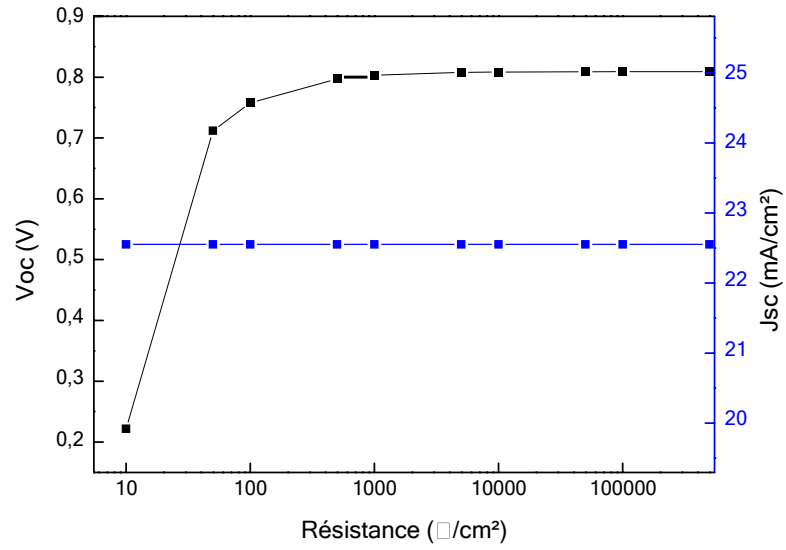


Figure III.17 Variation du Voc et du Jsc en fonction de la résistance parallèle

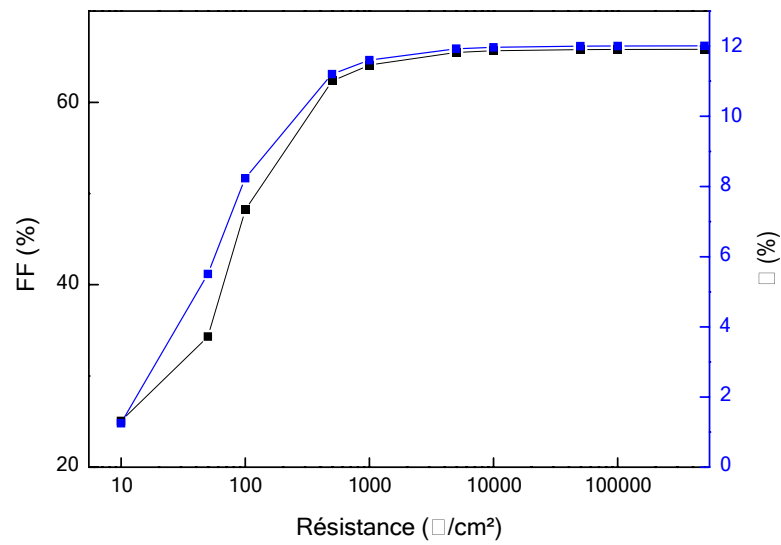


Figure III.18 Variation du rendement et du FF en fonction de la résistance parallèle

### III.6 Conclusion

On a fait la simulation par SCAPs des cellules solaire n-CdTe/p-CdTe. On a étudié l'influence de la température sur le rendement des cellules ceci est du par la réduction de la bande interdite et ceci accélère le phénomène de recombinaison des paires électrons-trous entre la bande de conduction et la bande de valence donc les électrons circuler en sens arbitraire et la tension diminue.

La forte réduction de  $V_{co}$  conduit à une diminution du facteur de forme FF ainsi que du rendement  $\eta$  de conversion de la cellule solaire donc nous trouvons que la meilleure température est de 273 K dans cette simulation, aussi on observe que la variation des épaisseurs influe beaucoup plus sur le courant de court-circuit  $I_{cc}$ , qui diminue avec l'augmentation de l'épaisseur des émetteurs aussi les facteurs de forme et les rendements diminuent donc nous trouvons que la meilleure épaisseur est de l'ordre de 0.1  $\mu m$ . Et on remarque l'augmentation des épaisseurs de base influent proportionnellement les caractéristiques des cellules.



## Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure ces dernières années. De nombreuses voies de recherches se sont donc orientées vers l'utilisation des énergies renouvelables, dont l'énergie solaire. L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable car elle utilise une source d'énergie d'origine naturelle qui est le Soleil.

L'utilisation d'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittente selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénients. Ce travail s'agit d'une contribution à l'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque. L'objectif de ce travail est de simuler CdTe homojonction par SCAPs.

Après avoir traité les effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires. Nous avons commencé par illustration de l'effet de la température et effet de l'épaisseur de base et l'émetteur de cellule solaire sur les caractéristiques de sortie des cellules étudiées courant de court-circuit  $I_{cc}$ , la tension en circuit ouvert  $V_{co}$  et le facteur de forme  $FF$ .

## Référence

- [1] Bakalem Nesrine et Mehdi Nesrine, "étude simulation comparative entre des cellules solaires homo-jonction et hétérojonction à base du une jonction PIN en GaAIAs", mémoire de master, université Saad Dahlab De Blida, (2020).
- [2] Rahmani Djelloul, Analyse d'un concentration pour la production d'hydrogène (cas de l'Algerie ), mémoire de magister, universite Hassiba Benbouali De Chlef, (2012).
- [3] Michel Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, tome 1,2 ; O.P.U. (1986).
- [4] M. Mustapha Koussa, Aghilas Brahimi, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, Mémoire de Master, (2016).
- [5] J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [6] Michel Dagueneat, les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unisco, paris ; (1985).
- [7] AZIZI Rabiâa, Etude d'une cellule solaire par le simulateur SCAPs, Mémoire de master, Université Ahmed Daria – Adrar, (2020).
- [8] Lucien Wald, Introduction au rayonnement solaire, Paris : Presses des mines, collection Sciences de la Terre et de l'environnement, (2020).
- [9] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation, Paris, (1980).
- [10]A. Mefti et M. Bouroubi, "Estimation et cartographie du Rayonnement solaire", Bouzareah, Alger, Rapport technique CDER, (1992).
- [11] C. Ngo, H. Ngo, (les semi-conducteurs de l'électron diapositifs), Dunod, Paris, (2003).
- [12] Mahdi Khaled, Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique, MEMOIRE de magister, Universite Mentouri Constantine, (2008)

- [16] F. Sekkal, étude d'une cellule solaire « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », mémoire de master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, (2017).
- [13] A.E. Becquerel, Recherches sur les effets de la radiation chimique de la lumière solaire au moyen des courants électriques, Comt. Rend. Acad. Sci. 9 561. (1839).
- [14] MERAD Faiza, mémoire de Magister en Physique conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem, (2013).
- [15] Guessouri wafa, étude et simulation d'une cellule solaire à base de CIGS par SCAPs, mémoire de master, Université de Mostaganem, (2011).
- [16] Zerrouki Zolikha, Bereksi Reguig Rym, étude d'un système photovoltaïque hybride, mémoire de master, université Hassiba Benbouali Chlef , (2009).
- [17] M. masseli, étude technologique et électrique des cellules solaires en couche minces à hétérojonctions Zno/Cds/CIGs, mémoire de master, (2015).
- [18] Claire Vaille, Les producteurs de modules photovoltaïques à couches minces baissent leurs coûts de production et deviennent plus concurrentiels, bulletins électroniques, (2004).
- [19] Information de NanoNews (publiée par le « National Cancer Institute », États-Unis) (Des nanoparticules non modifiées de CdTe s'avèrent toxiques pour les cellules) (2005).
- [20] Fthenakis, V.M, Kim, H.C, Alsema, E., Emissions from Photovoltaic Life Cycles, Environmental Science & Technology, 42:2168-2174 (2008 ).