



N° d'ordre:

N° de série:



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Techniques

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Par: Gobbi Boubaker, Gaid Kheir Eddine

Houmdi Abd Elwahab, Houmdi Aissa

Thème

**Simulation d'une cellule solaire MASnI3
en utilisant SCAPS**

Devant le jury composé de:

Mr. Hima Abdelkader

....

Encadreur

Mr. Majuri Abdel Qader

....

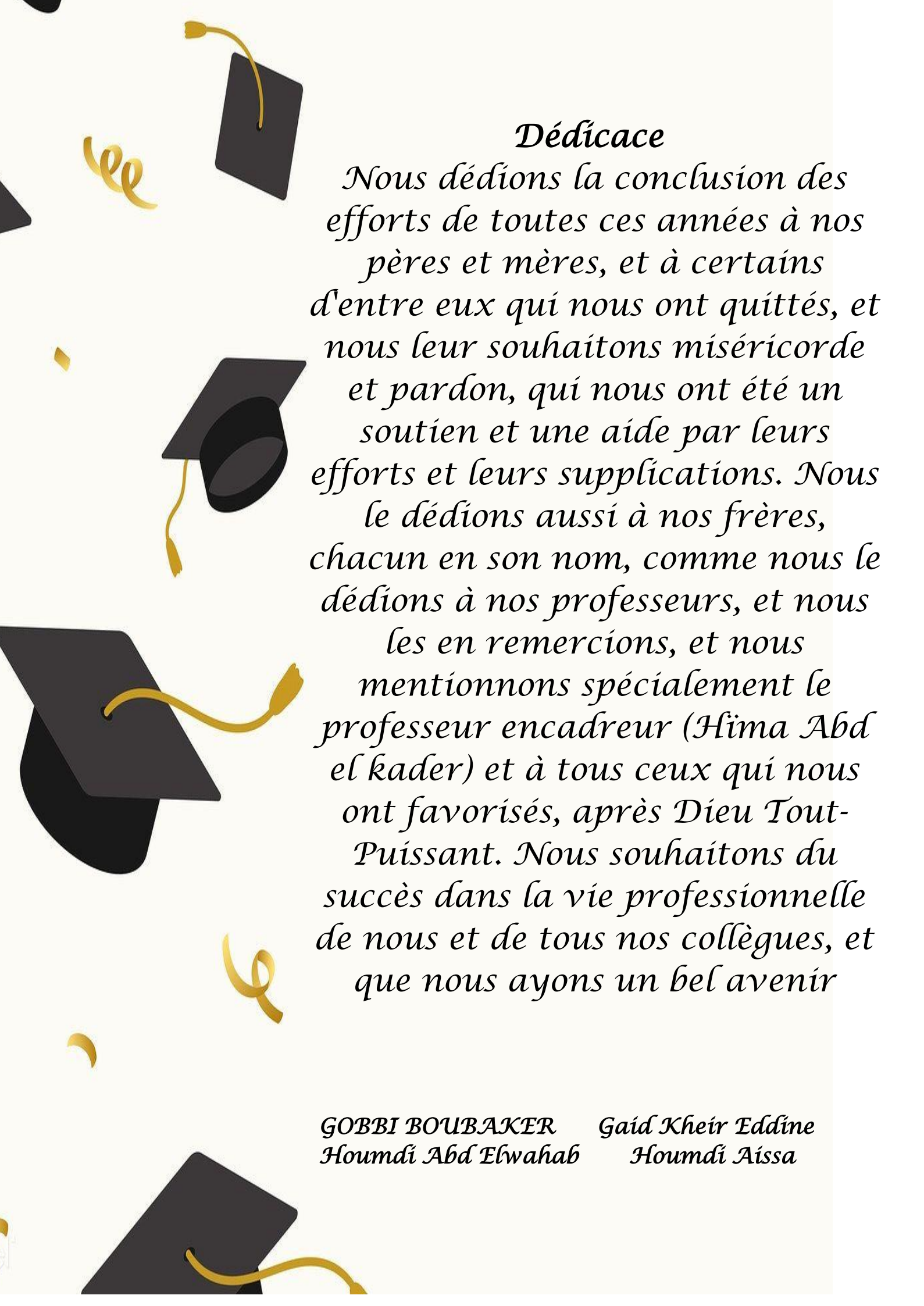
Président

Mr. Elayeb Ismael

....

Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2021/2022

The background of the page is decorated with several black graduation caps (mortarboards) with gold tassels, and gold streamers or ribbons. The caps are positioned at various angles, some appearing to be tossed or falling. The streamers are also scattered, adding a festive, celebratory feel to the design.

Dédicace

Nous dédions la conclusion des efforts de toutes ces années à nos pères et mères, et à certains d'entre eux qui nous ont quittés, et nous leur souhaitons miséricorde et pardon, qui nous ont été un soutien et une aide par leurs efforts et leurs supplications. Nous le dédions aussi à nos frères, chacun en son nom, comme nous le dédions à nos professeurs, et nous les en remercions, et nous mentionnons spécialement le professeur encadreur (Hima Abd el kader) et à tous ceux qui nous ont favorisés, après Dieu Tout-Puissant. Nous souhaitons du succès dans la vie professionnelle de nous et de tous nos collègues, et que nous ayons un bel avenir

*GOBBI BOUBAKER
Houmdî Abd Elwahab*

*Gaïd Kheir Eddîne
Houmdî Aïssa*

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je tiens tout d'abord à exprimer notre gratitude au cadreur de ce message, M. Hima Abdelkader, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses conseils avisés, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons également à remercier les professeurs de l'Université El Oued qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études de premier cycle.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos travaux.

SOMMAIRE

Sommaire

	Page
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	
Listes des symboles et abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I: Généralité Sur Semi-conducteur	
I.1. Introduction	4
I.2. Définition des semi-conducteurs	4
I.2.1 Éléments semi-conducteurs	4
I.3. Les propriétés électrique des semi-conducteur	5
I.3.1. Conductivité électrique	5
I.3.2.L'effet des facteurs climatiques sur les cellules solaires photovoltaïques	7
I.3.2.1. L'effet du rayonnement solaire sur le rendement d'une cellule solaire photovoltaïque	7
I.3.2.2.L'effet de la température de l'environnement extérieur sur la tension et le courant d'une cellule solaire photovoltaïque	8
I.4 Types de semi-conducteurs	8
I.4.1 Semi-conducteurs intrinsèques(purs)	8
I.4.2 Semi-conducteurs extrinsèques	10
I.4.3.La différence entre les semi-conducteurs internes et externes	13
I.5. Bandes d'énergie	14
I.5.1.En physique des semi-conducteurs	14
I.6 . Jonction PN	16
I.6.1. Le mouvement des électrons dans la jonction (P – N)	16
I.6.2.La tension du diaphragme dans la double jonction	17
I.6.3.Le passage du courant électrique à travers la jonction P-N	17
I.7.Conclusion	18
Chapitre II : Généralités Sur Les Cellules Solaires	
II.1.Introduction	20
II.2. Définition d'une cellule solaire PV ou l'effet photovoltaïque	20
II.2.1. Le principe de l'effet photovoltaïque	20
II.3. Rayonnement solaire	21
II.4 . Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	24

II.4.1.Dessiner les caractéristiques de la cellule photovoltaïque	24
II.5. Différentes technologies de cellules photovoltaïques	25
II.6. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	24
II.7.La relation de pérovskite avec les cellules solaires	27
II.7.1.Histoire	27
II.7.2. Structure cristalline générale de pérovskite	28
II.7.3.Cellules solaires en pérovskite	28
II.8. Conclusion	28
Chapitre III : Présentation Du Logiciel SCAPS-1D	
III.1.Introduction	30
III.2. bases de l'interface de scaps	30
III. 3. Division de l'interface principal	31
III.3.1. Ouvrir le logiciel SCAPS	32
III.3.2. Définir le problème	32
III.3.3. Définir le point de fonctionnement	33
III.3.4. Sélection des mesures à simuler	34
III.3.5. Lancer le calcule	34
III.3.6.énoncer les courbes simulées	35
III.3.7.Les courbes I-V	36
III.4. Couches de cellules solaires dans les SCAP	37
III.4.1.Couches de cellules	37
III.4. 2. Propriétés des couches	38
III.5. Conclusion	38
Chapitre IV : Simulation de MASnl3 cellules solaires, résultats et discuter	
IV.1. Introduction	40
IV.2. Simulation par Scaps	40
IV.3. Les paramètres du dispositif étudié	40
IV.3.1 La forme des couches cellulaires étudiées	40
IV.3.2. Propriétés des couches	41
IV.3.3. Cellule de base	41
IV.4.Étapes de simulation	42

IV.5. Conclusion	48
Conclusion générale	50
Référence	52
Résumé	54

liste de figure

	Page
Figure. I.1: Conductivité électrique à température ambiante de quelque corps solides	6
Figure I.2. Effet de l'intensité du rayonnement solaire sur la courbe de fonctionnement des panneaux solaires lorsque la température des cellules solaires est constante	7
Figure I.3.L'effet de la température de l'environnement extérieur sur la courbe de fonctionnement du panneau solaire	8
Figure I.4.Structure cristalline du Silicium pur	9
Figure I.5.Densité des porteurs intrinsèques en fonction de la température	10
Figure I.6.Dopage d'un monocristal de silicium par un atome de Aluminium, dopage donneur de type-p	11
Figure I.7.Dopage d'un monocristal de silicium par un atome de Arsenic, dopage donneur de type-n	12
Figure I.8. Formation des bandes d'énergie pour les électrons d'atomes de Si arrangés en mailles cristallines de type diamant	15
Figure I.9.Le mouvement des électrons dans la jonction (P – N)	17
Figure I.10.Le Le passage du courant électrique à travers la jonction P-N	18
Figure II.1: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	21
Figure II.2 : Rayonnement solaire	22
Figure II. 3: Analyse spectrale du rayonnement solaire	22
Figure II.4 : Différentes positions de soleil	23
Figure II.5: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque-Pour la cellule idéale	24
figure II.6. représente la structure cristalline générale de la pérovskite	28
Figure III.1 : Fenêtre d'exécution « Action Panel »du logiciel SCAPS	31
Figure III. 2: Ajouter une couche	32
Figure III. 3: Modifier les propriétés du calque	33
Figure III. 4: Le point de fonctionnement	33

Figure III. 5:Sélection des mesures à simuler	34
Figure III.6 : Panneau des bandes d 'énergie	35
Figure III.7 : Panneau d 'affichage des courbes I-V en éclairage et l'obscurité	36
figure III.8.Ajoutez une couche à la cellule solaire	37
Figure III.9: Propriétés de la couche	38
Figure VI. 1: La forme des couches cellulaires étudiées	40
Figure IV.2: réglage de la température T	42
Figure IV.3: caractéristiques des cellules à enregistrer	42
Figure IV. 4 : Variation du paramètres photovoltaïques (Voc, Jsc, FF et η) avec les changements de température cas1	44
Figure IV. 5 : Courbe I-V cas1	44
Figure IV. 6 : Variation du paramètres photovoltaïques (Voc, Jsc, FF et η) avec les changements de température cas2	47
Figure IV. 7 : Courbe I-V cas2	48

Liste de tableau

	Page
Tableau I.1: Les éléments des semi-conducteurs dans le tableau périodique	4
Tableau I.2 : Exemples des semi-conducteur	5
Tableau I.3 : La différence entre les semi-conducteurs internes et externes	13
Tableau II.1 : Performances des différentes technologies des cellules photovoltaïques	26
Tableau IV.1 : Propriétés des couches	41
Tableau IV.2 :Cellule de base	41
Tableau IV.3 Résultats des propriétés des cellules	43
Tableau IV.4 : Propriétés des couches	46
Tableau IV.5 Résultats des propriétés des cellules	47

Listes des symboles et abréviations

PCE	Power conversion efficiency
AsGa	Gallium Arsenide
PGa	Phosphide Gallium
SbGa	Phosphide Gallium
Si	Silicon Ge Germanium
GaAs	Arsenide Gallium permittivité électrique
ϵ_0, ϵ_r	Permittivité du vide, permittivité relative du Matériau
MASnCl₃	CH ₃ NH ₃ SnCl ₃
∇	Opérateur Nabla
Ψ	potentiel électrostatique
ρ	densité volumique nette de charges libres
D_n / D_p	Constante de diffusion des électrons et des trous respectivement, les coefficients d'Einstein.
G_n .R_n	Les taux de génération pour les électrons et les trous
	par des agents externes
μ_n, μ_p	Mobilité des électrons et des trous respectivement
n	Concentration des électrons et des trous respectivement
K	constante de Boltzmann
T	la température
N_{ie}	Densité de porteurs libres intrinsèques
N_c(T), N_v(T)	Densité des états dans la couche de conduction états dans la couche de valence
J_{sc}	densité du courant de court-circuit
V_{oc}	Tension de circuit ouvert
FF	Facteur de forme
P_{max}	Puissance maximale
P_{in}	puissance lumineuse incidente
I_{cc}	courant de court-circuit
I_{ph}	la densité de courant photogénéré
I_{obs}	la densité de courant d'obscurité.
I_{ph}	courant photogénéré
I_E	courant d'éclairement
I_{obs1} et I_{obs2}	courant de diode
I_P	courant dans la résistance parallèle.
T_c	température absolue
R_o	résistance interne de la diode en polarisation externe

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Introduction générale

Avec l'escalade de la crise climatique mondiale qui fait la une des journaux tous les jours avec l'asphyxie croissante du monde par le dioxyde de carbone, tout le monde sait que les combustibles fossiles dont dépendent la plupart des pays pour la production d'énergie s'épuiseront un jour. Par conséquent, les énergies renouvelables sont considérées comme un sauveur pour la terre.

Les énergies renouvelables ont offert un nouvel espoir et devraient conduire l'avenir du monde en réduisant les catastrophes climatiques, les conflits sur les ressources et les émissions de gaz toxiques. actuellement, il est devenu l'une des références pour mesurer le progrès et le développement des pays, leurs investissements dans les sources d'énergie alternatives et renouvelables, aujourd'hui, de nombreuses entreprises considèrent les énergies renouvelables comme l'une de leurs principales activités au début, les énergies renouvelables étaient très chères partout dans le monde et il a fallu de nombreuses années pour rattraper et concurrencer les énergies fossiles.

La croissance des énergies renouvelables réduira la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles, ce qui signifie moins de pollution pour l'environnement et donne moins de contrôle aux grandes entreprises et aux pays qui monopolisent le marché de l'énergie et contrôlent les prix.

Les années précédentes ont été marquées par une croissance remarquable de l'augmentation de la dépendance à l'égard des énergies renouvelables grâce à l'achèvement de plusieurs centrales solaires, et davantage d'investissements ont été réalisés. des fonds dans ce secteur. Ce qui a entraîné une baisse de son prix, ce qui a bien contribué à sa généralisation. Le secret du grand succès des énergies renouvelables tient au soleil. Les systèmes solaires sont une forme d'énergie renouvelable. Il contribue également à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à favoriser un environnement plus propre et à intensifier les efforts de lutte contre le changement climatique. l'énergie propre générée par le soleil est incluse dans de nombreux domaines d'intérêt pour les pays du monde, tels que l'éclairage, le chauffage et le chauffage de l'eau, la production d'électricité, le dessalement de l'eau de mer et la gestion des transports.

Des méthodes améliorées de stockage de l'énergie solaire peuvent également améliorer la résilience et la capacité de charge du réseau électrique. En stockant l'énergie supplémentaire des journées ensoleillées, les batteries solaires fournissent de l'énergie par temps nuageux ou lorsque les tempêtes coupent les lignes électriques conventionnelles.

Avec le développement de la science et de la technologie à notre époque, une classe de matériaux appelés pérovskite est apparue comme une alternative prometteuse au silicium pour fabriquer des cellules solaires à haut rendement, car pérovskite présente des avantages intéressants car il est moins cher à fabriquer que cellules de silicium. Cependant, il n'est pas sans inconvénients, car la plupart d'entre eux contiennent du plomb, qui est très toxique.

C'est pourquoi l'une des grandes tendances de la recherche sur la pérovskite est devenue de s'éloigner de l'utilisation du plomb dans sa fabrication et de trouver de nouveaux matériaux non toxiques et plus stables.

Dans notre note, nous parlerons d'un des matériaux utilisés dans les cellules solaires, qui est ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$), où nous étudierons les différentes propriétés de ce matériau afin d'atteindre le rendement le plus élevé possible.

Dans cette lettre, nous avons divisé le travail en chapitres :

- Le premier chapitre fournit des Généralité Sur Semi-conducteur.
- Chapitre 2, informations générales sur les cellules solaires.
- Dans le troisième chapitre, nous avons présenté le logiciel de simulation utilisé SCAPS-1D .
- Et dans le dernier chapitre, des discussions sur la simulation et l'amélioration Etude de cellules solaires photovoltaïques utilisant Programme SCAPS, dans le but d'obtenir les meilleurs résultats possibles Et la moins chère de ces classes.

Enfin, nous terminons cette lettre par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité Sur Semi-conducteur



I. Généralité Sur Semi-conducteur :

I.1. Introduction :

Actuellement, les cellules solaires à semi-conducteurs représentent une grande partie du marché des cellules solaires. En particulier, les cellules solaires au silicium représentent plus de 80 % du marché, et les cellules solaires à couches minces, en particulier celles constituées de sélénium de cuivre, d'indium et de gallium ou de tellure de cadmium et de sulfure de cadmium, sont les deuxièmes sur le marché. Les cellules solaires organiques sont une technologie émergente prometteuse.

Les semi-conducteurs comme le silicium sont excellents pour convertir certaines longueurs d'onde de la lumière, mais pas toutes, en électricité. La gamme de longueurs d'onde qu'un semi-conducteur peut utiliser pour générer de l'électricité dépend d'une propriété inhérente au matériau, appelée bande interdite. Lorsque ces matériaux absorbent des longueurs d'onde d'énergie supérieures à celles spécifiées dans cette plage, l'énergie est perdue sous forme de chaleur.

Les cellules solaires pourraient fonctionner plus efficacement et produire plus d'électricité si les scientifiques pouvaient étendre cette gamme de longueurs d'onde.

Dans ce chapitre, nous expliquerons les bases et les propriétés électriques pour les semi-conducteurs.

I.2. Définition des semi-conducteurs :

Les semi-conducteurs sont un groupe de solides cristallins, qui ont la capacité de conduire l'électricité, étant classés entre les métaux conducteurs d'électricité et les isolants conducteurs d'électricité. Ils diffèrent des matériaux conducteurs en ce que le degré de leur conductivité peut être contrôlé en ajoutant des impuretés d'éléments spécifiques dans leur structure cristalline ,On sait que les conducteurs les plus couramment utilisés sont : le germanium et le silicium.[1]

I.2.1 Éléments semi-conducteurs :

Le tableau suivant (tableau II.1) montre un certain nombre d'éléments semi-conducteurs dans le tableau périodique :

II	III	IV	V	VI
	B	C	N	
	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In	Sn	Sb	Te

Tableau I.1: Les éléments des semi-conducteurs dans le tableau périodique.

Le tableau (II.2) donne quelques exemples de matériaux ou de composés semi-conducteurs qui existent dans la faisabilité périodique des éléments.

Colonne		Semi-conducteur
IV		Ge, Si
III-V	binaire	GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb
	ternaire	$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{GaAs}_y\text{P}_{1-y}$
	quaternaire	$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
II-VI	binaire	CdS, HgTe, CdTe, ZnTe, ZnS
	ternaire	$\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Tableau I.2 : Exemples des semi-conducteur[1]

I.3. Les propriétés électrique des semi-conducteur :

I.3.1. Conductivité électrique :

La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique par le mouvement d'électrons ou d'ions libres ou les deux. Et son symbole (σ) ou c'est une propriété importante de tout matériau et représente sa capacité à transférer des charges électriques d'un endroit à un autre, et il reflète la capacité d'un matériau à y faire passer du courant et est exprimé par George Ohm dans La loi d'Ohm dans sa formule magnétique, qui est une forme modifiée de la loi électrique comme suit :

Où :

- E est l'intensité du champ électrique (Volt/mètre).
- J est la densité de courant électrique (Ampère/m²).
- L'unité de conductivité est (Ampère / m. volt).

Les semi-conducteurs, qui se situent entre les matériaux conducteurs et isolants en termes de résistance électrique, c'est-à-dire qu'ils ont une conductivité électrique moyenne, car ils sont utilisés dans la fabrication de divers types d'appareils électroniques, notamment : les diodes, les transistors et les circuits intégrés, qui ont trouvé une large application en raison de; Pour leur efficacité énergétique, leur fiabilité et leur faible coût, les matériaux semi-conducteurs sont également utilisés dans la fabrication de dispositifs de puissance et de capteurs optiques, et ces matériaux sont rapidement affectés par la température tandis que augmenter conductivité électrique (σ) , dont des exemples : l'atome de silicium Si, le germanium Ge , étain Sn, sélénium Se et tellure Te.

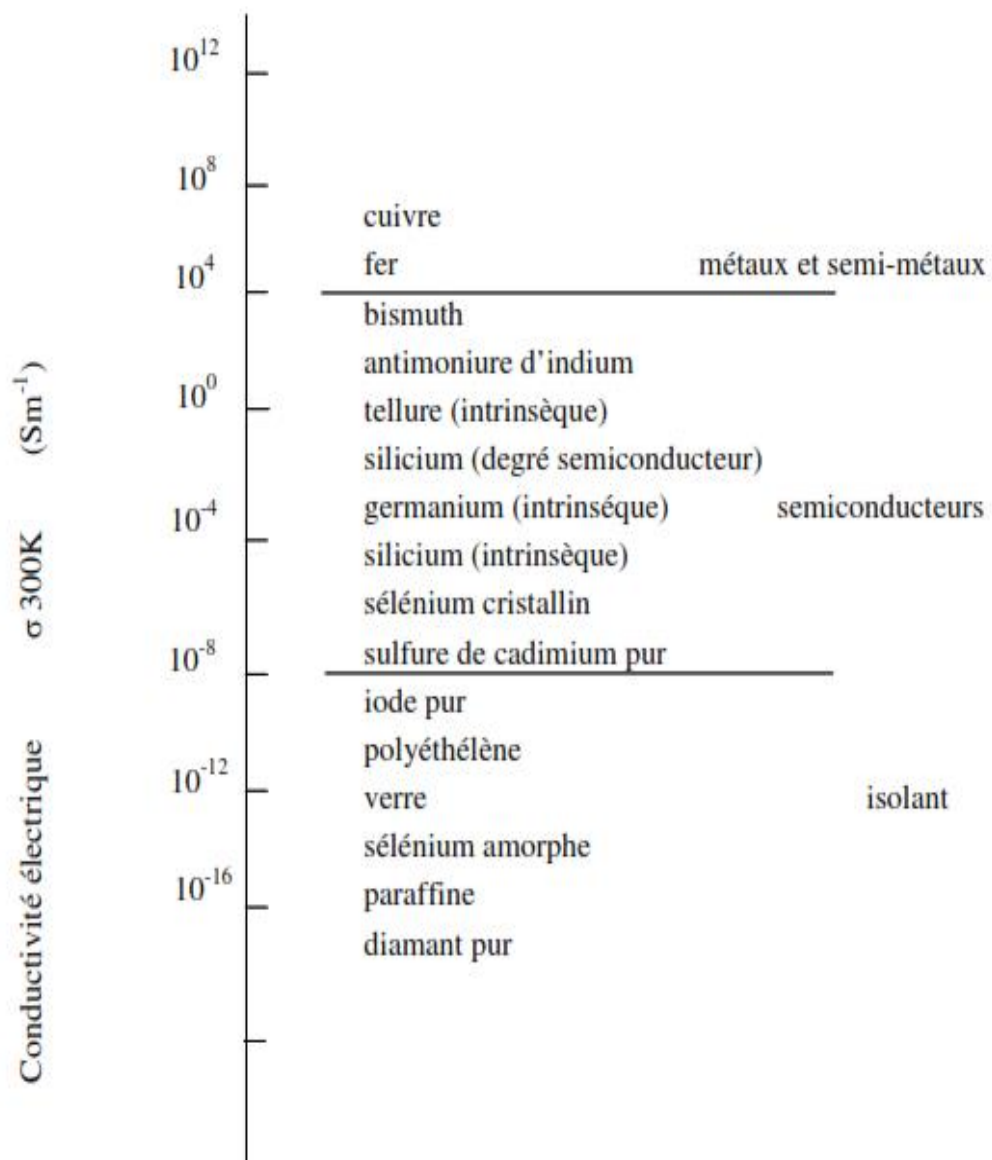


Figure. I.1: Conductivité électrique à température ambiante de quelque corps solides.

I.3.2.L'effet des facteurs climatiques sur les cellules solaires photovoltaïques:

L'intensité du rayonnement solaire, la température de l'océan et le mouvement du vent sont les principales influences climatiques sur la cellule solaire. Ces facteurs climatiques affectent le rendement de la cellule solaire photovoltaïque (tension - courant - et point de puissance maximale). Ces facteurs affectent également la température interne de la cellule solaire, qui à son tour affecte la sortie de la cellule solaire.

I.3.2.1. L'effet du rayonnement solaire sur le rendement d'une cellule solaire photovoltaïque :

Le rendement d'une cellule solaire photovoltaïque en silicium monocristallin et poly cristallin dépend de l'intensité du rayonnement solaire incident, qui se mesure en wat/m^2 . Le courant de sortie de la cellule solaire augmente à mesure que l'intensité du rayonnement solaire augmente. Quant à la tension en circuit ouvert de la cellule solaire, elle s'élève presque à sa valeur la plus élevée avec le début de l'apparition du soleil, c'est-à-dire lorsque l'intensité du rayonnement solaire est inférieure à 100 watts / m^2 , où la tension de sortie de la le circuit ouvert passe de $V 0,0 \text{ volt}$ à $V 0,5 \text{ volt}$. Cette valeur augmente logarithmiquement jusqu'à une valeur d'environ $70,6 \text{ volts}$ lorsque l'intensité du rayonnement solaire varie entre $(100-1000) \text{ wat/m}^2$. Quant au courant de court-circuit, il augmente linéairement avec l'intensité du rayonnement solaire et sa valeur dépend de la surface de la cellule solaire. L'intensité du rayonnement solaire affecte indirectement la tension et le courant de la cellule solaire, puisque la valeur élevée de l'intensité du rayonnement solaire conduit à une élévation de la température de la cellule solaire, comme cela sera expliqué plus loin. La figure II.2. montre l'effet de l'intensité du rayonnement solaire sur la courbe de fonctionnement du panneau solaire lorsque la température de la cellule solaire est constante.

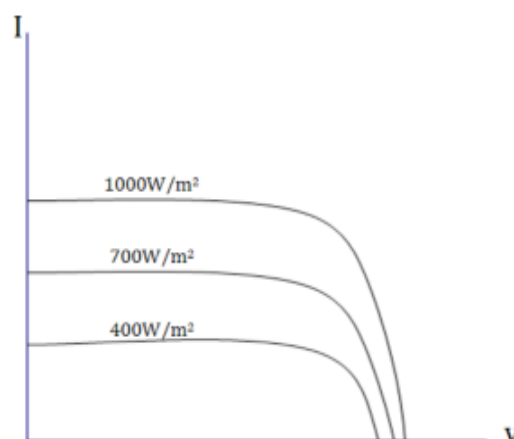


Figure I.2. Effet de l'intensité du rayonnement solaire sur la courbe de fonctionnement des panneaux solaires lorsque la température des cellules solaires est constante[.

I.3.2.2.L'effet de la température de l'environnement extérieur sur la tension et le courant d'une cellule solaire photovoltaïque :

L'augmentation de la température de l'environnement extérieur entraîne une augmentation de la température de la cellule solaire, qui à son tour entraîne une diminution de la tension en circuit ouvert et un courant de court-circuit élevé de la cellule solaire. La tension en circuit ouvert diminue de 2,3 mV/OC lorsque l'intensité du rayonnement solaire est constante.

De plus, le courant de court-circuit dépasse sa valeur à une température de 25 degrés Celsius de 0,05% chaque fois que la température de la cellule augmente d'un degré Celsius, et pour la petitesse de ce pourcentage, l'effet de la chaleur peut être négligé dans le calcul de la relation de la l'intensité du rayonnement solaire au courant de court-circuit, en particulier lorsque la température du panneau solaire change dans la plage normale de (20-60) degrés Celsius. La figure II.3. montre l'effet de la température du milieu extérieur sur la courbe de fonctionnement du panneau solaire.

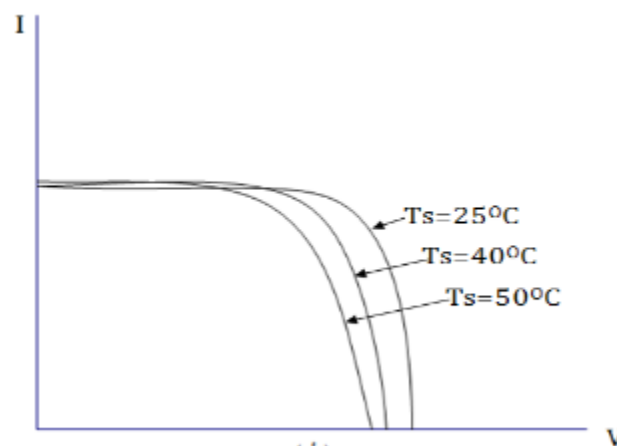


Figure I.3.L'effet de la température de l'environnement extérieur sur la courbe de fonctionnement du panneau solaire.

I.4 Types de semi-conducteurs :

I.4.1 Semi-conducteurs intrinsèques(purs) :

Il est impossible de créer des semi-conducteurs intrinsèques totalement purs parce qu'à un certain point pendant le processus de croissance les impuretés contaminent le matériel [2]. Si un lien de semi-conducteur intrinsèque est cassé, un électron libre et un trou sont créés simultanément, de même, si un électron est excité de la bande de valence à la bande de conduction alors un trou sera simultanément créé dans la bande de valence [3]. On peut considérer que le trou s'est déplacé par combinaisons d'électrons. La structure cristalline du silicium pur est présentée dans la figure :

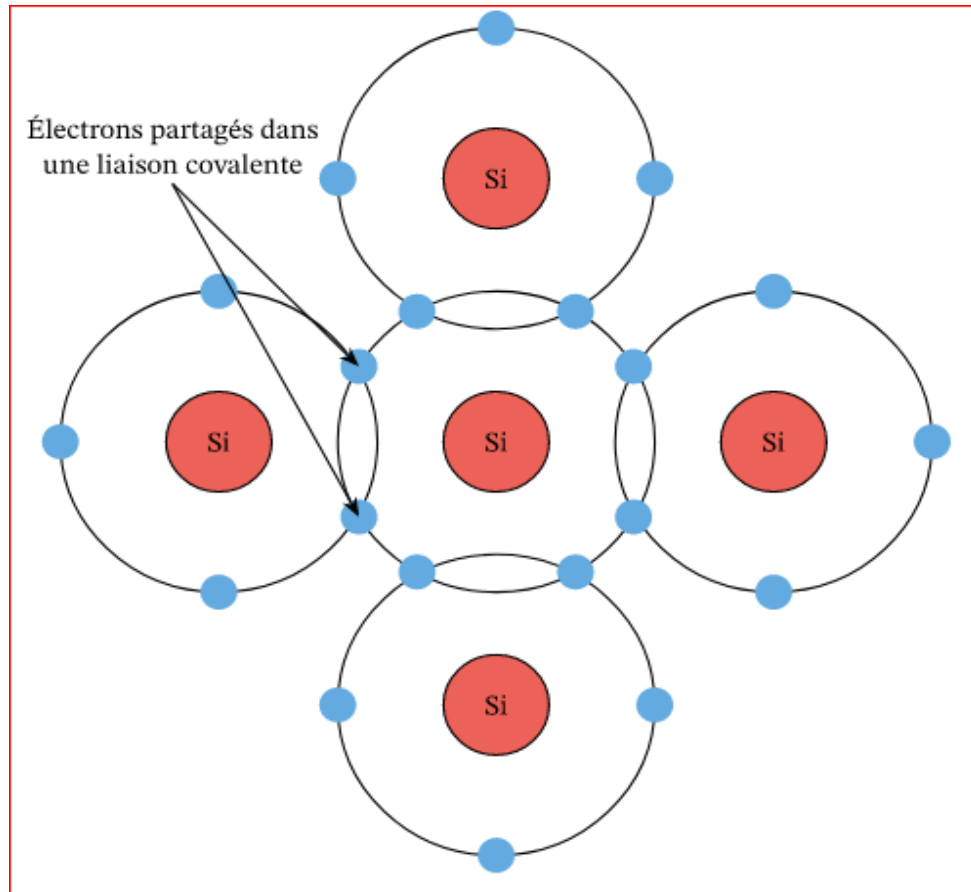


Figure I.4. Structure cristalline du Silicium pur .

Ce type de semi-conducteur est chimiquement pur, constitué d'un seul type d'élément, le germanium (Ge) et le silicium (Si) étant les plus courants. Ils ont quatre électrons de valence (tétravalents) liés à l'atome par une liaison covalente à température zéro absolu, lorsque des collisions se produisent, la température augmente et les électrons deviennent libres de se déplacer à travers le réseau, ce qui conduit à l'absence de sa position d'origine (Le trou).

Ces électrons et trous libres contribuent à la conduction de l'électricité dans les semi-conducteurs, maintenant les porteurs de charge négatifs et positifs sont en nombre égal, l'énergie thermique est capable d'ioniser quelques atomes dans le réseau, et donc sa conductivité est plus faible.

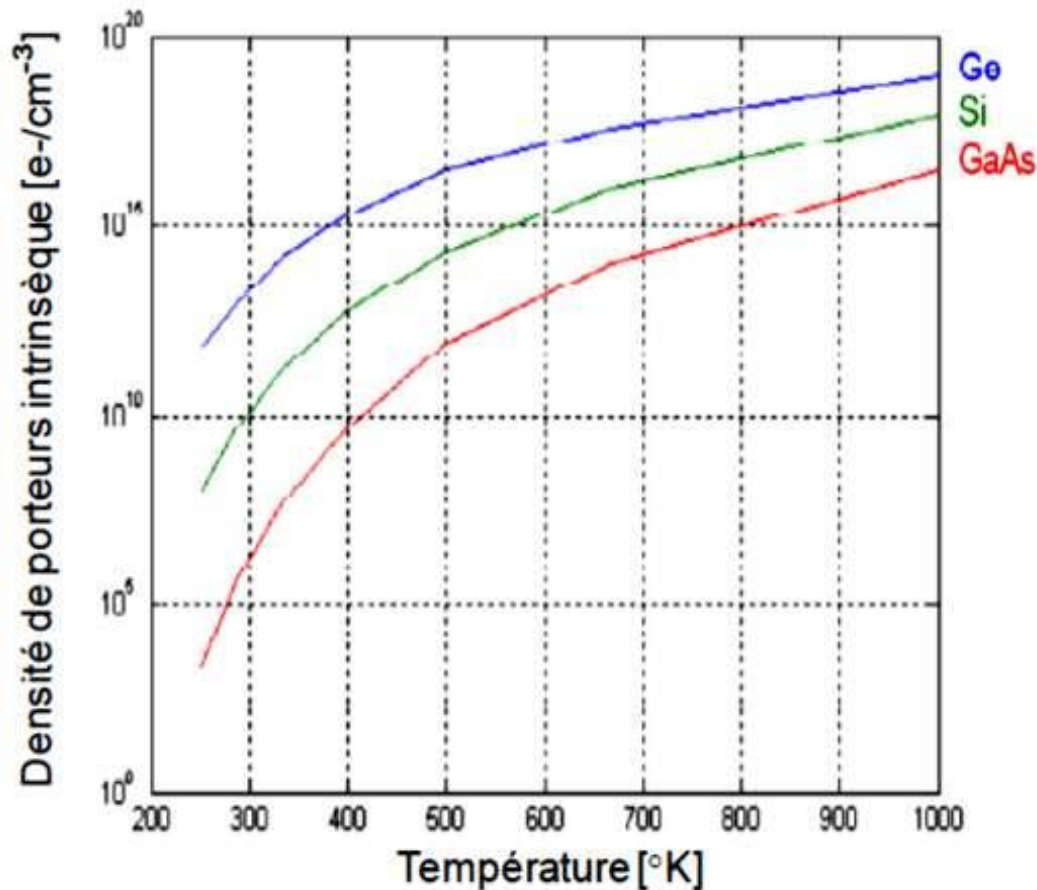


Figure I.5. Densité des porteurs intrinsèques en fonction de la température[2]

I.4.2 Semi-conducteurs extrinsèques:

Les semi-conducteurs extrinsèques sont ceux qui résultent de l'ajout d'impuretés à un semi-conducteur pur. Ceux-ci sont essentiellement appelés "forme impure de semi-conducteurs". Le processus par lequel une certaine quantité d'impuretés est fournie à un semi-conducteur pur est appelé dopage. Par conséquent, nous pouvons dire qu'un semi-conducteur pur est activé pour générer des semi-conducteurs exogènes.

Ceux-ci sont de nature hautement conductrice. Cependant, contrairement aux semi-conducteurs intrinsèques, les semi-conducteurs extrinsèques sont constitués de deux types de semi-conducteurs de type p et de type n. Il convient de noter ici que la classification des semi-conducteurs extrinsèques dépend du type d'élément d'activation d'un semi-conducteur pur. – Deux cas peuvent se présenter :

❖ Les dopants de type – p :

Un semi-conducteur de type (p) est formé en introduisant dans un semi-conducteur pur des éléments du groupe III ou des impuretés trivalentes. Celles-ci sont également appelées impuretés acceptrices, car l'impureté trivalente ne contient que 3 électrons dans la couche de valence.

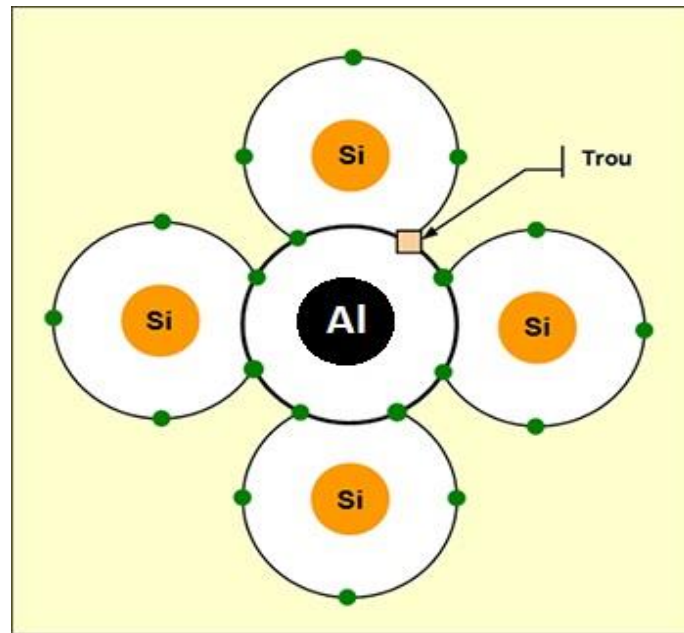


Figure I.6. Dopage d'un monocristal de silicium par un atome de Aluminium, dopage donneur de type-p.

accepteur de type-P :

Dans notre exemple, on prend l'atome d'aluminium (Al) qui est classé dans la troisième colonne du tableau périodique des éléments, La couche externe de cet atome, à l'avance, contient 3 électrons, qui sont attachés à 4 électrons de (Ge) ou (Si), et le troisième électron est libéré de (dopant). Ainsi, l'atome d'impureté donne un électron libre pour se lier dans le réseau, et la coque externe de cet atome devient 7 électrons de sorte que Il est illustré à la Figure II.6. intégré dans le réseau cristallin,

Lorsque les semi-conducteurs atteignent une température élevée, ils deviennent complètement libres une fois les liaisons rompues. Les électrons peuvent facilement traverser la bande interdite si l'énergie des électrons est grande et aller directement dans la bande de conduction. Lorsque l'électron se transforme en une bande de conduction de la bande de valence, un vide forme un trou, et ce trou équivaut à une charge négative.

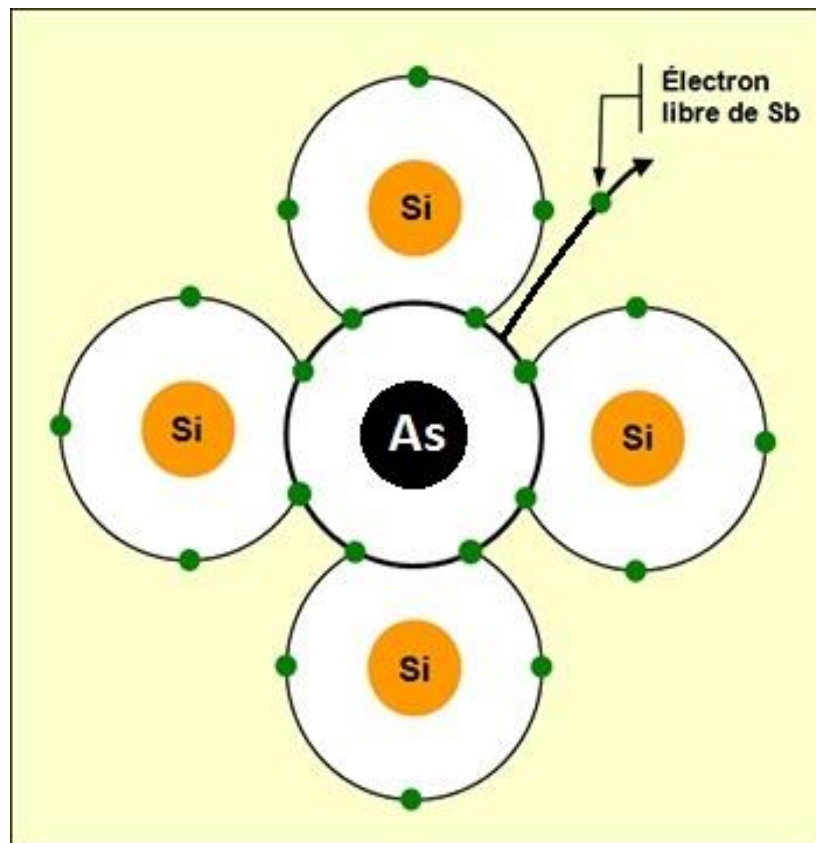


Figure I.7. Dopage d'un monocristal de silicium par un atome d'Arsenic, dopage donneur de type-n.

❖ Les dopants de type – n :

Dans le matériau de type-n, les électrons sont des porteurs majoritaires et les trous

Sont des porteurs minoritaires [3]. Dans notre exemple, on prend l'atome d'arsenic (As), qui est classé dans la cinquième colonne du tableau périodique des éléments,

La couche la plus externe de cet atome contient, à l'avance, 5 électrons, qui se lient avec quatre électrons de (Ge) ou (Si), le cinquième électron est libéré de (dopant). Ainsi, l'atome d'impureté donne un électron libre pour se connecter dans le réseau, et la coque externe de cet atome devient 9 électrons tels que Il est illustré à la Figure I.7. intégré dans le réseau cristallin.

Lorsque les semi-conducteurs atteignent une température élevée, ils deviennent complètement libres une fois les liaisons rompues. Les électrons peuvent facilement traverser la bande interdite si l'énergie des électrons est grande et aller directement dans la bande de conduction. Lorsque l'électron se transforme en une bande de conduction issue de la bande de valence, la lacune forme un trou, et ce trou équivaut à une charge positive et on l'appelle l'atome donneur

I.4.3. La différence entre les semi-conducteurs internes et externes :

Les semi-conducteurs internes et externes sont deux classifications de matériaux semi-conducteurs. La différence entre les semi-conducteurs intrinsèques et extrinsèques est que les semi-conducteurs intrinsèques sont la forme pure des matériaux semi-conducteurs.

Alors que les semi-conducteurs extrinsèques sont des semi-conducteurs impurs formés en ajoutant des impuretés à un semi-conducteur pur. Toutes les impuretés externes sont activées dans le cas d'un semi-conducteur interne tandis qu'un semi-conducteur externe est formé en ajoutant des impuretés trivalentes ou pentavalentes au matériau semi-conducteur.

Comparaisons	Semi-conducteur interne	Semi-conducteur externe
forme de semi-conducteur	Une forme pure de semi-conducteur.	Une forme impure d'un semi-conducteur.
conductivité	La conductivité est mauvaise.	Il a une conductivité relativement meilleure que les semi-conducteurs intrinsèques.
bande interdite	La bande interdite entre la conduction et la bande de valence est faible.	La bande interdite d'énergie est supérieure à celle du semi-conducteur intrinsèque.
Niveau de Fermi	C'est au milieu du trou d'énergie interdit.	La présence du niveau de Fermi varie selon le type de semi-conducteur extrinsèque.
Degré d'accréditation et de délivrance	La conduction dépend de la température.	La conductivité dépend de la concentration des impuretés activées et de la température.
concentration de porteurs	Il y a une quantité égale de "charges positives" d'électrons et de trous dans la bande de conduction et de valence.	La présence de la majorité des électrons et des trous "charges positives" dépend du type de semi-conducteur externe.
Taper	Pas encore évalué.	Ils sont classés en semi-conducteurs de type (p) et de type (n).
Exemples	(Si, Ge)	(GaAs, GaP)

Tableau I.3 : La différence entre les semi-conducteurs internes et externes .

I.5. Bandes d'énergie :

En physique du solide, les bandes d'énergie sont les bandes d'énergie dans un solide où il n'y a pas d'états électroniques. Dans les diagrammes de la structure de bande électronique des solides, la bande interdite fait généralement référence à la différence d'énergie (en électronvolts) entre le haut de la bande de valence et le bas de la bande de conduction dans les isolants et les semi-conducteurs. C'est l'énergie nécessaire pour augmenter l'électron de valence lié à un atome pour devenir un électron conducteur, qui est libre de se déplacer dans le réseau cristallin et agit comme un porteur de charge pour conduire le courant électrique.[4] Il est étroitement lié à l'écart HOMO/LUMO en chimie. Si la bande de valence est complètement pleine et la bande de conduction est complètement vide, les électrons ne peuvent pas se déplacer dans le solide ; Cependant, si certains électrons se déplacent de la valence vers la bande de conduction, le courant peut circuler (voir génération de porteurs et recombinaison). Par conséquent, la bande interdite est un facteur majeur dans la détermination de la conductivité électrique d'un solide. Les matériaux avec de grandes bandes interdites sont généralement des isolants, ceux avec des bandes interdites plus petites sont des semi-conducteurs, tandis que les conducteurs contiennent soit de très petites bandes interdites, soit aucune, car les bandes de valence et de conduction se chevauchent.

I.5.1.En physique des semi-conducteurs :

Chaque solide a sa propre structure de bande d'énergie distincte. Cette différence de structure de bande est responsable de la large gamme de propriétés électriques observées dans différents matériaux. Dans les semi-conducteurs et les isolants, les électrons sont limités à un certain nombre de bandes d'énergie et leur entrée est interdite dans d'autres. Le terme "bande interdite" fait référence à la différence d'énergie entre le haut de la bande de valence et le bas de la bande de conduction. Les électrons peuvent sauter d'un domaine à un autre. Cependant, pour qu'un électron saute d'une bande de valence à une bande de conduction, il lui faut une certaine énergie minimale pour se déplacer. La puissance requise varie selon les matériaux. Les électrons peuvent gagner suffisamment d'énergie pour sauter dans la bande de conduction en absorbant un phonon (chaleur) ou un photon (lumière).

Un semi-conducteur est un matériau à bande interdite de taille moyenne mais non nulle qui se comporte comme un isolant au zéro absolu mais permet l'excitation thermique des électrons dans sa bande de conduction à des températures inférieures à son point de fusion. En revanche, le matériau à large bande interdite est un isolant. Dans les conducteurs, les bandes de valence et de conduction peuvent se chevaucher, de sorte qu'elles peuvent ne pas avoir de bande interdite.

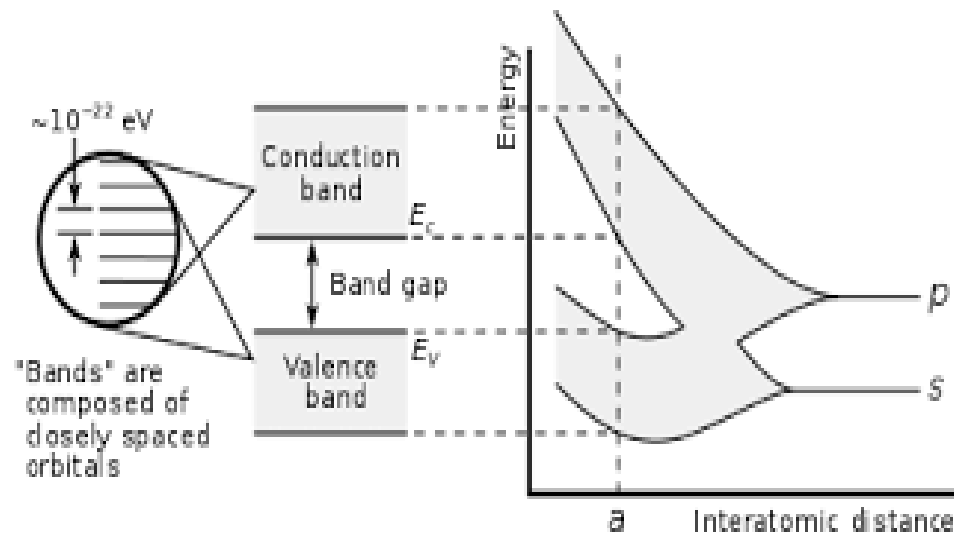


Figure I.8. Formation des bandes d'énergie pour les électrons d'atomes de Si arrangés en mailles cristallines de type diamant[7]

La conductivité d'un semi-conducteur autoconducteur dépend fortement de la bande interdite. Les seuls porteurs de charge disponibles pour la conduction sont les électrons qui ont suffisamment d'énergie thermique pour être excités à travers la bande interdite et les trous d'électrons qui restent lorsqu'une telle excitation se produit.

L'ingénierie de bande interdite est le processus de contrôle ou de modification de la bande interdite d'un matériau en contrôlant la composition de certains alliages semi-conducteurs, tels que GaAlAs, InGaAs et InAlAs. Il est également possible de construire des matériaux en couches avec des structures alternées grâce à des techniques telles que l'épitaxie par jet moléculaire. Ces méthodes sont exploitées dans la conception de transistors bipolaires hétérogènes (HBT), de diodes laser et de cellules solaires.

La distinction entre semi-conducteurs et isolants est une question de convention. Une façon consiste à considérer un semi-conducteur comme une sorte d'isolant avec une bande interdite étroite. Les isolants avec une bande interdite plus grande, généralement supérieure à 4 eV, ne sont pas considérés comme des semi-conducteurs et ne présentent généralement pas de comportement semi-conducteur dans des conditions pratiques. La navigation électronique joue également un rôle dans la détermination de la classification informelle de la matière.

L'énergie de la bande interdite des semi-conducteurs a tendance à diminuer avec l'augmentation de la température. Lorsque la température augmente, l'amplitude des vibrations atomiques augmente, ce qui entraîne un plus grand espacement entre les atomes. L'interaction entre les phonons du réseau et les électrons libres et les trous affectera également la bande interdite dans une moindre mesure. La relation entre

l'énergie de la bande interdite et la température peut être décrite par l'expression empirique de Varshni (du nom de YP Varshni),

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}$$

Où E et (0) et α Ce sont des constantes physiques.

Dans un cristal semi-conducteur ordinaire, la bande interdite est fixe en raison des états d'énergie continus. Dans un cristal à points quantiques, la bande interdite dépend de la taille et peut être modifiée pour produire une gamme d'énergies entre la bande de valence et la bande de conduction. Également connu sous le nom d'effet de confinement quantique.

I.6 . Jonction PN :

La jonction(P - N), sont constituées de deux plaquettes semi-conductrices, la première plaquette N dont la structure est riche en électrons (négative) et la deuxième plaquette P dont la structure propriété est riche en trous (positif). Il est fabriqué par un processus appelé dopage où un matériau d'impureté approprié est inséré dans une structure semi-conductrice telle que le silicium : il produit le type (N et le type P). La jonction est importante car c'est la pierre angulaire de la fabrication des diodes, des cellules solaires, des transistors dipôles, des photodiodes, des radiateurs, des lasers, des photodiodes, des transistors et autres. L'invention de la jonction P-N est due au physicien américain Russell Uhl Mann travaillant aux laboratoires Bell. Il existe une jonction Schottky, qui est un type particulier de liaison P-N, mais dans laquelle un métal agit comme un semi-conducteur de "type P".

I.6.1. Le mouvement des électrons dans la jonction (P – N) :

Il est possible de former un cristal à partir d'un matériau semi-conducteur contenant deux régions adjacentes, on a trouvé que l'une est de type négatif et l'autre de type positif. [6]

Le point de croisement ou le point de connexion entre ces deux régions adjacentes est appelé (le Jonction P - N). Comme sur la figure, à travers laquelle nous voyons que certains des électrons de la région négative se déplacent à travers la jonction pour combler certaines lacunes dans la région positive, et par conséquent une petite région se forme des deux côtés de la région de séparation, son épaisseur est d'environ (2) microns et s'appelle la barrière de potentiel A comme sur la figure.

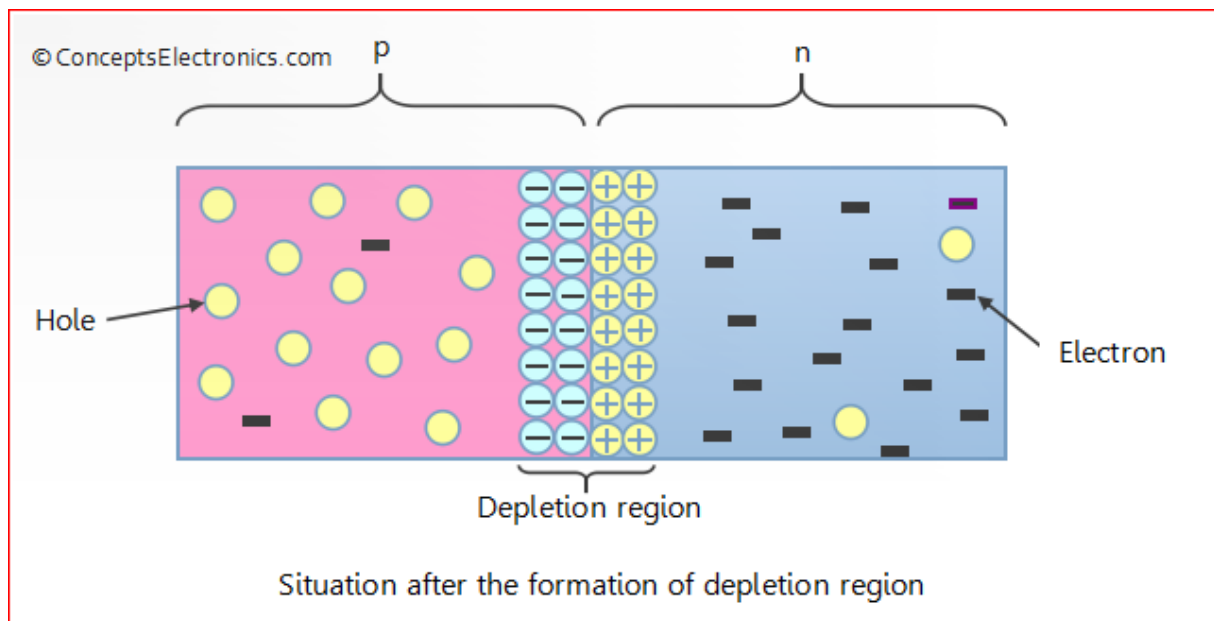


Figure I.9. Le mouvement des électrons dans la jonction (P – N).

I.6.2. La tension du diaphragme dans la double jonction :

On sait que les cristaux positifs et négatifs sont électriquement neutres avant la fusion, et à la suite de leur fusion, certains électrons sont perdus du cristal négatif, et le cristal positif gagne ces électrons, de sorte que le cristal négatif devient une tension positive et le cristal négatif a un potentiel négatif et, par conséquent, une différence de potentiel apparaît dans la région | Près du contact, elle augmente progressivement jusqu'à atteindre une certaine limite - cela suffit pour empêcher plus d'électrons de passer du cristal négatif au cristal d'onde. Cette différence de tension est appelée Barrière de Potentiel Interne et sa valeur est N_{in} (0,1 - 1 volt) Pratiquement pour le germanium | Elle est égale à 0,3 volt et pour le silicium elle est de 0,7 volt à température normale, et l'importance de cette différence de potentiel varie avec la température et le pourcentage d'impuretés ajoutées. En raison de la différence de sens de déplacement des électrons par rapport au sens de déplacement des trous positifs, un courant électrique passe dans la jonction | Dualité dans ce cas mais c'est un courant faible.[7]

I.6.3. Le passage du courant électrique à travers la jonction P-N :

À partir de la figure dessinée, notez la connexion, où la double jonction est connectée à une source de courant électrique (batterie) de sorte que l'électrode négative de la batterie se connecte au cristal négatif et l'électrode positive de la batterie au cristal positif Jonction.

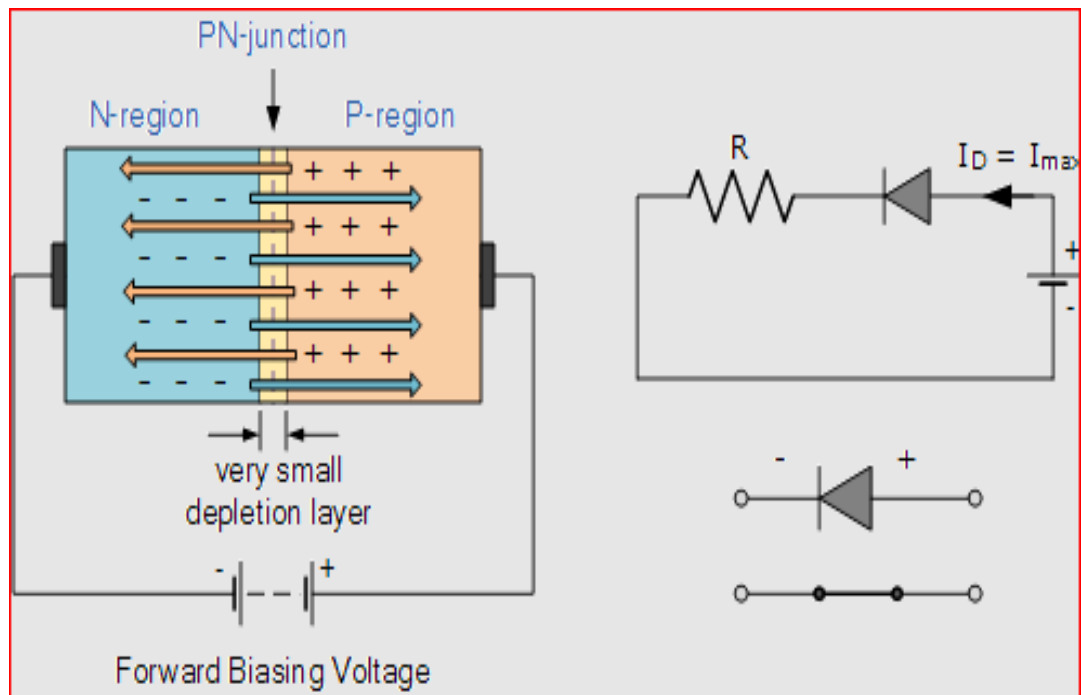


Figure I.10. Le passage du courant électrique à travers la jonction P-N .

Dans tous les cas, la jonction binaire ne laisse pas passer le courant électrique à moins que la tension de barrière ne puisse être surmontée.

I.7.Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons discuté de certains concepts et informations de base (éléments-propriétés-types...) sur les semi-conducteurs.

Et nous avons également expliqué le rôle et les types de dopage et leur relation avec les semi-conducteurs.

Chapitre II

Généralités Sur Les Cellules Solaires



II.1.Introduction :

La production d'énergie photovoltaïque est le processus de conversion des particules légères en électricité. Les panneaux solaires sont généralement constitués de plusieurs unités de cellules photovoltaïques constituées de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, qui forment un circuit électrique. Lorsque le panneau piège la lumière du soleil, des électrons sont émis et stockés sous forme de courant électrique.

Connue sous le nom de champ solaire, une centrale photovoltaïque est un système photovoltaïque à grande échelle destiné à alimenter le réseau électrique national. Ces stations se distinguent des panneaux solaires répartis sur les bâtiments en ce qu'elles fournissent de l'électricité en fonction du besoin de consommation attendu.

L'une des plus importantes sources d'énergie renouvelable est l'énergie solaire, dont nous parlerons dans ce chapitre.

II.2. Définition d'une cellule solaire PV ou l'effet photovoltaïque :

La production d'énergie photovoltaïque est le processus de conversion des particules légères en électricité. Les panneaux solaires sont généralement constitués de plusieurs unités de cellules photovoltaïques constituées de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, qui forment un circuit électrique. Lorsque le panneau piège la lumière du soleil, des électrons sont émis et stockés sous forme de courant électrique.

Connue sous le nom de champ solaire, une centrale photovoltaïque est un système photovoltaïque à grande échelle destiné à alimenter le réseau électrique national. Ces stations se distinguent des panneaux solaires répartis sur les bâtiments en ce qu'elles fournissent de l'électricité en fonction du besoin de consommation attendu.

II.2.1. Le principe de l'effet photovoltaïque:

Les cellules photovoltaïques n'ont pas nécessairement besoin de la lumière du soleil pour convertir la lumière en énergie électrique, car elles peuvent également convertir une source de lumière artificielle en énergie électrique . Les étapes de production d'énergie électrique par les cellules photovoltaïques sont les suivantes :

La lumière est absorbée par les électrons du matériau (généralement du silicium), ce qui entraîne la formation d'une paire électron-trou. La formation de paires électron-trou conduit à la séparation des particules chargées en négatif et positif. Les charges séparées génèrent une différence de potentiel, et donc un courant électrique est produit.[8]

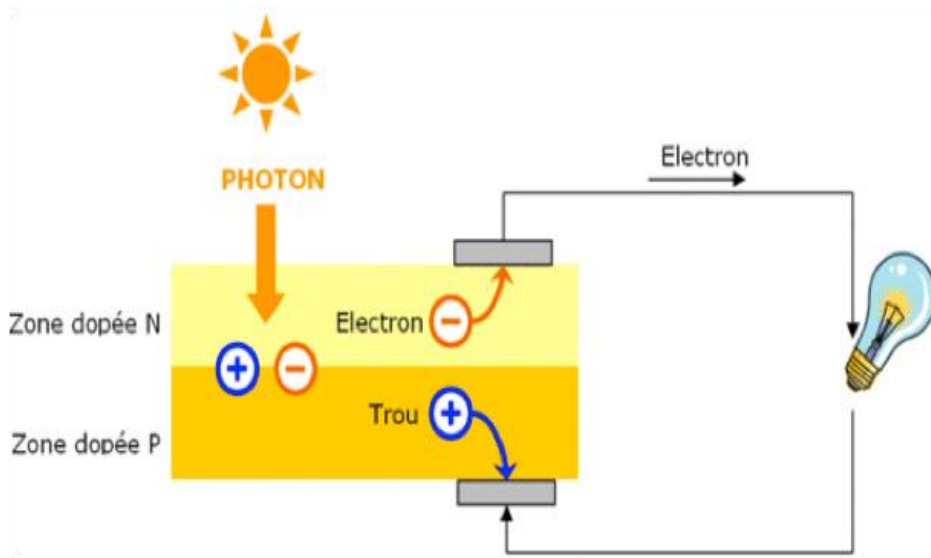


Figure II.1: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque[8]

II.3. Rayonnement solaire :

La source du soleil est la principale source d'énergie thermique à la surface de la terre et arrive sous forme d'ondes électromagnétiques.

Le rayonnement solaire est mesuré dans l'unité de calorie.

Il y a Différents types de rayonnement solaire(rayons gamma, rayons X ,rayons ultraviolets ,rayons visibles, rayons infrarouges, rayons radio)[9]

Les facteurs affectant le rayonnement solaire :

- Facteurs atmosphériques : Ils se manifestent par :

-Le processus de diffusion : résultant de la collision des rayons du soleil avec des particules en suspension dans l'atmosphère, de sorte que les grosses particules dispersent les grosses ondes, donnant la couleur blanche, tandis que les petites particules dispersent les petites ondes, donnant la couleur bleu, tandis que les gouttes de pluie donnent les couleurs de l'arc-en-ciel.

-Réflexion : processus de réflexion des rayons solaires dans les nuages et à la surface de la Terre.

-Processus d'absorption : Les gaz qui composent l'atmosphère absorbent le rayonnement solaire et le transforment en chaleur.

- Facteurs cosmiques : ils sont liés aux rayons qui tombent, où ils sont plus concentrés lorsqu'ils sont perpendiculaires et moins concentrés lorsqu'ils sont inclinés, et à l'épaisseur de l'atmosphère.

- En plus d'autres facteurs qui affectent le rayonnement solaire, tels que le facteur topographique et la direction des pentes...

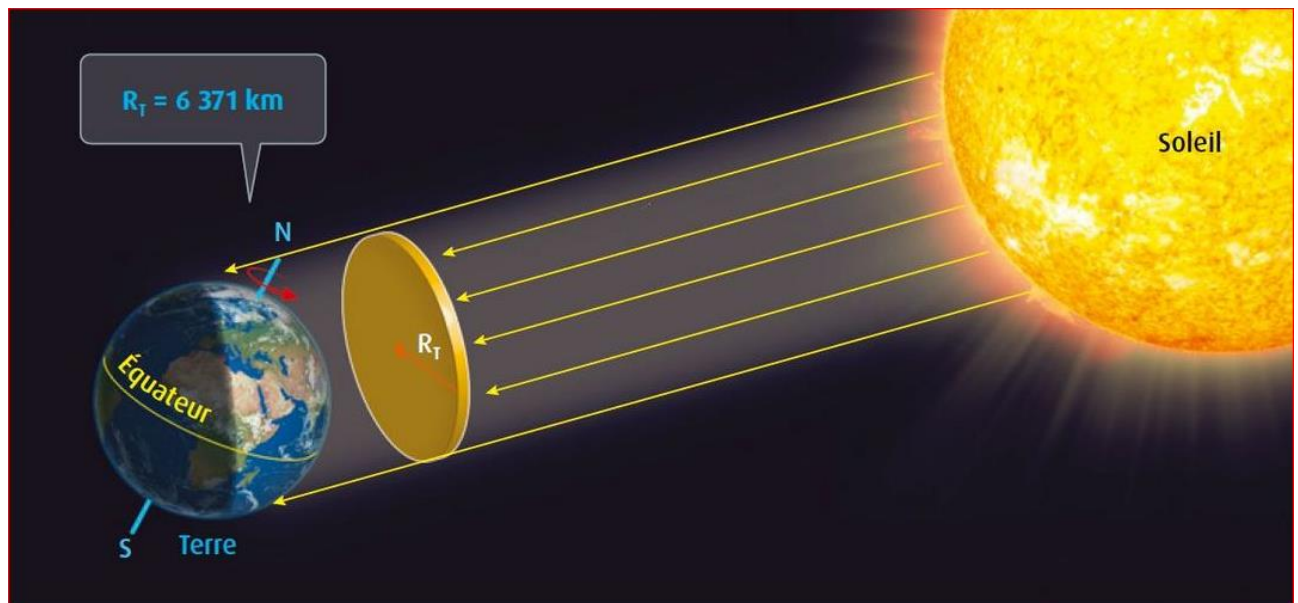


Figure II.2 : Rayonnement solaire.

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

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

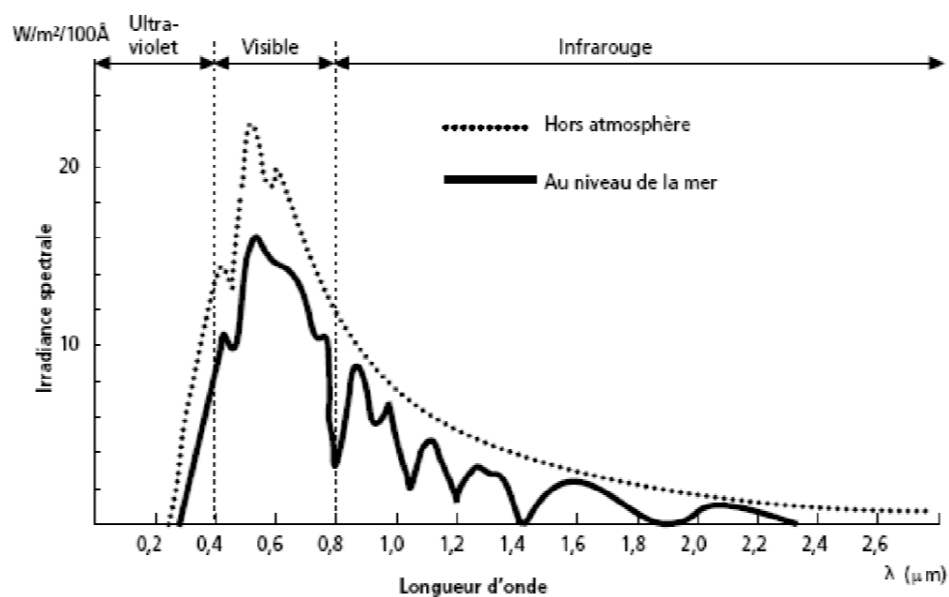


Figure II. 3: Analyse spectrale du rayonnement solaire.

La distribution du rayonnement solaire

- Région de Bidri : reçoit une part importante du rayonnement solaire à cause des rayons du soleil perpendiculaires deux fois à l'équateur et une fois au Tropique du Cancer et une fois au Tropique du Capricorne.

- espace extérieur Bi-orbital: Le pourcentage de rayonnement solaire diminue et diminue davantage à mesure que nous nous rapprochons des pôles en raison de l'inclinaison des rayons du soleil et du pourcentage élevé de réflexion, d'albédo.

L'air se déplace de la haute pression vers la basse, et il est formé par le vent, et ce dernier, dans son mouvement, transporte avec lui de la vapeur d'eau, provoquant des précipitations, soit thermiques, soit de terrain, soit aériennes, soit des turbulences ascendantes.

Définition de la position du soleil par rapport à la surface irradiée Dans le calcul du rayonnement solaire, l'angle du zénith θ_z est primordial car il permet de connaître l'angle formé entre la normale à la surface et les rayons du soleil. Dans le système de coordonnées horaires, il est exprimé par : $\cos(\theta_z) = \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)$ et la figure II.4 démontre. [10]

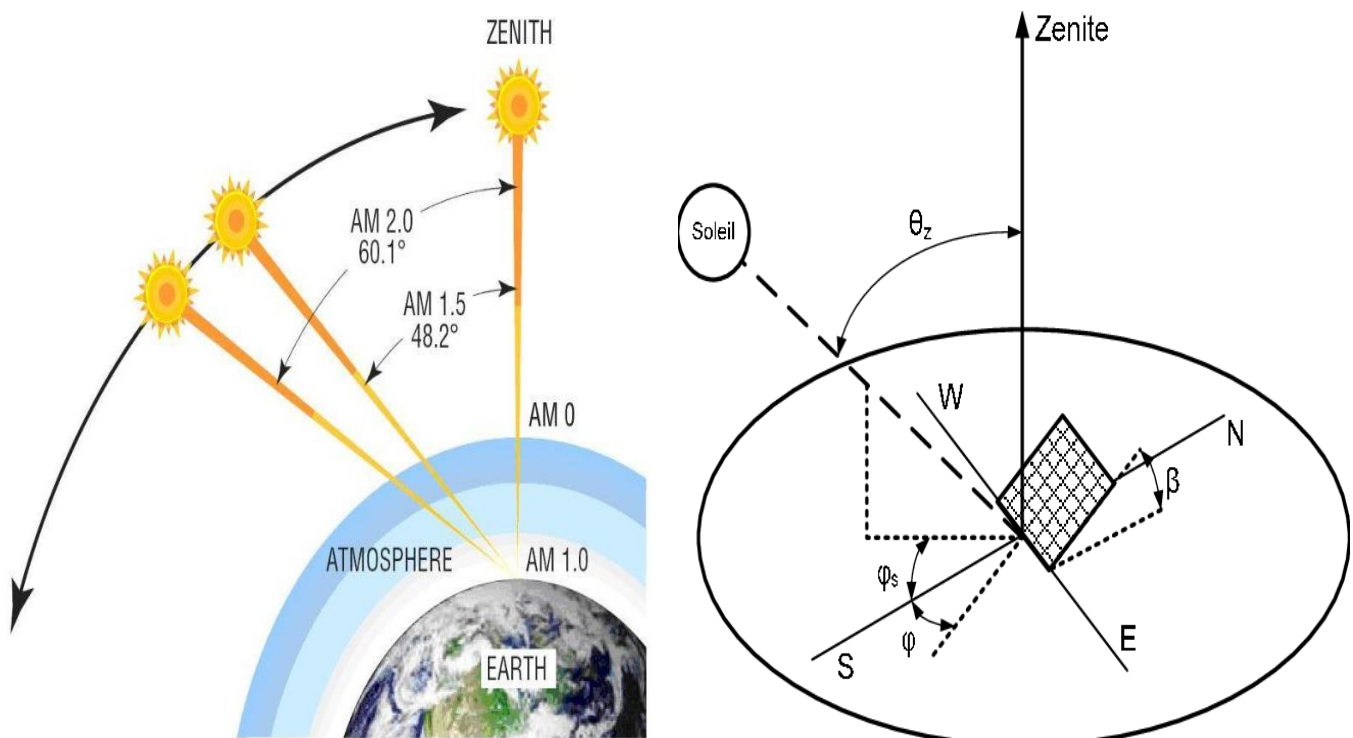


Figure II.4 : Différentes positions de soleil.

II.4 . Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

La cellule solaire a ses propres propriétés électriques, à partir d'une tension maximale qu'elle donne en cas de circuit ouvert, et d'un courant maximal en cas d'absence de charge, et d'une capacité électrique spéciale qui change avec la valeur de la charge, et ces les caractéristiques changent avec le changement des conditions extérieures telles que la température et l'intensité du rayonnement solaire, et elles changent également d'une cellule à l'autre .Mais c'est similaire en général.

II.4.1.Dessiner les caractéristiques de la cellule photovoltaïque :

La caractéristique la plus importante de la cellule solaire est la caractéristique voltampère, qui permet de connaître le courant et la tension fournis par la cellule à différentes charges, y compris en connaissant la capacité à ces charges. nous le changeons de zéro (l'état sans charge) à sa valeur maximale qui représente un circuit ouvert, avec une échelle de volts qui lui est connectée, et une échelle d'ampères en série pour mesurer la valeur de la tension et du courant à chaque changement.

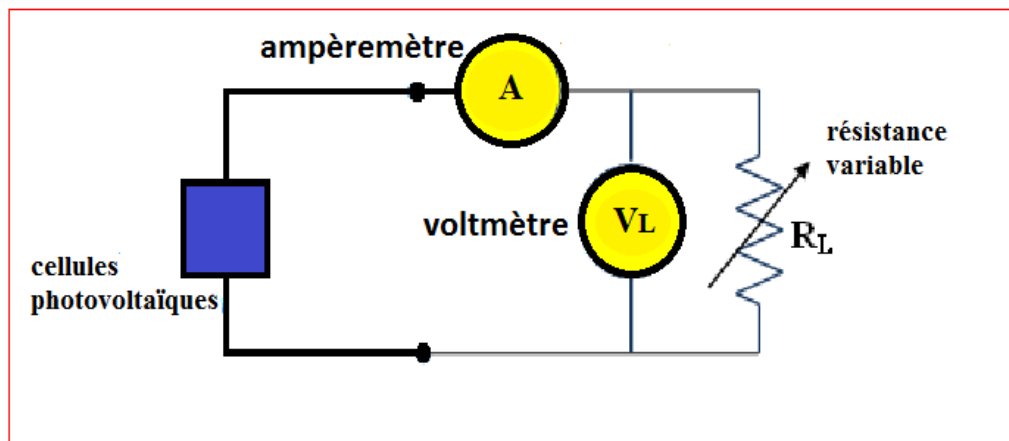


Figure II.5: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque-Pour la cellule idéale

Lorsque la résistance est nulle, tout le courant la traverse car la chute de tension aux deux extrémités de la résistance sera nulle, et donc l'échelle des ampères enregistre la valeur du courant maximum généré par la cellule et on l'appelle le courant de court-circuit I_{sc} , la résistance est progressivement augmentée et la tension et le courant sont déterminés à chaque point, et avec l'augmentation de la valeur de la résistance augmente La chute de tension à ses deux extrémités et la valeur du courant qui la traverse diminue jusqu'à une valeur maximale de la résistance est atteinte, alors la

valeur de la tension est la plus grande possible et on l'appelle la tension en circuit ouvert V_{oc} , et le courant est nul.

II.5. Différentes technologies de cellules photovoltaïques :

Les cellules solaires sont divisées en trois générations différentes et toutes fonctionnent pour convertir l'énergie photovoltaïque en électrique et varient en fonction de leur fabrication et des matériaux utilisés:

Le tableau suivant présente les performances des différentes technologies photovoltaïques sur les trois générations :

	Technologies	Rendement	Avantages	Inconvénients	Durée de vie
1 ^{ère} Génération	Silicium monocristallin	14-17%	Bon rendement pour une cellule	Coût élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
	Silicium polycristallin	12-15%	Bon rendement pour un module	Coût élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
2 ^{ème} Génération	Silicium Amorphe	6-10%	Facile à fabriquer	Mauvais rendement	<10 ans
	Cdte	8-11%	Absorbe 90% des photons incidents	Cadmium très polluant	Non évaluée
	CIS/CIGS	10-12%	Energie de gap ajustable 99% des photons absorbés	Manque de matière première	5 ans
3 ^{ème} Génération	Cellules organiques	10%	Faible coût de fabrication, Flexible	Rendement encore trop bas	Faible actuellement

Tableau II.1 : Performances des différentes technologies des cellules photovoltaïques.

II.6. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

Avantages de l'énergie photovoltaïques :

- C'est une source d'énergie renouvelable donc vos installations n'émettent pas de gaz à effet de serre.

- L'énergie solaire peut réduire ou éliminer considérablement vos factures d'électricité.
- L'énergie solaire augmente le prix de votre immeuble.
- L'utilisation de l'énergie photovoltaïque vous permet de contrôler l'augmentation des coûts énergétiques.
- Vous pouvez revendre votre production excédentaire en une excellente opportunité de revenu supplémentaire .
- Vous pouvez bénéficier du recyclage panneaux solaires à 94,7 %.

Inconvénients de l'énergie photovoltaïques :

Mais n'oubliez pas qu'il présente quelques inconvénients qu'il faut préciser :

- Inconvénients de l'énergie solaire.
- coût élevé.
- L'énergie solaire est une source d'énergie intermittente.
- L'installation nécessite beaucoup d'espace.
- La direction des rayons du soleil et la disposition des bâtiments voisins doivent être prises en compte lors de l'installation des panneaux solaires.
- L'installation est moins efficace en hiver, et la durée de vie des panneaux solaires.

II.7.La relation de pérovskite avec les cellules solaires :

Une classe de matériaux appelée pérovskite est apparue comme une alternative prometteuse au silicium pour fabriquer des cellules solaires peu coûteuses et efficaces. Mais avec tous ces avantages prometteurs, la pérovskite n'est pas sans inconvénients car la plupart d'entre elles contiennent du plomb, qui est très toxique, et comprend des matières organiques particulièrement instables lorsqu'elles sont exposées aux facteurs environnementaux.

II.7.1.Histoire :

Les pérovskites sont connues depuis 1830, mais il a fallu attendre les travaux de Tsutomu Miyasaka pour découvrir leur potentiel pour la réalisation de cellules photovoltaïques. L'université d'Oxford et l'EPFL s'y intéressent alors également. En 2013, Olga Malinkiewicz, doctorante à l'Institut des sciences moléculaires (ICMol) de l'Université de Valence, « crée une cellule photovoltaïque en posant une couche de pérovskites par évaporation, et finalement par simple impression à jet d'encre⁷. » Par rapport à la technologie à haute température utilisée jusqu'alors, cette

découverte permet de mettre en place la production à l'échelle industrielle de cellules solaire à pérovskites.[11]

II.7.2. Structure cristalline générale de pérovskite:

The cubic crystal structure of 3D perovskite system with generic formula of AMX_3 . The blue-shaded region shows the $[MX_6]$ 4-octahedron.

La pérovskite est une substance ayant la même structure cristalline que le minéral d'oxyde de calcium-titane et est le premier cristal de pérovskite découvert. En général, les composés pérovskites ont la formule chimique ABX_3 , où les lettres "bleu" et "rouge" représentent des cations et X représente un anion lié aux deux. Un grand nombre d'éléments différents peuvent être combinés pour former des structures pérovskites. En utilisant cette flexibilité de composition, les scientifiques peuvent concevoir des cristaux de pérovskite pour avoir une variété de propriétés physiques, optiques et électriques. La figure I.7. représente la structure cristalline générale de la pérovskite.

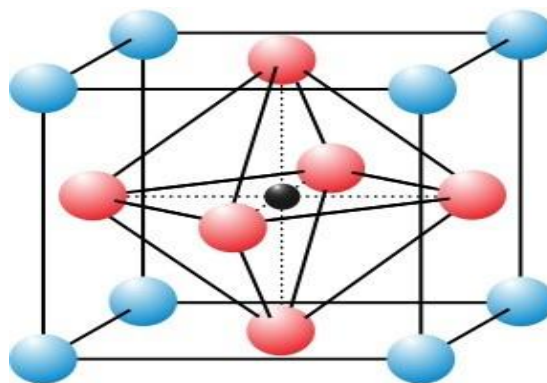


figure II.6. représente la structure cristalline générale de la pérovskite[6]

II.7.3. Cellules solaires en pérovskite

Ce type de cellule est utilisé pour convertir la lumière en électricité grâce à ce que l'on appelle «l'effet photovoltaïque», cet effet se produit dans certains semi-conducteurs comme le silicium, où le semi-conducteur absorbe un photon de rayons lumineux, ses électrons sont excités et sortent de sa surface entrer dans un circuit électrique.[12]

II.8. Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, nous avons fourni une définition détaillée de l'énergie renouvelable (énergie solaire), qui est l'une des sources les plus importantes de production d'énergie respectueuse de l'environnement, et nous y avons également discuté des avantages et des inconvénients de cette source.

Chapitre III

Présentation Du Logiciel SCAPS-1D



III. Présentation Du Logiciel SCAPS-1D :

III.1.Introduction:

En raison du coût élevé des expériences et de la production Cellules solaires Récemment, des chercheurs ont mené plusieurs simulations À propos de la fabrication de couches minces et de Parmi les simulateurs de cellules solaires avancés:

SCAPS est un acronyme pour "Solar Cell Capacitance Simulator One Dimension" est Logiciel de simulation unidimensionnel de cellules solaires développé à l'Université de Gand en Belgique sous Windows/CVI National Les machines de Mark Burgelmann et AL ont été créées pour simuler des dispositifs photovoltaïques. L'utilisateur peut accéder aux fichiers d'entrée dans un format texte en tant que données spectrogrammes et variables qui décrivent l'appareil. La possibilité d'introduire des interfaces et de prendre en compte le phénomène de recombinaison dans Cette.

Entrez les résistances en série et obtenez les caractéristiques de capacité, tension et capacité - fréquence. C'est un programme avec une vitesse d'exécution élevée.

III.2. bases de l'interface de scaps :

SCAPS s'ouvre avec l'icône 'Action Panel'. La fenêtre qui s'ouvre est présentée dans la figure suivante:

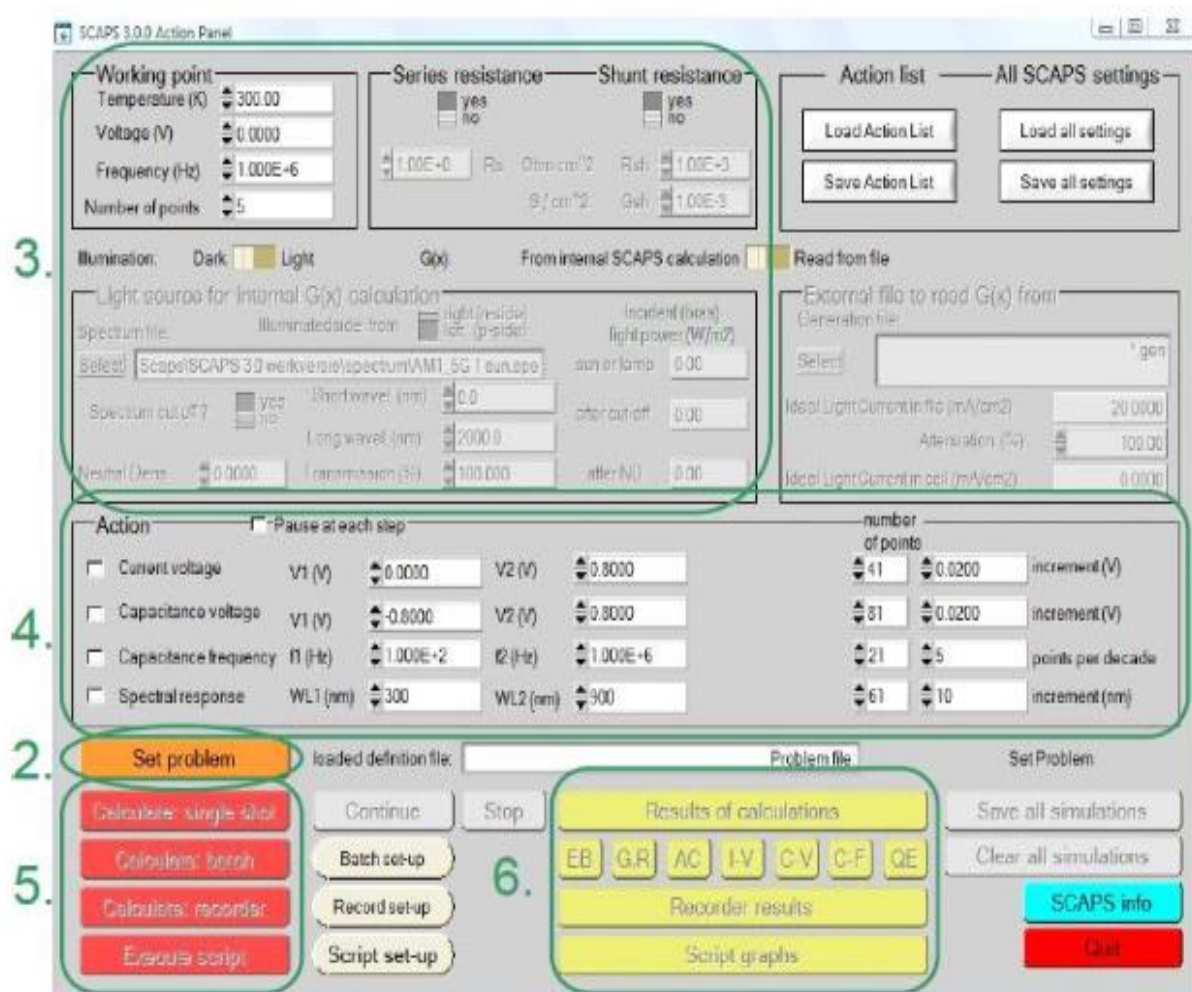


Figure III.1 : Fenêtre d'exécution « Action Panel » du logiciel SCAPS.

III. 3. Division de l'interface principal:

Explication des pièces numérotées sur l'interface:

- 1. Ouvrir le logiciel **SCAPS**.
- 2. Modification des propriétés et des couches de la cellule solaire.
- 3. Changement de position de la cellule solaire, comme la lumière et l'obscurité.
- 4. Mesures de cellules solaires étudiées.
- 5. Calculer (Single shoot et batch et recorder et Curve fitting).
- 6. Présentation des courbes de la cellule solaire étudié.

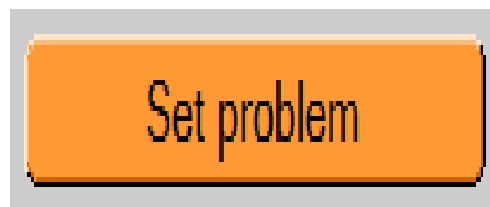
III.3.1. Ouvrir le logiciel SCAPS:



Ouvrez le programme SCAPS en cliquant sur l'icône scaps sur le bureau de l'ordinateur, l'interface scapes s'ouvrira

III.3.2. Définir le problème :

En appuyant sur le bouton (set problem), on peut ajouter des calques ou modifier les propriétés des calques étudiés



- Lorsque nous voulons ajouter un calque à la cellule, nous cliquons sur définir le problème (set problem), puis allons appuyer sur le bouton (NEW).



Figure III. 2: Ajouter une couche .

- Lorsque nous voulons modifier les propriétés de la cellule, nous appuyons sur définir le problème (set problem), Ensuite on va sur le calque dont on veut changer les propriétés et on clique dessus.

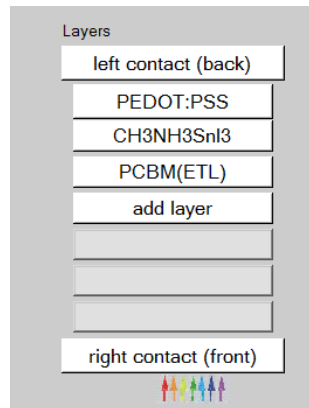


Figure III. 3: Modifier les propriétés du calque.

III.3.3. Définir le point de fonctionnement :

Un point de fonctionnement spécifie un paramètre qui est immuable dans une mesure analogique et qui est pertinent pour l'opération de mesure.

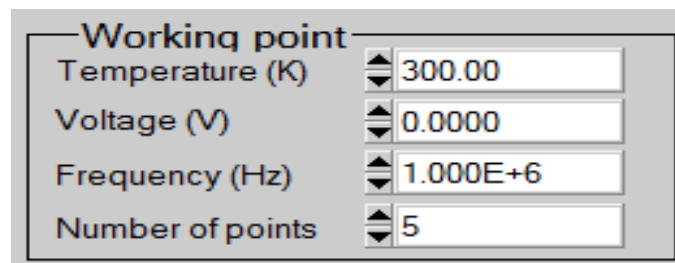


Figure III. 4: Le point de fonctionnement.

Ces paramètres sont :

- Température T : REMARQUE : Dans SCAPS : $N_c(T)$, $N_v(T)$, la vitesse thermique, la tension thermique kT et toutes leurs dérivées sont les seules variables qui ont des dépendances thermiques explicites ; pour chaque valeur de T , la correspondante doit être saisie manuellement paramètres matériels.

-Tension V : les simulations I-V et C-V ne sont pas impliquées. Il s'agit de la tension de polarisation continue dans les simulations C-f et $QE(\lambda)$. SCAPS démarre toujours

à 0 V et fonctionne à la tension du point de fonctionnement en plusieurs étapes qui doivent être spécifiées.

- Fréquence f : les simulations I-V, $QE(\lambda)$ et C-f ne sont pas impliquées. Il s'agit de la fréquence à laquelle la caractéristique C-V est simulée. Eclairage : Il est utilisé pour toutes les mesures. Pour $QE(\lambda)$, il détermine la condition de polarisation de la lumière. Les paramètres de base sont : foncé ou

Lumière, choix de la surface éclairée, choix du spectre. Le spectre d'éclairage solaire ($=1000 \text{ W/m}^2$) avec 1,5 masses d'air globales est le spectre par défaut, mais il existe également une large gamme de lumières et de spectres monochromatiques pour des simulations plus personnalisées. Si un simulateur optique est disponible, le profil de construction peut être chargé immédiatement au lieu d'utiliser le spectre. Points : Le nombre de points utilisés pour tracer la courbe.

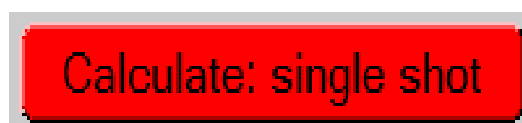
III.3.4. Sélection des mesures à simuler :

Dans la partie « Action » du panneau d'action, on peut choisir un ou plusieurs mesures à simuler IV, C- V, C- f et $QE(\lambda)$. On peut ajuster également les valeurs initiales et finales de l'argument ainsi que le nombre des étapes.

Action	V1 (V)	V2 (V)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	WL1 (nm)	WL2 (nm)	number of points	increment
I-V	0.0000	0.8000					41	0.0200 (V)
C-V	-0.8000	0.8000					81	0.0200 (V)
C-f			1.000E+2	1.000E+6			21	5 (points per decade)
QE (IPCE)					300.00	900.00	61	10.00 (nm)

Figure III. 5: Sélection des mesures à simuler.

III.3.5. Lancer le calcul :



On clique sur le bouton « Calculate : single shot » pour lancer la simulation.

III.3.6.énoncer les courbes simulées :

Après avoir entré les données dont nous disposons, le programme scapes effectue les calculs et nous montre les courbes comme indiqué dans la figure suivante :



Figure III.6 : Panneau des bandes d'énergie.

On peut voir les diagrammes de bandes, les densités du courant, la densité des porteurs libres, au dernier point de polarisation. Si on veut afficher les résultats pour des pressions moyennes, vous pouvez cliquer sur le bouton PAUSE dans le panneau d'action. On peut faire apparaître les résultats par cliquer dans ces commandes (PRINT, SAVE GRAPHS, SHOW), et les valeurs présentent. Après un certain temps à l'écran, c'est possible de faire du Copier et Coller, et aussi enregistrer les valeurs dans un fichier de données. Si vous avez simulé au moins une seule opération de mesure, vous pouvez basculer vers un de vos panneaux personnalisés.

III.3.7. Les courbes I-V :

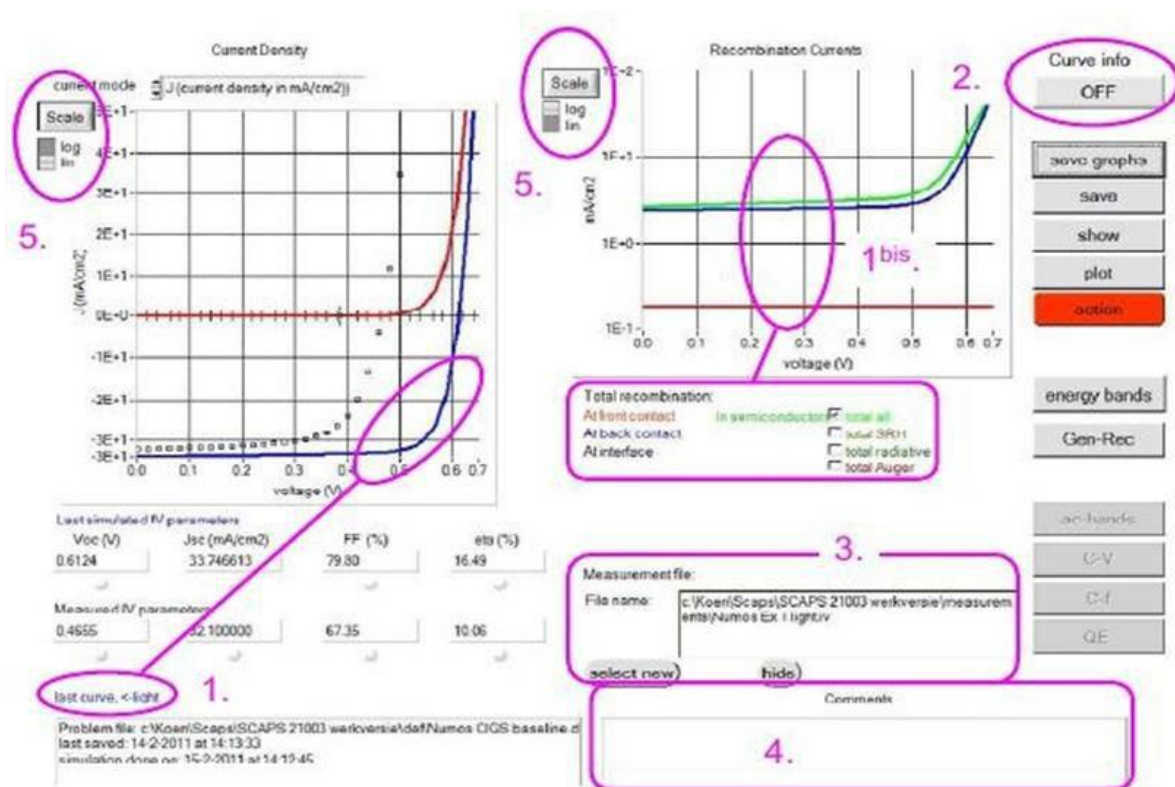


Figure III.7 : Panneau d'affichage des courbes I-V en éclaircissement et l'obscurité.

La figure III.7 montre un panneau montrant les courbes I-V dans l'obscurité et sous l'éclairage on remarque que les courbes sont entrelacées puis on clique sur **CLEAR ALL GRAPHS** dans l'animation et une recombinaison des dernières courbes de simulation s'affiche. Un panneau contextuel apparaît avec des informations sur le profil de la ligne et de la courbe. Si **CURVE INFO** est activé lorsque vous cliquez sur **CURVE**, un panneau contextuel contenant des informations sur le graphique apparaît. En plus du point qui a été cliqué. Le bouton **SCALE** vous permet de régler la taille et la plage de l'axe. Si nous voulons agrandir, appuyez sur

touche **CTRL** et définir une zone rectangulaire sur le graphique. Et si nous voulons faire un zoom arrière, nous appuyons sur Touche **CTRL** et bouton droit de la souris en même temps.

III.4. Couches de cellules solaires dans les SCAP :

III.4.1.Couches de cellules:

Lorsque nous cliquons sur le bouton "Définir la question" sur le panneau de commande,

Le panneau Description de la cellule solaire s'affiche. ce dernier permettra Créer ou modifier des structures de cellules solaires et les enregistrer, ou Heureux de les supprimer d'autres fichiers. Il n'est pas recommandé de les modifier car cela les rendrait inutilisables retour. Les propriétés des salons, des connexions et des interfaces peuvent être Cliquez sur le bouton correspondant pour apporter des modifications, comme illustré à la Figure III.7. De même, des couches peuvent être ajoutées en cliquant sur AJOUTER une sous-caste.

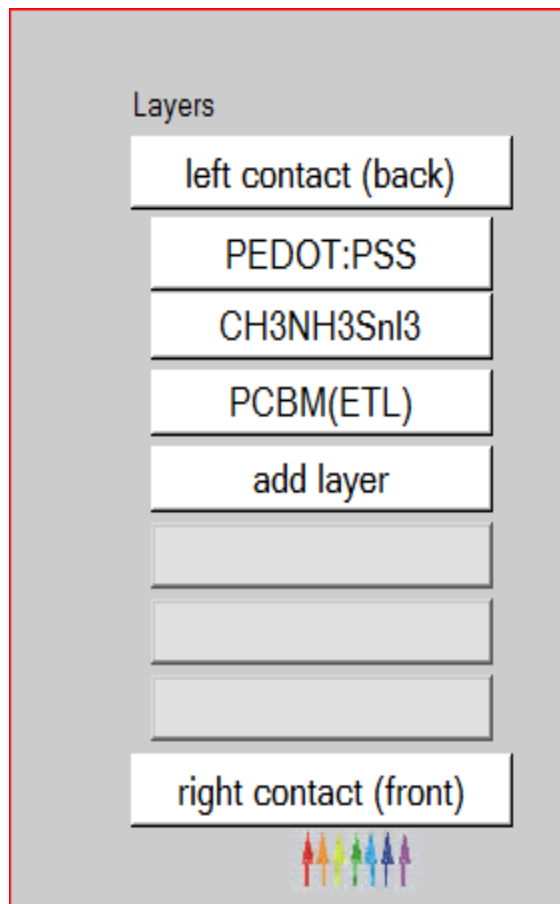


figure III.8.Ajoutez une couche à la cellule solaire.

III.4. 2. Propriétés des couches:

Lorsque nous cliquons sur l'un des calques, la fenêtre de la figure suivante s'ouvre, Figure III. 8: Propriétés de la couche, à partir de laquelle nous pouvons modifier les propriétés du couches.

LAYER 2 CH₃NH₃SnI₃

thickness (μm) 2.000

uniform pure A (y=0)

The layer is pure A: y = 0, uniform 0.000

Semiconductor Property P of the pure material pure A (y = 0)

bandgap (eV) 1.300

electron affinity (eV) 4.170

dielectric permittivity (relative) 8.200

CB effective density of states (1/cm³) 1.000E+18

VB effective density of states (1/cm³) 1.000E+18

electron thermal velocity (cm/s) 1.000E+7

hole thermal velocity (cm/s) 1.000E+7

electron mobility (cm²/Vs) 1.600E+0

hole mobility (cm²/Vs) 1.600E+0

Allow Tunneling effective mass of electrons 1.000E+0 effective mass of holes 1.000E+0

no ND grading (uniform) shallow uniform donor density ND (1/cm³) 1.000E-6

no NA grading (uniform) shallow uniform acceptor density NA (1/cm³) 3.200E+15

Absorption interpolation model alpha pure A material (y=0) from file from model show Set absorption model save

List of absorption submodels present: sqrt(hv-Eg) law (SCAPS traditional)

Recombination model Band to band recombination

Radiative recombination coefficient (cm²/s) 0.000E+0

Auger electron capture coefficient (cm³/s) 0.000E+0

Auger hole capture coefficient (cm³/s) 0.000E+0

Recombination at defects: Summary

Defect 1

Defect 1

charge type: neutral

total density (1/cm³): Uniform 1.500e+16

grading N(y): uniform

energy distribution: single; Et = 0.60 eV above EV

this defect only, if active: tau_n = 6.7e+00 ns, tau_p = 6.7e+00 ns

this defect only, if active: Ln = 1.7e+01 μm, Lp = 1.7e+01 μm

Edit Defect 1 Add a Defect 2 Remove

(no metastable configuration possible)

Accept cancel Load Material Save Material

Figure III.9: Propriétés de la couche.

- Dans le premier champ, nous pouvons écrire le nom de la couche.
- Dans la deuxième champ, nous inscrivons l'épaisseur de la couche.
- Dans la troisième champ, nous inscrivons la pureté du matériau et son profil.
- Dans la quatrième champ, on inscrit : gap énergétique, affinité électronique, permittivité diélectrique, densité effective de conduction et bandes de valence, vitesse thermique des électrons libres et des trous, mobilité des électrons et des trous. Enfin, une boîte qui permet d'ajouter les masses effectives des électrons et des trous si l'on considère le transport des porteurs par effet tunnel.
- Dans la cinquième champ, nous présentons les stéroïdes, le type et la densité.

III.5. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les bases du programme de simulation SCAPS et sa relation avec la cellule solaire, qui à son tour améliore les propriétés électriques telles que le courant[I], la tension[I-V] et la température[K].

Chapitre IV

Simulation de MASnl3 cellules solaires, résultats et discuter



IV.1. Introduction :

À la lumière du développement de la technologie de l'énergie solaire ces dernières années, les cellules solaires à pérovskite (PSC) ont fait l'objet d'une grande attention. De nombreux matériaux toxiques et non toxiques sont utilisés dans la fabrication des cellules à énergie solaire. Parmi les matériaux non toxiques, on trouve : $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ (triiodure d'étain et de méthylammonium) est l'un des cellules pérovskites.

Dans ce dernier chapitre, nous utiliserons logiciel SCAPS pour simuler une cellule solaire afin de l'étudier et d'obtenir les meilleurs résultats possibles

Dans notre étude, nous utiliserons le matériau pur MASnI_3 , et dans le cytosquelette, nous utiliserons la couche $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ entre ETM et HTM et produirons les résultats et les courbes de (J_{sc}), (V_{oc}), (FF) et (η) pour la température (k) et courbe ($I-V$).

IV.2. Simulation par Scaps:

Pour choisir le meilleur couche pour cellules solaires, nous S'appuyant sur $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ (PAL) comme couche absorbante et PCBM (ETL) comme couche de transport d'électrons. Nous utilisons le programme SCAPS pour tester les matériaux (PEDOT : PSS-CuSbS₂) pour déterminer la meilleure couche de transfert perforée pour cette cellule solaire.

IV.3. Les paramètres du dispositif étudié :

IV.3.1 La forme des couches cellulaires étudiées :

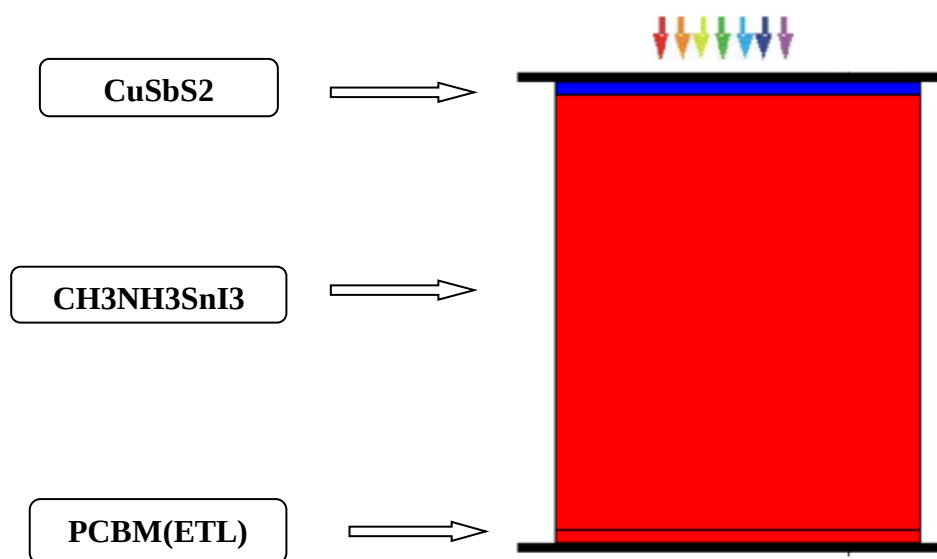


Figure VI. 1: La forme des couches cellulaires étudiées.

IV.3.2. Propriétés des couches :

Couche \ Propriété	PEDOT: PSS	CH ₃ NH ₃ SnI ₃	PCBM(ETL)
Épaisseur (μm)	0.030	1.400	0.030
Bande interdite (eV)	1.600	1.300	2.000
Affinité électronique	3.400	4.170	3.900
Permittivité diélectrique	3.000	8.200	3.900
CB densité effective d'états (cm ⁻³)	1.000E+22	1.000E+18	2.500E+21
VB densité d'états effective (cm ⁻³)	1.000E+22	1.000E+18	2.500E+21
Vitesse thermique des électrons (cm / S)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
Trou vitesse thermique (cm/ S)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
mobilité (cm ² / V.S.)	4.500E-4	1.600E+0	2.000E-1
Trou de la mobilité (cm ² / V.S.)	9.900E-5	1.600E+0	2.000E-1
densité de donneur uniforme peu profonde ND (cm ⁻³)	0.000E+0	1.000E-6	2.930E+17
densité d'accepteur uniforme peu profonde NA (cm ⁻³)	1.000E+22	3.200E+15	0.000E+0
Défect Nt (cm ⁻³)	1.000E+15	1.000E+16	1.000E+15

Tableau IV.1 : Propriétés des couches .

IV.3.3. Cellule de base:

	Les couche	Epaisseur (μm)
1	CuSbS ₂	0.030
2	CH ₃ NH ₃ SnI ₃	1.400
3	PCBM(ETL)	0.030

Tableau IV.2 :Cellule de base .

IV.4.Étapes de simulation :

Dans le premier cas :

Après avoir ouvert le programme scaps, on appuie sur le bouton (Batch set-up), pour ouvrir Figure IV.2: réglage de la température T, on appuie sur (Add) puis on choisit la température T(K) dont on a choisi la valeur (270-360).

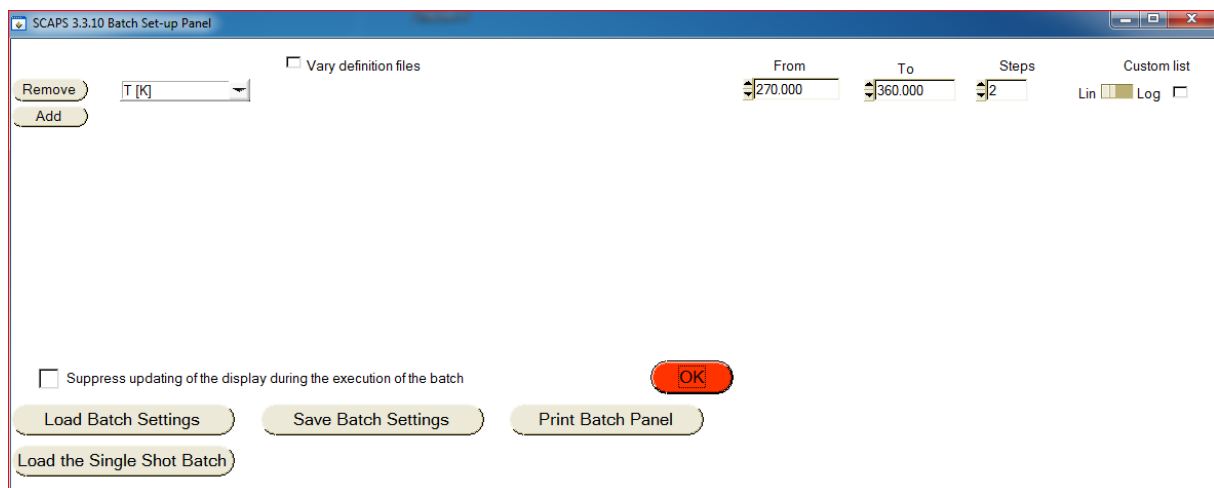


Figure IV.2: réglage de la température T .

Ensuite, nous appuyons sur le bouton (Record set-up) pour ouvrir le chiffre () nous ajoutons caractéristiques des cellules à enregistrer (Jsc), (Vco), (FF), (η).

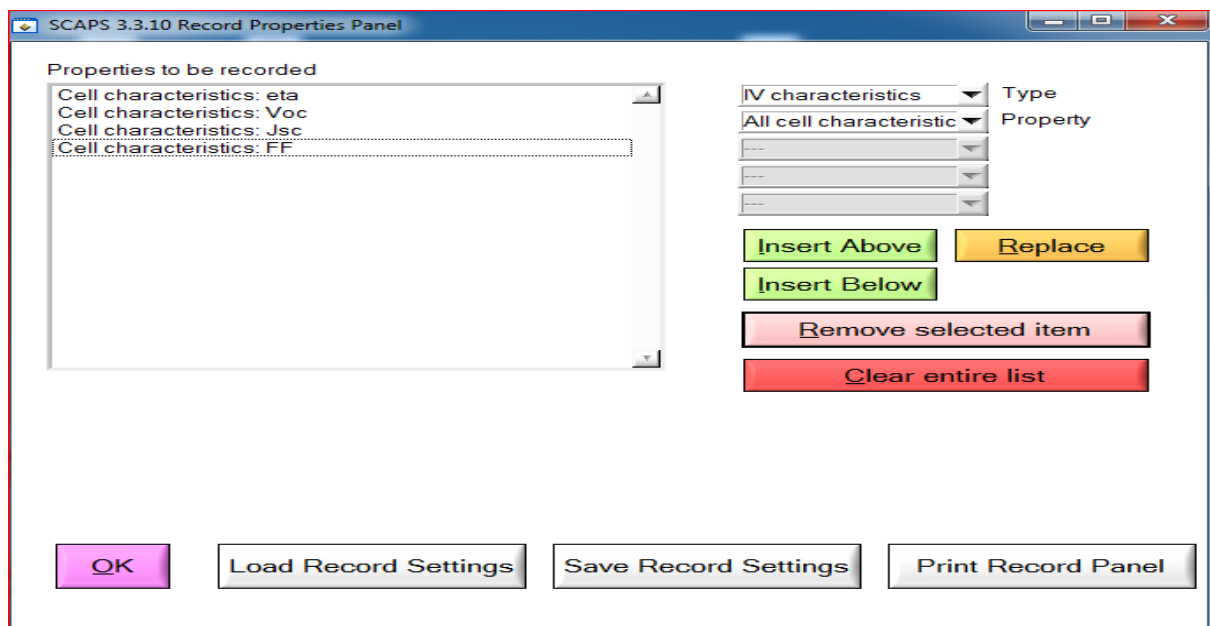


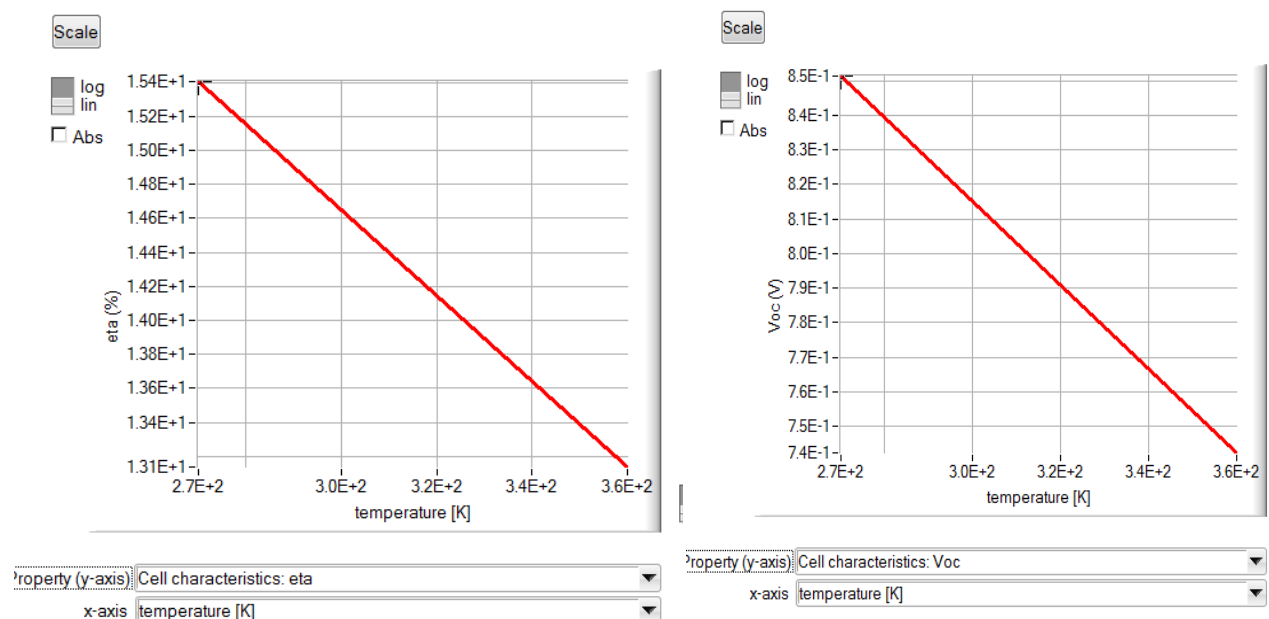
Figure IV.3: caractéristiques des cellules à enregistrer .

Dans le premier cas, après avoir défini les caractéristiques des couches étudiées que nous avons choisies, que nous avons considérées comme les mieux représentées dans le **Tableau IV.1**.

Dans le premier cas, après avoir défini les caractéristiques des couches étudiées que nous avons choisies, que nous avons considérées comme les mieux représentées dans le tableau

valeur	Épaisseur (μm)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	eta (%)
1	0.200	0.51	23.47	72.36	8.65
2	0.400	0.57	28.77	62.23	10.25
3	0.600	0.67	29.74	61.73	12.40
4	0.800	0.70	30.31	60.99	12.99
5	1.000	0.71	30.63	59.7	13.14
6	1.200	0.72	30.73	58.84	13.17
7	1.400	0.73	30.76	58.26	13.17
8	1.600	0.73	30.76	57.90	13.16
9	1.800	0.74	30.76	57.67	13.15
10	2.000	0.74	30.76	57.52	13.14

Tableau IV.3 Résultats des propriétés des cellules.



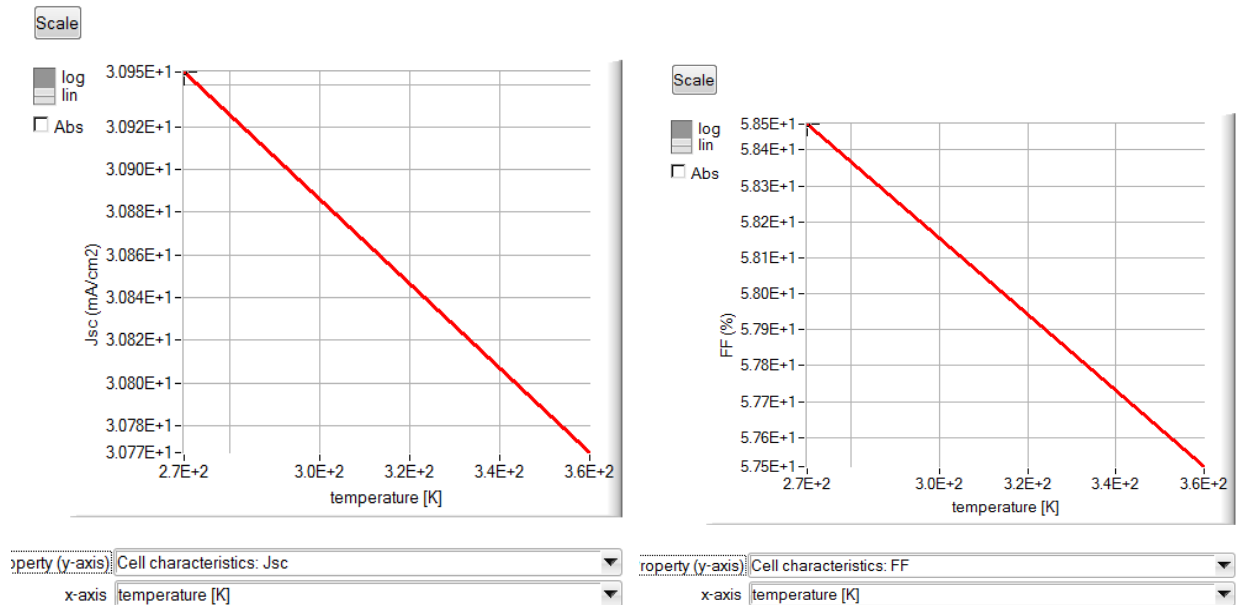


Figure IV. 4 : Variation du paramètres photovoltaïques (V_{oc} , J_{sc} , FF et η) avec les changements de température cas1.

Les courbes précédentes représentent tension de circuit ouvert (V_{co}) et densité de courant de court-circuit (I_{sc}).et Facteur de forme (FF) et conversion la cellule solaire étudiée (η) Pour la température (K).

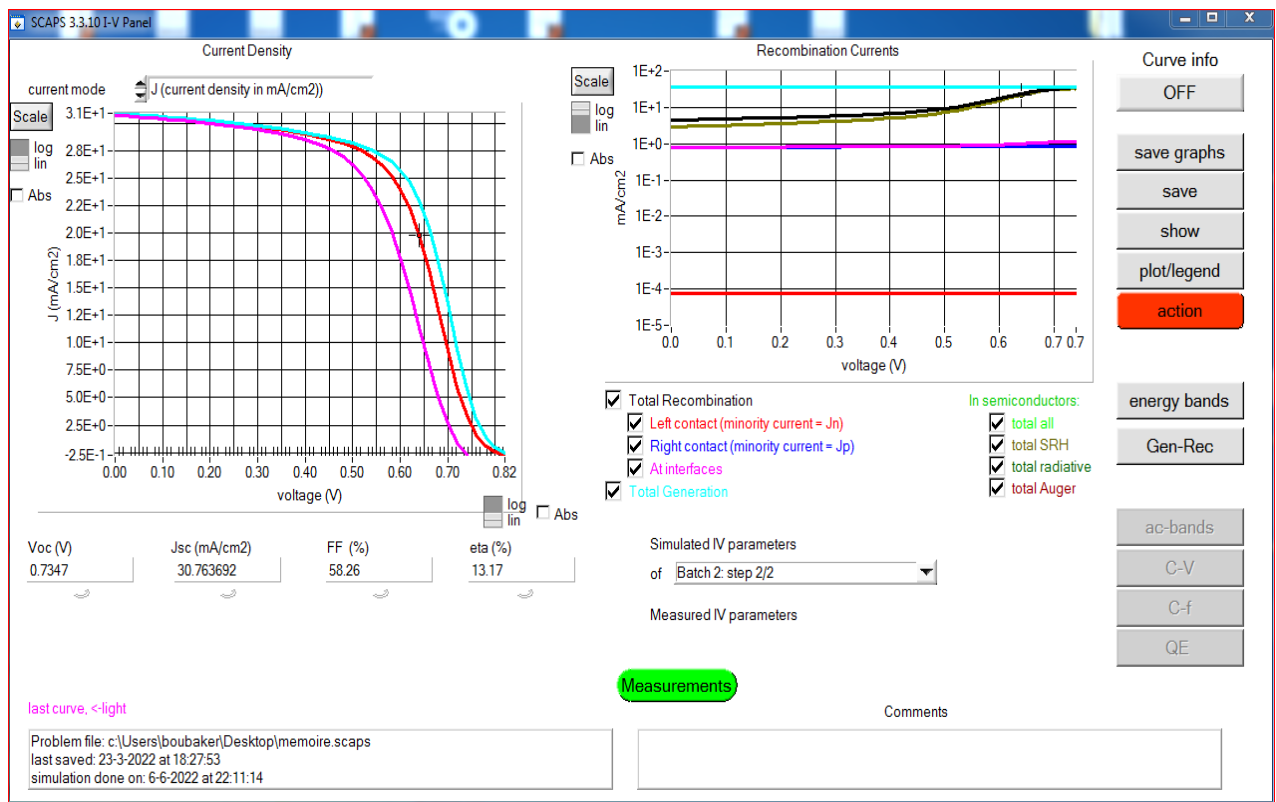
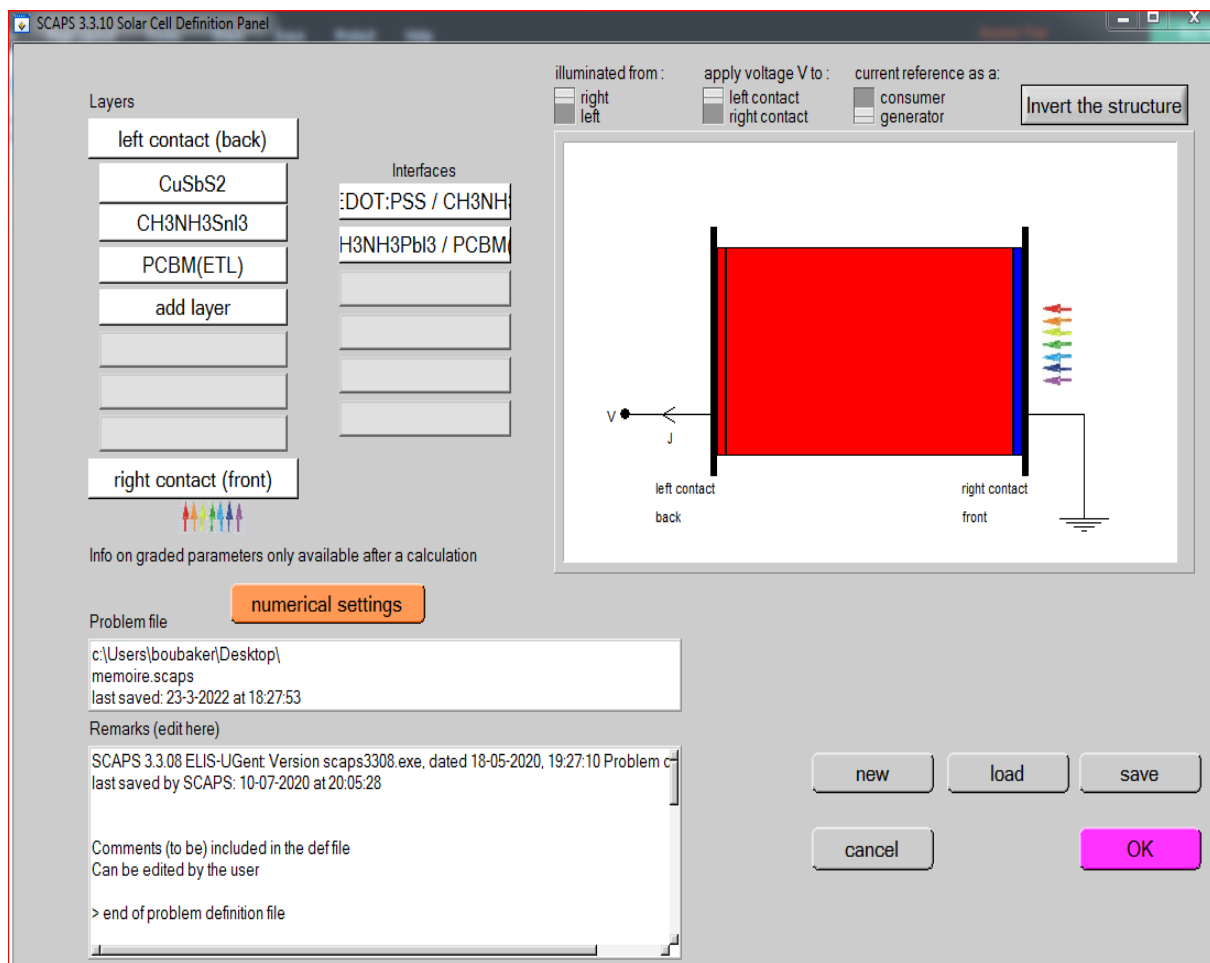


Figure IV. 5 : Courbe I-V cas1.

La figure IV.5 montre la courbe caractéristique I-V des résultats idéaux après plusieurs modifications des propriétés des couches cellulaires étudiées

Dans la Deuxième cas :

Après avoir déterminé les caractéristiques des couches étudiées dans le deuxième cas, et plus précisément dans la couche (CuSbS2) nous avons choisi, celles que nous avons considérées les mieux représentées dans le tableau IV.4.



Propriétés des couches :

Couche \ Propriété	CuSbS ₂	CH ₃ NH ₃ SnI ₃	PCBM(ETL)
Épaisseur (μm)	0.030	1.400	0.030
Bande interdite (eV)	1.580	1.300	2.000
Affinité électronique	4.200	4.170	3.900
Permittivité diélectrique	8.200	8.200	3.900
CB densité effective d'états (cm ⁻³)	2.000E+19	1.000E+18	2.500E+21
VB densité d'états effective (cm ⁻³)	1.000E+18	1.000E+18	2.500E+21
Vitesse thermique des électrons (cm / S)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
Trou vitesse thermique (cm/ S)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
mobilité (cm ² / V.S.)	4.900E+1	1.600E+0	2.000E-1
Trou de la mobilité (cm ² / V.S.)	4.900E+1	1.600E+0	2.000E-1
densité de donneur uniforme peu profonde ND (cm ⁻³)	0.000E+0	1.000E-6	2.930E+17
densité d'accepteur uniforme peu profonde NA (cm ⁻³)	1.380E+18	3.200E+15	0.000E+0
Défect Nt(cm ⁻³)	1.000E+15	1.000E+16	1.000E+15

Tableau IV.4 : Propriétés des couches .

Après avoir défini les caractéristiques des couches que nous avons étudiées dans ce cas, que nous avons choisies et que nous avons considérées comme les mieux représentées dans le **Tableau IV.5**

valeur	Épaisseur (μm)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	eta (%)
1	0.200	0.78	24.21	74.94	14.16
2	0.400	0.75	29.47	72.42	16.09
3	0.600	0.74	30.97	69.87	16.16
4	0.800	0.74	31.20	68.68	15.97
5	1.000	0.74	31.12	68.53	15.88

6	1.200	0.74	31.08	68.50	15.85
7	1.400	0.74	31.07	68.45	15.84
8	1.600	0.74	31.07	68.38	15.82
9	1.800	0.74	31.06	68.32	15.81
10	2.000	0.74	31.06	68.26	15.79

Tableau IV.5 Résultats des propriétés des cellules.

Les courbes précédentes représentent tension de circuit ouvert (V_{co}) et densité de courant de court-circuit (I_{sc}).et Facteur de forme (FF) et conversion la cellule solaire étudiée (η) Pour la température (K).

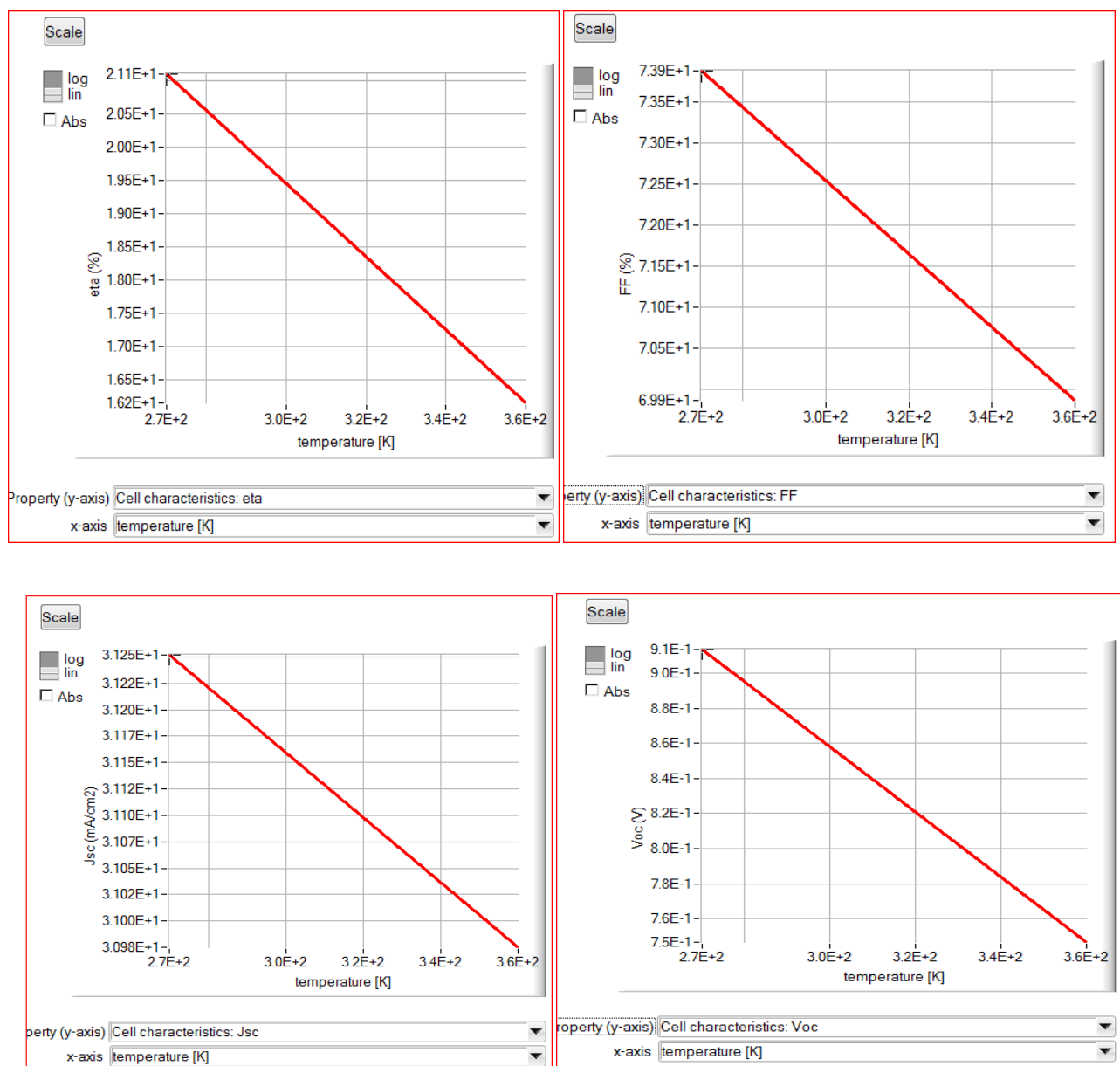


Figure IV. 6 : Variation du paramètres photovoltaïques (V_{oc} , J_{sc} , FF et η) avec les changements de température cas2.

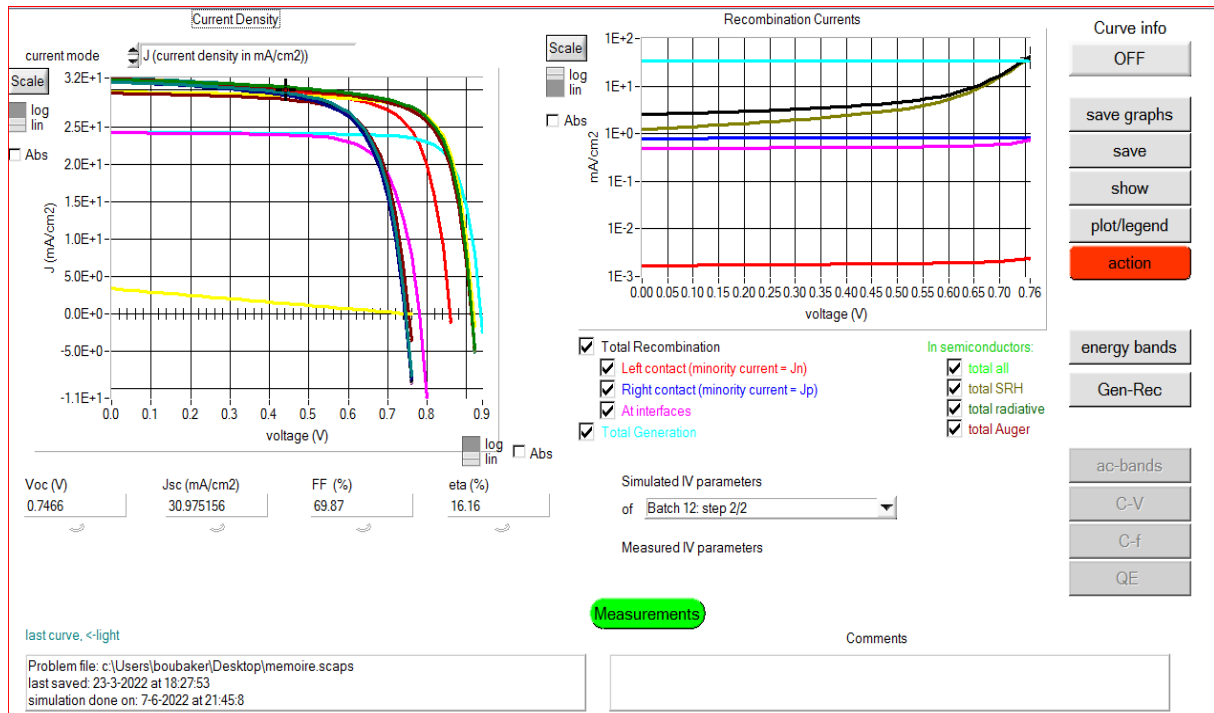


Figure IV. 7 : Courbe I-V cas2.

La figure IV.7 montre la courbe caractéristique I-V des résultats idéaux après plusieurs modifications des propriétés des couches cellulaires étudiées

IV.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié la cellule solaire pérovskite (PEDOT: PSS / CH₃NH₃SnI₃ / CuSbS₂) et utilisé le programme de simulation de cellule solaire SCAPS.

A travers les études que nous avons menées, nous avons remarqué que l'épaisseur de la couche absorbante et la densité de dopage (HTM /ETM) ont un effet sur les performances de la cellule solaire

Après avoir terminé notre étude, nous avons atteint les meilleurs résultats à l'épaisseur de la couche (CH₃NH₃SnI₃ = 0,8 μ m) et obtenu le taux d'efficacité le plus élevé conversion de puissance(16.16 %).

CONCLUSION GÉNÉRALE



Conclusion générale

La quantité d'énergie lumineuse que le soleil envoie à la terre en une heure peut couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an, et c'est ce qui a fait du soleil l'une des plus importantes sources d'énergie renouvelable sur laquelle le monde place beaucoup d'espoirs

Comme la lumière du soleil est convertie en électricité par les cellules photovoltaïques, nous en avons entendu parler dans notre thèse, et nous avons également découvert leurs propriétés et leur fonctionnement.

Les cellules au silicium ont dominé l'énergie photovoltaïque pendant des années, jusqu'à ce que ces dernières années un nouveau matériau appelé pérovskite ait été découvert.

Pérovskite a arraché la vedette au silicium, en raison de ses propriétés physiques qui le rendaient supérieur au silicium en termes d'efficacité.

C'est sur ce matériau que nous avons focalisé notre thèse, où nous avons étudié les cellules solaires de type semi-conducteur pérovskite.

Nous avons également étudié l'effet des coefficients de la couche d'absorption sur les performances de la cellule avec une analyse dans le modèle de cellule photovoltaïque ($\text{CuSbS}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$) à l'aide du programme de simulation de cellule solaire SCAPS.

Nous avons remarqué que lorsque la température monte de 270 à 360, les paramètres photovoltaïques de la cellule solaire diminuent. Et après avoir changé l'épaisseur de la couche ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$) de 0,2 à 2 μm , nous avons remarqué que nous obtenions le rendement le plus élevé à 0,8 μm d'épaisseur. et avec la couche de transfert de trous (CuSbS_2), sachant que nous avons fixé l'épaisseur de la couche de transfert de trous (CuSbS_2) et de la couche de transfert d'électrons (PCBM/ETL) à 0,03 μm .

RÉFÉRENCES



Références

[1] Julien BOK, « SEMI-CONDUCTEURS », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 7 avril 2021.URL

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/semiconducteurs>.

[2] M. AMARA, Propriétés Electroniques des Conducteurs et des SemiConducteurs”,rappel théoriques Plate-forme Matière Condensée et Cristallographie (MCC) C.E.S.I.R.E. Université J.Fourier Grenoble.

[3] J. Lavery, Quantum tunneling model of a P-N junction in silvaco”, Thesis Navalpostgraduate school Monterey California,2008.

[4] Capteurs à semi-conducteurs et applications/ Physique des semi-conducteurs:Fondamentaux-NOËL SERVAGENT

[5] [https://stringfixer.com/fr/Electronic band structure](https://stringfixer.com/fr/Electronic_band_structure)

[6] Journal of Electron Devices, Vol. 5, 2007, pp. 122-126, Etude de la jonction PN d'un semi-conducteur.

[7] I. Sari-Ali, B. Benyoucef, B. Chikh-Bled, Etude de la jonction PN d'un semi-conducteur à l'équilibre thermodynamique, Université Abou-Bakr Belkaïd, Tlemcen, Journal of Electron Devices, Vol. 5, 2007, pp. 122-126.

[8] N.OLEKSIY,Simulation fonctionnement et analyse de cellule photovoltaïque àcontacts interdigités ,thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de LYON,2005.

[9] W.DIB, Modélisation des structures photovoltaïques : Aspects fondamentaux et appliqués, Thèse de doctorat, Université de TLEMEN, 2011.

[10] Chapin D.M, Fuller C.S.and Pearson G.L, «A new silicon pn junction photocell for converting solar radiation into», Electrical power J.Appl; phys, vol, 25,pp.676-677, 677, (1954).

[11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovolta%C3%AFque_%C3%A0_p%C3%A9rovskite#Histoire

[12] GOUFI Meriem-HAMDOUNI Badr / Etude et Simulation D'une Cellule Photovoltaïque à Pérovskite Université Larbi Ben M'Hidi O.E.B/ 2020/2021.

Master: Systèmes de Télécommunication

**Auteur: Gobbi Boubaker-Gaid Kheir Eddine-Houmdi Abd
Elwahab- Houmdi Aissa**

Titer du mémoire: Simulation de cellules solaires MASnI₃ à l'aide de SCAPS

Résumé:

Des matériaux purs sont récemment découverts dans le domaine des cellules solaires, y compris MASnI₃. Dans ce cas, nous les étudiants doivent simuler des cellules solaires basées sur les matériaux ci-dessus pour atteindre le rendement le plus élevé en utilisant des matériaux ETL et des paramètres HTL.

Mots clés : cellules solaires, pures, pérovskite MASnI₃.CH₃NH₃SnI₃. Semi-conducteur, HTL, ETL.

Abstract:

Pure materials are newly discovered in the field of solar cells including MASnI₃. In this we students have to simulate solar cells based on the above materials to achieve the highest efficiency using ETL materials and HTL parameters.

Keywords: solar cell, pure, pérovskite MASnI₃.CH₃NH₃SnI₃. Semi-conducteur, HTL, ETL.

ملخص:

تم اكتشاف المواد النقية حديثاً في مجال الخلايا الشمسية بما في ذلك MASnI₃ في هذا العمل ، يتعين علينا نحن الطلاب محاكاة الخلايا الشمسية بناءً على المواد المذكورة أعلاه لتحقيق أعلى كفاءة باستخدام مواد ETL ومعلمات HTL.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية ، نقية ، بيروفسكايت MASnI₃.CH₃NH₃SnI₃.
أشباه الموصلات ، HTL ، ETL