



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Barkat Safoua

Benamar khadidja

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie des Procédés de l'Environnement

Thème

Etude simulation des cellules photovoltaïques à couche minces à base de CuO

Jury de sustenance:

Nom et Prénom	Grade	qualité
Bendahgane Soumia		Président
Belhadj Soraya		Examineur
Hannachi Manelle		Rapporteur

Promotion : JUIN 2024

Remercîments

Nous louons et remercions Dieu qui nous a aidés et nous a accordé patience et courage, comme Il l'a dit : « Si vous êtes reconnaissants, très certainement J'augmenterai (Mes bienfaits) pour vous »

Nous tenons à remercier grandement mon encadreur. Dr : Hannachi Manelle

Nous remercions également les membres de jury : madame la président Bendhgane Soumia et l'enseignante examinatrice Belhadj Soraya, d'avoir accepté d'examiner notre travail

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Monsieur Marc Bergman, développeur du programme SCAPS, pour son dévouement et sa créativité dans le développement de ce programme qui a grandement amélioré notre expérience, la rendant plus facile et plus efficace.

Nous remercions également tous les enseignants du département génie des procédés d'université de Laghouat.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos ami(e)s et collègues qui nous ont toujours Soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous

Dédicaces

A ma très chère Mère Haranne Fatima Zohra et à mon cher Père Hadj Ali que dieu ait pitié, en guise de certificat de gratitude, de respect, d'amour et d'appréciation pour leurs efforts pour atteindre mon objectif.

A mon Mari Taifouri lazhari a été toujours le pour me donner les conseils et pour m'encourager le long de ces années avec tout son amour.

A mes sœurs: Imane Maroua Aya.

A mon frère Massoud, sa femme Mouna Ohtmani

A mon neveu : Ali

A Mes nièces : Hayat Nour Sirine

À la personne qui a partagé ce travail avec moi : B.Khadidja

A toutes Ma famille: Barkat , et la famille Haranne .

A tous mes collègues du classe 2émeannée masterGPE.

A toutes les personnes qui méconnaissent.

Barkat safoua

Dédicaces

Je dédie ce travail à

À mes chers parents, Hamza et Fadhila boudrine, source de ma force et de ma protection, qui n'ont jamais cessé de m'apporter aide et amour à chaque étape, toute ma gratitude et reconnaissance pour vos sacrifices et votre soutien. Je prie Dieu de me permettre d'atteindre les plus hauts rangs pour que vous puissiez voir le fruit de vos efforts.

À ma chère sœur, Meriem, que Dieu ait son âme, qui m'a aidée et accompagnée tout au long de mon parcours scolaire. J'espère que Dieu lui accordera sa miséricorde et l'acceptera parmi les martyrs.

À mes chères sœurs : Iman, Assia, Ikram, Zouzou, Kawthar

À celle qui a cheminé avec moi durant toutes ces années vers le succès : Safa Barakat.

A tous mes amies

À tous mes collègues de la classe.

À toute personne qui m'a apporté son soutien, même par un mot.

Benamar khadidja

Table des matières

Remercîment

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction générale1

Chapitre I: notion de base sur cellule solaire

I-1-Introduction : 3

I-2-Histoire de cellule solaire :3

I-3-L'effet photovoltaïque : 4

I-4-Rayonnement solaire : 4

I-4-1-Le rayonnement solaire direct : 5

I-4-2-Le rayonnement solaire : 5

I-4-3-Le rayonnement solaire diffusé : 5

I-4-4-Le rayonnement solaire global : 5

I-5-Masse d'air : 6

I-6-Cellule solaire : 7

I-7-La jonction PN : 7

I-7-1-Polarisation en sens direct : 8

I-7-2-Polarisation en sens inverse : 8

I-8-Semi-conducteurs : 8

I-9-Dopage : 9

I-9-1-Dopage de type N : 10

I-9-2-Dopage de type P :	9
I-10-Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque :	10
I-11-Les différentes caractéristiques d'une cellule solaire :	11
I-11-1-Le courant de court-circuit (I_{cc}) :	12
I-11-2-Tension de circuit ouvert (V_{co}) :	12
I-11-3-Facteur de forme (FF) :	13
I-11-4-Rendement de conversion η :	13
I-11-5-Puissance maximale :	14
I-12-Les type des cellules :	14
I-12-1. Génération silicium classique :	14
I-12-2. Génération les couches minces :	14
I-12-3. Génération Organique :	14
I-13.Avantages et inconvénients de la cellule photovoltaïque :	15
I-13-1.Avantage :	15
I-13-2. Inconvénients :	16
I.14- Conclusion :	16

Chapitre II: Simulation des cellules photovoltaïques à base de cuivre

I.1. Introduction.....	18
I.2.Logiciel SCAPS.....	18
I.3 Principe de fonctionnement du logiciel SCAPS-1D.....	19
II.1 Simulation des cellules solaires photovoltaïques CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO ₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n)	19
II.2 Paramètres physiques utilisés dans la simulation	20
II.3 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/ZnO).....	21
II.3.1 Oxyde de cuivre.....	21

II.3.2 Oxyde de Zinc ZnO	22
II.4 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/TiO ₂)	23
II.4.1 Dioxyde de titan	24
II.5 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/CdS)	24
II.5.1 Sulfure de cadmium.....	25
II.6 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/ZnSe)	25
II.6.1 Séléniure de Zinc	26
III-Résultats et Discussion	27
III.1 Rendement des différentes cellules solaires simulées.....	27
III.2 Impact de l'épaisseur de la couche absorbante CuO.....	27
III.3 Impact de la température de fonctionnement sur les paramètres photovoltaïques des cellules étudiées	30
III.4 Conclusion.....	31
Conclusion général.....	32
Références	33
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1: Le rayonnement solaire	5
Figure I.2 : Définition de la masse d'air	6
Figure I.3 : Migration des électrons aux jonctions PN	8
Figure I.4: Diagrammes de bandes d'énergie d'un isolant, un semi-conducteur et un métal (Conducteur).....	9
Figure I.5: Représentation schématique des liaisons électroniques pour une jonction PN de semi-conducteur silicium (Si).....	11
Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire	11
Figure I.7 : Caractéristique I(V) d'une cellule solaire définissant les paramètres	12
Figure I.1 : Interface d'affichage du logiciel SCAPS-1D.....	19
Figure II.2 : Structure de la cellule solaire (CuO/ZnO).....	22
Figure II.3 : Structure cristalline de oxyde de cuivre (CuO)	23
Figure II.4 : Structure cristalline d'oxyde de zinc (ZnO)	23
Figure II.5: Structure de la cellule solaire (CuO/TiO ₂)	24
Figure II.6 : Structure cristalline de dioxyde de titane	24
Figure II.7 : Structure de la cellule solaire (CuO/CdS)	25
Figure II.8 : Structure cristalline de sulfure de cadmium(CdS)	25
Figure II.9 : Structure de la cellule solaire (CuO/ZnSe).....	26
Figure II.10 : Structure cristalline de Séléniure de Zinc (ZnSe).....	27
Figure III.1 : Représentation graphique des paramètres photovoltaïques de la cellule CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO ₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n) en fonction de l'épaisseur de l'oxyde de cuivre.....	29
Figure III.2 : Représentation graphique des paramètres photovoltaïques de la cellule CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO ₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n) en fonction de la température	31

Liste des tableaux

Tableau (II.1) : Les différents paramétré physiques pour les matériaux utilisant dans les couches des cellules	21
Tableau II.2 : Rendement des différentes cellules solaires simulées.....	27

Liste des symboles

- a.CuO** : l'oxyde de cuivre
- b.ZnO** : Oxyde de Zinc
- c.TiO₂**: Dioxyde de titane
- d.ZnSe** : Sélénure de Zinc
- e.CdS**: sulfure de cadmium
- f.SCAPS-1D** : simulateur de capacité des cellules solaires-1Direction
- g.PV** : photovoltaïques
- h.CuIn(Se)₂** : sélénure de cuivre-indium
- i.CuInGa(Se)₂** : indium et de gallium, aussi appelé CIGS
- j.CdTe** : tellurure de cadmium
- k.I_{cc}**: Le courant de court-circuit
- l.V_{oc}**: Tension de circuit ouvert
- m.FF**: Facteur de forme
- n.η**: Rendement de conversion
- o.P_{max}**: Puissance maximale
- P.CZTS**: Sulfure d'étain et de zinc
- q.Tc** : la température absolue
- r.q** : la constante de charge d'électron
- s.K** : la constante de Boltzmann
- t.I_{ph}** : le courant photonique
- u.I_s** : le courant de saturation
- v.AM** : Masse de l'air
- w.DSSE** : Doctoriales des Sciences Sociales de l'Eau

Introduction générale

Introduction générale

La population de la planète est de plus en plus confrontée à des problèmes énergétiques et environnementaux largement reconnus à travers le monde, notamment :

- Rareté des ressources énergétiques primaires
- Et le réchauffement climatique. [1]

Répondre à ces deux problématiques constitue un véritable défi qui nécessite de travailler en parallèle pour développer les énergies renouvelables, alors que les énergies renouvelables apparaissent comme une solution potentielle pour réduire la pollution. Parmi les modes de production prometteurs (photovoltaïque, éolien, hydraulique...), le photovoltaïque apparaît aujourd'hui comme le plus adapté et le plus performant pour produire de l'électricité à partir de sources renouvelables. Il permet de convertir directement la lumière du soleil en électricité, à l'aide de matériaux semi-conducteurs. [2]

Les matériaux initialement utilisés par ces photovoltaïques étaient pour la plupart inorganiques, mais aujourd'hui encore, le matériau le plus utilisé reste le silicium, malgré la concurrence de plus en plus intense des halogénures, de l'arséniure de gallium et bien d'autres. [3]

Les cellules solaires font actuellement l'objet de multiples recherches dans le but d'atteindre le meilleur rapport entre efficacité énergétique et prix de revient [4]. Cependant, avant la fabrication, une étude de simulation est toujours nécessaire pour la sélection des matériaux et la conception de la structure. Pour cette raison, de nombreux programmes de simulation de cellules solaires ont été développés dans le monde, et bien d'autres sont en cours de développement [5].

SCAPS-1D (simulateur de capacité des cellules solaires) est un programme de simulation de cellules solaires unidimensionnelle développé au Département d'électronique et de systèmes d'information (ELIS) de l'Université de Gand, en Belgique. Le logiciel est disponible gratuitement pour la communauté de recherche photovoltaïque (universités et instituts de recherche) [6].

Dans ce mémoire nous allons étudier les performances des cellules solaires à hétérojonction : $\text{CuO(p)}/\text{ZnO(n)}$, $\text{CuO(p)}/\text{TiO}_2\text{(n)}$, $\text{CuO(p)}/\text{CdS(n)}$, $\text{CuO(p)}/\text{ZnSe(n)}$. En utilisant l'oxyde de cuivre CuO(p) comme matériaux absorbant.

Ce mémoire est réparti en deux chapitres, dans le premier chapitre on fait rappel aux notions générales sur l'énergie photovoltaïque, le second chapitre nous présentons les résultats de la simulation et leurs interprétations. Nous terminons ce mémoire par une conclusion général

Chapitre I

Notion de base sur cellule solaire

I.1 Introduction :

A l'ombre des défis environnementaux et énergétiques auxquels le monde est confronté au XXI^e siècle, les cellules solaires sont devenues une place majeure dans le paysage énergétique propre et durable. Les cellules solaires constituent une technologie essentielle pour convertir la lumière solaire renouvelable en énergie électrique et se distinguent par leur efficacité et leur durabilité dans la production d'énergie électrique de manière respectueuse de l'environnement. [7].

Les cellules photovoltaïques jouent un rôle crucial dans la conversion de l'énergie solaire en électricité. Comprendre les principes fondamentaux des cellules PV est essentiel pour optimiser leur performance, concevoir de nouveaux dispositifs plus efficaces et améliorer l'utilisation de l'énergie solaire [8].

Dans ce chapitre nous allons faire un bref aperçu sur l'effet photovoltaïque, la jonction P-N, cellule solaire photovoltaïque, fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, les différents caractéristiques et technologies, les cellules photovoltaïques à base de couches minces et les avantages et les inconvénients du solaire photovoltaïque

I-2-Histoire de cellule solaire :

Les premières cellules photovoltaïques conventionnelles ont été produites à la fin des années 1950 et, tout au long des années 1960, elles ont été principalement utilisées pour fournir de l'énergie électrique aux satellites en orbite autour de la Terre. Dans les années 1970, les améliorations apportées à la fabrication, aux performances et à la qualité des modules photovoltaïques ont contribué à réduire les coûts et ont ouvert un certain nombre d'opportunités pour alimenter des applications terrestres distantes, notamment le chargement de batteries pour les aides à la navigation, les signaux, les équipements de télécommunications et d'autres besoins critiques à faible consommation d'énergie. [9]

Dans les années 1980, l'énergie photovoltaïque est devenue une source d'énergie populaire pour les appareils électroniques grand public, notamment les calculatrices, les montres, les radios, les lanternes et autres petites applications de chargement de batteries. À la suite des crises énergétiques des années 1970, des efforts importants ont également commencé pour

Développer des systèmes d'énergie photovoltaïque à usage résidentiel et commercial, à la fois pour une alimentation autonome et à distance ainsi que pour des applications connectées aux services publics. Au cours de la même période, les applications internationales de systèmes photovoltaïques destinés à

alimenter les cliniques de santé rurales, la réfrigération, le pompage de l'eau, les télécommunications et les ménages hors réseau ont considérablement augmenté et restent une part importante du marché mondial actuel des produits photovoltaïques. Aujourd'hui, la production industrielle de modules photovoltaïques augmente d'environ 25 % par an. [9]

I.3 l'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Il est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur, lequel génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie. [10]

I.4 Rayonnement solaire :

Le soleil dégage une énergie lumineuse de $6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$. Au-dessus de l'atmosphère l'énergie lumineuse du soleil a été évaluée avec précision à 1366 W/m^2 . Il s'agit de l'irradiante reçue, ou rayonnement solaire instantané, à un instant donné au-dessus de l'atmosphère terrestre en incidence normale (c'est-à-dire sur un plan perpendiculaire à la direction du soleil). Cette énergie, qui descend en ligne droite vers la Terre, ne parvient pas en intégralité sur la Terre car elle va subir des transformations en traversant l'atmosphère : par absorption et par diffusion.[11]

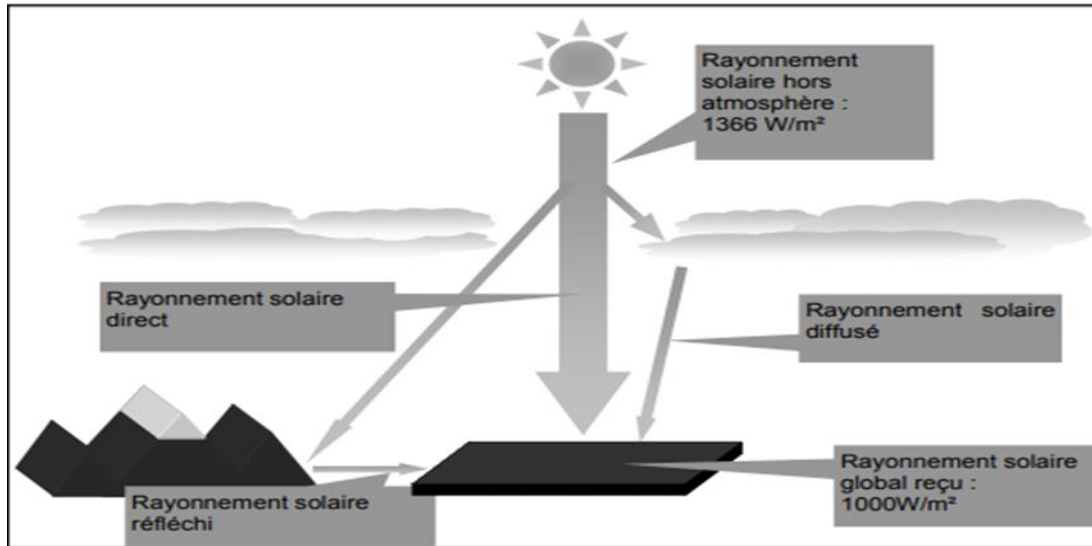


Figure I.1 : Le rayonnement solaire

I-4-1-Le rayonnement solaire direct :

Entre eux et peuvent être concentrés par des miroirs.

I-4-2-Le rayonnement solaire réfléchi :

Est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site : la neige renvoie beaucoup de rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun.

I-4-3-Le rayonnement solaire diffusé :

Est la lumière diffusée par l'atmosphère (couche d'ozone, nuages, oxygène, gaz, poussières, vapeur d'eau, ...). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont les gouttelettes d'eau (nuages), les molécules d'air, et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

I-4-4-Le rayonnement solaire global :

Est la somme de ces divers rayonnements. Il atteint la valeur de 1000 W/m^2 par temps clair et sans nuage. Ce rayonnement peut être mesuré à l'aide d'un pyranomètre ou d'un solarimètre

I-5-Masse d'air :

Lorsque le soleil est bas sur l'horizon, ses rayons traversent une épaisseur importante d'atmosphère et subissent des transformations. La masse d'air – ou Air Mass en anglais – est le rapport entre l'épaisseur de l'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu. La masse d'air dépend beaucoup de la hauteur angulaire du Soleil. Avec les points O, A et M et l'angle h définis sur la figure précédente, la longueur du trajet du Soleil à travers l'atmosphère [11]

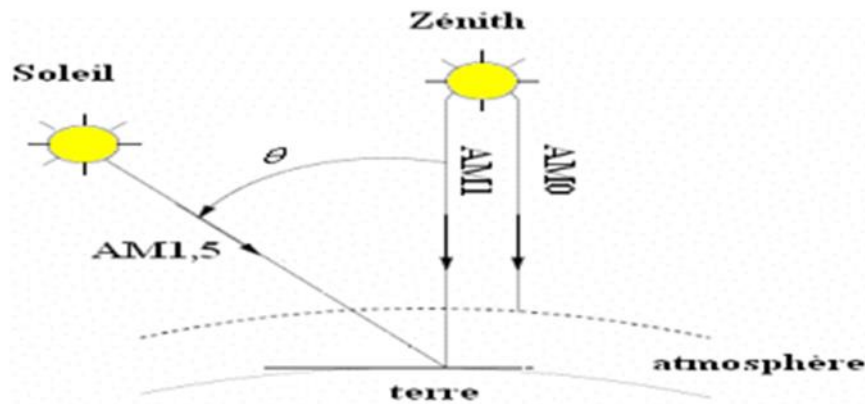


Figure I.2 : Définition de la masse d'air

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

Avec θ l'angle que fait le soleil avec le zénith (position verticale).

- AM1 = correspond au soleil au zénith ($\theta = 0$)
- AM2 = correspond à l'angle $\theta = 60^\circ$
- AM1.5 = correspond à l'angle $\theta = 48,19^\circ$
- AM0 est utilisé pour préciser les conditions en dehors de l'atmosphère.

I-6-Cellule solaire :

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance électrique obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et elle dépend du rendement de la cellule. Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à une charge électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie électrique).

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium et plus rarement d'autres semi-conducteurs : sélénium de cuivre-indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$, ou CIS), sélénium de cuivre, d'indium et de gallium ($\text{CuInGa}(\text{Se})_2$, aussi appelé CIGS), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules photovoltaïques ou panneaux solaires photovoltaïques, en fonction de la puissance recherchée. [12]

I-7-La jonction PN :

Lorsqu'on met en contact deux semi-conducteurs à dopage opposé (de type p et de type n), on obtient un élément très connu qui s'appelle jonction pn ou diode.

Donc la jonction p-n est l'endroit où la zone de type p (majoritaire en trous, minoritaires en électrons) et la zone de type n (majoritaire en électrons, minoritaire en trous) se rencontrent.

Deux types de dopage sont possibles. [13]

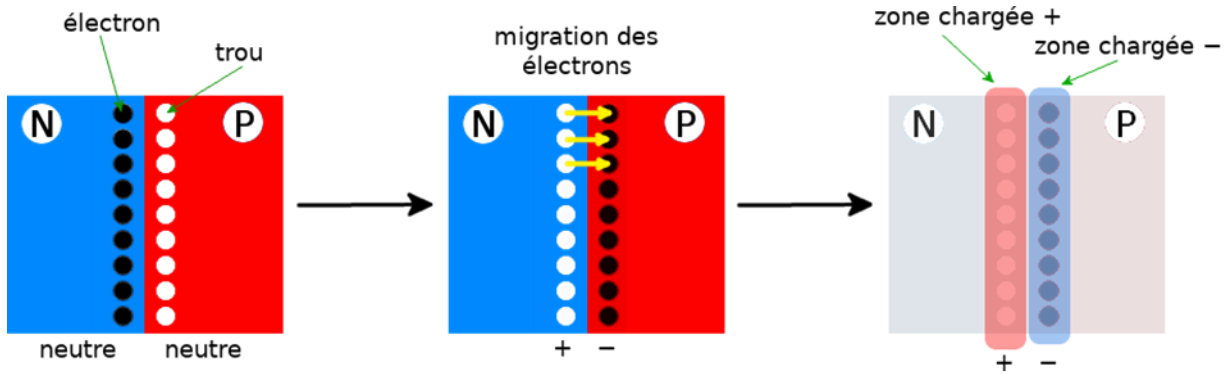


Figure I.3 : Migration des électrons aux jonctions PN

- Le dopage de type n
- Le dopage de type p

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

I-7-1-Polarisation en sens direct :

La barrière de potentiel interne empêche toute circulation de courant. Si on applique un

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

Le courant total est pratiquement le courant direct dû aux porteurs majoritaires dès que la tension atteint quelque mv. Le phénomène d'attraction des électrons libres de la partie n par les trous de la partie p (diffusion) n'est plus contrarié et le générateur va pouvoir injecter des électrons dans la zone n et les recompter par la zone p. [13]

I-7-2-Polarisation en sens inverse :

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

reboucler par le générateur il forme le courant inverse I qui dépend essentiellement de la température, [13]

I-8-Semi-conducteurs :

C'est une classe de matériaux qui se situe entre les métaux et les isolants, dont la Résistivité varie entre $10^5 \Omega\text{cm}$ et $10^4 \Omega\text{cm}$. Le transport électrique se fait par les porteurs de charges électrons et trous. Un semi-conducteur peut être soit intrinsèque (pur) ou extrinsèque (dopé par des atomes impuretés). [14]

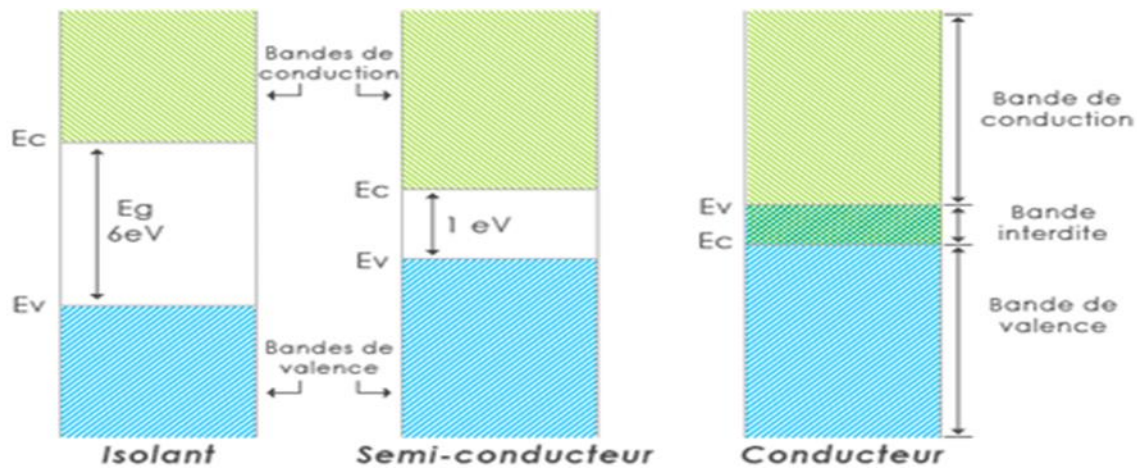


Figure I.4: Diagrammes de bandes d'énergie d'un isolant, un semi-conducteur et un métal (Conducteur)

I-8-1Semi-conducteurs simples et composés :

I.8.1.1. Semi-conducteur simple :

C'est un semi-conducteur composé d'un seul élément atomique tel que les semi-conducteurs qui appartiennent à la colonne IV de classification périodique comme le silicium (Si) et le germanium (Ge). [14]

I.8.1.2. Semi-conducteur composé :

C'est un semi-conducteur composé d'au moins deux types d'atomes différents. Ils peuvent être des semi-conducteurs binaires qui appartiennent aux différentes classes II-VI, III-V, IV-IV, IV-VI....etc. Il existe aussi des semi-conducteurs ternaires composés de trois types d'atomes et des semi-conducteurs quaternaires composés de quatre types d'atomes. [14]

I-9Dopage :

Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé "semi-conducteur extrinsèque".

Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif). [15]

I-9-1-Dopage de type N :

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure Cristalline du silicium. Le phosphore disposant de 5 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un Électron : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale négative. [15]

I-9-2-Dopage de type P :

Le dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium. Le bore disposant de 3 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer Avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un trou : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive. [15]

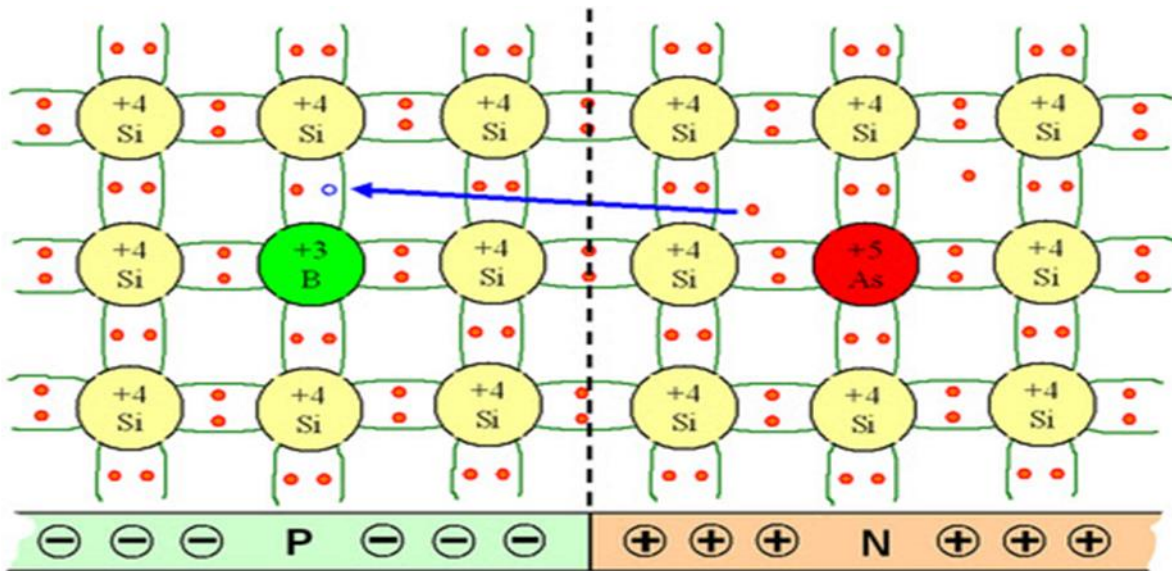


Figure I.5: Représentation schématique des liaisons électroniques pour une jonction PN de semi-conducteur silicium (Si).

I-10-Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement [16]

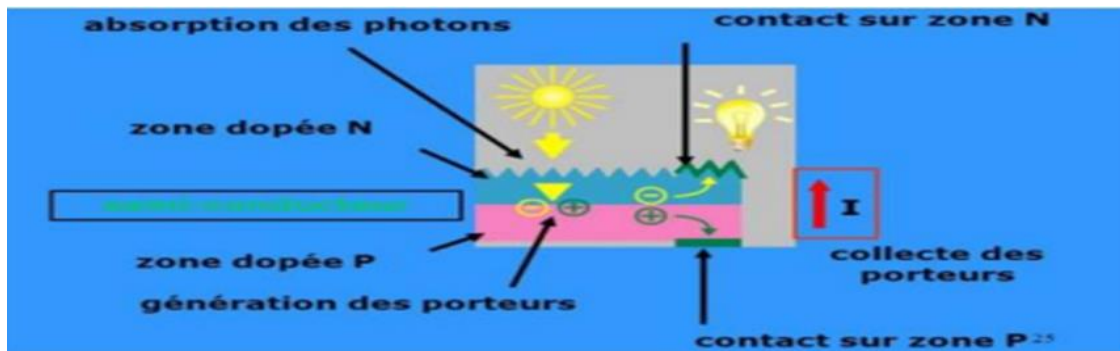


Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel : le courant électrique circule. [16]

I-11-Les différentes caractéristiques d'une cellule solaire :

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique (IV). La figure (I.7) représente une caractéristique courant -tension (IV) dans le noir et Sous illumination typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN. Le tracé de Cette courbe permet d'accéder à bon nombre de paramètres physiques Caractéristiques du composant. Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique courant -tension d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court-circuit (I_{cc}), la tension a circuit ouvert (V_{co}) et le facteur de forme (FF) du composant [17]

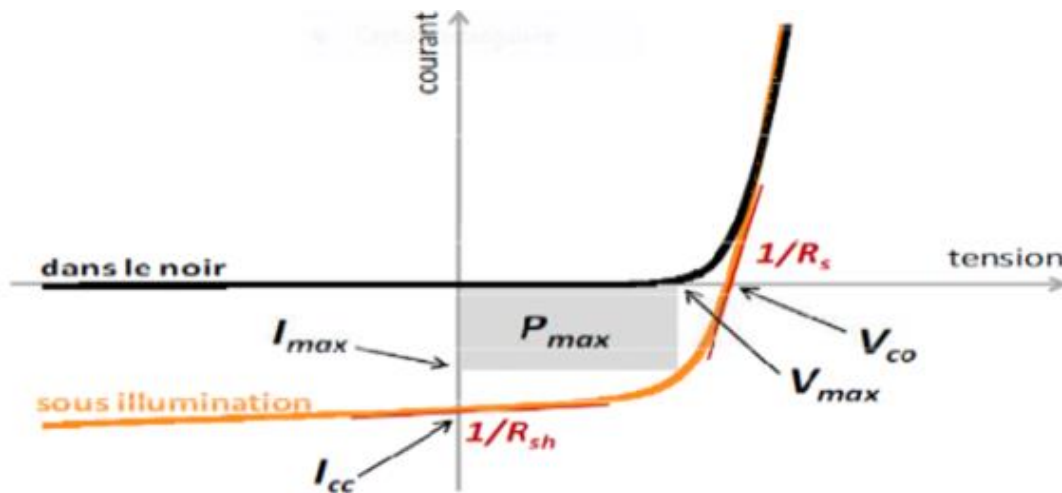


Figure I-7: Caractéristique (IV) d'une cellule solaire définissant les paramètres

I-11-1-Le courant de court-circuit (I_{cc}) :

Il s'agit du courant lorsque le potentiel appliqué est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celui-ci est fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface active de la cellule, de la mobilité des Porteurs. Ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue. [18]

I-11-2-Tension de circuit ouvert (V_{co}) :

Comme son nom l'indique, c'est la tension aux bornes de la cellule lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge ou lorsqu'elle est connectée à une charge de résistance infinie. Elle dépend essentiellement du type de cellule solaire (jonction PN, Jonction Schottky),

Des matériaux de la couche active et de la nature des contacts de la couche active-électrode. Elle dépend de plus de l'éclairement de la cellule. [18]

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s + 1} \right) \quad (01)$$

KT_c/q : représentant la potentielle thermodynamique

T_c : la température absolue

q : la constante de charge d'électron $1.602 \cdot 10^{-23} \text{C}$

K : la constante de Boltzmann $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

I_{ph} : le courant photonique

I_s : le courant de saturation

I-11-3-Facteur de forme (FF) :

Les valeurs V_{max} et I_{max} sont définies de telle sorte que le produit

$|V_{max} \cdot I_{max}|$ Soit Maximum (figure I.7). Ce produit correspond à la puissance maximale P_{max} qui peut être délivrée par la cellule photovoltaïque. Ce point P_{max} est obtenu en modifiant la valeur de la Résistance externe, quand l'aire du rectangle défini par les axes O_x , O_y et les droites $x = I_m$ et $Y = V_m$ passe par un maximum. Le nom facteur de forme (fill factor) dérive de la représentation graphique. Il est égal au rapport de la surface du rectangle P_{max} sur celle du rectangle dont les côtés mesurent V_{oc} et I_{cc} . Il est donné par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_M}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot V_{cc}} \quad (02)$$

Plus le Facteur de Forme n'est élevé, l'efficacité de conversion est meilleure. En dehors de ce point de fonctionnement P_m particulier, la diminution du courant par recombinaison intervient à des points de fonctionnement ayant V_x supérieur à V_m et des pertes par chauffage (effet joule) des résistances séries apparaissent dans le cas où $I > I_m$. [19]

I-11-4-Rendement de conversion η :

Le rendement η de la cellule solaire exprimé en pourcentage, 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} . [20]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{co} \cdot I_{cc}}{P_{in}} \quad (03)$$

I-11-5-Puissance maximale :

La puissance délivrée par une cellule solaire est maximum quand le produit $I \cdot V$ est Maximum [21]

$$P_{\max} = I_{\max} \cdot V_{\max} \quad (04)$$

I-12-Les type des cellules :

Génération silicium classique :

- ✚ Poly cristal
- ✚ Mono cristal

Génération les couches minces :

- ✚ Silicium amorphe
- ✚ CdS
- ✚ CIGS
- ✚ CdTe

Génération Organique :

- ✚ Petite molécule (les dinucléotides, les oligopeptides tels que le glutathion, les diholosides tels que le saccharose)
- ✚ Polymères (polysaccharides, lignine, cellulosiques)
- ✚ DSSE

En général, la 1ère génération de cellules solaire comporte les cellules solaires monocristallines et les cellules solaires polycristallines, autrement du type de technologie plus ancien et plus utilisé. Grâce à son efficacité élevée (15 à 20%). En fait, les cellules solaires de 1ère génération sont produites sur des plaquettes, chaque tranche peut doter une puissance de 2-3 watts. En outre les modules solaires servent à

augmenter la puissance Les attributions de cette technologie de cellules solaires résident dans le fait d'avoir de bonnes performances ainsi que dans leur grande stabilité. Néanmoins, ils sont inflexibles, ils exigent beaucoup d'énergie pour la production [22].

Les cellules solaires de la 2ème génération se sont concentrées sur les cellules à film mince aSi, les cellules solaires mc-Si, le CdTe, cellules solaires, cellules solaires CIS et CIGS. La performance représentative est de 10 à 15%. Donc, leurs rendements sont inférieurs à ceux de la 1ère génération, leurs coûts sont également inférieurs à ceux de la 1ère génération. Dans l'ensemble, cellules solaires de la 2ème génération sont appelées cellules solaires à couche minces différentes aux cellules solaires traditionnelles. Cellule solaire au sulfure d'étain et de zinc (CZTS).

Cellule solaire à colorant, également appelée "cellule de Grätzel"

- cellule solaire organique
- Cellule solaire pérovskite
- Cellule solaire en polymère
- Cellule solaire à points quantiques
- Cellule solaire à nano-fils.[22]

I-13-Avantages et inconvénients de la cellule photovoltaïque :

I-13-1-Avantage :

- ✓ Ressource gratuite et énorme potentiel réparti sur la terre.
- ✓ Moyen décentralisé de production, autonomie.
- ✓ Grande fiabilité et peu d'entretien (pas de pièces mobiles).
- ✓ Pas de pollution durant l'utilisation
- ✓ Grande souplesse de production, du milliwatt au Mégawatt.[23]

I-13-2- Inconvénients :

- ✓ Investissement élevé, nécessité d'aides, dépendance aux décisions politiques.
- ✓ Disponibilité intermittente (réseau électrique ou stockage ou énergie d'appoint)
- ✓ Source diffuse, grande surface de capteur, difficulté d'intégration bâti/paysagères

- ✓ Technologie de fabrication poussée, énergivore, utilisation de produits chimiques
- ✓ Difficulté à recycler des composants qui doivent résister plus de 20 ans aux Intempéries. [23]

I.14- Conclusion :

Dans le premier chapitre de notre thèse nous avons introduit les concepts de base liés à... Cellules solaires photovoltaïques, Effet photovoltaïque. Ensuite nous avons défini le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (le principe de fonctionnement de la cellule solaire photovoltaïque, sa structure, et le comportement de la structure de jonction p-n à l'équilibre) ainsi que les différents matériaux utilisés. Une suite de ce chapitre est consacrée à la présentation du modèle électrique équivalent de la cellule, des caractéristiques PV, de la tension actuelle et des paramètres PV, du courant de court-circuit (I_{cc}), de la tension en circuit ouvert (V_{co}) et du facteur de forme (FF). Et Efficacité énergétique (η) ainsi que réponse spectrale interne et externe. Finalement, nous avons parlé des avantages et des inconvénients de l'énergie solaire.

Chapitre II

Simulation des cellules photovoltaïques à base d'oxyde de cuivre

II.1. Introduction

La technologie des cellules solaires joue un rôle crucial dans le secteur de l'énergie renouvelable, avec des avancées continues visant à améliorer l'efficacité et les performances photovoltaïques.

Le CuO s'est révélé d'être un matériau prometteur pour les applications de cellules solaires en raison de ses propriétés uniques, notamment des coefficients d'absorption élevés et un potentiel de production rentable. Par conséquent, une analyse systématique de différents matériaux tampons en combinaison avec les absorbeurs de CuO est essentielle pour identifier la configuration la plus adaptée pour une efficacité accrue des cellules solaires. [24]

SCAPS-1D est un outil puissant largement utilisé dans la communauté de recherche en photovoltaïque pour simuler et analyser les attributs électriques des cellules solaires [25] [26].

Dans ce chapitre, nous allons étudier avec le logiciel SCAPS-1D, l'impact de la variation de l'épaisseur de la couche CuO et la température sur les performances des cellules solaires CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n)

II.2. Logiciel SCAPS

Le code de simulation de dispositif SCAPS (Simulateur de Capacité des Cellules Solaires) est un logiciel de simulation numérique des cellules solaires unidimensionnelles. Il est largement utilisé dans le domaine de la recherche photovoltaïque pour modéliser et simuler le comportement des cellules solaires. [27]

SCAPS permet de définir et de simuler avec précision les caractéristiques des cellules solaires, telles que leur structure, leurs matériaux constitutifs, et les paramètres de fonctionnement. Ce logiciel, développé à l'université de Gand en Belgique, offre une interface conviviale pour ajuster les paramètres des cellules solaires, exécuter les simulations, et analyser les résultats obtenus.

Grâce à SCAPS, les chercheurs peuvent étudier et optimiser les performances des cellules solaires, ce qui contribue à l'avancement de la technologie photovoltaïque. [27]

Le logiciel SCAPS utilise une approche de simulation basée sur la résolution numérique de l'équation de Poisson et des équations de transport de charge dans la cellule solaire. Il prend en compte les différents mécanismes de recombinaison et de génération de porteurs de charges, ainsi que les effets de surface et

les propriétés optiques des matériaux. SCAPS permet également de simuler l'effet des variations de température et de la lumière incidente sur les performances des cellules solaires. [28]

II.3 Principe de fonctionnement du logiciel SCAPS-1D :

Il existe plusieurs versions de ce logiciel, mais souvent la méthode d'utilisation reste la même. Dans notre étude, nous utilisons la dernière version du logiciel SCAPS. Après avoir téléchargé le programme (3.3.1.1), nous devons l'installer en accédant à 'ce PC' et en cliquant sur "C:\programfiles (x86)\Scaps3.3.1.1".

Lorsque le programme est ouvert, l'interface apparaît, où nous saisissons les étapes de base de la cellule à étudier comme suit :

1. Définir les conditions dans lesquelles la simulation est effectuée.
2. Déterminer les caractéristiques de la cellule solaire et son champ.
3. Indiquer les mesures à simuler.
4. Démarrer le processus de calcul.
5. Afficher les courbes de simulation.

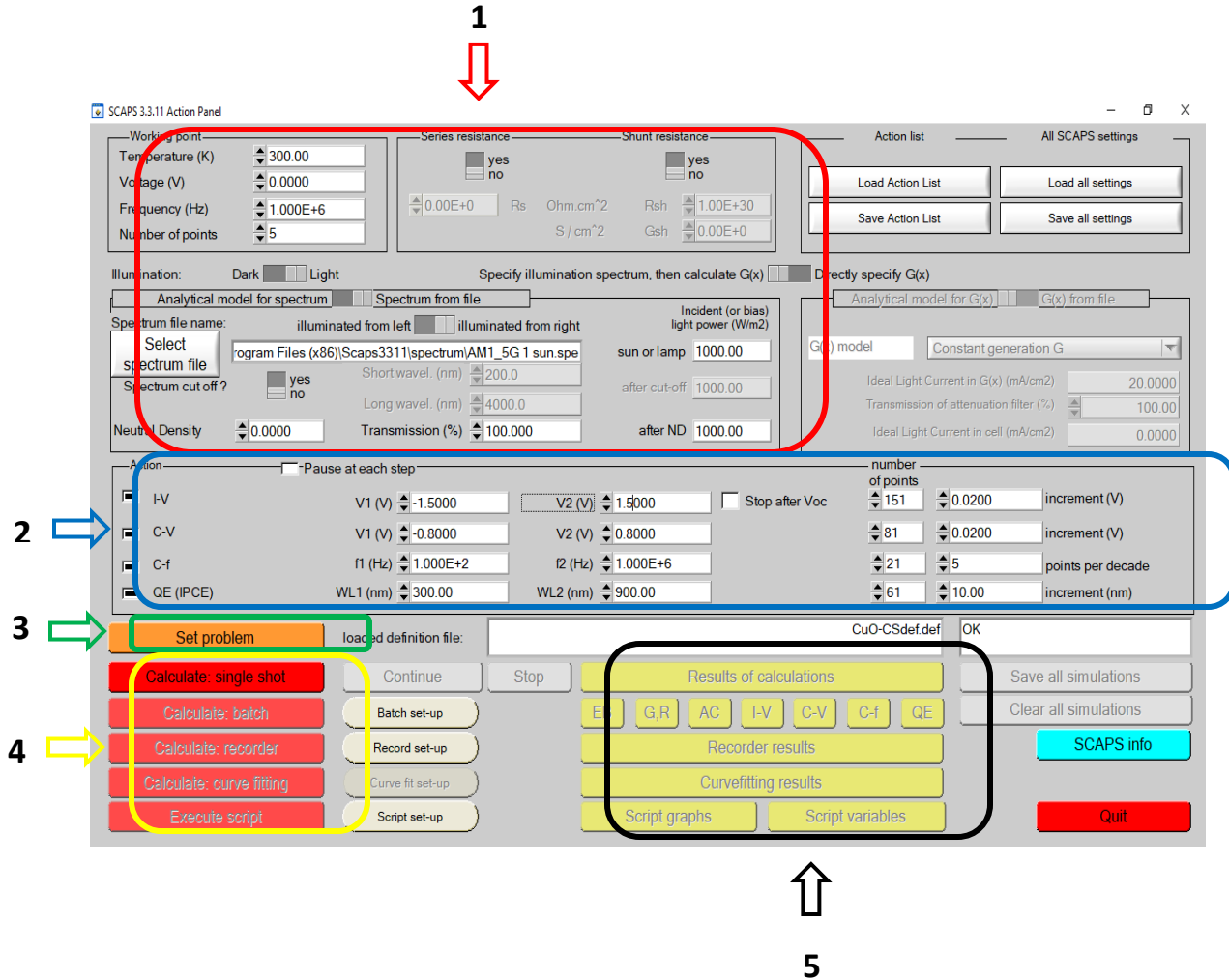


Figure II.1: Interface d'affichage du logiciel SCAPS-1D

II.1 Simulation des cellules solaires photovoltaïques CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n)

La température de fonctionnement sera initialement fixée à 300 K, et un spectre solaire AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 100 mW/cm² sera utilisé comme source d'éclairement.[29]

Les principaux paramètres de performance de la cellule solaire qui seront étudiés sont :

- *La tension en circuit ouvert (V_{oc})
- *Le courant de court-circuit (J_{sc})
- *Le facteur de forme (FF)
- *Le rendement de conversion (η)

Nous avons étudié les cellules solaires photovoltaïques à jonction p-n en utilisant le logiciel de simulation SCAPS-1 :

La cellule solaire photovoltaïque : CuO/ZnO

La cellule solaire photovoltaïque : CuO/TiO_2

La cellule solaire photovoltaïque : CuO/CdS

La cellule solaire photovoltaïque : $CuO/ZnSe$

II.2 Paramètres physiques utilisés dans la simulation

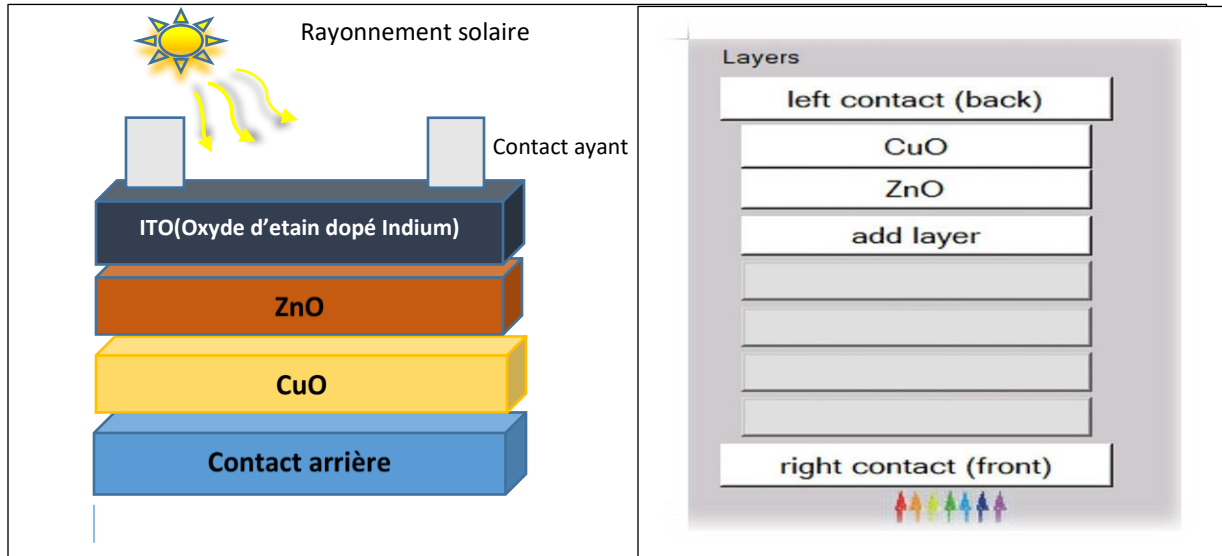
Les paramètres physiques de l'oxyde de cuivre CuO, l'oxyde de zinc ZnO, le dioxyde de titane TiO₂, le sulfure de cadmium CdS et Sélénure de Zinc (ZnSe) sont définis dans le tableau (II-1).

Tableau (II.1) : Les différents paramétré physiques pour les matériaux utilisant dans les couches des cellules

paramètres	CuO[29]	TiO ₂ [30]	InO[scaps]	SnS[scaps]	ZnSe[31]
épaisseur (µm)	Entre 1 à 5	0.1	0.1	0.1	0.1
largeur de gap (eV)	1.51	3,2	3,37	2,4	2,9
affinité électronique (eV)	4.3	4.2	4.3	4.2	4
permittivité diélectrique (relative)	18.1	10	9	10	10
densité des états effective dans la BC (cm^{-3})	2.2×10^{11}	2.2×10^{11}	2.2×10^{11}	2.2×10^{11}	2.2×10^{11}
densité des états effective dans la BV (cm^{-3})	$5,5 \times 10^{21}$	6×10^{17}	$1,8 \times 10^{11}$	$1,8 \times 10^{11}$	$1,8 \times 10^{11}$
vitesse thermique des électrons (cm/s)	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7
vitesse thermique du trou (cm/s)	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7
mobilité électronique ($cm^2 / V*s$)	100	100	140	100	50
mobilité des trous ($cm^2 / V*s$)	0,1	250	25	25	0
densité du donneur Nd (cm^{-3})	0	10^{17}	10^{15}	10^{16}	10^{18}
densité de l'accepteur Na (cm^{-3})	10^{16}	0	0	0	
défaut de l'absorbeur (cm^{-3})	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{11}
défaut d'interface (cm^{-3})	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{11}

II.3 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/ZnO)

La cellule solaire CuO/ZnO est composée d'une couche de l'oxyde de cuivre (CuO) semi-conducteur de type (p) et d'une couche de l'oxyde de zinc (ZnO) semi-conducteur de type(n).



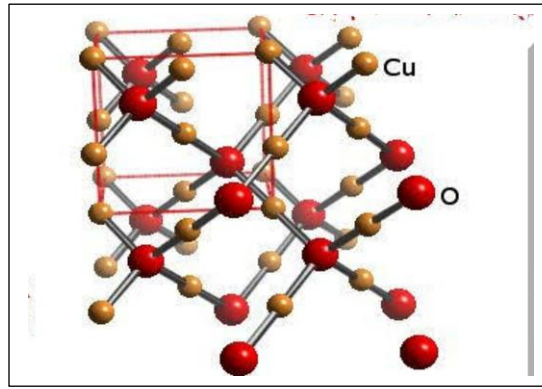
FigureII.2: Structure de la cellule solaire (CuO/ZnO)

II.3.1 Oxyde de cuivre

L'oxyde de Cuivre II , composé d'atomes de Cuivre et d'atomes d'Oxygène, également appelé (CuO), qui existe dans la nature sous la forme d'un minéral noir ou gris appelé ténorite.[32]

L'oxyde de cuivre est un composé pur de toutes les formes de composés de cuivre, se distinguant par sa facilité et sa polyvalence dans les propriétés physiques Les caractéristiques des semi-conducteurs à base d'oxyde de cuivre comprennent une absorption optique élevée, une non-toxicité et des coûts de fabrication réduits. [33]

En effet, le CuO est un semi-conducteurs de type P avec des bandes interdites d'énergie respectives de 1,5 eV à 2,0 eV, se rapprochant ainsi de la bande interdite idéale pour les cellules solaires. Cela permet une absorption spectrale solaire efficace en raison de la bande interdite directe. [33]

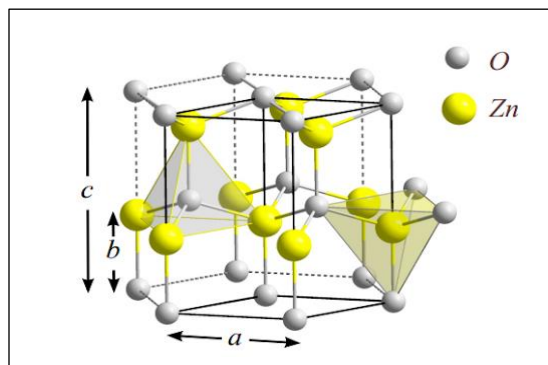


FigureII.3: Structure cristalline d'oxyde de cuivre (CuO)

II.3.2 Oxyde de Zinc ZnO :

L'oxyde de zinc est un composé chimique inorganique composé des éléments zinc et oxygène, et sa formule chimique est ZnO. L'oxyde de zinc est également connu sous le nom de calamine ou de blanc de zinc. Il se trouve naturellement sous forme de minéral zincite. Il est principalement produit De manière synthétique.[34]

qui, d'une part, forme des cristaux incolores et hexagonaux ou, d'autre part, se présente sous forme de poudre blanche en vrac en raison de la réfraction de la lumière dans de très petits cristaux. Cet oxyde est un monoxyde [35]



FigureII.4: Structure cristalline d'oxyde de zinc (ZnO)

II.4 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/TiO₂)

La cellule solaire CuO/ TiO₂ est composé d'une couche de l'oxyde de cuivre (CuO) semi-conducteur de type (p) et d'une couche de dioxyde de titane (TiO₂) semi-conducteur de type(n).

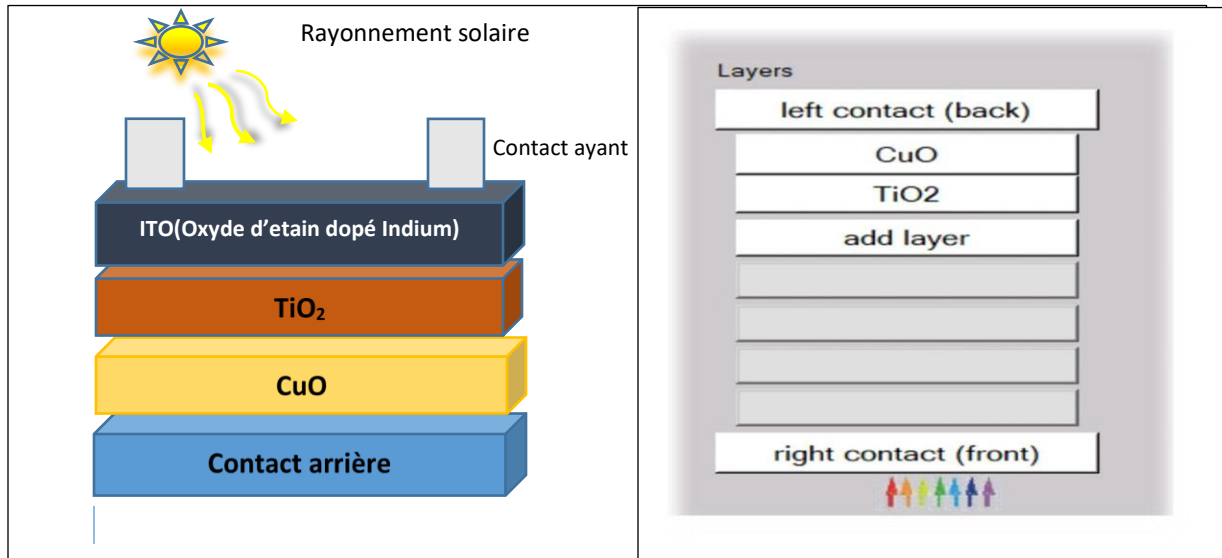


Figure II.5: Structure de la cellule solaire (CuO/TiO₂)

II.4.1 Dioxyde de titan

Le dioxyde de titane (TiO₂) est une substance inorganique solide blanche thermiquement stable, ininflammable et peu soluble dans les solutions usuelles. [36]

Il existe principalement sous 3 formes cristallines, le rutile, l'anatase et la brookite, qui se distinguent par une bonne transparence et d'excellentes capacités d'absorption de la lumière UV (UV-A et UV-B). Elles diffèrent par un motif cristallin différent. [37]

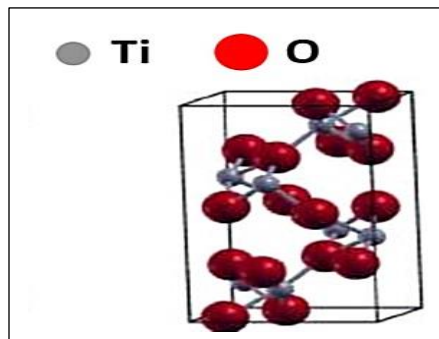


Figure II.6: Structure cristalline de dioxyde de titane

II.5 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/CdS)

La cellule solaire CuO/ TiO₂ est composée d'une couche de l'oxyde de cuivre (CuO)

Semi-conducteur de type (p) et d'une couche de sulfure de cadmium (CdS) semi-conducteur de type(n).

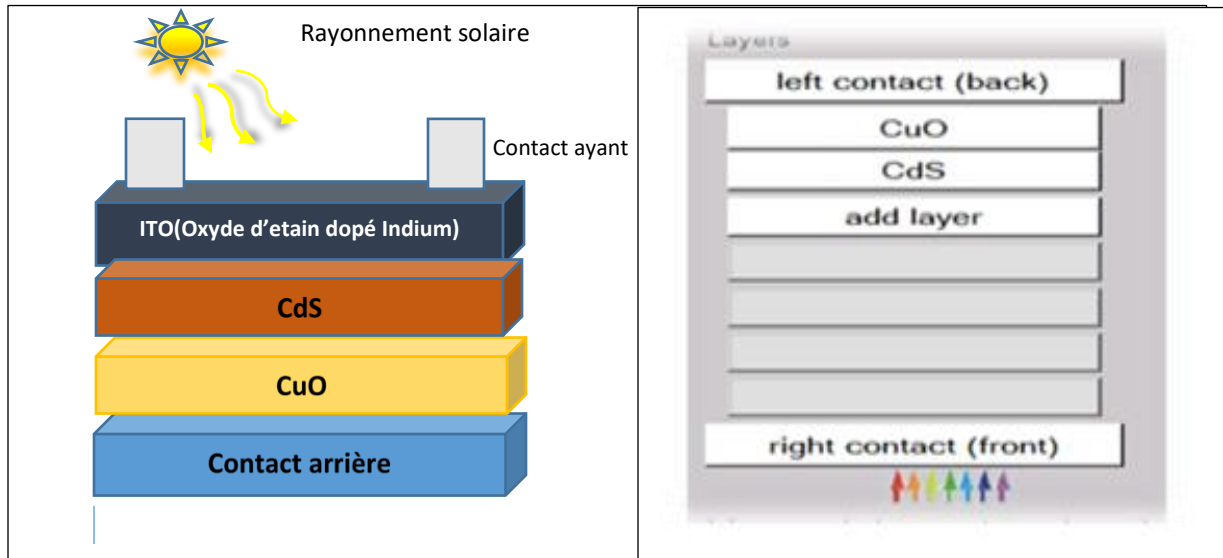


Figure II.7 : Structure de la cellule solaire (CuO/CdS)

II.5.1 Sulfure de cadmium

Le sulfure de cadmium (CdS) a été largement sollicité en raison des bonnes propriétés physicochimiques qu'il présente. En effet, Le CdS est un semi-conducteur de la famille II-VI et de type n, il sert comme couche tampon très minces dans les cellules solaires photovoltaïques poly cristallines bien connues [38]

Structure cellulaire Les cellules solaires à base de CdS présentent un meilleur piégeage optique et des rendements élevés [39]

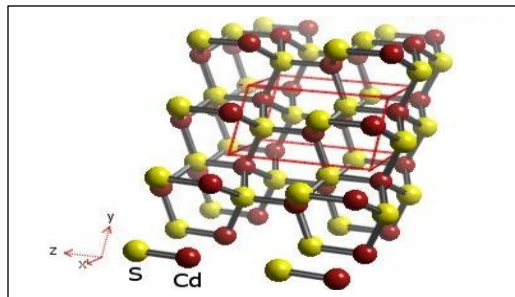


Figure II.8 : Structure cristalline de sulfure de cadmium (CdS)

II.6 Structure de la cellule photovoltaïque (CuO/ZnSe)

La cellule solaire CuO/ ZnSe est composé d'une couche de l'oxyde de cuivre (CuO) semi-conducteur de type (p) et d'une couche de Sélénure de Zinc (ZnSe) semi-conducteur de type(n).

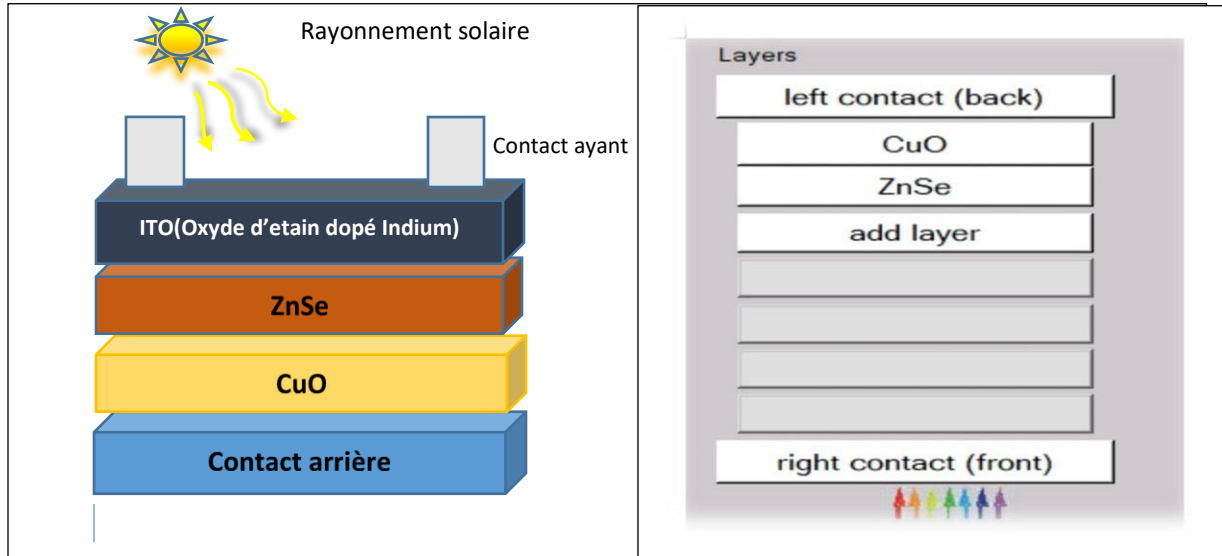


Figure II.9 : Structure de la cellule solaire (CuO/ZnSe)

II.6.1 Sélénure de Zinc

Le ZnSe est un composé binaire solide de couleur jaune clair qui se rencontre rarement à l'état naturel. Ce composé a une structure cristalline connue sous le nom de structure "blende de zinc", où chaque atome de zinc est entouré de quatre atomes de sélénium formant un tétraèdre régulier, et il y a quatre molécules de ZnSe dans chaque maille unitaire [40]. Le ZnSe est largement utilisé en optique infrarouge (IR) en raison de ses faibles propriétés d'absorption et de dispersion. En plus de son utilisation en optique IR, le ZnSe est également utilisé comme matériau semi-conducteur pour les dispositifs en couches minces et comme couche fenêtre de type n pour les cellules solaires à hétérojonction en couches minces. [41]

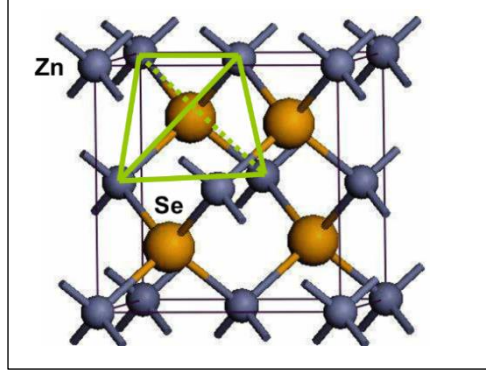


Figure II.10 : Structure cristalline de Sélénure de Zinc (ZnSe)

II-Résultats et Discussion

II.1 Rendement des différentes cellules solaires simulées

Les valeurs aboutis du rendement des cellules solaires CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n) d'une épaisseur de 1 μm de la couche absorbante CuO sont présenté dans le tableau en-dessous.

Tableau II.2 : Rendement des différentes cellules solaires simulées

solaire	TiO ₂ (n)	CdS(n)	ZnSe(n)	/ZnO(n)
$\eta\%$	18.98	18.82	18.75	18.13

II.2 Impact de l'épaisseur de la couche absorbante CuO

L'influence de l'épaisseur de la couche absorbante sur différents paramètres photovoltaïques : densité de courant de court-circuit J_{sc} , tension de circuit ouvert V_{oc} , facteur de forme FF et rendement (η) est étudié pour tous les solaires proposés CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n), les résultants aboutis sont résumés dans la figure

L'épaisseur de la couche de CuO est varié de 1 à 5 μm , tandis que les épaisseurs des couches ZnO, TiO₂, CdS, ZnSe ont été fixées à 0,1 μm .

L'augmentation de l'épaisseur de la couche absorbante CuO s'accompagne d'un accroissement de la densité de courant de court-circuit J_{sc} , la tension V_{oc} , le facteur de forme FF et Le rendement η des cellules

Chapitre II: Simulation de cellules solaires a base CuO(n)

photovoltaïques CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n). Puis ils atteignent la saturation.

La couche CuO est la région de l'absorption et de la photo-génération. Donc, l'augmentation de l'épaisseur de cette couche signifie que plus de photons sont absorbés et plus de porteurs libres sont générés ce qui conduit à une augmentation du photo-courant. [42]

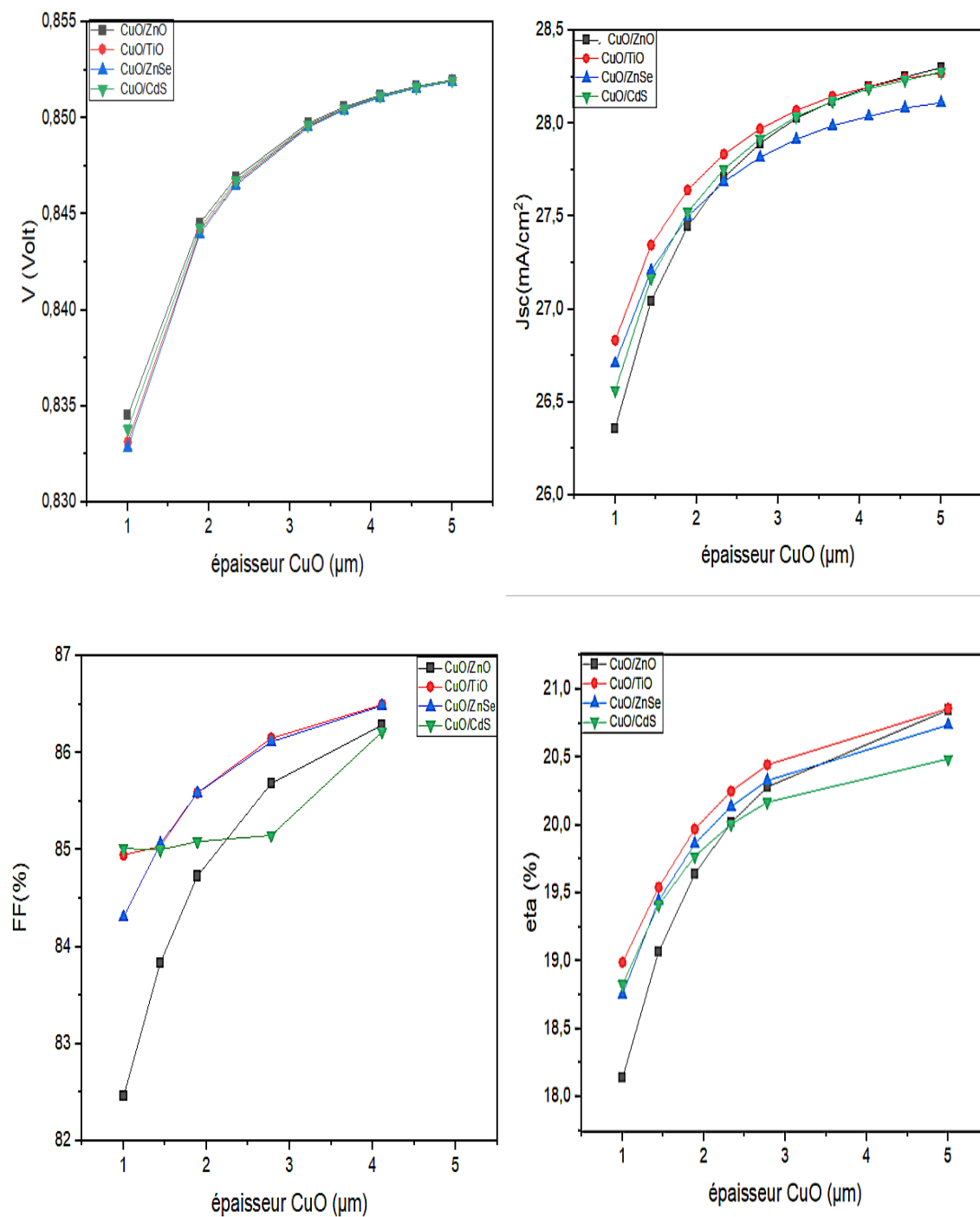


Figure II.11: Représentation graphique des paramètres photovoltaïques de la cellule CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n) en fonction de l'épaisseur de l'oxyde de cuivre

II.3 Impact de la température de fonctionnement sur les paramètres photovoltaïques des cellules étudiées

Les cellules solaires sont étudiées à des températures de 300 à 400 K. La figure (III.2)

Montre l'effet de la température de fonctionnement sur les paramètres photovoltaïques. On remarque que lorsque la température de fonctionnement augmente le rendement de conversion, la tension de circuit ouvert V_{oc} , la densité du courant J_{sc} et le facteur de forme FF diminuent de manière quasi linéaire.

La température élevée modifie la mobilité des électrons et des trous, ainsi que les concentrations des porteurs et des lacunes dans les matériaux. Par exemple, la bande interdite des semi-conducteurs se rétrécit à haute température, ce qui augmente la recombinaison des électrons et des trous [43].

L'augmentation de la température n'affecte pas beaucoup la diminution du J_{sc} par rapport à son effet sur l'énergie de gap V_{oc} , les valeurs varient de 0,84 à 0,58, en raison de l'augmentation du courant de saturation inverse [44].

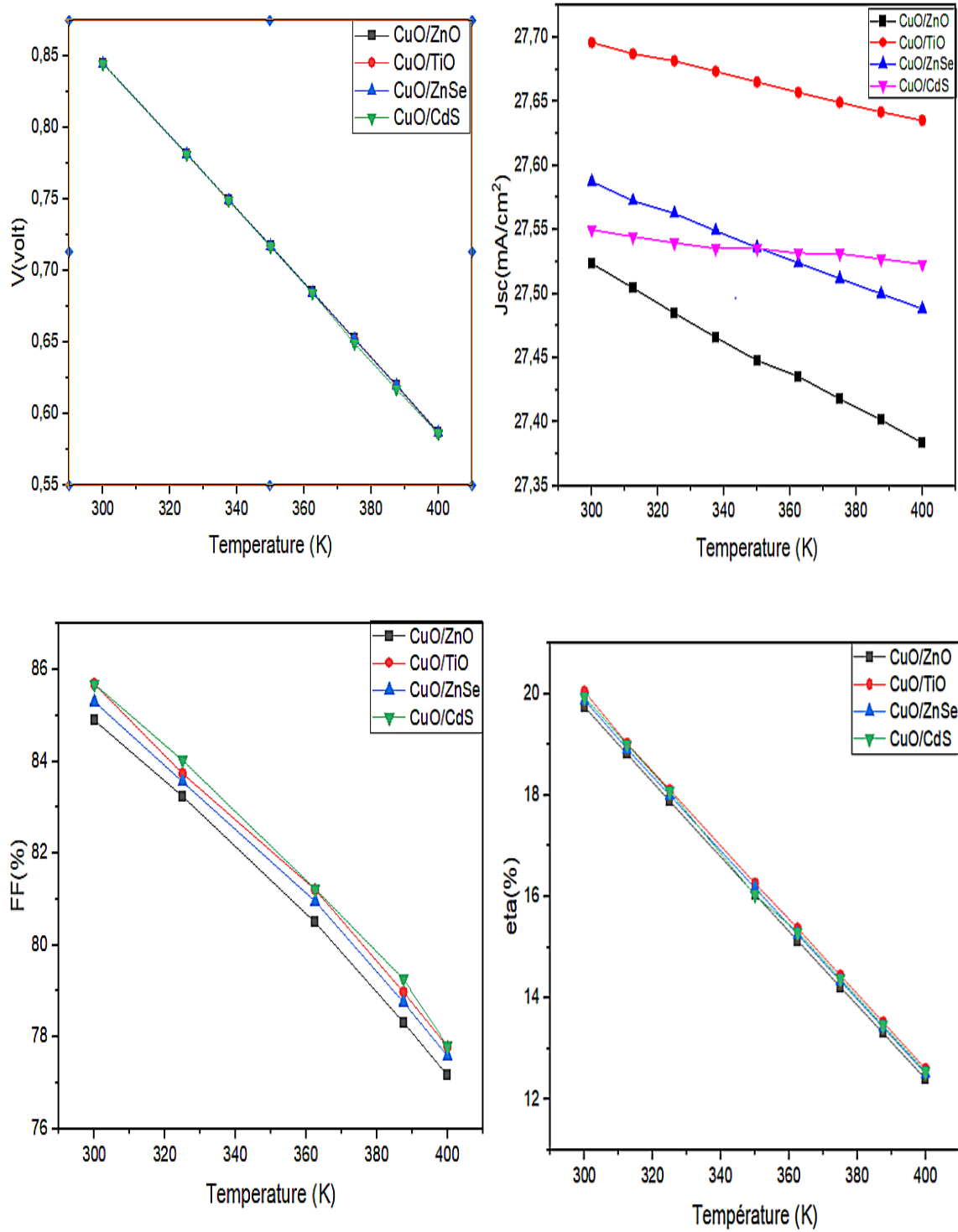


Figure II.12: Représentation graphique des paramètres photovoltaïques de la cellule CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n) en fonction de la température

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié par simulation en utilisant le logiciel SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator) des cellules solaires à hétérojonction avec les structures suivantes :

Structures 01: CuO (p)/ZnO(n)

Structures 02: CuO(p)/TiO₂ (n)

Structures 03: CuO(p)/CdS(n)

Structures 04: CuO(p)/ZnSe (n)

La température de fonctionnement est réglée initialement à 300 K, le rayonnement AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 100 mW/cm² est utilisé comme source d'éclairage dans cette simulation. L'épaisseur de la couche absorbante CuO et la température de fonctionnement ont été variés pour comprendre leurs impacts sur les performances des cellules solaires : CuO (p)/ZnO(n), CuO(p)/TiO₂ (n), CuO(p)/CdS(n), CuO(p)/ZnSe (n).

Conclusion général

Conclusion général

Dans le premier chapitre, nous avons présenté la notion fondamentale sur les cellules solaires photovoltaïques

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté une simulation des cellules solaires (CuO/TiO₂), (CuO/TiO₂), (CuO/CdS), (CuO/ZnSe) en utilisant le logiciel SCAPS (simulateur de capacité des cellules solaires).

A refaire La température de fonctionnement a été initialement réglé à 300 K, avec un rayonnement AM 1.5 d'une densité d'énergie incidente de 100 mW/cm².

En résumé, les résultats les plus marquants de cette étude sont :

On constate que l'augmentation de l'épaisseur de la couche de CuO a un effet positif sur la performance des cellules solaires.

Cela est dû à l'absorption de plus de photons et à la création de plus de porteurs de charge libres, ce qui entraîne une augmentation du courant photoélectrique.

Les valeurs d'efficacité ont diminué à des températures élevées en raison des variations dans le déplacement des électrons et des trous, ainsi que des concentrations de porteurs et de lacunes dans les matériaux.

Références

References

- [1]<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1014/5/Introduction-generale.pdf> (Consulté le 20 Avril 2024)
- [2]<http://dspace.univtiaret.dz/bitstream/123456789/11514/2/introduction%20g%C3%A9nerale.pdf> (Consulté le 24 Avril 2024)
- [3]Ratier, B., & Boucle, J. (2013). Développement de composants photovoltaïques organiques et études de la morphologie des couches à l'échelle manométrique (Thèse de doctorat). Université de Limoges.
- [4]Pode, R., & Diouf, B. (2011). Solar lighting. Springer Science & Business Media.
- Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., & Corkish, R. (2007). Applied Photovoltaics (2nd ed.). London, UK: Earthscan.
- [5]Zhu, L. (2012). Development of Metal Oxide Solar Cells through Numerical Modelling (Thèse de doctorat). Institute for Renewable Energy and Environment Technologies, University of Boston.
- [6]Manuel d'utilisation de SCAPS, Version 3.1.1.
- [7]Lahmira, H., & Chiba, Y. (2019). Contribution à l'étude d'un panneau solaire photovoltaïque : fabrication, technologie et impact environnemental.
- [8]Belarbi, M. (2015). Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome (Thèse de doctorat, University of Sciences and Technology in Oran).
- [9]Hamoudi, Y. (2018). Résolution numérique de la caractéristique I(V) et étude des paramètres d'une cellule photovoltaïque.
- [10]Énergie Facteur. (2018). CE SITE N'EST PLUS ACTUALISÉ DEPUIS 2018.
- [11]<https://www.over-view.fr/wp-content/uploads/2019/08/c121-extrait-editions-ginger.pdf> (Consulté le 1 Mai 2024)
- [12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovolt%C3%A9 (Consulté le 10 Mai 2024)

References

- [13]Belkacem, T., & Hallal, S. (année non spécifiée). Simulation des caractéristiques courant-tension d'une diode Schottky avec barrière inhomogène. Mémoire de l'ingénieur, Faculté des sciences, Département de physique, Université de Sétif.
- [14]Mathieu, H., & Fanet, H. (2009). Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, cours et exercices corrigés. Dunod.
- [15]Abdelkader, M., & Aymene, C. (2018). Étude et simulation d'un système de production d'énergie photovoltaïque en site isolé (Mémoire de master). Université Badji Mokhtar Annaba.
- [16]Bedahou, A. (2019, juin). Étude des énergies caractéristiques dans une photopile (Mémoire de master). USTO-MB.
- [17]Amara, M. M. (2020). Étude de panneau photovoltaïque (Mémoire de licence). Université Badji Mokhtar.
- [18]Hamoudi, Y. (2018). Résolution numérique de la caractéristique $I(V)$ et étude des paramètres d'une cellule photovoltaïque. Année universitaire 2017-2018.
- [19]Maati, H., & Bahlouli, K. (année non spécifiée). Étude des performances d'une cellule photovoltaïque.
- [20]Oubouchou, A. (2019). Étude et simulation d'une cellule solaire à base couches minces (Mémoire de master). Université Saad Dahlab de Blida.
- [21]International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). Statistics.
- [22]Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., & Corkish, R. (2013). Applied Photovoltaics. Routledge.
- [23]Kidowaki, T., Oku, T., Akiyama, A., Suzuki, A., Jeyadevan, B., & Cuya, J. (2012). Fabrication and characterization of CuO-based solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 1, 138-143.
- [24]Marlein, J., Decock, K., & Burgelman, M. (2009). *Thin Solid Films*, 517, 2353.
- [25]Khelia, S., Verschraegen, J., Burgelman, M., et al. (2008). *Renewable Energy*, 33, 293.

References

- [26]Niemegeers, A., Burgelman, M., Decock, K., Verchraegen, J., & Degrave, S. (2013). SCAPS 3201 Manual. ELIS.
- [27]Nijs, J., et al. (année non spécifiée). SCAPS-1D: A new one-dimensional solar cell simulation program. Solar Energy Materials and Solar Cells.
- [28]Kabir, M. I., Shahahmadi, S. A., Lim, V., Zaidi, S., Sopian, K., & Amin, N. (2012). Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10% Efficiency by Design Optimization. International Journal of Photoenergy, vol., Article ID 460919.
- [29]Sawicka-Chudy, P., Starowicz, Z., Wisz, G., Yavorskyi, R., Zapukhlyak, Z., Bester, M., Głowa, Ł., Sibiński, M., & Cholewa, M. (2019). Materials Research Express, 6, 085918.
- [30]Et-taya, L., Benami, A., & Ouslimane, T. (2022). Sustainability, 14, 1916.
- [32] https://www.atamanchemicals.com/copperoxide_u27689/?lang=FR#:~:text=L'oxyde%20de%20cuivre%20est%20%C3%A9gale%20appel%C3%A9%20oxyde%20de%20cuivre,sup%C3%A9rieur%20%C3%A0%201200%20%C2%B0%20C (Consulté le 2 Mai 2024)
- [33] <https://uobabylon.edu.iq/media/press.aspx?mid=98045> (Consulté le 2 Mai 2024)
- [34] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5432/oxyde-de-zinc> (Consulté le 3 Mai 2024)
- [35]<https://byjus.com/chemistry/zincoxide/#:~:text=Zinc%20Oxide%20is%20an%20inorganic,found%20as%20a%20mineral%20zincite>. (Consulté le 3 Mai 2024)
- [36] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/ceramiques-proprietes-et-elaboration-42578210/dioxyde-de-titane-n4813/proprietes-de-l-oxyde-de-titane-n4813niv10002.html> (Consulté 3Mai2024)
- [37]<https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/dioxyde-de-titane-additif-e171/> (Consulté le 4Mai2024)
- [38]Metin, H., & Esen, R. (2003). Journal of Crystal Growth, 258, 141-148.
- [39]Sharma, S. N., Sharma, R. K., Sood, K. N., & Singh, S. (2005). Materials Chemistry and Physics, 93, 368.
- [40] <https://www.pveducation.org/pvcdrom/materials/znse> (Consulté le 4 Mai2024)
- [41]<https://www.msosupplies.com/products/mse-pro-4n-99-99-zinc-selenide-znse-pieces-evaporation->

References

[materials?variant=39568638672954](#)

<https://doi.org/10.1002/jcc.26750> (Consulté le 4 Mai2024)

- [42]Oishi, A. H., Anjum, M. T., Islam, M. M., & Nayan, M. F. (2023). Impact of Absorber Layer Thickness on Perovskite Solar Cell Efficiency: A Performance Analysis. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 7(2), 48-51.
- [43]Al Dmour, H. (2023). SCAPS Numerical Analysis of Graphene Oxide/TiO₂ Bulk Heterojunction Solar Cell Sensitized by N719 Ruthenium Dye. *East European Journal of Physics*, 3, 555-561.
- [44]Mussa, M., & Saleh, I. (2001, February). Impact of Temperature Variation on PV-module Parameters and Performance. In *Proceedings of the Sharjah Solar Energy Conference*, Sharjah, United Arab Emirates (pp. 16-22).
- [45] Oishi, A. H., Anjum, M. T., Islam, M. M., & Nayan, M. F. (2023). Impact of Absorber Layer Thickness on Perovskite Solar Cell Efficiency: A Performance Analysis. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 7(2), 48-51.

Résumé

عنوان المذكرة : دراسة الخلايا الكهروضوئية ذات الأغشية الرقيقة المبنية على النحاس CuO

المؤطر: حناشي منال

الإسم: صفوة ; خديجة

اللقب: بركات ; بن عمر

ملخص: في هذه الدراسة، تم محاكاة الخلايا الشمسية ذات التوصيلة غير المتجانسة من نوع p-n المبنية على أساس أكسيد النحاس CuO(p) باستخدام برنامج المحاكاة أحادي البعد SCAPS-1D (محاكي قدرة الخلية الشمسية) الإصدار 3.9 تحت إشعاع شمسي AM 1.5 بكثافة قدرة حادثة قدرها 100 mW/m^2 ودرجة حرارة تشغيل 300 كلفن. لقد درسنا تأثير سمك طبقة الامتصاص CuO ودرجة حرارة التشغيل على المعلمات الكهروضوئية: كثافة تيار الدائرة القصيرة (J_{sc})، جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc})، عامل الشكل (FF)، والكفاءة (η) للخلايا الشمسية (CuO(p)/ZnO(n)) (CuO(p)/TiO₂(n)) (CuO(p)/CdS(n)) (CuO(p)/ZnSe(n)).

كلمات مفتاحية : خلية شمسية؛ أكسيد النحاس؛ وصلة p-n ؛ غير متجانسة؛ محاكاة؛ SCAPS-1D.

Memory title: study of thin-film photovoltaic cells based of copper CuO

Name: Barkat ; Benamar

First name : Safoua ; Khadidja

Directed by : Hannachi Manelle

Abstract : In this study, p-n junction heterojunction solar cells based on copper oxide, CuO(p), were simulated using the one-dimensional simulation software SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator) version 3.9 under AM 1.5 solar radiation with an incident power density of 100 mW/m^2 and an operating temperature of 300 K. We studied the effect of the thickness of the CuO absorbing layer and the operating temperature on the photovoltaic parameters: short-circuit current density (J_{sc}), open-circuit voltage (V_{oc}), fill factor (FF), and efficiency (η) of the photovoltaic cells (CuO(p)/ZnO(n)), (CuO(p)/TiO₂(n)), (CuO(p)/CdS(n)), and (CuO(p)/ZnSe(n)).

Key words: copper oxide; p-n junction; heterojunction; simulation; SCAPS-1D.

Titre du mémoire : étude des cellules photovoltaïque a couche minces a base de cuivre CuO

Nom: Barkat ; Benamar

Prénom: Safoua ; Khadidja

Encadreur: Hannachi Manelle

Résumé : Dans cette étude, les cellules solaires hétérojonction à jonction p-n à base d'oxyde de cuivre, CuO(p) ont été simulées à l'aide du logiciel de simulation uni-dimensionnelle SCAPS- 1D (Solar Celle Capacité Simulator) version 3.9 sous un rayonnement solaire AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 100 mW/m^2 et une température de fonctionnement 300 K. Nous avons étudié l'effet de l'épaisseur de la couche absorbante CuO et de la température de fonctionnement sur les paramètres photovoltaïques : densité de courant de court-circuit (J_{cc}), tension de circuit ouvert (V_{co}), facteur de forme (FF) et le rendement (η) dès les cellules photovoltaïques (CuO(p)/ZnO(n)) (CuO(p)/TiO₂(n)) (CuO(p)/CdS(n)) (CuO(p)/ZnSe(n)).

Mots clés : Cellule solaire ; oxyde de cuivre ; jonction p-n ; hétérojonction ; simulation ; SCAPS-1.