REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITE Ahmed Draia-Adrar-Algérie



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



Mémoire De fin d'études En vue d'obtention du Diplôme de Master en physique énergétique et énergies renouvelables

Thème

Cellule solaire pour un environnement clean

Présenté par :

BOUZIANE Abdelmadjid

LENSARI Ammar

Devant le jury composé de :

Président :	Dr Boussoukaia Tahar	Université d'Adrar
Rapporteur :	Dr Lahouaria Boudaoud	Université d'Adrar

Examinateur : Mr Omari Boumedienne Université d'Adrar

Année universitaire : 2019-2020

REMERCIEMENTS

Nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la volonté, la patience, la force, et le courage pour compléter ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Dr BOUDAOUD Lahouaria. Pour nous avoir encadrés durant notre projet de fin d'études pour tous ces efforts énormes et ces conseils tout le long de notre étude.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail. Dr BOUSSOUKAIA Taher d'avoir accepté d'être le président de jury de ce mémoire. Et Mr OUMARI Boumediene d'examiner ce travail. Merci pour vous chers professeurs.

Enfin, nous aimerions adresser nos plus fervents remerciements à nos parents, car nul autres qu'eux se sont plus sacrifiés pour notre bien et l'accomplissement de nos projets. Ils ont fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui, et pour cela, nous leurs dédions ce mémoire.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

Dédicaces :

Pour mes parents qui m'ont soutenu et encadré jusqu'à ce jour.

Pour toute ma famille

Pour toute personne que j'ai connue lors de mon bref passage à université Pour vous tous je dédie modeste travail

A mon promoteur Drlahouaria boudaoudqui accepté de me prendraient charge qui m'a dirigé dans mon travail.

Merc mille fois pour votre gentillesse, votre compétence votre

compréhension.

Tous les professeurs qui nous ont enseigné car si nous sommes là aujourd'hui

c'est

Bien grâce vous tous, donc un grand merci pour vous.

Bouziane abdelamadjid

Dédicaces :

Je dédie ce mémoire :

À ma très chère mère qui a été la lumière de ma vie

Et Mon père

A toute ma famille et ma grande famille, pour tous les efforts et les Sacrifices qu'ils me présentent. Et Mon encadreur Dr lahouaria boudaoud A tous mes amis sans exception. Pour conclure, je le dédie à ; A mon classe 20Mannée master physique énergétique et énergie renouvelableet à tous Ce qui m'ont aimé et m'ont respecté

Lensari Ammar

Sommaire:

Introduction générale	1
CHAPITRE I Généralité Sur L'énergie photovoltaïque	
I-1 Introduction	4
I-2 Énergie solaire	4
I-3 Le rayonnement solaire	6
I-4 Situation de l'Algérie	7
I-5 Différents types de rayonnement	8
I-5-1 Rayonnement Direct	
I-5-2 Rayonnement diffus	
I-5-3 L'albédo ou Réfléchi	9
I-5-4 Rayonnement global	9
I-6 Spectre solaire :	10
I-7 Les semiconducteurs	11
I-8 Conclusion	14
CHAPITRE II Énergie Solaire Photovoltaïque	
II-1 Énergie solaire photovoltaïque	
II-2 Historique	16
II-3 Cellule photovoltaïque	
II-3-1 La conversion photovoltaïque	
II-4 Le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	
II-5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	
II-5-1 Circuit électrique idéal	
II-5-2 Circuit électrique réel	
II-5-3 puissance de la cellule	
II-5-4 Le courant de court-circuit Icc	
II-5-5 La tension de circuit ouvert Vco	
II-5-6 Le facteur de forme	
II-5-7 Réponse spectrale, SR (λ)	25
II-5-8 Rendement de conversion n	25
II-6 Association de cellules	
II-6-1 Association de cellules en série	

II-6-2 Association de cellules en parallèle	27
II-7 Conclusion	28
CHAPITRE III Résultats et Discussion	29
Résultats et Discussion	29
III-1 Introduction :	30
III-2 Logiciel SCAPs	30
III-2-1 Les couches minces :	31
III-2-2 Cellule solaire (CIGS) simple	31
III-3 Semi-conducteur CdS	32
III-4 Le GaSe	32
III-5 Résultats et discussion	33
III-5-1 Description des cellules GaSe-ou-CdS/CIGS	33
III-5-2 Impact de la température sur les cellules étudiées	39
III-5-2-1 la cellule CdS/CIGS	39
III-5-2-2 la cellule GaSe/CIGS	42
III-5-3 Effet de l'épaisseur sur les caractéristiques de sortie des cellules étudiées .	46
III-5-3-1 influence de la variation de l'épaisseur de la base	46
III-5-3-1-1La cellule CdS/CIGS	46
III-5-3-1-2La cellule CdS/CIGS	50
III-5-3-2 Influence de l'épaisseur du l'émetteur	51
III-5-3-2-1 La cellule CdS/CIGS	51
III-5-3-2-2 La cellule GaSe/CIGS	55
Conclusion	57
Conclusion Generale	58
Bibliographie	61

Liste des figures

Figure (I-1) Plan de l'utilisation de l'énergie solaire
Figure (I-2) Radiation spectral pour différent air masses
Figure (I-3) Irradiation solaire globale reçue par l'Algérie moyenne annuelle7
Figure (I-4) Différents composants du rayonnement
Figure (I-5) Composantes du rayonnement solaire au sol10
Figure (I-6) Spectre solaire11
Figure (I-7) Structure énergétique d'un semi-conducteur12
Figure (I-8) Schéma montrant la position des bandes de valence et de conduction dans un isolant, un semiconducteur et un métal
Figure (II-1) Panneaux solaires photovoltaïques17
Figure (II-2) Représentation de la structure d'une cellule photovoltaïque simple17
Figure (II-3) Structure et diagramme de bande d'une cellule20
Figure (II-4) Schéma électrique idéal d'une cellule photovoltaïque20
Figure (II-5) Le schéma électrique équivaut d'une cellule PV22
Figure (II-6) Caractéristique du courant et de la puissance en fonction de la tension24
Figure (II-7) Caractéristique résultantes d'un groupement de Ns cellules en série26
Figure (II-8) Schéma électrique équivaut d'une cellule PV27
Figure (II-9) Caractéristiques résultantes d'un groupement de Np cellules en parallèle28
Figure (III-1) Fenêtre du logiciel SCAPS
Figure (III-2) Schémas des cellules étudiées GaSe /CIGS ou CdS /CIGS33
Figure (III-3) structure des bandes d'énergies des matériaux dans la cellule CdS/CIGS36
Figure (III-4) Bandes d'énergies des matériaux dans la cellule n-GaSe/p-CIGS37

Figure (III-5) Variation des porteurs n et p des cellules (a) CdS/CIGS et (b) GaSe/CIGS38
Figure (III-6) Comparaison du courant en fonction de la tension pour les deux cellules39
Figure (III-7) Variation de la densité du courant en fonction de la tension de la cellule CdS/CIGS en fonction de la température41
Figure (III-8) Variation de la tension en circuit ouvert et de la densité du courant en court- circuit en fonction de la température de la cellule CdS/CIGS
Figure (III-9) Variation du fill facteur et du rendement de la cellule CdS/CIGS en fonction de la température
Figure (III-10) Variation courant-tension de la cellule GaSe/CIGS en fonction de T (°K).44
Figure (III-11) Variation de la tension en circuit ouvert et du courant en court-circuit en fonction de la température pour GaSe/CIGS44
Figure (III-12) Variation du facteur et du rendement de la cellule GaSe/CIGS en fonction de la température
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)
Figure (III-13) Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS)

Figure (III-20) Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de l'émetteur CdS53
Figure (III-21) Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de l'émetteur
CdS54
Figure (III-22) Présentation du courant-tension de la cellule GaSe/CIGS pour différente
valeur de l'épaisseur de l'émetteur
Figure (III-23) Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur du l'émetteur56
Figure (III-24) Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur du GaSe57

Liste des tableaux

Tableau (I-1) Bandes interdites de quelques semi-conducteurs 13
Tableau (III-1) Illustration des paramètres d'entrés des matériaux étudiés34
Tableau (III-2) Illustration des paramètres d'entrés des bandes d'énergies des matériauxétudiés CdS /CIGSavec la température 300K
Tableau (III-3) Illustration des paramètres d'entrés des bandes d'énergies des matériauxétudiés GaSe/CIGSavec la température 300K37
Tableau (III-4) Comparaison des caractéristiques de sortie des deux cellules
Tableau (III-5) Illustration du rendement et de tension Voc en fonction de la température de la cellule CdS /CGIS
Tableau (III-6) Illustration du rendement et de tension Voc en fonction de la température de la cellule GaSe /CGIS

Nomenclature

Symbole	Définition et Unité
AM	Masse atmosphérique
$D_{(\alpha, \gamma)}$	Plan du capteur le rayonnement diffus
Dh	Rayonnement diffus horizontal w/m ²
Gh	Rayonnement global horizontal w/m ²
H _h	Angle horaire du soleil Degré (°)
Alb	Albédo du sol
α	Azimut du capteur Degré (°)
D_{v}	Rayonnement diffus Pour un plan vertical
G	Rayonnement global reçu par une surface horizontale
S	Rayonnement direct reçu par une surface horizontale.
D	Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale
h	Constante de Planck
λ	Longueur d'onde
С	Vitesse de lumière
Е	Quantité d'énergie
ν	Fréquence de l'onde lumineuse
Vd	Tension de diode

Eg	Largeur de la bande interdite (gap). Ev
N _A N _D	Concentration des atomes accepteurs et des atomes sonneurs
	respectivement
U	Tension
Ut=KT/q	Tension thermique
K	Constant de Boltzmann (1,38.10 ⁻²³ J/K)
Т	Température absolue en °K de la cell
ID	Courant de diode.
I _{ph}	Photo - courant.
Is	Courant de saturation de la diode
Q	Charge de l'électron (1,6.10 ⁻¹⁹ C)
A	Facteur d'idéalité de la jonction (1 <a<3)< td=""></a<3)<>
Io	Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une
	cellule causée par la Jonction p - n de la cellule
Rs	Résistance en série.Ω
Rsh, Rp	Résistances en shunt.Ω
Тс	température de jonction (K)
Pm	Puissance maximale. W
Vm	Point de tension à la puissance maximale. A
Im	Point du courant à la puissance maximale. V
Ns	Nombre des cellules associé en série
Np	Nombre des cellules associé en parallèle

FF	Factor de suffisance
Icc ,Jsc	Courant de court-circuit
Vco	Tension de circuit ouvert
Γ	Rendement de la cellule
Q	Facteur de qualité
$F(\lambda)$	Flux solaire au sol
$R(\lambda)$	Coefficient de réflexion
Pi	Puissance incidente du rayonnement solaire au sol

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

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

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

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

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

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

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

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

Ce mémoire est divisé en trois chapitres.

Le premier chapitre, on présente des généralités sur l'énergie photovoltaïque.

Le deuxième chapitre résume les propriétés des cellules solaires.

INTRODUCTION GENERALE

Le troisième chapitre, on donne la simulation d'une cellule solaire à base du CIGSe avec l'émetteur GaSe et le CdS par le simulateur SCAPs pour remplacer et d'éliminer le matériau toxique CdS et de créer une cellule propre qui ne viole pas la nature et d'obtenir un bon rendement.

Et on termine ce mémoire par une conclusion.

CHAPITRE I : Généralité Sur L'énergie photovoltaïque

CHAPITRE I

I-1 Introduction:

Dans ce chapitre, on va faire un rappel sur quelques bases indispensables dans le domaine photovoltaïque.

I-2 Énergie solaire :

L'énergie solaire est un type d'énergie que le soleil envoie et diffuse son rayonnement dans l'atmosphère. Elle est obtenue grâce à des panneaux solaires et est utilisée par les humains sous deux formes différentes : électrique et thermique. L'énergie solaire photovoltaïque permet de transformer les rayons du soleil en électricité, par un effet photovoltaïque par l'utilisation des cellules solaires photovoltaïque, tandis que l'énergie thermique est plutôt utilisée pour produire de la chaleur. Les panneaux solaires peuvent être installés partout où le soleil brille toute l'année, comme c'est le cas pour les pays situés aux abords de la ligne équatoriale, mais peuvent également servir de source d'énergie d'appoint dans les régions plus nordiques comme la nôtre.

Par l'utilisation de deux types de capteur, capteurs solaires plan qui est utilisé pour Le chauffage de l'eau, le séchage des récoltes agricoles, et des capteurs solaires à concentration dont leur accès à très haute température produit la vapeur chaude et comprimée par la concentration du rayonnement solaire sur la surface de l'absorbeur par des surfaces réfléchissantes, ce deuxième type de capteur (capteur solaires à concentration) permet aussi de produire l'électricité comme les cellules solaires photovoltaïque.

La figure I-1 résume l'utilisation d'énergie solaire [1].



Figure I-1: plan de l'utilisation de1'énergie solaire

I-3 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement moyen émis par le soleil est de 1,36 KW/m2 hors atmosphère. Pour des conditions climatiques ainsi que pour la présence de certaines molécules dans l'atmosphère (O₃, CO₂, H₂O...). Ce rayonnement subit une atténuation et une modification de son spectre.

L'intensité et la distribution spectrale qui arrive à la surface de la terre se réduit alors à1000 W/m² avec un spectre décalé vers le rouge. Pour pouvoir comparer les performances des cellules solaires et qualifier les différents spectres solaires utilisés, la notion d'air mass (AM), ou « masse atmosphérique » a été crée. Le nombre de masse (AM) et défini par l'équation (I.1) :

$$AM = 1/\cos\theta \qquad (I.1)$$

Où θest l'angle que fait le soleil avec son zénith (figure (I.2)).

La figure (I.2) montre le spectre solaire hors atmosphère (AM0) et sous AM1.5 global normalisé à 100 mW/cm² [2].

Afin de standardiser les méthodes de mesure, un spectre AM1.5G (Global) a été défini comme référence internationale. Il correspondant à une masse d'air de 1.5 et un angle θde 48.2°. Précisant que Global signifie que le spectre tient compte du rayonnement direct ainsi que du rayonnement diffus. Au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une composante directe et une composant diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par un obstacle : nuages, sol) formant le rayonnement global.



Figure I-2 Radiation spectral pour différent air masses [2]

I-4 Situation de l'Algérie :

L'énergie solaire participe pour une très faible part dans le bilan énergétique national, soit seulement 0,02% de la consommation nationale d'électricité (5 GWH). Le pays est qualifié de très en retard en matière d'investissement dans le domaine des énergies renouvelables. Pourtant, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants au monde Fig.(I-3). Lors d'un séminaire organisé à Alger, par la Chambre algéro-allemande de l'industrie et du commerce, l'intention de concrétiser le vœu algérien a été clairement affichée par les Allemands. « Vu qu'à l'horizon 2010, environ 5% de l'électricité en Algérie sera produite par l'énergie solaire ». Le projet consiste à ramener le taux de l'énergie renouvelable à 6% d'ici à 2015.



Figure I-3 Irradiation solaire globale reçue par l'Algérie : moyenne annuelle [3].

I-5 Différents types de rayonnement :

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



Figure I-4 Différents composants de rayonnement.

I-5-1 Rayonnement Direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère, il peut être mesuré par un pyrhéliomètre [4].

I-5-2 Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste [5].

Le rayonnement diffus (D_h) est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyromètre avec écran masquant le soleil [6].

Dans le plan du capteur le rayonnement diffus est donné par [7] :

$$D_{(a,\gamma)} = \left(\frac{1+\cos\alpha}{2}\right) D_h + Alb \left(\frac{1+\cos\alpha}{2}\right) G_h(I.2)$$

CHAPITRE I

Avec :

Alb : albédo (coefficient de réflexion du sol)

h : hauteur de soleil [degré]

Dh : diffus sur plan horizontal

Gh : global horizontal

Pour un plan vertical : $D_{\upsilon} = 0.5(H_h + a G_n)$ (I.3)

I-5-3 L'albédo ou Réfléchi :

C'est la partie réfléchie par le sol. Il dépend de l'environnement du site, d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchie par un obstacle, ce terme étant généralement réservé au sol et aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considéré, et pour tous les angles d'incidences possibles, par définition, le corps noir possède un albédo nul [8].

$$l'alb\acute{e}do(Alb) = \frac{energie \ refl\acute{e}chie}{energie \ reçue}$$
(I.4)

I-5-4 Rayonnement global :

Le rayonnement global au sol se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires [5]. Dans le cas d'une surface horizontale, le rayonnement global s'écrit :

$$\mathbf{G} = \mathbf{S} + \mathbf{D} \tag{I.5}$$

Où

S : le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D : le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G: le rayonnement global reçu par une surface horizontale.



Figure I-5 Composantes le rayonnement solaire au sol.

I-6 Spectre solaire :

Le spectre solaire c'est sa décomposition en longueurs d'onde ou "couleurs". La lumière solaire est en effet composée de toutes sortes de rayonnements de couleurs différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'onde. Les photons, grains de lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, elles sont porteuses d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par la relation :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{h}\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{h}\mathbf{C}}{\boldsymbol{\lambda}}(\mathrm{I.6})$$

Une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire extraterrestre, compilée selon les données recueillies par les satellites [9]. Sa distribution en énergie est répartie comme il est indiqué sur la figure I-6.



Figure I-6 Spectre solaire[10].

I-7 Les semiconducteurs :

Les semi-conducteurs sont des éléments naturels. Sensibles à la lumière visible et invisible (rayon ultra-violet, infrarouge...) ; Ils conduisent le courant nettement moins bien que les métaux, mais d'autant mieux que la température est plus élevée (Exemples types : le silicium Si, le germanium Ge).La bonne conductivité électrique des métaux est due à la présence des électrons libres. Les semi-conducteurs est intermédiaire entre un métal et un isolant [11]. A T=0 K, il se comporte comme un isolant mais il conduit l'électricité dès que la température augmente. Sa conductivité augmente avec la température contrairement aux métaux [11].

La structure de bande est analogue à celle des isolants figure I-7 avec une zone interdite séparant la bande de valence de celle de conduction, mais la largeur de celle-ci est plus faible.

À T=0 K, la bande permise occupée la plus haute est complètement remplie : c'est la bande de valence et la bande permise vide la plus basse est la bande de conduction. Lorsque la température augment, l'énergie d'agitation thermique excite un certain nombre d'électrons de la bande de valence vers la bande de conduction [11]. Comme celle-ci est incomplètement remplie, il y a conduction si l'on applique un potentiel électrique à cette conduction d'origine électronique, s'ajoute celle des trous qui sont les places vacantes laissées par les électrons dans la bande de valence. Pour un semiconducteur, la conductivité est d'autant plus grande que le nombre d'électrons dans la bande de conduction est élevé. Il est possible de faire varier la conductivité des semiconducteurs par plusieurs ordres de grandeur ce qui rend ces derniers très intéressants pour réaliser des composants électroniques actifs.



Figure I-7 Structure énergétique d'un semiconducteur.



Figure I-8 Schéma montrant la position des bandes de valence et de conduction dans un isolant, un semiconducteur et un métal [12].

CHAPITRE I

La bande interdite (l'énergie de gap) Eg d'un semi-conducteur illustre la caractéristique principale de la cellule solaire. Le tableau I-2 montre les valeurs de la bande interdite de quelques semi-conducteurs [12].

Matériaux	Bande interdite (eV) à 300 K
Si	1.12
Ge	0.66
GaAs	1.42
InP	1.34

Tableau I-2 Bandes interdites de	e quelques semi-conducteurs.
----------------------------------	------------------------------

I-8 Conclusion:

On a vue dans ce chapitre, que l'énergie solaire est divisée en deux formes différentes : électrique et thermique. L'énergie solaire photovoltaïque permet de transformer les rayons du soleil en électricité, et ont donné un rappel sur les semi-conducteurs. On a vue aussi les caractères qui relient la terre et le soleil et leurs influences sur la production de l'énergie solaire

L'Algérie, comme on a vu précédemment est parmi les pays avantageux qui puissent utiliser l'énergie solaire comme solution de future pour remplacer l'énergie fossile, et pour cela il faut que tous les chercheurs et industriels orientent leurs perspectives vers l'énergie vert et solaire précisément en Algérie parce qu'il est non polluant est renouvelable.

CHAPITRE II : Énergie Solaire Photovoltaïque

CHAPITRE II

II-1 Énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est basée sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. La source de lumière peut être naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers.

La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photoélectrique. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Cette installation produit de l'électricité qui peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution [1].

II-2 Historique :

C'est en 1839 que le physicien français Edmond Becquerel découvre que certains matériaux délivraient une petite quantité d'électricité quand ils étaient exposés à la lumière.

Albert Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1912. Mais ce n'est qu'en 1954que la première cellule photovoltaïque a été mise au point par des chercheurs du laboratoire Bell aux USA. Cette première cellule PV était en silicium et avait un rendement de 4,5%. C'est dans les années soixante-dix avec la crise énergétique, que les cellules solaires ont connu leurs premières applications terrestres [11].

II-3 Cellule photovoltaïque :

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et elle transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Nous allons ici présenter rapidement le fonctionnement du phénomène photovoltaïque [13].



Figure II-1 Panneaux solaires photovoltaïques.

II-3-1 La conversion photovoltaïque :

La conversion d'énergie photovoltaïque est composée par trois phénomènes physiques [14]

:

- L'absorption de la lumière dans le matériau ;
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques ;
- La collecte des charges.



Figure II-2 Représentation de la structure d'une cellule photovoltaïque simple [14].

II-4 Le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Un semiconducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux. Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semiconducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap" (Eg).Cette valeur seuil est propre à chaque matériau semi-conducteur.

Les photons absorbés dont l'énergie est supérieure à l'énergie du band gap vont libérer un électron négatif, laissant un "trou" positif derrière lui.

Afin de séparer cette paire de charges électriques de signes opposés (positive et négative) et recueillir un courant électrique, il faut introduire un champ électrique, E, de part et d'autre de la cellule.

La méthode utilisée pour créer ce champ est celle du "dopage" par des impuretés. Deux types de dopage sont possibles. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction p-n. D'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées [12].

Le dopage de type n (négatif) consiste à introduire dans la structure cristalline semiconductrice des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire (charge négative), libre de se mouvoir dans le cristal. C'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si). Dans un matériau de type n, on augmente fortement la concentration en électrons libres.

Le dopage de type p (positif) utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire. Le bore (B) est le dopant de type p le plus couramment utilisé pour le silicium.

Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type n et type p) de part et d'autre de la cellule, il en résulte, après recombinaison des charges libres (électrons et trous), un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs.Les porteurs séparés

créent un champ électrique E ' qui est opposé au champ E. Le champ résultant est donc E-E', ce qui veut dire que la différence de potentiel électrostatique entre le coté P et le coté N est réduit de Vd à V_d - V, Ceci va conduire a une auto-polarisation dans le sens passante de la diode.

La tension V est la même tension qu'il faudrait appliquer dans le sens passant de la diode non éclairée pour qu'il laisse passer un courant, I_d , égal au photo-courant, I_{ph} .

Le résultat global étant la création d'une différence de potentiel, V, aux bornes de la jonction. L'apparition de cette tension aux bornes d'une jonction illuminée porte le nom effet photovoltaique.la valeur maximum de V est Vd lui-même inferieure à Eg/q [15].

$$V_d = \frac{E_g}{q} + \frac{KT}{q} \log\left(\frac{N_a N_d}{N_c N_V}\right) (\text{II.1})$$

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. Lorsque l'énergie du band gap augmente, le courant diminue mais la tension est plus élevée [16].

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est illustré sur la figure II-3, Les photons incidents créent des porteurs dans les zones n et p et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteuses auront un comportement différent suivant la région :

 Dans la zone n ou p, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont envoyés par le champ électrique dans la zone p (pour les trous) ou dans la zone n (pour les électrons) où ils seront majoritaires. Les pairs électron-trou générées près de la zone de charge d'espace auront la plus grande probabilité d'être collectées.

On aura donc, un photocourant de diffusion ;

• Dans la zone de charge d'espace, les paires électron-trou crées par les photons incidents son dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région n, les trous vers la région p. On aura un photocourant de génération.

CHAPITRE II



Ces deux contributions s'ajoutent pour donner un photocourant résultant Iph. C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse.

Figure II-3 Structure et diagramme de bande d'une cellule [17].

II-5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

II-5-1 Circuit électrique idéal :

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéalede courant qui produit un courant I_{Ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure II-4 qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV.

D'après la loi de nœuds :



Figure II-4 Schéma électrique idéal d'une cellule photovoltaïque.

$$I = I_{Ph} - I_d(II.2)$$
$$I_D = I_s(e^{\frac{u}{ut}} - 1) \quad (II.3)$$
$$I = I_{Ph} - I_s(e^{\frac{u}{ut}} - 1) \quad (II.4)$$

- U : tension. U_T : KT/q tension thermique ;
- **K** : 1.38 10⁻²³ constant de Boltzmann ;
- **q**: 1.602 10⁻¹⁹ charge de l'électron ;
- \mathbf{T} : température absolue en °K ;
- I_s : Courant de saturation de la diode ;

I_{Ph}: Photo courant.

II-5-2 Circuit électrique réel :

Le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite.

CHAPITRE II

On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série **R**set les courants de fuite par une résistance en parallèle **R** $_{P}[18]$.

La caractéristique courant-tension pour une température donnée et un éclairement solaire fixé est illustré dans la figure II-5 [13].



Figure II-5 le schéma électrique équivaut d'une cellule PV

 $I = I_{Ph} - I_D - I_{Sh}(II.5)$ $I_D = I_0 (e^{\frac{q(V+Rs.I)}{A.K.Tc}} - 1) \quad (II.6)$ $I_{Sh} = \frac{(V+R_S.I)}{R_p} (II.7)$ $I = I_{Ph} - I_0 (e^{\frac{q(V+Rs.I)}{A.K.Tc}} - 1) - \frac{(V+R_S.I)}{R_p} (II.8)$

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

I_{Ph}: Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident) ;

 I_0 : Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la Jonction p - n de la cellule ;

R_p: Résistances shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule ;
R_S: Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connections des cellules. q : la charge de l'électron $(1,6.10^{-19} \text{ C})$;

K : constant de Boltzmann $(1,38.10^{-23} \text{ J/K})$;

Tc : température de jonction (K) ;

 $Tc=T + (NOCT^1 - 20) Eg/800 T$: la température ambiante ;

Eg : Éclairement.

En négligeant le terme (V+Rs.I), Rp pour une résistance shunt très grande.

$$I = I_{Ph} - I_0(e^{\frac{q(V+Rs.I)}{A.K.Tc}} - 1)$$
 (II.9)

II-5-3 puissance de la cellule :

La puissance électrique produite par une diode sous éclairement est égale au produit de l'intensité délivrée et de la tension à ses bornes. Il faut ainsi adapter la charge aux bornes du dispositif afin de la faire fonctionner au point de puissance maximale[19].

Pm=Im×Vm(II.10)

• La puissance du panneau constitué des cellules parallèles :

• La puissance du panneau constitué des cellules série :

$$Ps = Ns \times I \times V(II.12)$$

• La puissance du panneau constitué des cellules série et parallèle :

 $^{1}NOCT$:(Nominal operating cella température), température nominal defonctionnement de la cellule qui est mesurée sous les conditions suivantes :

- Température ambiante de (20°C).
- Vitesse moyenne du vent (1m/s).

⁻ Journée claire d'ensoleillement moyenne 800(w/m2).



Pp=Np×I×V×Ns(II.13)



Pm : la puissance maximale ;

Im : le courant maximum ;

Vm : la tension maximale ;

Ns : le nombre des cellules associé en série ;

Np : le nombre des cellules associé en parallèle.

II-5-4 Le courant de court-circuit Icc :

Soit le courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle, en pratique ce courant est très proche de la photo courant Iph, c'est-à-dire que :Icc=I (V=0).

II-5-5 La tension de circuit ouvert Vco :

C'est la tension pour laquelle la diode à l'obscurité (I = 0) fournit un courant égal au courant de court-circuit Icc. Elle est obtenue à partir de l'équation [21] :

$$V_{co} = QU_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right)$$
(II.14)

Q : lefacteur de qualité

Ut : tension thermique

II-5-6 Le facteur de forme :

On appelle facteur de forme, le rapport de la puissance maximale au produit Icc et Vco. Le facteur de forme indique la qualité de cellule, il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites Rs et Rp [16].

$$FF = \frac{Pm}{Vco.Icc}$$
(II.15)

II-5-7 Réponse spectrale, SR (λ) :

La réponse spectrale d'une cellule solaire est le rapport du courant total généré par la cellule au courant qui peut être généré pour chaque longueur d'onde du spectre incident. Elle renseigne sur la réaction de la cellule à la radiation incidente et permet de fixer la gamme d'utilisation de la cellule **[15]**.

$$\mathbf{SR}(\lambda) = \frac{I_{ph}(\lambda)}{qF(\lambda)(1-\mathbf{R}(\lambda))} (\text{II}.16)$$

II-5-8 Rendement de conversion η :

Le rendement de conversion d'une cellule solaire est le rapport de la puissance maximale pouvant être extraite à la puissance incidente **[16]**.

$$\eta = \frac{Pm}{Pi}(II.17)$$

où :Pi : est la puissance incidente du rayonnement solaire au sol

II-6 Association de cellules :

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance au regard des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. En effet une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension très faible, par principe, puisqu'il s'agit d'une

tension de jonction. Les générateurs photovoltaïques sont, par conséquent, réalisés par association d'un grand nombre de cellules élémentaires.

Ces cellules sont commercialisées sous la forme de modules photovoltaïques associés généralement en série pour élever la tension, un certain nombre de cellules élémentaires de technologie et caractéristiques identiques. Suivant les besoins de l'utilisation, ces modules sont ensuite associés en réseau série-parallèle de façon à obtenir la tension et le courant désirés. Cette association doit être réalisée en respectant des critères précis, en raison des déséquilibres apparaissant dans un réseau de photopiles en fonctionnement. En effet, bien que choisies théoriquement identiques, les nombreuses cellules qui constituent le générateur présentent des caractéristiques différentes du fait des dispersions de construction inévitables, mais aussi d'un éclairement et d'une température non uniformes sur l'ensemble du réseau. La mise en place de dispositifs de protection efficaces contre les effets négatifs de ces déséquilibres sur le comportement et la fiabilité doit être prévue[13].

II-6-1 Association de cellules en série :

L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisées en associant 36 cellules en série ($V_{cons} = 0.6V.36 = 21.6V$)afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{op} proche de celle d'une tension de batterie de12V, comme montre la Figure II-8[22].

 $Vsco = Ns \times Vco$ (II.18)



Figure II-7Caractéristiques résultantes d'un groupement de Ns cellules en série [21]

II-6-2 Association de cellules en parallèle :

Une cellule photovoltaïque est un générateur de courant de puissance finie. Son schéma équivalent est composé d'une source de courant (Iph) proportionnel au rayonnement incident (G) et à la température ambiante (Ta). Cette source est ferméesur une diode (D) placée en parallèle avec une résistance parallèle (Rp en anglais shunt). L'ensemble est mis en série avec une résistance de connexion (Rs). Le courant (I), généré suite à la connexion d'une charge, engendre une tension (V).



Figure II-8 Schéma électrique équivaut d'une cellule PV.

ID: Courant dans la diode. Il représente le courant de fuite interne à une cellule.

Rsh : Résistance shunt. Elle est parcourue par un autre courant de fuite.

Rs : Résistance série. Elle engendre les pertes provoquées par le contact électrique des cellules entre elles.



Figure II-9 Caractéristiques résultantes d'un groupement de Np cellules en parallèle. [22]

 $I_{PCC} = Np.Icc$ (II.20)

Avec

Ipcc : le courant de court-circuit en parallèle

II-7 Conclusion:

Nous avons décrit l'énergie solaire, on a aussi rappelé quelques notions sur la cellule solaire et la conversion de photovoltaïque. Ensuite, on a donné le principe de fonctionnement, ses différents paramètres électriques (rendement, facteur de forme, le courant de court-circuit, ...). On a aussi présenté son circuit électrique réel et l'idéal, ainsi qu'association de cellules qui joue un rôle important dans la production et conversion électrique.

CHAPITRE III Résultats et Discussion

III-1 Introduction :

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

III-2 Logiciel SCAPs :

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

SCAPS 3.3.07 Action Panel				– 🗆 X
Working point	Series resistar	ceShunt resistance	Action list	—— All SCAPS settings –
Voltage (V)	no yes	yes no	Load Action List	Load all settings
Frequency (Hz)	1.00E+0 Rs	Ohm.cm^2 Rsh 1.00E+3	Save Action List	Save all settings
Number of points 5		S /cm^2 Gsh 1.00E-3		
Illumination: Dark Lig	ght Specify	illumination spectrum, then calculate G	(x) Directly specify G(x)	
Analytical model for spectrum	Spectrum from file	Incident (or b	ias)	for G(x) G(x) from file
Spectrum file name: illum	inated from left illuminated f	rom right light power (W)	(n2) G(x) model	onstant generation G
spectrum file	Short wavel. (nm)	Surror tamp 0.00	Ideal Light Curren	nt in G(x) (m A.cm?) 20.0000
spectrum cur on ?	Long wavel . (nm) 4000.0	after cut-off 0.00	Transmission of a	attenuation filter (%)
Neutral Density 0.0000	Transmission (%)) after ND 0.00	Ideal Light Curre	ent in cell (mA,/cm2) 0.0000
Action	use at each step		number	
⊢ ŀA	V1 (V) 🖨 0.0000	V2 (V) 🖨 0.8000	41	0.0200 increment (V)
C-V	V1 (V) 🚔 -0.8000	V2 (V) 单 0.8000	81	0.0200 increment (V)
C-f	f1 (Hz) 🖨 1.000E+2	f2 (Hz) 🖨 1.000E+6	21	5 points per decade
C QE (IPCE)	WL1 (nm) 🚔 300.00	WL2 (nm) 🚔 900.00	€61	10.00 increment (nm)
Set problem	loaded definition file:		Problem file: new problem	Set Problem
Calculate: single shot	Continue St	op	of calculations	Save all simulations
Calculate: batch	Batch set-up	EB G,R AC	I-V C-V C-F QE	Clear all simulations
Calculate: recorder	Record set-up	Recor	der results	SCAPS info
Calculate: curve fitting	Curve fit set-up	Curvefi	tting results	
Execute script	Script set-up	Script graphs	Script variables	Quit

Figure III-1 Fenêtre du logiciel SCAPS.

III-2-1 Les couches minces :

Les cellules solaires à base de couches minces présentent 17 % des cellules du marché et elles sont issues des technologies du revêtement de différents supports : revêtements sur du verre, sur des métaux, sur des plastiques ; ce sont des accumulations de couches minces de quelques microns d'épaisseur que l'on peut classer en trois grandes catégories : les cellules basées sur le silicium amorphe – ce sont les cellules utilisées dans les calculatrices , les cellules basées sur du tellurure de cadmium (CdTe), et enfin celles basées sur un alliage de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium (Cu(In,Ga)Se2, noté CIGS). Il faut souligner qu'en quelques années, ce type de cellules (CIGS) a beaucoup progressé pour atteindre des rendements de 20 % en laboratoire.

III-2-2Cellule solaire (CIGS) simple :

L'histoire de la technologie des cellules solaires à base de CIGSe constitue une amélioration scientifique et technologique dont les efforts ont permis d'augmenter les rendements des cellules solaires de 9 % dans les années 80 à plus de 20 % aujourd'hui [23].

Les progrès scientifiques qui ont permis la réalisation de cellules solaires en couche mince à très haut rendement ont eu lieu par sauts technologiques successifs. L'étude du passé de cette technologie et en particulier l'étude de ces différentes étapes clés sont indispensables pour comprendre la complexité de la structure d'une cellule solaire à base de CIGSe standard.

Les premières cellules solaires de type CIGS ont été fabriquées dans le laboratoire Bell au début des années 70 [23]. Destinées à la fabrication de photodétecteurs, les cellules étaient constituées de monocristaux de CuInSe2 (CISe) évaporés sur un substrat alumine/molybdène. A partir de 1975, devant les difficultés de croissance des monocristaux de CISe, Kazmerskietal envisagèrent la réalisation de couches minces de CISe [24].

L'intérêt pour l'application photovoltaïque a très vite grandi devant les bons rendements autour de 9 % obtenus par BOEING en 1981 [25].

III-3Semi-conducteur CdS :

Les raisons pour le choix fréquent du CdS dans les cellules solaires ne peuvent pas être immédiatement apparentes. C'est pour cela que ça vaut la peine de l'expliquer avant de passer aux détails.

• La bande interdite (gap)

La valeur de la bande gap du CdS est 2.42 eV, ce qui correspond à une longueur d'onde de 0.52µm . Cela veut dire que la charge du spectre solaire est transmise tout à fait librement. Donc ceci le rend convenable comme une " couche fenêtre" au-dessus de l'absorbeur dans Lequel la photo génération se crée où les porteurs minoritaires prennent place.

• La résistivité

Les CdS ont une très haute résistivité, mais quand ils sont déposés en couche mince par sublimation ou vaporisation élémentaire, un manque dans le dépôt de la couche de soufre implique l'obtention d'un semi-conducteur de type N.

Aussi, on peut agir sur l'épaisseur pour avoir une résistivité d'une valeur appropriée pour la cellule solaire.En plus, il est facile d'introduire un dopant afin d'avoir une résistivité efficace.

• Contacts

C'est une matière simple pour prendre des contacts ohmiques des films CdS [26].

III-4 Le GaSe:

Il appartient au composé($A^{III}B^{VI}$), ce type des semi-conducteursest le plus prometteur en raison de ses propriétés optiques et électriques, il a beaucoup de capacités dans la filière des dispositifs optoélectroniques.

Les études concernant les applications technologiques des cristaux ont montré que GaSe a des potentiels pour être utilisé comme modulateur de lumière pour le laser He – Ne , les transistor ultra mince, et applications de conversion infrarouge lointain, et comme deuxième générateur harmonique d'impulsions laser CO2.

La structure cristalline de GaSe se compose de quatre feuillets monoatomiques dans l'ordre Se – Ga – Ga – Se. Une seule couche est ordonnée de manière hexagonale et l'axe est perpendiculaire aux couches. Les paramètres de réseau de la structure hexagonale ont été rapportés comme a = 0,375 nm et c = 1,595 nm.

Les propriétés optiques des monocristaux de GaSe ont été précédemment étudiées par des mesures d'absorption, de photoluminescence et d'ellipsométrie. Les énergies de bande interdite directe et indirecte ont été trouvées à 2,117 et 2,169 eV, respectivement, à partir des analyses des mesures d'absorption effectuées à une température de 77 K[27].

III-5Résultats et discussion :

III-5-1 Description des cellulesGaSe-ou-CdS/CIGS :

Les cellules étudiées par le simulateur SCAPs sont le n-CdS/ p-CIGSe et le n-GaSe/p-CIGSe. Dans le Tableau III-1, on donne les paramètres d'entrés des deux cellules solaires des matériaux utilisés (CIGSe, GaSe, CdS) tels que : (Epaisseur de la couche (µm), Eg Energie du gap, (eV) (CIGS, GaSe, CdS),...etc. dans la figure III-2, on présente le schéma illustratif des deux cellules solaires : n-CdS/p-CIGSe et n-GaSe/p-CIGSe.



Figure III-2Schémasdes cellules étudiées GaSe/CIGS/ ou CdS/CIGS.

Matériaux	CIGS	GaSe	CdS
Epaisseur de la couche (µm)	.2	0.1	0.1
Eg Energie du gap, (eV)	1.5	1.2	2.45
χ Affinité électronique, (eV)	4.45	4.45	4.45
er Permittivité relative,	10	9.3	10
μ_n mobilité électronique (cm ² / Vs)	50	50	50
C _B Densité effective d'états (/cm ³)	2 10 ¹⁸	10 ¹⁹	2 10 ¹⁸
V _B densité effective des états (/cm ³)	2 10 ¹⁸	10^{20}	1.5 10 ¹⁹
vitesse thermique des électrons (cm / s)	107	107	10 ⁷
Vitesse thermique du trou (cm / s)	107	107	107
μ_p mobilité des trous (cm ² / Vs)	20	20	50
N _D densité des donneurs (/cm ³)	-	10 ¹⁸	10 ¹⁸
N _A densité des accepteurs (/cm ³)	10 ¹⁶	-	

Tableau III-1 illustration des paramètres d'entrés des matériaux étudiés

D'après le Tableau III-2, on remarquelesniveaux des énergies des bandes des matériaux utilisés pour obtenir des hétéro-jonctions qui forment les cellules solaires. Donc, ce tableau illustre la profondeur de la cellule x (μ m) et les niveaux des énergies correspondants à chaque profondeur ; ces niveaux d'énergies sont Ec, Ev, Fn, et Fp.

Avec Ec : niveau d'énergie de la bande de conduction ;

Ev : niveau d'énergie de la bande de valence ;

Fp : niveau d'énergie des atomes dopants NA ;

Fn : niveau d'énergie des atomes dopants ND.

Ec(eV)	Fn(eV)	Fp(eV)	Ev(eV)
1.01277358	0.72820711	-0.00000006	-0.13722642
1.01313536	0.76957514	-0.00006157	-0.13686464
1.01341888	0.78553907	-0.00012511	-0.13658112
0.87583827	0.79999927	-0.00026284	-0.27416173
0.87583827	0.79999935	-0.57315605	-1.10416173
0.85963695	0.799999999	-0.59857834	-1.12036305
0.85963695	0.799999999	-0.59852848	-1.12036305
	Ec(eV) 1.01277358 1.01313536 1.01341888 0.87583827 0.87583827 0.85963695 0.85963695	Ec(eV)Fn(eV)1.012773580.728207111.013135360.769575141.013418880.785539070.875838270.799999270.875838270.799999350.859636950.799999990.859636950.79999999	Ec(eV)Fn(eV)Fp(eV)1.012773580.72820711-0.000000061.013135360.76957514-0.000061571.013418880.78553907-0.000125110.875838270.79999927-0.000262840.875838270.79999935-0.573156050.859636950.79999999-0.598578340.859636950.79999999-0.59852848

Tableau III-2 illustration des paramètres d'entrés des bandes d'énergies desmatériaux étudiés CIGS/CdS avec la température 300K.



Figure III-3 structure des bandes d'énergies des matériaux dans la cellule CdS /CIGS.

D'après cette figure III-3 illustre le diagramme des bandes de conduction et de valence : elles sont représentées par Ec (en rouge) et Ev (en bleu) respectivement, par contre les niveaux d'énergies des niveaux de Fermi pour les donneurs est Fn et pour les accepteurs est Fp. Dans la couche CdS, le niveau de fermi Fn est celui du niveau de conduction, où on a plus de porteurs libres et le passage des électrons de la couche CdS vers la couche CIGS doivent franchirent la barrière.

D'après le Tableau III-3, on donne les valeurs des énergies des niveaux Ec, Ev, Fn, et Fp des matériaux de la cellule solaire n-GaSe/p-CIGSe pour chaque x de la cellule solaire. On remarque quand le profondeur de cellule augmente les énergies des niveaux d'énergies diminues de manière de garder les valeurs des gaps des matériaux.

Tableau III-3 Illustration des paramètres d'entrés des bandes d'énergies desmatériaux étudiés CIGS/GaSe avec la température 300K :

x(µm)	Ec(eV)	Fn(eV)	Fp(eV)	Ev(eV)
0.000000	1.01277358	0.72829417	-0.00000007	-0.13722642
0.505947	1.01313392	0.76966173	-0.00006444	-0.13686608
1.041024	1.01341565	0.78562483	-0.00013096	-0.13658435
2.000000	0.84526207	0.79999933	-0.00029129	-0.30473793
2.000000	0.84526207	0.79999933	-1.05350378	-1.60473793
2.099900	0.81795251	0.799999999	-1.13278897	-1.63204749
2.100000	0.81795251	0.799999999	-1.13273912	-1.63204749

D'après la figure III-4, on donne le diagramme des bandes des énergies des matériaux étudiés. Cette figure montre les niveaux des énergies dEc, Ev, Fn, et Fp de la cellule solaire n-GaSe/p-CIGSe.



Figure III-4 Bandes d'énergies des matériaux dans la cellule n-GaSe/p-CIGS.



Figure III-5 Variation des porteurs n et p des cellules (a)CdS/CIGS et (b)GaSe/CIGS.

La figure III-5 montre la variation des porteurs n et p dans les cellules n-CdS/p-CIGS et n-GaSe/p-CIGS, les courbes représentées dans la figure affirment les concentrations des porteurs libres des cellules solaires considérés dans cette étude.

Résultats et Discussion

La figure III-6 illustre la variation densité de courant en fonction de la tension pour les deux cellules. On remarque une augmentation du courant en fonction de la tension à température 300K. Mais, la cellule CdS/CGIS est meilleure par rapport à la cellule GaSe/CGIS, mais ils sont presque identiques. Dans la gamme 0 à 0.6 V, le courant arrive à une valeur meilleure et reste presque constant, la cellule se comporte comme un générateur de courant et entre 0.6 à 0.8V, ce dernier diminuer et la cellule solaire se comporte comme un générateur de tension et cela dépend de plusieurs facteurs (Eg Energie du gap, ϵ r Permittivité relative, μ_p mobilité des trous).



Figure III-6 Comparaison du courant en fonction de la tension pour les deux cellules.

Tableau III-4 Comparaison des caractéristiques de sortie des deux c	llul	les	:
---	------	-----	---

	Voc(v)	FF (%)	Jsc(mA/cm ²)	ղ (%)
GaSe	0.729287	83.4000	38.53219978	23.4363
CdS	0.730421	83,7164	40.21486074	24.5907

D'après le Tableau III-4, on donne les caractéristiques de sortie de deux cellules solaires étudiées dans ce mémoire. L'hétérojonction n-CdS/p-CIGS donne un rendement égal à 24.6%, par contre la cellule n-GaSe/p-CIGS donne un rendement légèrement inférieur qui est égale à 23.43%. Cette légère différence est acceptable dû à la stabilité du CdS.

III-5-2 Impact de la température sur les cellules étudiées :

La température est un paramètre très marquant dans le comportement des cellules solaires ; car les performances électriques d'une cellule solaire sont très sensibles à celle-ci. Il est important d'étudier l'effet de cette dernière sur les caractéristiques électriques des cellules solaires puisque, dans les applications terrestres, les cellules solaires sont généralement exposées à des températures dans la gamme 15°C (288 °K) à 50°C (323 °K) et même à des températures encore plus élevées comme dans les régions extrêmement chaudes.

Dans cette partie, nous allons étudier l'effet de température sur les paramètres de sortie : densité du courant de court-circuit (Jcc), la tension du circuit ouvert (Vco), le facteur de forme (FF), et le rendement de la conversion photovoltaïque (η)des cellules solairesn-CdS/p-CIGS et n-GaSe/p-CIGS, et on va comparer les résultats des deux cellules avec une variation de la température de 273k à 333k.

III-5-2-1 Cellule CdS/CIGS :

D'après la figure III-7, on remarque le courant-tension de la cellule n-CdS/p-CIGS augmente avec la croissance de la température. La courbe a une forme exponentielle, la première phase la variation de courant presque constante entre le gamme 0 à 0.6 V et la cellule se comporte comme un générateur de courant. Pour la deuxième phase 0.6 à 0.8V, la densité du courant augmente rapidement et la cellule solaire se comporte comme un générateur de tension. D'après, cette figure, on remarque que la cellule est dans son meilleur état pour la température 273 k.



Figure III-7 Variation de la densité du courant en fonction de la tension de la cellule CdS/CIGS en fonction de la température.



Figure III-8 Variation de la tension en circuit ouvert et de la densité du courant en court-circuit en fonction de la température de la cellule CdS/CIGS.

D'après la figure III-8, on remarque que la tension en circuit ouvert de la cellule CdS/CIGS décroît en fonction de la température et la densité du courant en court-circuit augmente linéairement avec la température dans la gamme 273-333 K. Et ceci donne pour la température 333 k un courant de 40.26383373mA/Cm², et une tension de0.671217 V. Le photo-courant d'une cellule solaire augmente généralement légèrement avec l'augmentation de la température. Cette augmentation est due à la décroissance de la largeur de la bande interdite (Eg) du matériau semi-conducteur ; ce qui permet d'utiliser un

peu plus de photons de basse énergie. En conséquence, le courant de court-circuit (Icc) de la cellule augmente.



Figure III-9 Variation du fill facteur et du rendement de la cellule CdS/CIGS en fonction de la température.

D'après la figure III-9, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule CIGS/CdS décroisent en fonction de la température. Presque de façon identique et linéaire avec la température, dans la gamme de température 273-333 K. Et la meilleure température pour cette cellule est de 273 k, on a un facteur de forme de 85.1769% et un rendement de 26.6315%.

La pente correspondante de rendement (d η /dT=-0.076016 % /K) et pour le rendement (dFF/dT=-0.058535 % /K)

D'après le Tableau III-5, on résume les valeurs des caractéristiques de sortie en fonction de la température de la cellule CdS/CIGS.

Tableau III-5Illustration du rendement et de tension Voc en fonction de la
température de la cellule CdS/CIGS :

Température (k)	273	280	290	300	310	320	333
ባ (%)	26.6315	26.1041	25.3490	24.5907	23.8295	0.066123	0.070522
Vac (V)	0.779209	0.765770	0.749125	0 720421	0712649	0 604707	0 (71)17
VOC (V)	0.778298	0.765770	0.748125	0.730421	0.712648	0.694797	0.6/1217

III-5-2-2 Cellule GaSe/CIGS :

D'après la figure III-10, on remarque des courant-tension de la cellule GaSe/CIGS augmentent pour différente valeur de la température. On distingue que, la température273 k donnes des caractéristiques de sortie meilleures. Et toujours, la forme de la courbe est exponentielle ; telle que, la première phase a une variation de courant presque constante entre la gamme 0 à 0.6 V et la deuxième phase 0.6 à 0.8V augmente rapidement.



Figure III-10 Variation courant-tension de la cellule GaSe/CIGS en fonction de T

(°**K**).



Figure III-11 Variation de la tension en circuit ouvert et du courant en court-circuit en fonction de la température pour GaSe/CIGS.

D'après la figure III-11, on constate que la tension en circuit ouvert de la cellule GaSe/CIGS décroît en fonction de la température et le courant en court-circuit augmente légèrement avec la température dans la gamme 273 à 333 K. Et montre que température 333 k donne des caractéristiques de sortie meilleures, tels que le courant est de $38.62498842 \text{ mA/Cm}^2$ et une tension 273 k est de 0.777106 V.

D'après la figure III-12, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule CIGS/GaSe décroît en fonction de la température et ces courbes sont linéaires et décroisent avec la température. On constate que la température 273 k donnes de meilleurs résultats telle que le facteur de forme est de 84.8489% et le rendement est de 25.3530%. La pente correspondante de rendement ($d\eta/dT$ =-0.07154166 % /K) et pour le rendement (dFF/dT=-0.057785 % /K).



Figure III-12 Variation du facteur et du rendement de la cellule GaSe/CIGS en fonction de la température.

Température (k)	273	280	290	300	310	320	333
η(%)	25.3530	24.8582	24.1491	23.4363	22.7199	22.0001	21.0605
Voc	0.777106	0.764744	0.747045	0.729287	0.711461	0.693560	0.669998

Tableau III-6 Illustration du rendement et de tension Voc en fonction de la température de la cellule GaSe/CIGS :

D'après le Tableau III-6, on remarque l'influence de température sur les caractéristiques : le rendement et la tension de la cellule GaSe/CIGS, ce tableau illustre les valeurs du rendement et la tension en court circuit de la cellule.

D'après notre étude nous avons abouti les résultats suivants

Le photocourant (*Iph*) d'une cellule solaire augmente généralement légèrement avec l'augmentation de la température, Cette augmentation est due à la décroissance de la largeur de la bande interdite (Eg) du matériau semi-conducteur ; ce qui permet d'utiliser un peu plus de photons de basse énergie, en conséquence, la densité du courant de court-circuit (*Jcc*) de la cellule augmente.

En effet, lorsque la température augmente la bande de gap devient plus étroite et ceci accélère le phénomène de recombinaison des pairs électrons-trous entre la bande de conduction et la bande de valence donc les électrons circuler en sens arbitraire et la tension diminue.

La forte réduction de Vco conduit à une diminution du facteur de forme FF ainsi que du rendement η de conversion de la cellule solaire.

On rappelle que le rendement d'une cellule solaire est relié à la densité du courant de court-circuit *Ic*c, la tension en circuit ouvert *Vco* et le facteur de forme *FF* par la relation :

$$\eta = \frac{Pm}{Pi} = \frac{FF.Vco.Icc}{Pi}(III.1)$$

III-5-3 Effet de l'épaisseur sur les caractéristiques de sortie des cellules étudiées :

Effet de l'épaisseur est un paramètre très marquant dans le comportement des cellules solaires ; car les performances électriques d'une cellule solaire sont très sensibles et on fait varier l'épaisseur de l'émetteur et de base des cellules CdS/CGIS et la cellule GaSe/CGIS est de voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée et l'objectif de ce changement est d'améliorer les paramètre suivant ; densité du courant de court-circuit (Icc), la tension du circuit ouvert (Vco), le facteur de forme (FF), et le rendement de la conversion photovoltaïque (η).

L'épaisseur de la couche en CdS varie de 0.07 μ m à 0.4 μ m tandis que l'épaisseur de la couche en CIGS est variée de 1,4 μ m à 3 μ m et L'épaisseur de la couche en GaSe est variée de 0.07 μ m à 0.4 μ m.

III-5-3-1 influence de la variation de l'épaisseur de la base :

III-5-3-1-1 La cellule CdS/CIGS :

D'après la figure III-13, on remarque la courbe densité du courant-tension de la cellule CdS/CIGS augmente pour différente valeur de l'épaisseur de la base et la meilleure épaisseur de la base est 3μ m. Le graphe a une forme exponentielle telle que la première phase de la variation du courant et de la tension augment dans l'intervalle 1.40 à 2.8 µmet la deuxième phase dans l'intervalle est de 2.8 à 3 µm.



Figure III-13 Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base (CIGS).



Figure III-14 Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de la base.

47

D'après la figure III-14, on remarque la tension circuit ouvert et le courant en court-circuit CdS/CIGS augmentent presque linéairement en fonction de l'épaisseur de la base et on remarque la meilleure épaisseur est de 3μ m pour une tension circuit ouvert égale à 0,741803V et un courant en court-circuit égale à 40.65988819 mA/cm².

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



Figure III-15 Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de la base.

D'après la figure III-15, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule CdS/CIGS qui augmentent en fonction de l'épaisseur de la base. Et toujours l'épaisseur de 3μ m est la meilleure épaisseur de la base, dont le facteur de forme est de 84.2300% et le rendement est de 25.4051 %.

On rappelle que le rendement d'une cellule solaire est relié à la densité du courant de court-circuit Jsc, la tension en circuit ouvert Voc et le facteur de forme FF par la relation : (III.1)

Par conséquent, toute variation de courant est de tension accompagné d'un changement de rapport de rendement et le facteur de forme.

D'après ces résultats, On constate que l'impact de l'épaisseur de la base sur les paramètres sont positives.



III-5-3-1-2 Cellule GaSe/CIGS :

Figure III-16Présentation du courant-tension de la cellule GaSe/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de la base.

D'après la figure III-16, on constate que la courbe de la densité du courant-tension de la cellule GaSe/CIGS augmente pour différente valeur de l'épaisseur de la base. Et comme la cellule précédente l'épaisseur 3µm est la bonne.

Le graphe a une forme exponentielle, la première phase la variation de courant augment entre la gamme de l'épaisseur1.40 à 2.8μ m mais la tension il augmente légèrement. Et la deuxième gamme 2.8 à 3μ m est presque constante pour les deux le courant et la tension.



Figure III-17 Variation du Voc et du Jsc de la cellule GaSe/CIGS en fonction de l'épaisseur de la base.

D'après la figure III-17, on remarque la tension en circuit ouvert et la densité du courant en court-circuit de la cellule GaSe/CIGS augmentent en fonction de l'épaisseur de la base. Et pour l'épaisseur3µm, on a une Voc égale à 0.740V et la densité du courant en court-circuit atteint la valeur de 38.978 mA/cm².

D'après la figure III-18, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule GaSe/CIGS augmentent en fonction de l'épaisseur de la base et la valeur du FF est de 83.91% et le rendement atteint la valeur de 24.22%.



Figure III-18 Variation du FF et du rendement de la cellule GaSe/CIGSen fonction de l'épaisseur de la base.

D'après notre étude nous avons abouti les résultats suivants :

On remarque que l'augmentation de l'épaisseur de la base de la couche CIGS l'influence proportionnellement sur les paramètres de sortie. La même variation sur les deux cellules étudiées.

III-5-3-2 Influence de l'épaisseur du l'émetteur :

III-5-3-2-1 Cellule CdS/CIGS :

D'après la figure III-19, on remarque les courbes courant-tension de la cellule CdS/CIGS augmentent pour différente valeur de l'épaisseur du l'émetteur et montre que la meilleure épaisseur de la de l'émetteur est 0.07µm. On voit que, la première phase de la variation du courant est presque constante et pour une valeur précise de la tension, on remarque une augmentation rapide du courant.



Figure III-19 Présentation du courant-tension de la cellule CdS/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de l'émetteur CdS.



Figure III-20 Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur de l'émetteur CdS. D'après la figure III-20, on remarque la tension circuit ouvert et le courant en court-circuit de la cellule CdS/CIGS décroisent en fonction de l'épaisseur de l'émetteur CdS. Et que la

meilleure épaisseur est obtenue pour la valeur 0.07 μ m. pour cette dernière, on a une tension circuit ouvert est de 0.73 V et le courant en court-circuit augmente est atteint la valeur de 40.58mA/cm².

Pour des valeurs de l'épaisseur de l'émetteur plus grande, le courant de court-circuit diminue donc les photons de courtes longueurs d'onde sont absorbés à une distance plus loin de la jonction CdS/CIGS doivent parcourir des distances plus grandes que leurs longueurs de diffusion, et seront plus susceptibles de se recombiner que d'être collectés, de plus, la lumière est absorbée par la couche fenêtre qui est épaisse et n'est que faiblement transmise à la couche active.



Figure III-21 Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur de l'émetteur CdS.

D'après la figure III-21, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule CdS/CIGS décroisent en fonction de l'épaisseur de l'émetteur GaSe. Et que la meilleure épaisseur est de 0.07 (μ m), on a pour un rendement de 24.82 % et un facteur de forme de 83.72 %.

On rappelle que le rendement d'une cellule solaire est relié à la densité du courant de court-circuit Jsc, la tension en circuit ouvert Voc et le facteur de forme FF par la relation (III.1)

Par conséquent, toute variation de courant est de tension accompagné d'un changement pour le rendement et le facteur de forme.

D'après ces résultats, On constate que l'impact de l'épaisseur du l'émetteur CdS sur les paramètres; le facteur de forme et le rendement et courant-tension des cellules CdS/CIGS est négative avec l'augmentation de l'épaisseur.

III-5-3-2-2 Cellule GaSe/CIGS :

D'après la figure III-22, on remarque le courant-tension de la cellule GaSe/CIGS augmentent pour différente valeur de l'épaisseur de l'émetteur et que la meilleure épaisseur de la base est 0.07µm.



Figure III-22 Présentation du courant-tension de la cellule GaSe/CIGS pour différente valeur de l'épaisseur de l'émetteur.

D'après la figure III-23, on remarque la tension circuit ouvert et le courant en court-circuit de la cellule GaSe/CIGS décroisent en fonction de l'épaisseur de l'émetteur GaSe et que la meilleure épaisseur est $0.07\mu m$ pour cette valeur, on a une tension circuit ouvert de 0.72 V et un courant en court-circuit de 33.16 mA/cm².



Figure III-23Variation du Voc et du Jsc en fonction de l'épaisseur du l'émetteur.

D'après la figure III-24, on remarque le facteur de forme et le rendement de la cellule GaSe/CIGS décroisent en fonction de l'épaisseur de l'émetteur GaSe et que la meilleure épaisseur est de $0.07 \mu m$ pour un rendement de 20.06% et un facteur de forme de 83.37%.

On rappelle que le rendement d'une cellule solaire est relié à la densité du courant de court-circuit Jsc, la tension en circuit ouvert Voc et le facteur de forme FF par la relation (III.1)



Figure III-24 Variation du FF et du rendement en fonction de l'épaisseur du GaSe.

Par conséquent, toute variation de courant et de tension est accompagnée par un changement de rapport du rendement et du facteur de forme.

D'après ces résultats, On constate que l'impact de l'épaisseur du l'émetteur GaSe sur les paramètres ; le facteur de forme et du rendement et courant-tension de la cellule GaSe/CIGS est négative avec l'augmentation de l'épaisseur.

D'après notre étude nous avons abouti les résultats suivants

On observe que la variation des épaisseurs influe beaucoup plus sur le courant de courtcircuit Isc, qui diminue avec l'augmentation de l'épaisseur des émetteur GaSe et CdS, et que la tension de circuit ouvert Vcoqui est presque constante. D'après les Figure III.24 et III.21, nous remarquons que les facteurs de forme chutent et les rendements de ces cellules solaires diminuent avec l'augmentation dès l'épaisseur. Donc à partir de ces résultats nous trouvons que pour un rendement plus élevé, les couches desGaSe et CdS doivent avoir des épaisseurs de l'ordre de0.07µm.

L'effet des épaisseurs des couches GaSe et CdS peuvent être expliqué comme suit : pour des couches en GaSe et CdS plus mince, la plupart des porteurs photogénérés dans ces couches sont collectés. Quand des épaisseurs augmente, les photons de courtes longueurs

d'onde sont absorbés à une distance plus loin de la jonction GaSe/CGIS et CdS/CIGS par conséquent les porteurs photogénérés se recombinent avant d'atteindre la jonction. Par conséquent, il y'a une chute du courant de court-circuit, de la tension en circuit ouvert et le rendement avec l'augmentation des épaisseurs du CdS et GaSe.

Conclusion:

On remarque que les résultats que nous avons obtenus par la simulation par SCAPs des cellules solaire CdS/CIGS et GaSe/CGIS sont presque identiques par une différence près. Le problème causait par le CdS sur l'environnement et la santé qui est due à la toxicité du cadmium Cd peut être remplacée judiciairement avec le GaSe. Le GaSe peut être convenables remplacer le sulfure de cadmium (CdS). Il est dépourvu d'éléments toxiques. C'est un matériau qui existe en abondance dans la nature et à faible cout, pour cela nous avons remplacé le matériau CdS par le matériau GaSe.

L'influence de la température sur le rendement des cellules ceci est du par la réduction de la bande interdite et ceci accélère le phénomène de recombinaison des pairs électrons-trous entre la bande de conduction et la bande de valence donc les électrons circuler en sens arbitraire et la tension diminue.

La forte réduction de Vco conduit à une diminution du facteur de forme FF ainsi que du rendement η de conversion de la cellule solaire donc nous trouvons que le meilleure température est de 273K dans cette simulation, aussi on observe que la variation des épaisseurs influe beaucoup plus sur le courant de court-circuit Isc, qui diminue avec l'augmentation de l'épaisseur des émetteurs aussi les facteurs de forme et les rendements diminuent donc nous trouvons que le meilleure épaisseurs est de l'ordre de 0.07 μ m. Et on remarque l'augmentation des épaisseurs de base CIGS influent proportionnellement les caractéristiques des cellules.

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

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

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

L'objectif de ce travail est de remplacer le sulfure de cadmium (CdS) avec le Gallium de Séléniure (GaSe) dont le but est d'avoir les mêmes caractéristiques de sortie et d'éliminer le Cadmium comme matériau majeur dans la toxication de l'environnement malgré de sa stabilité et sa longue durée de vie coté panneaux photovoltaïques.

On a rappelé, en premier lieu des généralités sur la source fondamentale de l'énergie photovoltaïque ; le soleil, son pouvoir énergétique et les propriétés de son rayonnement puis ensuite, on a décrit les convertisseurs photovoltaïques, leur caractéristique *I-V*, leurs circuits électriques équivalant et leurs principales caractéristiques. Ainsi que l'étude de l'influence des divers paramètres sur leur caractéristique des cellules solaires.

Après avoir traité les effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires. On a commencé par illustration de l'effet de la température et effet de l'épaisseur de la couche base et la couche émetteur de cellule solaire GaSe/CIGS et

CdS/CIGS sur les caractéristiques de sortie des cellules étudiées tels que le courant de court-circuit Icc (densité de courant court-circuit Jsc), la tension en circuit ouvert Voc et le facteur de forme *F*F.

Enfin, cette étude nous permet de fabriquer des cellules solaires pour obtenir des caractéristiques Jsc, Vco, FF, et le rendement (η) proche de celles des cellules solaires à base de CdS, donc comme perspective c'est essayer de fabriquer une cellule solaire à base de GaSe. Et comparer cette simulation avec des résultats pratiques.

REFERENCE

Bibliographie :

[1] Sekhri Toufik, «Etude comparatif entre deux concentrateur solaire», Mémoire de fin d'étude de master Université de Ouargla, 2012.

[2] T. Nakada, A. Kunioka, Applied Physics Letters 72, 2444, 1999.

[3] Bouziane MAHMAH, Maïouf BELHAMEL, Samira CHADER, Abdelhamid M'RAOUI, Farid HAROUADI, Claude ETIEVANT, Stève LECHEVALIER, AbdelNasser CHERIGUI, Projet Maghreb – Europe : Production d'Hydrogène Solaire Phase I : Etude d'Opportunité et de Faisabilité du Proje,« 20th World EnergyCongress – Rome, November 11th – 15th, 2007».

[4] M.N.Mchalikh, CH.Hmada ,« Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau » Mémoire de Master Université KasdiMerbah–Ouargla, 2013.

[5] Souad Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, Mémoire de magister en physique, Université Mentouri de Constantine, 2010.

[6] BoudenAbdmalek, Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque, Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2008.

[7] Amina Benhammou, Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales, Thèse de doctorant, Université de Abou BekrBelkaid Tlemcen, 2010.

[8] Anne Labouret, Michel villoz, Energie solaire photovoltaïque; EditionLemoniteur, 2005.

[9] Wenham S. R., Green M. A. and Watt M. E, «Applied Photovoltaic», Bridge Printer, Sidney, 1994.

[10] Weklmor henry, Solar Energy Perspectives, International Energy Agency, 2011.

[11] Chapin D.M, Fuller, C.S., Pearson G. L, "A new silicon pn junction photocell for converting solar radiation into Electrical power", J.Appl; phys, vol, 25, 676-67,1954.

[12] V. GORGE, "Caractérisation de matériaux et test de composants des cellules solaires à base des nitrures des éléments III-V", Thèse de doctorat, université paris-sud 11, 2012.

61

REFERENCE

[13] Soufi Adel, « Modélisation et Control System photovoltaïque par l'espace d'ETA », Mémoire de fin d'étude, Université de Ouargla, 2012.

[14] Wenham S. R., Green M. A. and Watt M. E, «Applied Photovoltaic», Bridge Printer, Sidney, 1994.

[15] H. Mathieu. « Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques », Dunod, Paris, 2009.

[16] S. M. Sze, Physics of semiconductor Devices, Wiley and Son, Inc. Second edition Copyright. C.john1981.

[17] M.Madani « Réalisation des couches antireflets dans les cellules solaires a couches minces »Thèse de Magister, Universite Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen,2006

[18] A. T.SINGO 'Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome' Thèse de doctorats, université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.

[19]Thibaut Desruse, « développement de cellules photovoltaïques a hétérojonctions silicium contact et en face arrière ». Thèse doctorat l'institut national des sciences appliquées de Lyon2009.

[20] Khoudrane Ismail, « Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques »Mémoire De fin d'études du master,Université de Kasdi MERBAH Ouargla

[21] W.C. Benmoussa, S. Amara et A. Zerga, « Etude comparative des modèles de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire au silicium monocristallin ».Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen 301 – 306.2007.

[22]Petibon Stéphane,« Nouvelles architecture distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les application photovoltaïques »,2009.

[23] W.N. Shafarman et L. Stolt. Chapter 13 in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Ed.by A. Luque and S. Hegedus. John Wiley & Sons. 2003.
[24] L. Kazmerski et al .Appl. Phys. Lett., 29:268–269, 1976.

REFERENCE

[25] W. Chen, R. Mickelsen. Dans Proc. 16th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. 1982.

[26] A.Othmani, J.C.Plenet, E.Berstein, C.Bovier, J.Dumas, P.Riblet, P.Gilliot, R.Lévy, B.Grun, "Nanocrystals of CdS dispersed in a sol-gel silica glass optical properties", Journal of crystal growth, 144, 141-149,1994.

[27] M.IsiK, E. Tugau& N. M. Gasanly, Temperature-dependent optical properties of GaSe layered single crystals, philosophical Magazine, Vol 96:24,pp 2564-2565,2016

Résumé:

L'énergie solaire est l'une des ressources d'énergie. Elle est pratiquement inépuisable, n'implique aucun résidu de pollution ou émission de gaz participant à l'effet de serre. Cette énergie peut être utilisée de deux façons : l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie solaire thermique. Dans cette étude l'énergie solaire photovoltaïque, utilisée sous forme électrique à partir d'un phénomène physique qui consiste à la conversion directe du rayonnement solaire en énergie électrique. Mais les cellules solaires sont affectées par la température et l'intensité de lumineuse et l'objectif de ce penseur est de remplacer la cellule solaire toxique par une plaque propre et pure à travers laquelle nous pouvons produire de l'électricité sans nuire à la nature et aux personnes, cela ne critique pas les anciens savants. Ils avaient le mérite dans le passé.

Abstract :

Solar energy is one of the energy resources. It is inexhaustible, does not involve any pollution residue or emission of gases contributing to the greenhouse effect. This energy can be used in two ways: solar thermal energy and solar photovoltaic energy. In this study photovoltaic solar energy, used in electrical form a physical phenomenon which consists of the direct conversion of solar radiation into electrical energy. But solar cells are affected by temperature and light intensity, and this thinker's goal is to replace the toxic solar cell with a clean, pure plate through which we can generate electricity without harming nature. and to people, this does not criticize the ancient scholars. They had advantage and surpassin the past.

الملخص:

الطاقة الشمسية هي عبارة عن منبع ومصدر للطاقة، وهي متجددة ولا تزول ولا ينتج عنها إي تلوث او إشعاع يضر بالبيئة او يؤدي إلى الإحتباس الحراري، وهذه الطاقة نستطيع استخدامها على شكل طريقتين وعلى النحوي التالي :

استخدام الطاقة الشمسية على شكل حرارة أو على شكل كهر وضوئية, في هذه الدراسة او المذكرة قمنا بدراسة الطاقة الكهروضوية التى تنتج الكهرباء بواسطة الظاهرة الفيزيائية التى تقوم على تحويل المباشر للإشعاع الشمسي لكن الخلايا الشمسية تتأثر بدرجة الحرارة وشدة الضوء وهدفنا وهدف العلماء والمفكرون والباحثون هو إستبدال الخلية الشمسية السامة بلوحة نظيفة ونقية نستطيع من خلالها توليد الكهرباء دون إلحاق ضرر بالطبيعة والناس، وهذا لا ينتقد العلماء القدماء حيث كان لهم الفضل الكبير في الماضي واليوم.