

# L'ETUDE DU RENDEMENT DES CELLULES SOLAIRES MONO ET DOUBLE-JONCTION A BASE DE SILICIUM AMORPHE PAR SIMULATION

Lamia BENHAMADOUCHE, Nafissa MOUSSAOUI

Laboratoire de physique des matériaux et leurs applications, université Med BOUDIAF, M'sila 28000, Algérie  
Email : lam\_b2001@yahoo.fr

## RÉSUMÉ

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique (solaire ou autre) en électricité. Cette dernière est l'une des formes non polluantes et silencieuses de conversion de l'énergie solaire, elle se produit au moyen d'un dispositif de conversion appelée « cellule solaire » basé sur l'effet photovoltaïque. Les cellules solaires font actuellement l'objet de multiples recherches dans le but de réaliser le meilleur rapport entre le rendement énergétique et le prix de revient. L'objectif de ce travail est de faire une simulation entre deux cellules solaires en couches minces à simple et double jonction à base de silicium amorphe (ZnO/a-Si(n)/a-Si(p)) et (ZnO/GaAs(p)/a-Si(n)/a-Si(p)) en vue d'optimiser les caractéristiques physiques et géométriques des différentes couches de la cellule. On a étudié l'influence de l'épaisseur des différentes couches (n et p) sur les paramètres caractéristiques de nos cellules telle que le courant de court-circuit  $I_{cc}$ , la tension en circuit ouvert  $V_{co}$ , le facteur de forme FF et le rendement de conversion PV ( $\eta$ ) avec un éclairement de  $1000\text{w/m}^2$  et une température de  $300^\circ\text{K}$ . Tout cela dans l'objectif d'améliorer le rendement de conversion de telles cellules à un maximum.

**Mots Clés:** *a-Si ; cellule solaire ; semi-conducteur ; simple jonction; AMPS-1D.*

---

## NOMENCLATURE

### Symboles :

$I_{cc}$  courant de court-circuit  
 $V_{co}$  tension en circuit ouvert  
FF facteur de forme  
n concentration des électrons libres.  
pt concentration des trous piégés  
p concentration des trous libres.  
nt concentration des électrons piégés  
 $N_D^+$  La concentration ionisée de donneur  
 $N_A^+$  La concentration ionisée d'accepteur

q charge d'électron  
 $J_n$  densités de courant des électrons  
 $J_p$  densités de courant des trous  
 $G_{op}$  taux optique de génération  
R taux de recombinaison  
**Lettres grecques :**  
 $\eta$  rendement de conversion  
 $\Psi$  Le potentiel électrostatique.  
 $\varepsilon$  la permittivité

---

## 1. INTRODUCTION

On distingue actuellement plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque, ces sources d'énergies proviennent directement ou indirectement du Soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que

celui-ci brillera. Les études indiquent également que l'utilisation de seulement 0,1 % de d'énergie solaire incidente sur la surface de la terre est suffisante pour satisfaire la demande actuelle de l'énergie dans le monde entier. Le dispositif qui se base sur cette technologie de production de puissance se nomme cellule photovoltaïque ou pile solaire. Actuellement, le coût de cette électricité solaire photovoltaïque (SPV) est de 4 à 5 fois plus élevé que l'électricité conventionnelle de réseau. Afin de rendre le système SPV économiquement fiable pour des applications terrestres à grande échelle, le coût de module par watt-crête (WC) doit être réduit du taux actuel de 4-6 \$ / PW à  $\leq 1,00$  \$ / PW. Ceci peut être réalisé en réduisant le coût des matériaux, ou en améliorant le rendement de conversion de la cellule solaire ou les deux [1]. Les cellules solaires en couche mince à base du silicium amorphe hydrogénée et ses alliages (a-Si:H, a-SiGe:H, etc....) qui sont prometteuses au premier égard, puisque le matériau mère (silice) est largement disponible dans la nature. En outre un autre avantage principal de l'a-Si est son coefficient d'absorption élevé, ce qui lui donne la capacité d'absorber suffisamment le rayonnement incident dans une épaisseur de 0,5 micron à 2 micron seulement. Une couche mince absorbante tient compte également au coût du matériau sensiblement réduit par rapport au monocristallin (le silicium monocristallin et le silicium polycristallin sont exigés pour être quelques cent fois plus épais que( a-Si) afin d'absorber même quantité de rayonnement solaire).

C'est dans ce but, et dans le cadre de nos recherches sur les cellules photovoltaïques, que nous nous sommes intéressés à étudier et optimiser les épaisseurs de nos couches d'un type particulier de cellules solaires en couches minces : Les cellules à base de silicium amorphe (a-Si) simple et double jonction et de faire une comparaison entre les deux. Le but de notre travail est de simuler ces cellules en utilisant un outil de simulation très puissant et très connu et bien adapté à ce genre de cellules : AMPS-1D, afin d'améliorer les paramètres photovoltaïques de la cellule et d'aboutir au plus haut rendement possible.

## 2. SIMULATION DES DEUX CELLULES SOLAIRES

Afin de rendre les systèmes photovoltaïques économiquement viables pour des applications terrestres à grand échelle, des cellules solaire de rendement élevé faites à bon marché et avec un matériau facilement disponible sont exigées. Ceci peut mieux être réalisé avec l'aide d'un modèle unidimensionnel de simulation (AMPS-1D) qui a été développé.

Ce logiciel est un programme informatique unidimensionnel pour simuler la physique de transport dans les dispositifs à semi-conducteur. Il résout numériquement les trois équations du dispositif (l'équation de poisson, équation de continuité pour les trous libres et celle pour les électrons libres) sans faire à priori des suppositions à propos des mécanismes de transport dans ces dispositif. Pour ces trois variables d'état, les concentrations des porteurs, la densité de courants, les tensions, la température ... etc. peuvent être alors calculée par :

L'équation de poisson :

Dans l'espace unidimensionnel, l'équation de Poisson est donnée par :

$$\frac{d}{dx} \left( -\epsilon(x) \frac{d\psi}{dx} \right) = q[p(x) - n(x) + N_D^+(x) - N_A^-(x) + pt(x) - nt(x)]$$

Les équations de continuité :

Les équations de continuité dans les états délocalisés de la bande de conduction et de valence ont la forme :

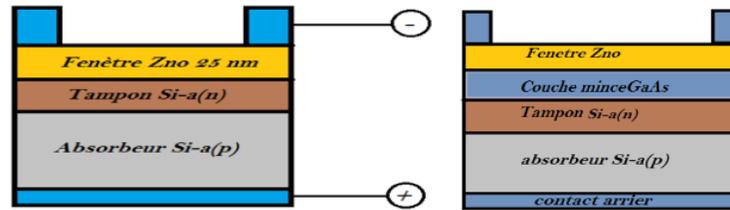
Pour les électrons libres

$$\frac{1}{q} \left( \frac{dJ_n}{dx} \right) = -G_{op}(x) + R(x)$$

Pour les trous libres

$$\frac{1}{q} \left( \frac{dJ_p}{dx} \right) = G_{op}(x) - R(x)$$

Dans notre cas, il s'agit d'optimiser les paramètres photovoltaïques pour deux cellules solaires par l'influence de l'épaisseur et faire la comparaison. Le modèle de la première cellule est de type simple jonction N-P du silicium amorphe comme matériaux actif (a-Si) se compose d'une couche fenêtre, de couche tampon et absorbante (ZnO/a-Si (n) /a-Si(p)) et le modèle de la deuxième cellule se compose d'une couche fenêtre, de couche tampon et absorbante (ZnO/GaAs(n)/a-Si(n)/aSi(p)) (voir fig.1), avec un éclairage de 1KW/m<sup>2</sup> et une température de 300°K. Les paramètres des deux modèles pour les couches sont donnés dans les tableaux (1 et 2). Nous atteindrons notre objectif, en faisant varié l'épaisseur de différentes couches qui constituent nos deux cellules et voir son effet à travers la simulation de la caractéristique (I-V), le rendement ( $\eta$ ), le facteur de forme (FF) et l'énergie de gap (Ep).



a- Structure de la cellule à couche mono- jonction).

b- Structure de la cellule à couche multi jonction).

FIGURE 1. Schéma des cellules simulées à base de a-si.

a) propriétés des contacts :

	surface frontal	Surface arrière
$\Phi_b$ (eV)	0 Ev	<b>0.8 Ev</b>
$S_e$ (cm/s)	$10^7$ cm/s	<b><math>10^7</math> cm/s</b>
$S_t$ (cm/s)	$10^7$ cm/s	<b><math>10^7</math> cm/s</b>
Réfectivité	<b>0.02</b>	<b>0.8</b>

TABLEAU 1 : propriétés des contacts.

b) propriétés des différentes couches :

	ZnO	Si-a(n)	Si-a(p)	GaAs
Épaisseur	150 nm	50 nm	1050 nm	2500 nm
Constant diélectrique	9	10	13.6	10
Mobilité d'électrons	$100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$8500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Mobilité des trous	$25 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$25 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$25 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Bande de gap	3.3 eV	1.72 eV	1.72 eV	1.39 eV
Densité effective NC	$2.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$2.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$2.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$4.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
Densité effective NV	$1.78 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$1.78 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$1.78 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$5.00 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
Les affinités des électrons	4 eV	3.8 eV	4.1 eV	4.07 eV
Les densités	$N_D: 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$N_D: 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$NA: 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$	$NA: 4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

TABLEAU 2. Les paramètres des différentes couches minces de cellules.

### 3. RESULTATS

1-l'influence de l'épaisseur sur la cellule mono-jonction :

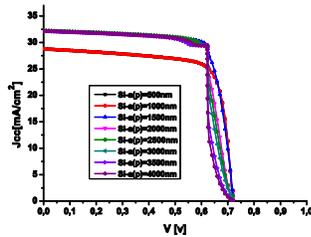


FIGURE 2. L'effet de L'épaisseur de la couche absorber a-Si (p) sur les caractéristique J-V.

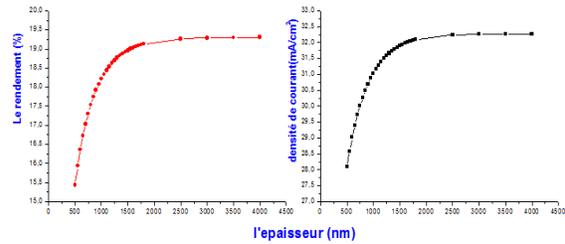


FIGURE 3. l'influence de l'épaisseur de la couche a-Si (p) sur le rendement et la densité de courant.

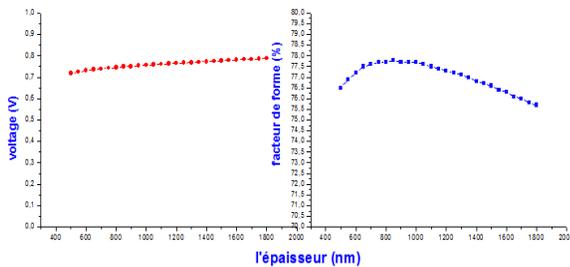


FIGURE 4. l'effet de l'épaisseur de la couche a-Si (p) sur le voltage et le facteur de forme

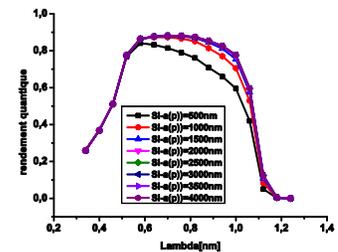


FIGURE 5. Effet de l'épaisseur de la couche absorber sur la réponse spectrale.

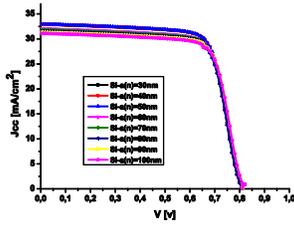


FIGURE 6. L'effet de L'épaisseur de la couche tampon a-Si (n) sur les caractéristique J-V.

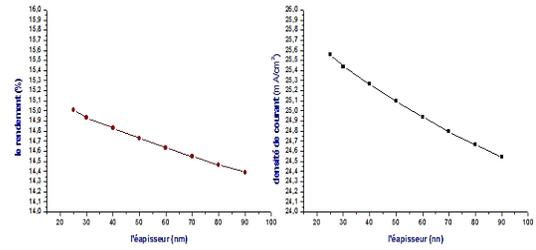


FIGURE 7. l'effet de l'épaisseur de la couche a-Si(n) le rendement et la densité de courant de cellule.

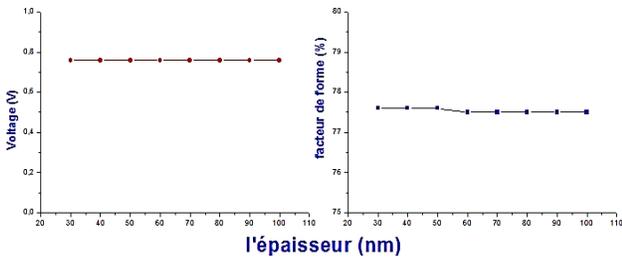


FIGURE 8. L'effet de l'épaisseur de la couche Si (n) sur le voltage et facteur de forme.

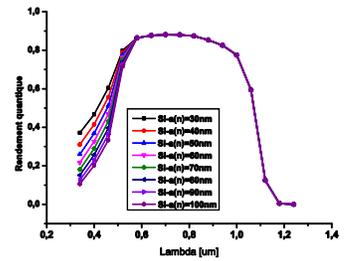


FIGURE 9. L'effet de L'épaisseur de la couche tampon a-Si (n) sur la réponse spectrale

2-l'influence de l'épaisseur sur la cellule double-jonction :

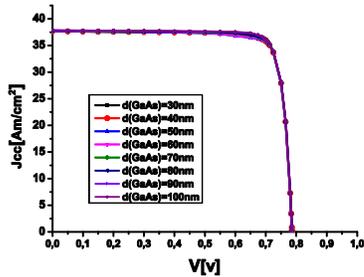


FIGURE 10. L'effet de L'épaisseur de la couche GaAs sur les caractéristique J-V

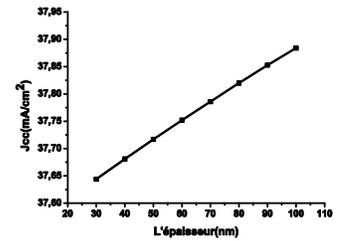
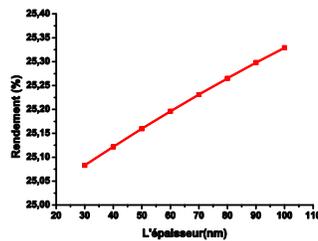


FIGURE 11: l'influence de l'épaisseur de la couche GaAs sur le rendement et la densité de courant de cellule

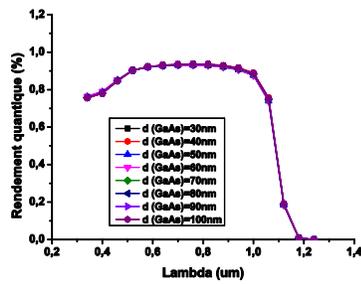


FIGURE 12. L'effet de L'épaisseur de la couche GaAs sur la réponse spectrale

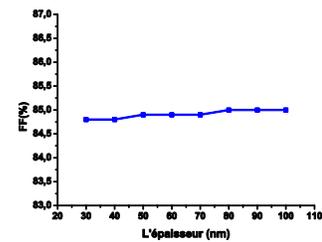
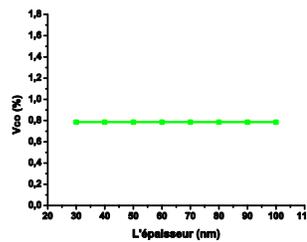


FIGURE 13. l'influence de l'épaisseur de la couche GaAs sur le voltage et facteur de forme.

#### 4. CONCLUSIONS

Dans ce travail, nous avons utilisé un outil de simulation très puissant AMPS-1D pour optimiser les paramètres photovoltaïques de dispositif pour deux cellules substrats à base de Silicium amorphe.

On a montré l'impact de l'épaisseur : l'épaisseur de l'absorbeur a-Si (p), l'épaisseur de la couche tampon de a-Si (n) et l'épaisseur de la couche mince (GaAs) sur les performances photovoltaïques de nos deux cellules solaires. D'après la première proposition qui est la cellule mono-jonction, on a trouvé que le meilleur rendement est de 19.300% avec Une valeur optimale de l'épaisseur de l'absorbeur a-Si (p) de d=2500nm et Une valeur optimale de l'épaisseur de la couche tampon a-Si (n) de d=50nm.

Et d'après la deuxième proposition de la cellule double- jonction, on a trouvé que le rendement max est de 25.329% avec Une valeur optimale de l'épaisseur de l'absorbeur (GaAs) d=100 nm.

On remarque que lorsqu' on joute une couche d'épaisseur de GaAs, elle fait un grand changement sur le rendement dans la cellule tandem.

#### REFERENCES

- [1] Francis Levy. Traité des matériaux. Physique et technologie des semiconducteurs. Presses polytechniques et universitaires Romandes(1995).
- [2] S. M. SZE, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1981.
- [3] Kuwano Y et al., Conference Record of the 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1338–1343, IEEE (1982).
- [4] Tanaka K, Matsuda A, Mater. Sci. Rep. 2, 139–184 (1987).
- [5] P.Chatterjee, 6th Int'l PVSEC, New Delhi, Feb.10-14(1992) 329.
- [6] R.De Bastiani, A.M.Piro, M.G.Grimaldi, E.Rimmi: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B257 (2007) 572-576
- [7] A.A Boussettine, Y. Belbadji. Modeling of tandem solar cell a-Si/a-SiGe using AMPS-1D program energy procedia 18 2012 693-700
- [8] S. Harouni et A. Maafi. Publication de l'association internationale de climatologie ; Vol 15, 2003
- [9] E. Kechar, E. Azzag , A. Touaibia. International journal of scientific research & Engineering Technology (IJSET) Vol 3,pp 71-77 , copyright IPCO 2015