

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de la simulation numérique par SCAPS d'une cellule solaire à base de cuivre indium galium séléniure(CIGS) graduée, nous allons étudier l'effet de la profile, la température, l'illumination, l'épaisseur et de dopage de la couches CIGS graduée sur le facteur de remplissage ( $FF$ ), le rendement de conversion photovoltaïque ( $\eta$ ). Le courant de court-circuit( $J_{sc}$ ) la tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) ; Nous étudions en même temps l'effet de la valeur du gap d'énergie de CIGS sur ces caractéristiques photovoltaïques.

### III.2 Présentation du logiciel de simulation SCAPS

La simulation des cellules en couches minces est devenue de plus utilisée ces dernières années, ainsi, plusieurs logiciels de calcul et de simulation ont été développés par la communauté des chercheurs dans ce domaine. On peut citer les logiciels AMPS-1D, PC-1D, ASA, SCAPS-1D, SILVACO ....

Le logiciel SCAPS (Solar cell capacitance simulator) est un logiciel de simulation numérique des cellules solaires en couches minces à hétérojonction. Il a été développé à l'université de Gent en Belgique avec LabWindows/ CVI de National Instruments par Marc Burgelman et al [1]. Il a été mis à disposition à l'université chercheuse dans la communauté photovoltaïque après la deuxième PV de la Conférence mondiale de Wine, 1998.

Le programme SCAPS 1-D résout les équations pour des structures contenant un certain nombre de couche semi-conducteur qui ont un profil de dopage arbitraire (comme fonction de la position), avec une distribution énergétiques arbitraires des niveaux profonds des donneurs ou des accepteurs sous différents types d'éclairément. Des itérations de résolutions des équations sont faites jusqu'à convergence de l'algorithme. SCAPS 1-D a été introduit dans la littérature avec les articles [2][3]. Alors que les algorithmes de SCAPS sont détaillés dans les références [4].

SCAPS est originellement développé pour les structures de cellules de famille CuInSe<sub>2</sub> et CdTe. Cependant, plusieurs extensions ont amélioré ses capacités de façon à devenir applicable pour les cellules solaires cristallines (de la famille Si et GaAs), ainsi que les cellules solaires amorphes (a-Si et les micro-morphes Si). Les applications de la simulation en utilisant SCAPS peuvent être consultées dans les références [5][6] L'utilisation de SCAPS est très pratique, il permet de simuler n'importe quelle structure photovoltaïque, selon les matériaux disponibles en fichiers data, en jouant sur les paramètres variables (largeur, surface, dopage, etc...), la fenêtre du logiciel pour écrire ces paramètres est représentée sur la figure

# Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

3.1. Les résultats de la simulation, sont très proches des résultats expérimentaux, donc c'est un gain de temps et d'argent. On obtient comme résultat les courbes I-V, C-V, C-f, Q(), mais aussi le diagramme de bande, densité de porteur, densité de courant, un exemple de résultat est donné dans la figure 3.2.

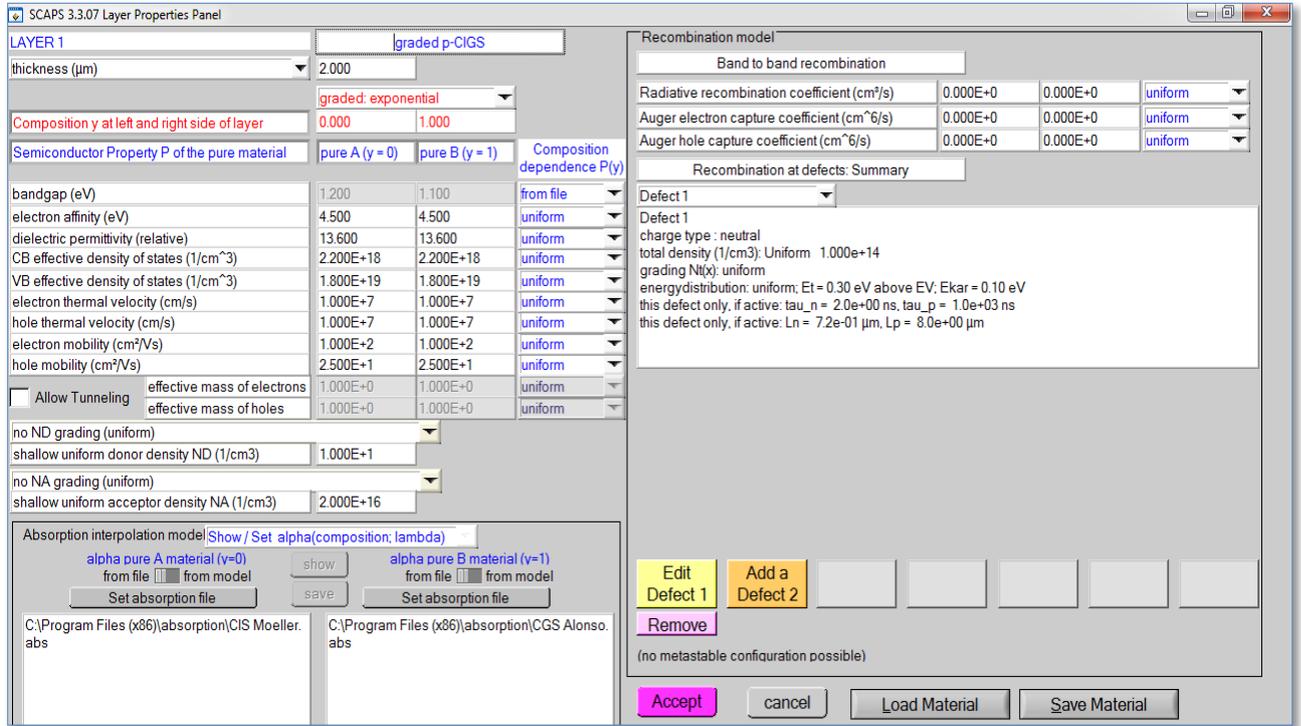


Figure 3.1 Fenêtre du logiciel SCAPS pour la définition des paramètres d'une cellule

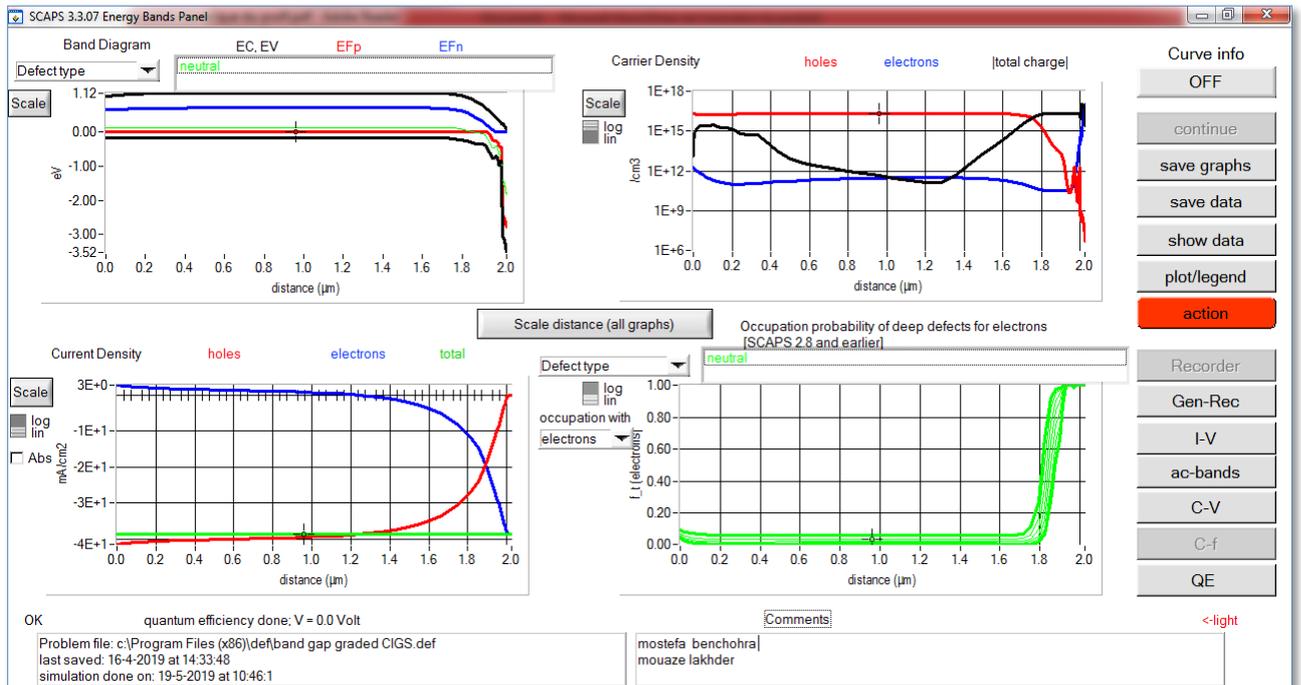


Figure 3. 2 Exemple de simulation d'une cellule CIGS dans SCAPS

### III.3 Etude des caractéristiques électriques de la cellule solaire gradué

#### III.3.1 Structure étudiée

La figure 2.3 illustre la structure de la cellule solaire graduée (graded n-Zn(O,S) / n-CdS / graded p-CIGS) utilisée pour la simulation où le calcul des performances de la cellule s'effectue sous illumination standard AM1.5 (100mW/cm<sup>2</sup>).

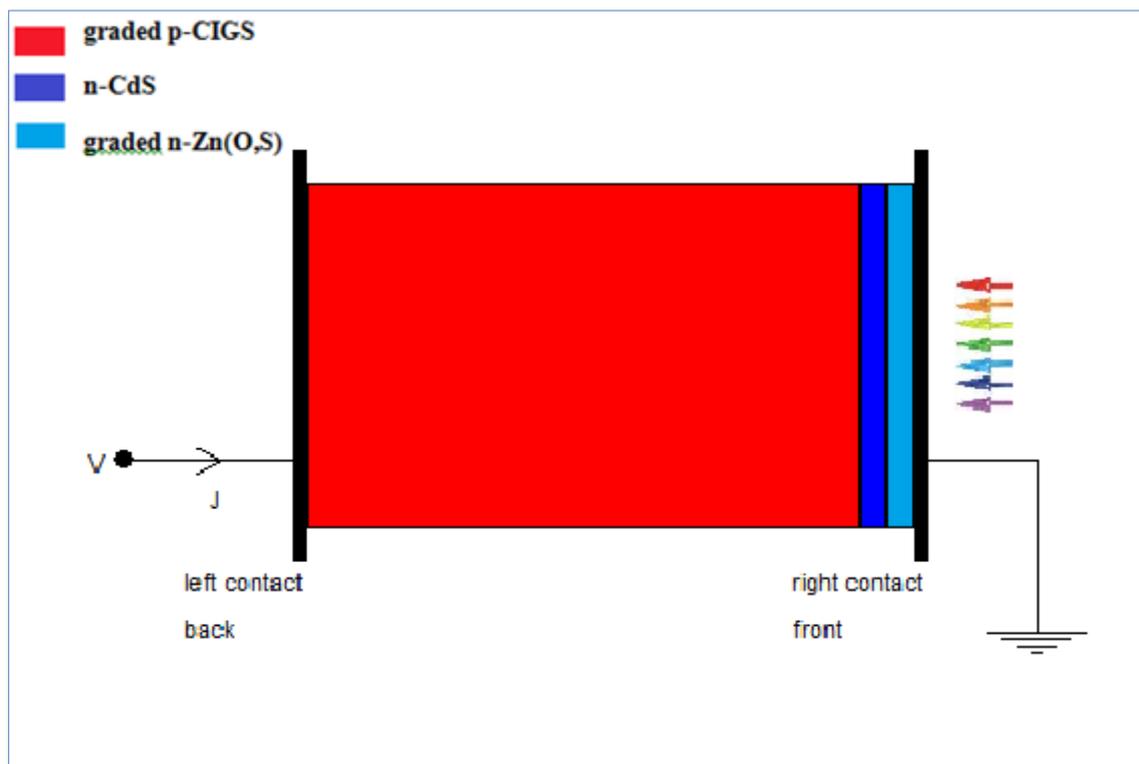


Figure 3. 3 Structure de la cellule CIGS à gap gradué

Ils est constitué par 5 couche (layer) (le contact on avant, Graded n-Zn (O, S), n-CdS, Graded p-CIG, MO ou le contact on arrière).

Dans cette étude, nous utilisons le logiciel de simulation numérique SCAPS pour extraire les changements apportés aux performances des cellules solaires CIGS à gap gradué.

Les paramètres physiques des couches de la structure considérée sont illustrés dans le tableau 3.1 :

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

	Graded n-Zn(O,S)	n-CdS	Graded p-CIGS
Profile	Parabolique	Uniform	Linéaire
Thickness	0.020 $\mu\text{m}$	5.00 nm	2.00 $\mu\text{m}$
Band gap (eV)	3.300	2.400	1.200 ; 1.100
électron affinité (eV)	4.450	4.500	4.500
Electric permittivité (relative)	9.000	10.000	13.600
CB effective density of states ( $1/\text{cm}^3$ )	2.200E+18	2.200E+18	2.200E+18
VB effective density of states ( $1/\text{cm}^3$ )	1.800E+19	1.800E+19	1.800E+19
electron thermal velocity (cm/s)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
hole thermal velocity (cm/s)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
electron mobility ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	1.000E+2	1.000E+2	1.000E+2
hole mobility ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	2.500E+1	2.500E+1	2.500E+1
shallow donor density $N_D(y)$ ( $1/\text{cm}^3$ )	1.000E+17	1.000E+16	1.000E+1
shallow uniform acceptor density $N_A$ ( $1/\text{cm}^3$ )	1.000E+0	1.000E+0	2.000E+16

Tableau 3.1 Paramètres des couches : n-Zn(O,S), n-CdS, p-CIGS) de la cellule étudiée.

La couche importante pour laquelle on va analyser les performances de cette cellule, est la couche absorbante P-CIGS. Cette dernière possède un gap gradué allant de 1.09 (matériau pure A c'est-à-dire une composition pure galium) jusqu'à 1.66 eV (matériau pure B c'est-à-dire une composition pure indium).

### III.3.2 Les caractéristiques électriques

Nous avons simulé une cellule solaire à gap graduée donnée dans la figure avec des propriétés électroniques données dans le tableau 3.1.

La caractéristique courant- tension (I-V) ainsi que le rendement quantique de cette cellule sont représentées dans la figure 3.4. Ces caractéristiques sont obtenues sous éclairement solaire AM 1.5 avec une densité de puissance de  $1000\text{w}/\text{m}^2$  et sous une température 300k.

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

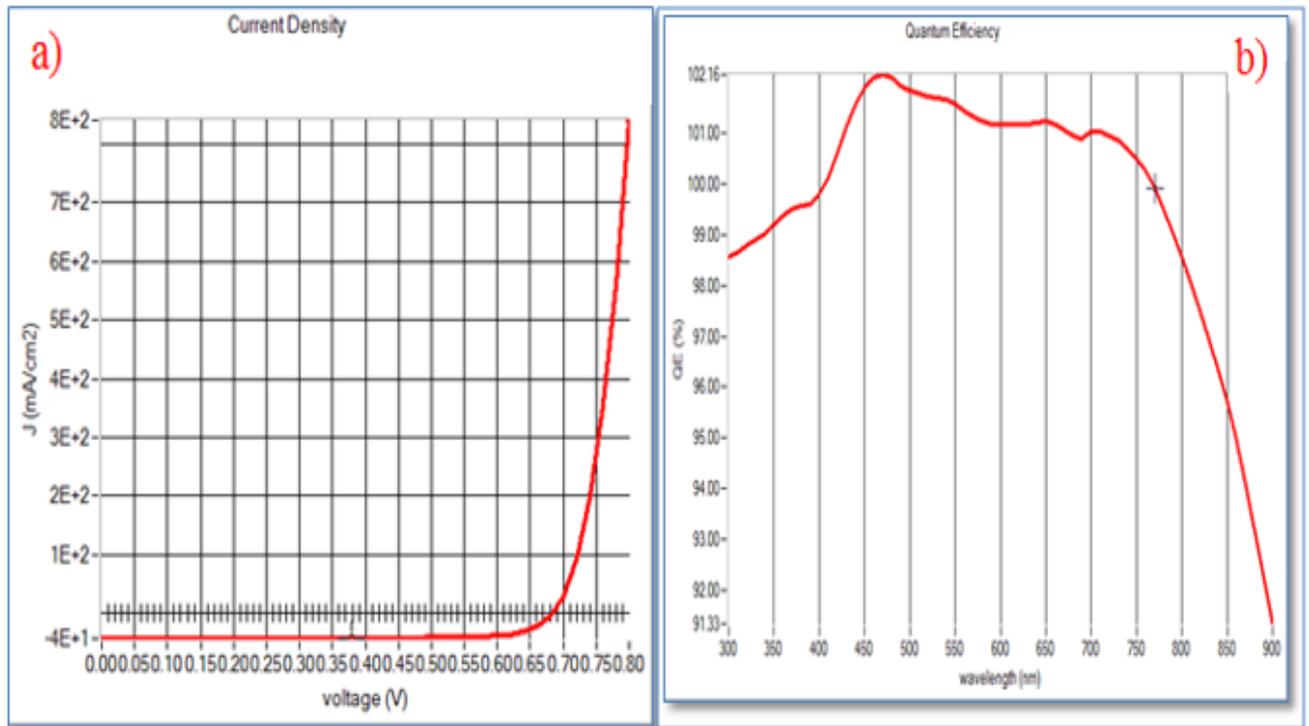


Figure 3.4 : a) Caractéristique I(V)

b) Rendement quantique

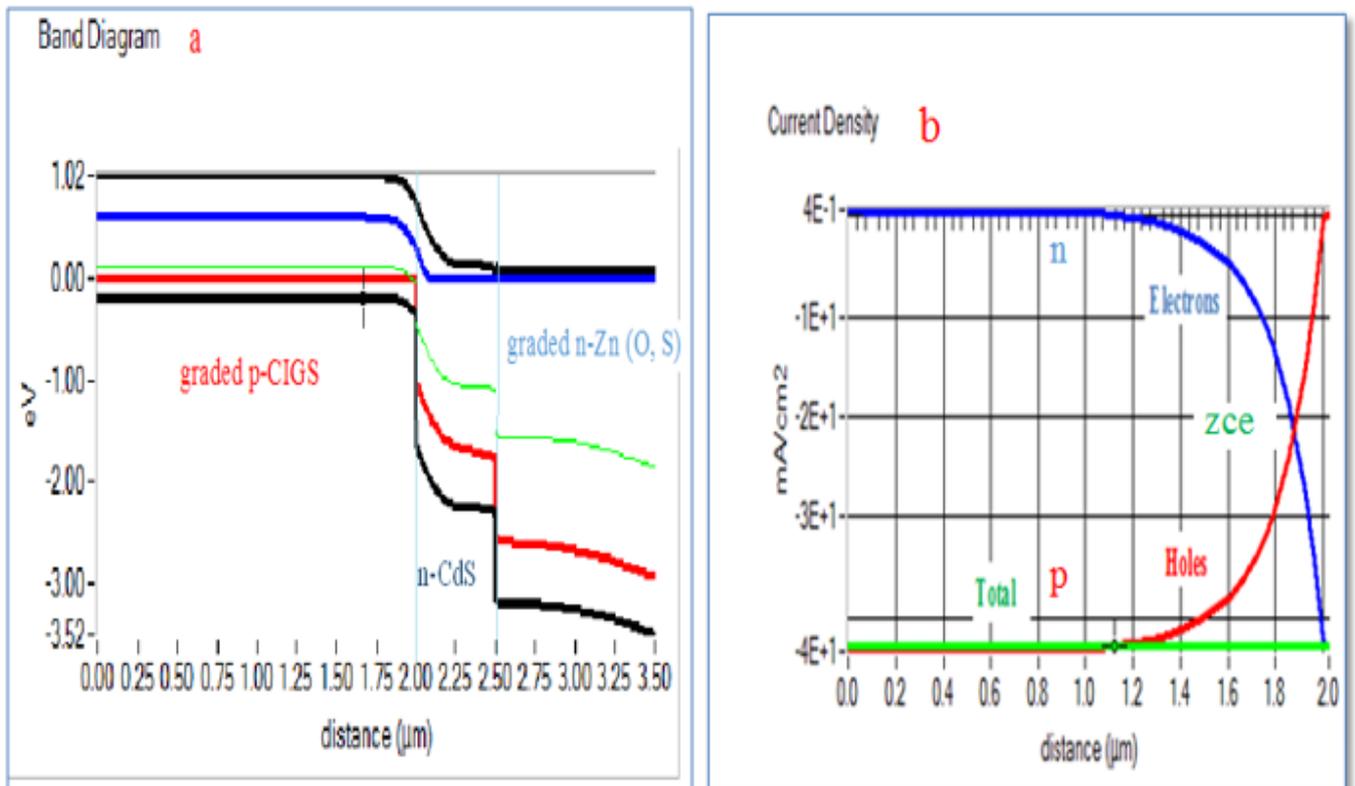


Figure 3.5 : a) Diagramme de bande d'énergie ; b) Densité de courant.

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

La figure 3.5 a) représente la bande gap des différentes couches (graded p-CIGS, n-CdS, Graded n-Zn(O,S)) en fonction de l'épaisseur.

La figure 3.5 b) montre que les porteurs majoritaires du côté P et N diffusent à travers la surface de contact, en créant une zone chargée positivement du côté du semi-conducteur n et une zone chargée négativement du côté du semi-conducteur de type p. Cette zone de transition est appelée zone de charge d'espace (ZCE).

Les propriétés	Simulation
Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	42.764105
Vco (V)	0.6830
FF (%)	79.03
$\eta$ (%)	23.08

Tableau 3.2 Les paramètres électriques de la cellule étudiée

L'éclairement va enrichir la caractéristique I(V) par l'ajout du courant due aux photons absorbés et convertis  $I_{ph}$ . À partir de cette caractéristique on peut déduire les paramètres électriques caractérisant la cellule. Ces paramètres sont donnés dans le tableau.

Pour la courbe du rendement quantique, elle donne l'évolution entre l'énergie lumineuse incidente en fonction de l'énergie convertie par la cellule. Elle nous renseigne sur la plage optique optimale d'absorption. Dans notre cas c'est le domaine du visible.

On note que les paramètres enregistrés dans le tableau peuvent être optimisés en variant les paramètres physiques et géométriques de la cellule. Dans la partie suivante on va analyser l'effet du changement de certains paramètres critiques de la couche absorbante sur les caractéristiques de la cellule CIGS à gap gradué.

### **III.4 L'effets des paramètres physiques et géométriques de la couche absorbante.**

Les paramètres étudiés sont l'effet du profile du gap, l'effet de l'épaisseur, de largeur du gap, du dopage, l'éclairement ainsi que la température

#### **III.4.1 L'effet du changement du profil de gap**

Dans notre simulation, nous avons étudié le changement du profile du gap de la couche absorbante p-CIGS graduée tout en fixant les paramètres suivants

- L'épaisseur (2  $\mu\text{m}$ ).
- Band gap du matériau A ( $y = 0$ )  $E_g = 1.2 \text{ eV}$ . ?
- Band gap du matériau B ( $y = 1$ )  $E_g = 1.1 \text{ eV}$ . ?
- La composition a droit ( $y(x=0) = 0$ ). ?
- La composition à gauche ( $y(x=d) = 1$ ). ?
- La concentration du dopage NA ( $1/\text{cm}^3$ ) ( $2.000\text{E}+16$ ).
- L'illumination = AM1\_5G 1 sun.spe (on prendre tout le spectre solaire).
- La température = 300 K.

Le logiciel Scaps nous permet d'effectuer la variation du profile du gap par deux manières :

- 1- La variation la composition  $y$  en fonction de la position  $x$  c'est-à-dire la composition à gauche et à droite de la couche étudiée, comme c'est montré dans la figure ci-dessous. Les profiles étudiés sont au nombre de 04 : uniforme, gradué linéaire, gradué parabolique et gradué exponentiel.

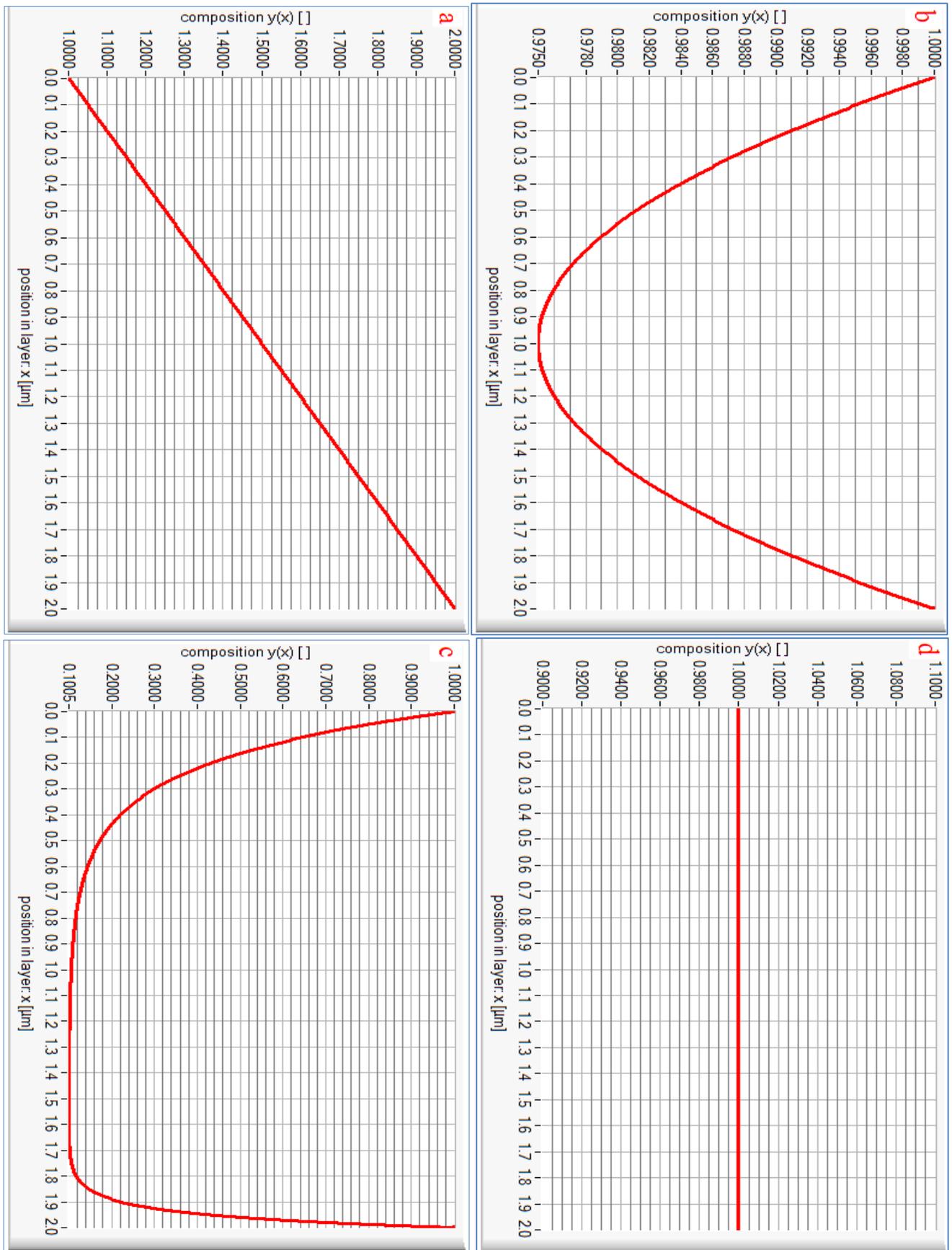


Figure 3.6 : Les profils du gap d'énergie en fonction la position  $x$  de la couche P-CIGS: **a)** Linéaire ;**b)** Parabolique; **c)** Exponentiel ; **d)** Uniforme

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

- 2- Par la variation du gap  $E_g$  en fonction de la composition  $Y$ , c'est-à-dire la variation du gap entre le matériau pur A et matériau pure B, comme c'est montré dans la figure ci-dessous. Les profils étudiés sont au nombre de 04 : uniforme, linéaire, parabolique et exponentiel.

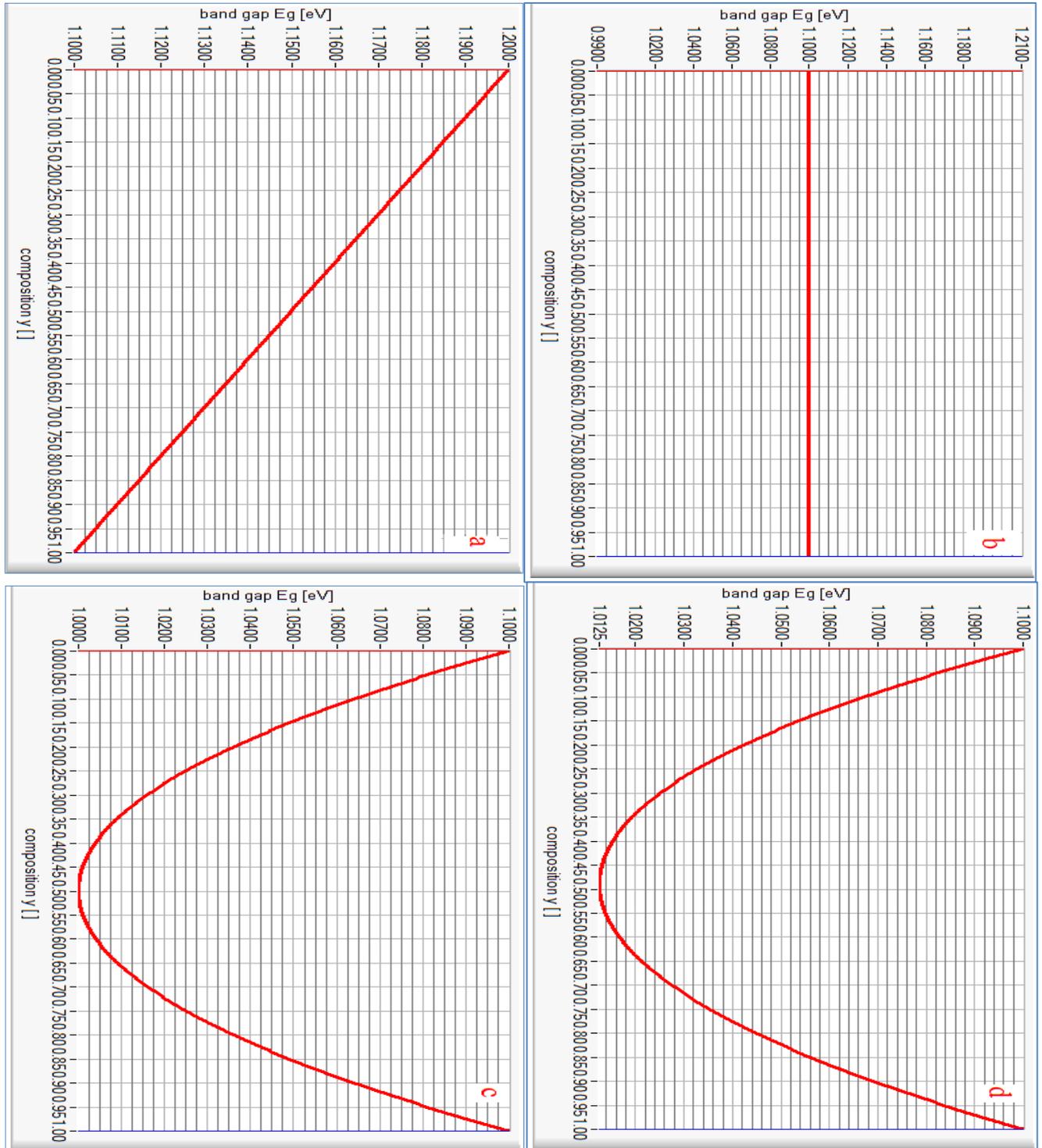


Figure 3.7 : Le profil de la composition  $Y$  en fonction de l'énergie du gap ;  
a) Gradué linéaire ; b) Uniforme c) gradué parabolique. d) gradué exponentiel ;

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

Nous commençons par analyser l'effet du changement de la composition  $y$  en fonction de la position, tout en gardant un profil du gap en fonction de la composition de type linéaire. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3.3. D'après le tableau un meilleur rendement est enregistré pour un profil de type exponentiel

Profile	V <sub>co</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η(%)
Uniforme	0.5804	25.2774	77.92	11.43
Graduée linéaire	0.4994	22.3002	75.70	8.43
Graduée parabolique	0.5820	25.4248	77.99	11.54
Graduée exponentiel	0.6814	42.2571	78.96	22.73

Tableau 3.3 L'effet de la variation de la position X sur Les paramètres (J<sub>sc</sub>, V<sub>co</sub>, FF et η)

En analysant l'effet du changement du profil du gap en fonction la composition  $y$  (en gardant un profil de la composition en fonction de la position de type gradué exponentiel. Les résultats du tableau 3.4. Montrent que le meilleur rendement est enregistré pour un profil de type linéaire.

Profile	V <sub>co</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η(%)
Uniforme	0.5980	45.9341	79.38	21.81
linéaire	0.6830	42.7641	79.03	23.08
parabolique	0.6408	44.5146	77.23	22.03
exponentiel	0.6414	44.5183	77.462	22.12

Tableau 3.4 L'effet de la variation de la composition Y sur les paramètres (J<sub>sc</sub>, V<sub>co</sub>, FF et η)

### III.4.2 L'effet de variation du gap d'énergie

L'importance de la bande interdite de la couche absorbante est incontestable pour améliorer les performances des cellules solaires, en raison de son impact sur l'absorption et par conséquent sur la génération des porteurs électron-trou.

Dans notre simulation, nous avons étudié le changement de gap de la couche absorbeur p-CIGS tout en fixant les paramètres suivant

- L'épaisseur (2  $\mu\text{m}$ ).
- Le profil linéaire de la band gap.
- Band gap du matériau A ( $y = 0$ )  $E_g = 1.2 \text{ eV}$ .
- La composition a droit ( $y(x=0) = 0$ ).
- La composition à gauche ( $y(x=d) = 1$ ).
- La concentration du dopage NA ( $1/\text{cm}^3$ ) ( $2.000\text{E}+16$ ).
- L'illumination = AM1\_5G 1 sun.spe (on prendre tout le spectre solaire).
- La température = 300 K.

Et on fait varier l'énergie de la band gap et voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée.

Band gap (eV)	Vco (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	$\eta$ (%)
1.200 - 1.100(Ev)	0.6830	42.764105	79.03	23.08
1.200 – 1.300(Ev)	0.7070	43.502733	79.64	24.50
1.200 – 1.400(Ev)	0.7186	43.616503	79.66	24.97
1.200 – 1.500(Ev)	0.7293	43.627239	79.67	25.35
1.200 – 1.600(Ev)	0.7406	43.591282	79.52	25.67

Tableau 3.5 Les paramètres (Jsc, Vco, FF et  $\eta$ ) en fonction de l'énergie de gap

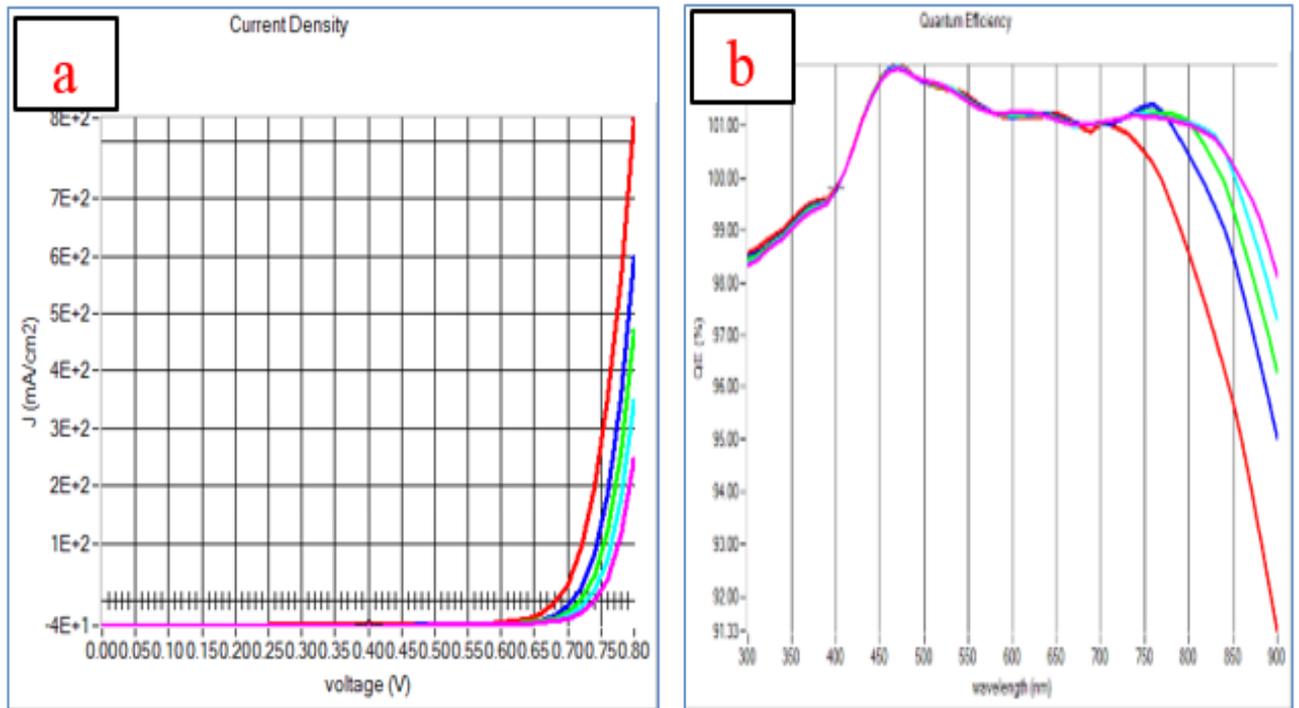


Figure 3.8 : **a)** Caractéristique I(V) de la cellule CIGS pour différents gap gradué ; **b)** Quantité de charge dans la cellule CIGS pour différents gap;

La figure 3.8 a),b) et le tableau 3.5 nous observent que la puissance augmente lorsque le gap du matériau pure B augmente. Cette augmentation du gap provoque une augmentation du rendement quantique dans l'intervalle du visible qui dépasse même 100%. Cet dépassement est dû aux photons ayant une forte énergie qui cèdent leur énergie pour exciter deux électrons ou plus. Donc l'augmentation du courant photo-généré. Au-delà du visible, le rendement quantique chute rapidement dans le cas du gap est entre 1.2-1.1 eV.

Aussi, l'augmentation de gap a engendré une forte amélioration des paramètres électriques de la cellule notamment le rendement

### III.4.3 L'influence de dopage

Dans le cas d'étude de l'influence de dopage, nous avons fixé les paramètres suivant :

- L'épaisseur (2  $\mu\text{m}$ ).
- Le profil linéaire de la band gap.
- Band gap du matériau A ( $y = 0$ )  $E_g = 1.2$  eV.
- Band gap du matériau B ( $y = 1$ )  $E_g = 1.1$  eV.
- La composition a droit ( $y(x=0) = 0$ ).
- La composition à gauche ( $y(x=d) = 1$ ).
- L'illumination = AM1\_5G 1 sun.spe (on prendre tout le spectre solaire).
- La température = 300 K.

Et on fait varié dopage NA de la couche absorbent CIGS entre  $1.10^{15}/\text{cm}^3$  jusqu'à  $7.10^{16}/\text{cm}^3$  ; et voir l'influence sur les différentes caractéristiques électriques de la cellule solaire étudiée.

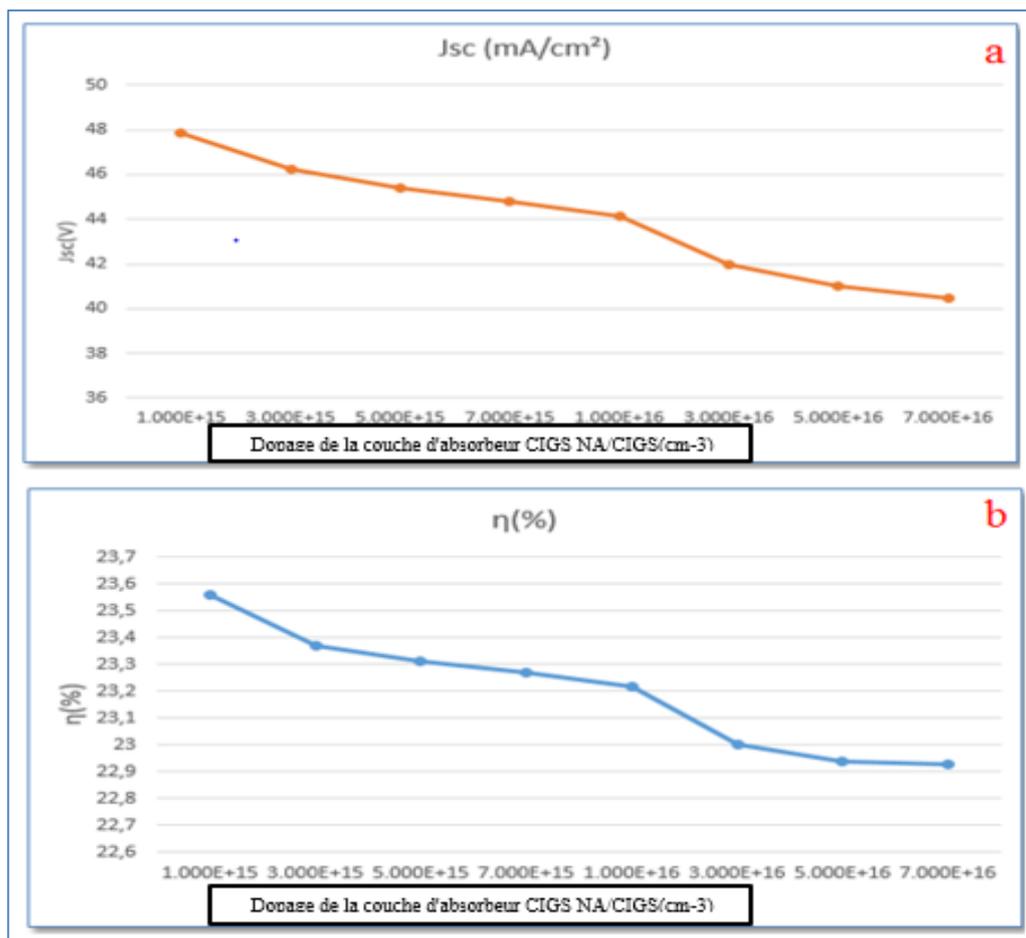


Figure 3. 9 Effet du dopage : a) Evolution du courant de court-circuit ; b) le rendement quantique

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

D'après la figure 3.9 les résultats enregistrés montrent que l'augmentation de dopage a cause de la dégradation remarquable des performances de la cellule notamment le rendement et le courant de court-circuit.

La dégradation de ces paramètres est due principalement aux collisions électroniques qui seront plus favorisées en fonction de l'augmentation de la concentration des dopages NA

### III.4.4 L'influence de l'épaisseur de couche absorbante

Pour l'amélioration des cellules solaires, la réduction de l'épaisseur de la couche absorbante réduit la quantité de consommation de matières (en particulier les éléments rares tel que l'In) et par conséquent, le coût de production de la cellule solaire. La recherche actuelle se concentre sur la réduction de l'épaisseur de la couche absorbante sans modifier défavorablement les performances des cellules solaires. Ceci explique l'importance d'étudier l'influence de l'épaisseur de l'absorbeur sur le rendement de la cellule.

L'importance de cet effet a été étudiée par de nombreux scientifiques. Comme le travail de CHADEL ASMA, les paramètres physiques de la cellule qu'elle a étudiée sont regroupés dans le tableau suivant :

	<b>ZnO</b>	<b>Grad-Zn(O,S)</b>	<b>) Grad-CIGS</b>
Epaisseur (um)	<b>0.2</b>	<b>0.05</b>	<b>3</b>
Constante diélectrique	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>13.6</b>
Mobilité d'électrons	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Mobilité du trou (cm <sup>2</sup> /V.s)	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
Densité de porteur (cm <sup>-3</sup> )	<b>10<sup>18</sup></b>	<b>10<sup>17</sup></b>	<b>2*10<sup>16</sup></b>
Bande de gap (eV)	<b>3.3</b>	<b>3.3-3.6</b>	<b>1.02-1.65</b>
Nc (cm <sup>-3</sup> )	<b>2.2*10<sup>18</sup></b>	<b>2.2*10<sup>18</sup></b>	<b>2.2*10<sup>18</sup></b>
NV (cm <sup>-3</sup> )	<b>1.8*10<sup>19</sup></b>	<b>1.8*10<sup>19</sup></b>	<b>1.8*10<sup>19</sup></b>

Tableau 3.6 Les paramètres ( $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF et  $\eta$ ) de la cellule CIGS à gap gradué en fonction de l'épaisseur de la couche absorbante

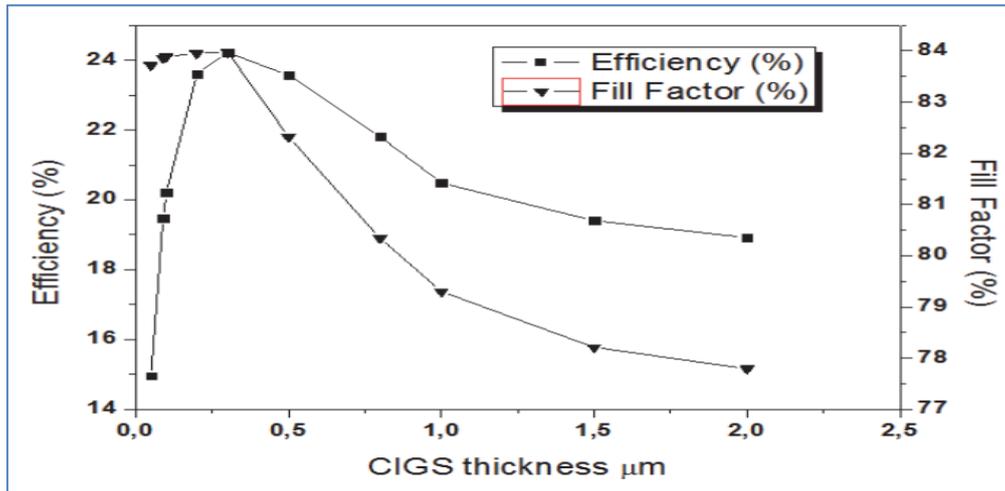


Figure 3. 10 : Caractéristique ( $J_{sc}$ ) de la cellule CIGS pour différents longer d'onde D'après la variation du rendement en fonction de l'épaisseur enregistré par [1] l'augmentation de l'épaisseur de 0,05  $\mu\text{m}$  à 0,3  $\mu\text{m}$ , l'efficacité passe de 14,91 à 24,22%. Par la suite, l'efficacité augmente d'environ 10% et après 0,3  $\mu\text{m}$  elle commence à chuter.

Dans notre simulation, nous avons étudié la couche absorbeur p-CIGS graduée on a fixé les paramètres suivant :

- Le profil linéaire de la band gap.
- Band gap du matériau A ( $y = 0$ )  $E_g = 1.2 \text{ eV}$ .
- Band gap du matériau B ( $y = 1$ )  $E_g = 1.1 \text{ eV}$ .
- La composition à droite ( $y(x=0) = 0$ ).
- La composition à gauche ( $y(x=d) = 1$ ).
- La concentration du dopage NA ( $1/\text{cm}^3$ ) ( $2.000\text{E}+16$ ).
- L'illumination = AM1\_5G 1 sun.spe (on prendre tout le spectre solaire).
- La température = 300 K.

Et on fait varier l'épaisseur de la couche absorbant p- CIGS graduée ; et voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée.

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

Epaisseur du P-CIGS	V <sub>co</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η(%)
3 μm	0.6826	42.585134	79.02	22.97
2 μm	0.6830	42.764105	79.03	23.08
1 μm	0.6884	43.898643	79.28	23.27
800 nm	0.7110	40.945189	80.41	23.41
500 nm	0.7124	40.867392	80.44	23.42

Tableau 3. 7 Les paramètres (J<sub>sc</sub>, V<sub>co</sub>, FF et η) pour différentes températures

Sur le Tableau (3.5) nous avons rapporté les résultats de calcul du rendement en fonction de l'épaisseur de la couche absorbante ; Pour une épaisseur variant entre 500 nm à 3 μm, Le rendement augmente linéairement en raison de la réduction du trajectoire parcouru par les électrons photo-générés . Toutefois, une nouvelle réduction de l'épaisseur au-delà de 500 nm n'améliore pas le rendement mais entraîne une réduction remarquable dû à l'augmentation des recombinaisons et les interactions électroniques.

### III.4.5 L'influence de l'illumination

Dans notre simulation, nous avons étudié la couche absorbeur p-CIGS graduée sous défient longer d'onde incidence, on a fixé les paramètres suivant

- L'épaisseur (2 μm).
- Le profil linéaire de la band gap
- Band gap du matériau A (y = 0)  $E_g = 1.2$  eV.
- Band gap du matériau B (y = 1)  $E_g = 1.1$  eV.
- La composition a droit (y(x=0) = 0)).
- La composition à gauche (y(x=d) = 1)).
- La concentration du dopage NA (1/cm<sup>3</sup>) (2.000E+16).
- La température = 300 K.

Et on fait varie illumination ; et voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée.

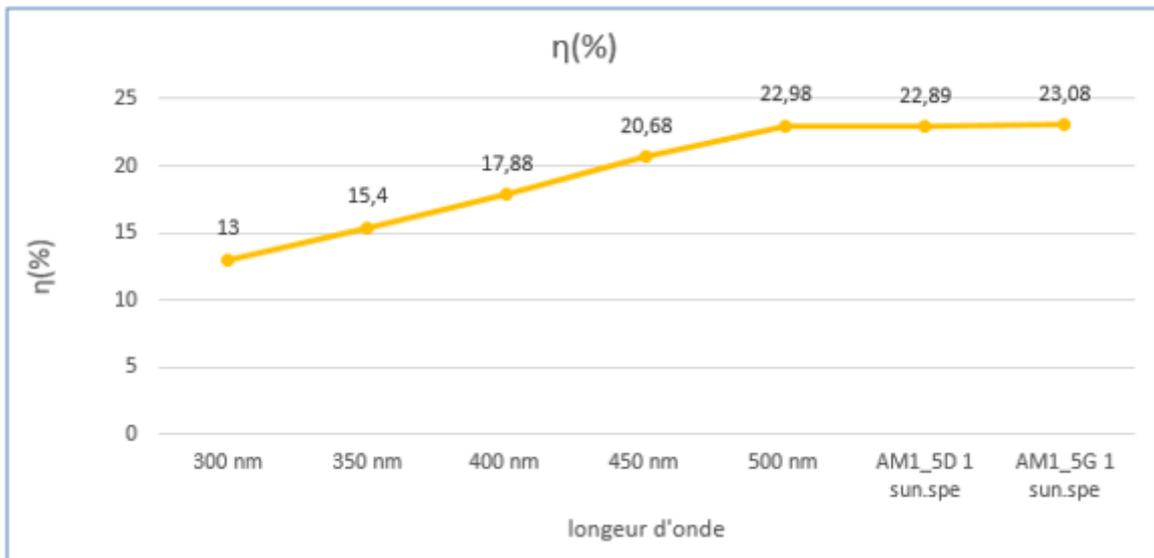


Figure 3.11 Caractéristique ( $J_{sc}$ ) de la cellule CIGS pour différents longer d'onde

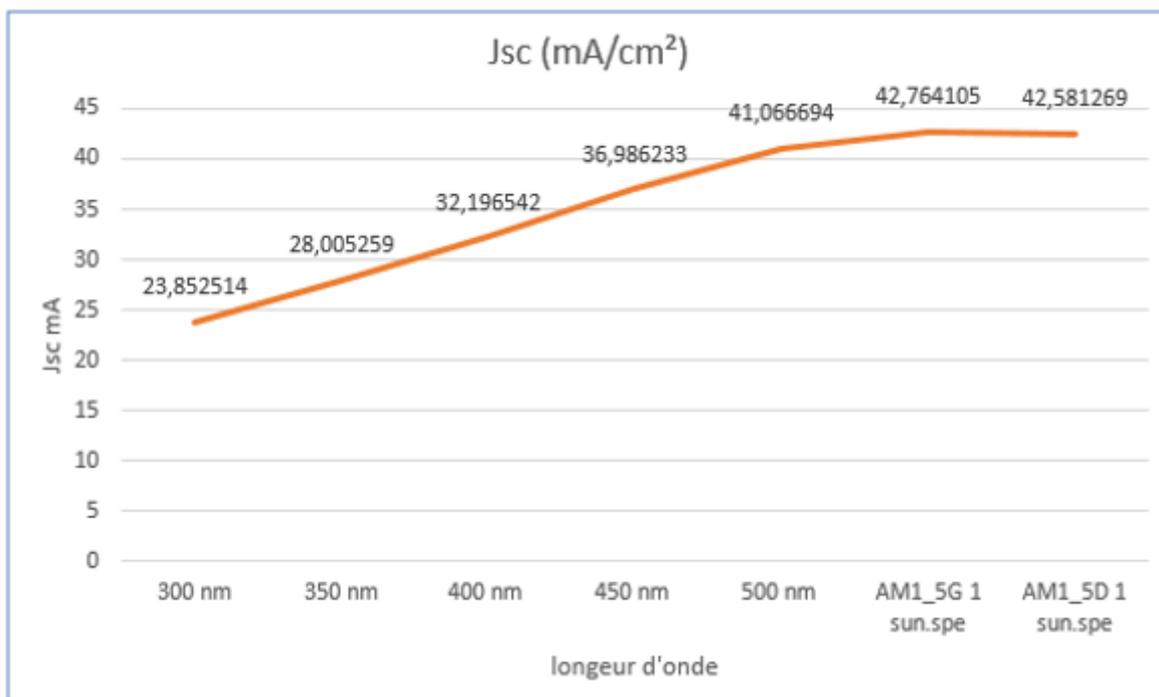


Figure 3.12 : le rendement énergétique de la cellule CIGS pour différents longer d'onde

D'après la figure 3.10. Et 3.11 nous remarquons que le courant de court-circuit est directement proportionnel au rayonnement à ces niveaux d'éclairement à cause l'augmentation de l'énergie absorbant par la cellule, implique l'augmentation de rendement.

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

### III.4.6 L'influence de la température

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules. A plus haute température, des paramètres tels que l'électron et de la mobilité des trous, Des concentrations des porteurs et des bandes interdites des matériaux seraient affectés dans ce résultat par une moindre efficacité des cellules

L'importance de de cette effet a été étudiier par de nombreux scientifiques . Comme le travail de A.K. Daoudia et ell, les paramètres physiques de la cellule qu'elle a étudiée sont regroupés dans le tableau suivant :

	n-ZnO	i-ZnO	n-CdS	p-CIGS
d (µm)	0.02	0.2	0.03	variable
Eg (eV)	3.3	3.3	2.4	variable
x (eV)	4.45	4.45	5.2	4.5
εr (1)	9	9	10	13.6
Nc (cm-3)	$3 \cdot 10^{18}$	$2.2 \cdot 10^{18}$	$2.2 \cdot 10^{18}$	$2.2 \cdot 10^{18}$
Nv (cm-3)	$1.8 \cdot 10^{19}$	$1.8 \cdot 10^{19}$	$1.8 \cdot 10^{19}$	$1.8 \cdot 10^{19}$
VthN	$2.4 \cdot 10^7$	107	107	107
VthP	$1.3 \cdot 10^7$	107	107	107
µn (cm <sup>2</sup> /Vs)	100	100	100	100
µp (cm <sup>2</sup> /Vs)	31	25	25	25
Nd (cm-3)	1020	1017	$5 \cdot 10^{17}$	10
Na (cm-3)	1	1	1	$1.3 \cdot 10^{15}$

Tableau 3.8 : Propretés adoptées pour différentes couches .

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

Température	V <sub>co</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η(%)
260	0.9306	36.9261	67.7	23.26
280	0.882	36.9026	69.6	22.66
300	0.8505	36.8772	70.2	22.02
320	0.8272	36.8506	70.2	21.36
340	0.8071	36.8237	69.59	20.68
360	0.7878	36.7978	68.93	19.98

Tableau 3.9 : Les paramètres (J<sub>sc</sub>, V<sub>co</sub>, FF et η) d'une cellule solaire à base de CIGS graduée des différentes températures.

On remarque sur les résultats obtenus une décroissance des paramètres électriques en fonction de la température, la valeur maximale est obtenue à la température la plus basse. La diminution de J<sub>sc</sub> et η (%) est presque linéaire dans l'intervalle (260-360K).

Cette décroissance de rendement est due à l'agitation thermique.

Dans notre simulation, nous avons étudié la couche absorbante p-CIGS graduée on a fixé les paramètres suivants :

- Le profil linéaire de la bande gap.
- Bande gap du matériau A (y = 0) E<sub>g</sub> = 1.2 eV.
- Bande gap du matériau B (y = 1) E<sub>g</sub> = 1.1 eV.
- La composition à droite (y(x=0) = 0).
- La composition à gauche (y(x=d) = 1).
- La concentration de dopage N<sub>A</sub> (1/cm<sup>3</sup>) (2.000E+16).
- L'illumination = AM1\_5G 1 sun.spe (on prend tout le spectre solaire).
- L'épaisseur de la couche absorbante CIGS (2 μm).

Et on fait varier la température ; et voir l'influence sur les différentes caractéristiques de la cellule solaire étudiée.

## Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué

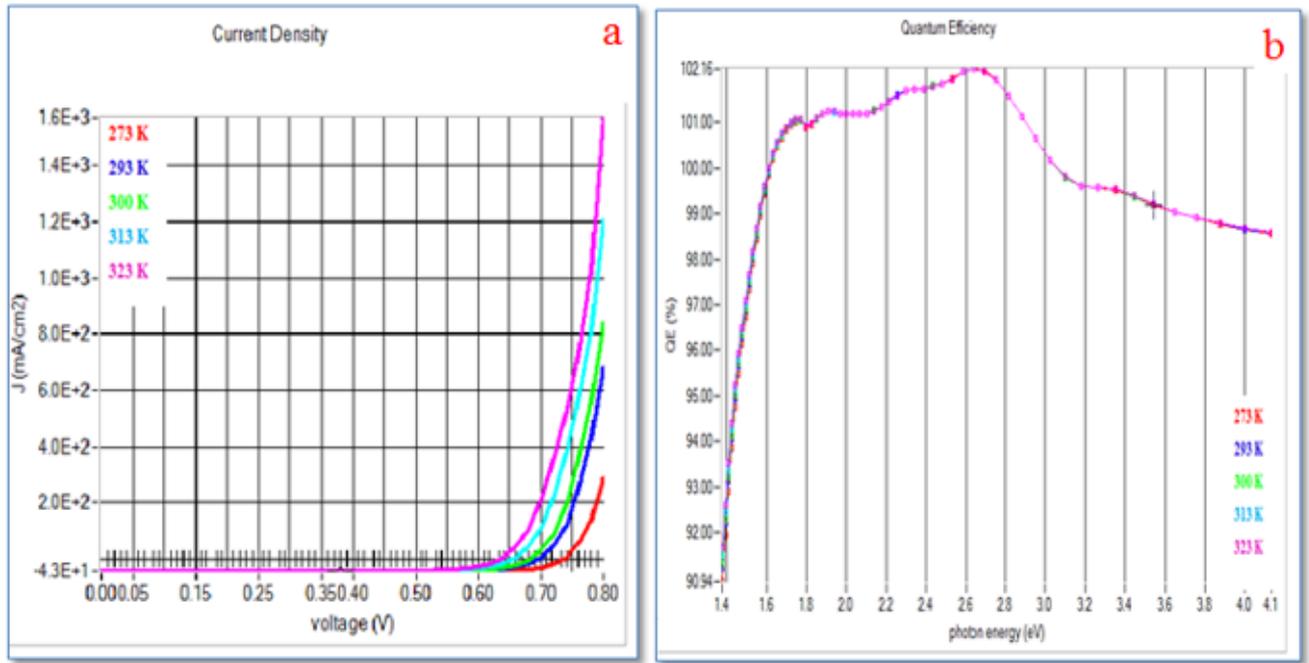


Figure 3.13 a) Caractéristique I(V) de la cellule CIGS pour différents température

b) Quantité de charge dans la cellule CIGS pour différents température

D'après la figure 3.12.a),3.12.b) nous remarquons que l'influence de l'augmentation de la température sur la tension est très grande que le courant, ils n'a pas d'influence sur la quantité de charger.

Les résultats de simulation sont présents dans tableau ci-dessous. Le rendement,  $J_{sc}$ ,  $V_{co}$ , FF Dépende de la température.

Température	$V_{co}$ (V)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	$\eta$ (%)
273 K	0.7366	42.531029	80.34	25.17
293 K	0.6970	42.704931	79.38	23.63
300 K	0.6830	42.764105	79.03	23.08
313 K	0.6570	42.873486	78.32	22.06
323 K	0.6369	42.958975	77.76	21.27

Tableau 3. 10 : Les paramètres ( $J_{sc}$ ,  $V_{co}$ , FF et  $\eta$ ) d'une cellule solaire à base de CIGS graduée des différents températures

### **Chapitre III Simulation des caractéristiques des cellules CIGS à gap gradué**

D'après Les résultats de la simulation on remarque que le paramètre le plus affecté par la variation de la température est la tension de circuit ouvert  $V_{co}$  , En effet, lorsque la température augmente la bande de gap devient plus étroite et ceci accélère le phénomène de recombinaison des paires électrons-trous entre la bande de conduction et la bande de valence.

La forte réduction de  $V_{co}$  conduit à une diminution du facteur de forme FF ainsi que du rendement de conversion  $\eta$  de la cellule solaire.