

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

Bouamra Zahra

&

Bekhti Leyla

pour l'obtention du diplôme master en Electronique option Réseau et Télécommunication

Thème

Etude et simulation d'une structure a base de $\text{AlInAsSb}/\text{GaSb}/\text{InAs}$ pour le photovoltaïque

Proposé par : Mr.Aissat Abdelkader & Mr.Bestam Rachid

Année Universitaire 2011-2012

Remerciements

On remercie ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné le Courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Ce travail a été effectué au laboratoire (LATS) département d'électronique faculté des sciences de l'ingénieur, sous la direction de monsieur Aissat.A, docteur à l'Université Saad Dahleb de Blida. On lui exprime particulièrement toutes nos reconnaissances pour nous avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa constante disponibilité.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à Mr.BESTAM RACHID pour toute la facilité que nous avons eue pour avancer dans notre travail et aussi pour sa patience et sa gentillesse.

On remercie nos professeurs qui tout au long des années d'études nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Nos remerciements s'adressent également à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en acceptant de juger notre travail.

ملخص:

هذا العمل يركز على النمذجة والمحاكاة لهيكل أساسه أنصاف النواقل و هذا لتطبيق ضوئي. درسنا أولاً تأثير الألمونيوم على مختلف معايير السبائك AllInAsSb النامية على ركيزة InAs و GaSb. في الواقع الزيادة في كثافة الألمونيوم يزيد من الفجوة في السبيكة. الدراسة تشمل الرسوم البيانية تعطي تباين العوامل المختلفة التي تؤثر في كفاءة التحويل بدلالة تركيز الإنديوم وتركيز الأرسنيك حيث ان اعلي قيمة للمردود (20.92%) تم الحصول عليها بتركيز الألمونيوم 3٪ و تركيز الأرسنيك 90% مع السبيكة AllInAsSb/GaSb كما تحصلنا على نفس اعلي قيمة للمردود مع السبيكة AllInAsSb/InAs تم الحصول عليها بتركيز الألمونيوم 4٪ و تركيز الأرسنيك 90%.

كلمات المفاتيح أشباه الموصلات، والضوئية، والإجهاد؛ الفجوة .

Résumé : Ce travail porte sur la modélisation et la simulation d'une structure à base de semi-conducteurs pour une application photovoltaïque. Nous avons étudié d'abord l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur les différents paramètres de l'alliage AllInAsSb épitaxie sur les couches de GaSb et InAs. En effet l'augmentation de la densité d'aluminium augmente le gap de l'alliage. L'étude comprend des graphes donnant les variations des différents facteurs influant sur le rendement de conversion en fonction de la concentration d'aluminium et de la concentration d'arsenic. Pour AllInAsSb/InAs la valeur la plus élevée du rendement (20.92%) est obtenue pour une concentration d'aluminium égale à 3% et une concentration d'arsenic de 80 % et même valeur pour GaSb mais pour une concentration d'aluminium x=4%.

Mots clés : semi-conducteur ; photovoltaïque ; contrainte ; gap.

Abstract : This work focuses on modelling and simulation of a structure based on semiconductors for photovoltaic application. We first studied the influence of the concentration of aluminium and arsenic on the various parameters of the alloy AllInAsSb epitaxial layer on GaSb and InAs. Indeed, the increase of the density of aluminium reduces the gap. The study includes graphs showing the variations of the different factors affecting the conversion efficiency as a function of the concentration of aluminium and arsenic. For AllInAsSb / GaSb value the higher yield (20.92%) is obtained and an aluminium concentration of 3% and a concentration of 90% arsenic. For AllInAsSb / InAs value the highest yield (19.21%) is obtained and an aluminium concentration of 4% and a concentration of 90% arsenic.

Keywords: semiconductor; photovoltaic; stress; gap.

Listes des acronymes et abréviations

AM	Air mass (masse d'air)
h	constante de Planck
λ	Longueur d'onde
Al	Aluminium
Sb	Antimoine
Ga	gallium
In	Indium
As	Arsenic
X	La concentration de l'Aluminium
Y	La concentration d'Arsenic
Bc	Bande de conduction
Bv	Bande de valence
Eg	Energie de la bande interdite
Ec	Energie de la bande de conduction
Ev	Energie de la bande de valence
Ehh	Niveaux d'énergie des trous lourds
Elh	Niveaux d'énergie des trous légers
ac	potentiel de déformation dans la bande conduction
av	potentiel de déformation dans la bande valence
as	paramètre de maille du substrat
ae	paramètre de maille de la couche active
ε	Déformation hydrostatique
Cij	tenseur d'élasticité
hc	Epaisseur critique

Table des matières

Introduction général	1
Chapitre 1 : Généralités sur le photovoltaïque	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 L'énergie solaire	3
1.3 Les types de semi-conducteurs.....	5
1.3.1 Semi-conducteurs intrinsèques.....	5
a. Semi-conducteur dopé n	5
b. Semi-conducteur dopé p :	6
1.4 Jonction P-N	6
1.5 Les cellules solaires à base de semi-conducteurs.....	7
1.5.1 Description de la cellule	7
1.5.2 Principe de base	8
1.5.3 Paramètres essentiels caractérisant une cellule solaire.....	9
a. Courant de court-circuit.....	10
b. Tension de circuit ouvert.....	10
c. la puissance maximale	10
d. Facteur de forme	10
e. le rendement de conversion d'énergie	11
1.6 Facteurs limitant le rendement.....	11
1.6.1 Les perte énergétique	11
1.6.2 Les perte optique	12

1.7 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	13
1.8 Avantages et inconvénients.....	14
1.8.1 Les avantages.....	14
1.8.2 Les inconvénients	15
1.9 Conclusion.....	15
Chapitre 2 : Etude du matériau AllnAsSb/GaSb/InAs.....	16
2.1 Introduction	16
2.1.1 La structure cristalline	17
2.1.2 Paramètre de maille	18
2.1.3 La structure de bande	20
2.1.4 Cas du quaternaire AllnAsSb	22
2.2 L'énergie de la bande interdite (gap)	22
2.2.1 Le gap direct	22
2.2.2Le gap indirect.....	23
2.3 L'effet de la température sur le gap	24
2.4 Notion de couche contrainte (épaisseur critique.....	26
2.4.1 La couche contrainte	26
2.4.2 L'épaisseur critique	31
2.4.3 Effet de la contrainte sur le gap.....	34
2.5 L'Absorption.....	42
2.5.1Etude de coefficient d'absorption	42
2.6 Nombre de photon incident	55

2.7 Hétérojonction (semiconducteur/semiconducteur)	58
2.7.1 Diagramme de bandes d'énergie.....	58
2.8 Conclusion	61
Chapitre 3 : Résultats et simulation	63
3.1 Introduction	63
3.2 La simulation numérique sous Matlab	66
3.2.1 Discontinuité de bandes aux hétérojonctions "offset"	66
3.2.2 Paramètre essentiels caractérisant la cellule solaire	70
a. le photocourant	70
b. caractéristique courant-tension	76
c. Facteur de forme	84
d. Le rendement	88
3.3 Conclusion	91
Conclusion générale.....	92
Annexe	94
Bibliographie.....	96

Liste des figures :

Chapitre 1 :

Figure 1.1 Définition de la norme AM ; spectre d'émission solaire sous AM0 et AM1.5 global.4

Figure 1.2 Schéma d'une jonction P-N.....7

Figure 1.3 configuration de base d'une cellule solaire8

Figure 1.4 Schéma de la structure d'une cellule photovoltaïque illustration (a) Phénomène de photogénération (b) collecte des porteurs pour différentes longueurs d'onde8

Figure 1.5 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque9

Figure 1.6 Schéma du circuit équivalent de la cellule.....14

Chapitre 2

Figure 2.1 : Maille élémentaire de la structure Zinc Blende18

Figure 2.2.a : Paramètre de maille de $(Al_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y})$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).....19

Figure 2.2.b : Variation du paramètre de maille en fonction de la concentration d'aluminium (x) et d'arsenic (y).....19

Figure 2.3 : Structures de bandes électroniques des composés InSb, AlSb, AlAs, InAs et GaSb.....21

Figure 2.4 Gap d'énergie.....22

Figure 2.5 le gap direct.....23

Figure 2.6 Le gap indirect.....23

Figure 2.7 : Variation de l'énergie de bande interdite de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).....	24
Figure 2.8: L'effet de la température sur le gap de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$	25
Figure 2.9 : Illustration des deux types de déformation, (a)couche non contrainte. (b)couche en compression ($a_e > a_s$) ou a_s : paramètre de maille du substrat et a_e : celui de la couche épitaxie. (c) couche en tension ($a_e < a_s$).....	26
Figure 2.10 : Propagation de dislocation dans la couche épitaxie épaisse.....	27
Figure 2.11.a : Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$	29
Figure 2.11.b : Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$	29
Figure 2.12.a: Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$	30
Figure 2.12b: Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$	31
Figure 2.13: Variation de l'épaisseur critique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_x In_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$	33
Figure 2.14: Variation de l'épaisseur critique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_x In_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$	34
Figure 2.15: Variation de l'énergie de la bande interdite de la structure contraint sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium avec $Sb=10%$; $As=90%$	37
Figure 2.16: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium pour avec $Sb=30%$; $As=70%$	38

Figure 2.17.a: Variation de l'énergie des trous EgHH de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.....	39
Figure 2.17.b: Variation de l'énergie des trous EgLH en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.....	40
Figure 2.18: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint en fonction de la concentration d'aluminium avec Sb=10% ; As=90%.....	40
Figure 2.19: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint en fonction de la concentration d'aluminium avec Sb=30% ; As=70%.....	41
Figure 2.20.a: Variation de l'énergie des trous lourds en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.....	41
Figure 2.20.b: Variation de l'énergie des trous légers en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.....	42
Figure 2.21.a: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}$	43
Figure 2.21.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x < x_0$ (compression).....	44
Figure 2.21.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x > x_0$ (tension).....	44
Figure 2.21.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x = x_0$ (accord de maille).....	45
Figure 2.21.e : L'absorption maximale en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}$	46
Figure 2.22.a : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}$	46

Figure 2.22.b: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour $x > x_0$ (tension).....	47
Figure 2.22.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour $x < x_0$ (compression).....	47
Figure 2.23.a : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$	48
Figure 2.23.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x < x_0$ (compression).....	49
Figure 2.23.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x > x_0$ (tension).....	49
Figure 2.23.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x = x_0$ (accord de maille).....	50
Figure 2.24.a: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$	50
Figure 2.24.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ pour $x < x_0$ (compression).....	51
Figure 2.24.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x > x_0$ (tension).....	51
Figure 2.24.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ pour $x = x_0$ (accord de maille).....	52
Figure 2.25.a : Variation de l'absorption alpha de la structure contrainte sur $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{(0.1)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).....	53

Figure 2.25.b: l'effet de la contrainte sur le coefficient d'absorption de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de les composition (x,y).....	53
Figure 2.26.a : Variation de l'absorption alpha de la structure contraint sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).....	54
Figure 2.26.b: l'effet de la contrainte sur le coefficient d'absorption de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de les composition (x,y).....	55
Figure 2.27.a : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0,9}Sb_{0,1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	56
Figure 2.27.b : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic.....	56
Figure 2.28.a : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	57
Figure 2.28.b : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic.....	57
Figure 2.29 : diagramme du bande de deux semi-conducteurs	58
Figure 2.30 : Diagramme énergétique au voisinage de la jonction $\chi_1 > \chi_2$.(déplétion).....	58
Figure 3.2.a : Variation de l'affinité électronique de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	63
Figure 3.2.b : Variation de l'affinité électronique de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic.....	64
Figure 3.3 : Variation de travail de sortie de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	65
Figure 3.4: l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de valence entre l'AlInAsSb et InAs.....	66

Figure 3.5: l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de conduction entre l'AlInAsSb et InAs.....	67
Figure 3.6 : l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de valence entre le AlInAsSb et GaSb	68
Figure 3.7 : l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande conduction entre le AlInAsSb et GaSb	69
Figure 3.8 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$	71
Figure 3.9 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$	71
Figure 3.10: Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$	72
Figure 3.11 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$	72
Figure 3.12 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$	73
Figure 3.13: Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$	74
Figure 3.14 : variation de la tension de circuit ouvert en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$	75
Figure 3.15: Variation de la tension de circuit ouvert en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$	75
Figure 3.16 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour différentes valeurs de x	76
Figure 3.17 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour différentes valeurs de x	77

Figure 3.18 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour différentes valeurs de x	77
Figure 3.19 : Caractéristique courant tension de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ pour différentes valeurs de x.....	78
Figure 3.20 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$	79
Figure 3.21 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$	79
Figure 3.22 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$	80
Figure 3.23 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$	81
Figure 3.24 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	81
Figure 3.25 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	82
Figure 3.26 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	86
Figure 3.27 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	87
Figure 3.28 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	88
Figure 3.29 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium.....	89

Figure 3.30 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$
en fonction de la concentration d'aluminium.....89

Figure 3.31 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$
en fonction de la concentration d'aluminium.....90

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Extrait de la classification périodique des éléments.....	17
Tableau 2.2 Les paramètre de maille des binaires.....	18
Tableau 2.3 les paramètres de la bande interdite des binaires	23
Tableau 3.1 : affinités électroniques $e\chi_e$ et valeurs maximales des travaux de sortie $e\phi_{\max}$ des principaux semi-conducteurs.....	62

Introduction générale

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter, le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. Cet intérêt s'est accru face à l'épuisement inéluctable des énergies fossiles, à leur impact sur l'environnement et aux déchets qu'ils engendrent. Généralement, les systèmes de conversion d'énergie renouvelable souffrent d'un manque d'optimisation qui en font des systèmes chers et présentant encore des déficiences importantes en rendement et en fiabilité.

Dans ce cadre, l'énergie photovoltaïque (PV) bien que connue depuis de nombreuses années pour être une source d'énergie électrique ayant de grandes possibilités pouvant aller de quelques milliwatts au mégawatt, ne se développe pas dans le cadre proportions. Les problèmes qui restent à résoudre concernent autant le matériau de conversion qui reste cher que la chaîne de conversion qui présente beaucoup de pertes par une non optimisation et souvent une utilisation inapproprié de convertisseurs statiques.

Sur la partie matériau, beaucoup d'équipes de recherche travaillent depuis de nombreuses années pour obtenir des rendements élevés associés à des prix de réalisation bas et une tenue des performances en vieillissement sur des durées importantes (10 à 30 ans).

Ce développement passe essentiellement par la maîtrise des matériaux utilisés dans la conception des composants. La plupart de ces matériaux sont obtenus par alliage sur des substrats standards. Ils pourraient à priori couvrir une large gamme de compositions

Dans ce cas, l'objectif essentiel est l'accroissement du rendement. Ceci explique et justifie les recherches concernant l'étude des programmes numériques de conception, de modélisation et de simulation [1].

Dans cet objectif, ce travail est abordé selon les chapitres suivants :

Dans le premier chapitre, nous décrivons le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, la caractéristique électrique et les principaux facteurs limitant le rendement de conversion qui permettent de modéliser la cellule par un circuit électrique.

Le deuxième chapitre présentera les propriétés optiques et électroniques d'une cellule photovoltaïque à base d'AlInAsSb. On a fait la simulation pour les paramètres de maille, la contrainte et l'épaisseur critique ainsi que la détermination de la bande interdite, l'absorption, pour le substrat GaSb et InAs.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous décrivons les différents paramètres de la cellule solaire et leur effet sur les caractéristiques courant - tension (I-V) ainsi que la caractéristique puissance - tension (P-V) pour notre matériau.

Chapitre 1 Généralités sur les photovoltaïques

1.1 Introduction :

Pendant les dernières décennies, la consommation mondiale d'énergie a considérablement augmenté, en raison de l'augmentation de la population mondiale d'une part et l'explosion du développement industriel de pays industrialisés. D'autre part actuellement la production de l'énergie est basée sur les énergies non renouvelables à savoir le pétrole, le gaz naturel, le charbon et l'uranium. En plus des deux sérieux problèmes posés par ces énergies ; sur le plan écologique (la pollution et le réchauffement de la planète) et sur le plan politique entre les pays (les conflits entre les états pour commander les réserves de combustible fossile), ces ressources sont épuisables. Et suite à l'augmentation du taux de consommation mondiale de l'énergie, l'homme sera condamné à trouver d'autres sources pour satisfaire les besoins énergétiques des futures générations. Les énergies dites renouvelables sont la meilleure solution pour dépasser ces problèmes. La production de ces énergies est basée sur des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités [2].

1.2 L'énergie solaire :

Le rayonnement reçu par la Terre en incidence normale avoisine les 1400 W/m^2 avant d'atteindre la couche atmosphérique. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une atténuation et une modification de son spectre. La couche d'ozone, par exemple, absorbe une partie du rayonnement sur une large bande de l'ultraviolet au visible, et l'oxygène présente deux bandes étroites d'atténuation vers 690 et 760 nm. La vapeur d'eau enfin possède de nombreuses bandes d'absorption dans le visible et encore plus dans l'infrarouge. Le flux énergétique reçu au sol se réduit alors à 1000 W/m^2 avec un spectre décalé vers le rouge. Pour tenir compte de l'épaisseur

d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire incident (Figure 1.1), on introduit un coefficient appelé nombre de air masse (AM) défini par:

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (1.1)$$

Où θ est l'angle que fait le soleil avec son zénith. Par définition, AM0 correspond aux conditions hors atmosphère. Quand le soleil fait un angle de 48° par rapport au zénith, la lumière incidente est dit AM1.5.

Au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une composante directe et une composante diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par un obstacle : nuages, sol) formant le rayonnement global. La Figure 1.1 montre le spectre d'émission solaire sous AM1.5 global normalisé à $100 \text{ w/m}^2 \cdot \mu\text{m}$ [3]

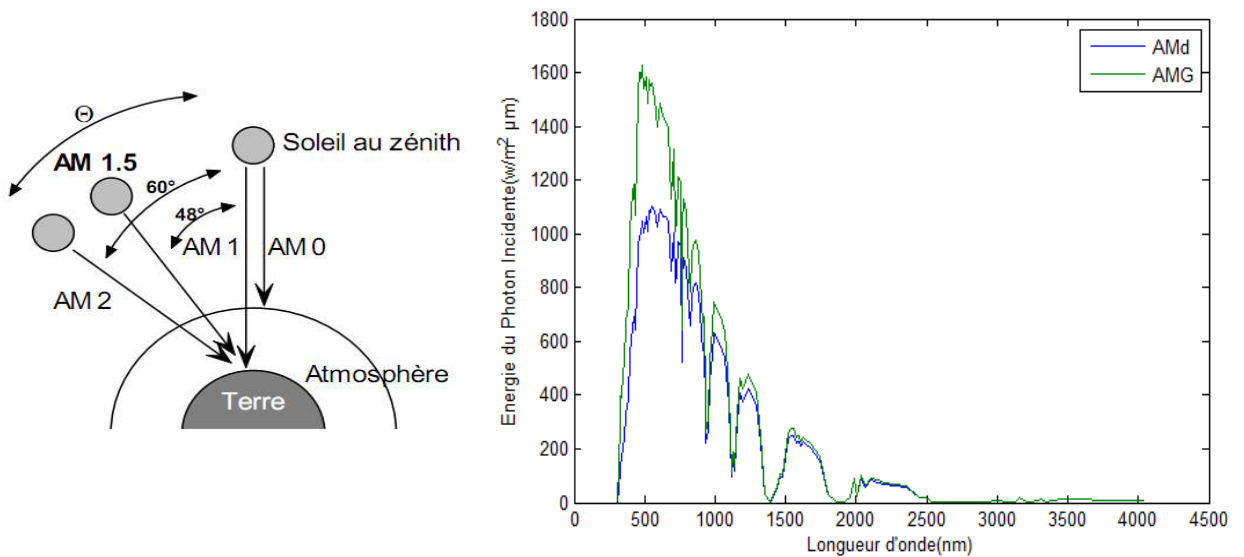


Figure 1.1 Définition de la norme AM ; spectre d'émission solaire sous AM0 et AM1.5 global.[3]

1.3 Les types de semi-conducteurs

1.3.1 Semi-conducteurs intrinsèques :

Ce sont des semi-conducteurs très purs et très bien cristallisés (présentant un réseau cristallin parfaitement périodique) et ayant un taux d'impuretés très faible. Ils se comportent comme des isolants à très basse température et leur conductivité augmente avec la température [4].

1.3.2 Semi-conducteur dopé :

Les semi conducteurs intrinsèques n'ont pas une grande utilité en tant que tels ; ils servent de base comme semi-conducteurs dopés: on y rajoute des impuretés pour modifier leur Comportement. Il existe deux types de semi conducteurs extrinsèques[5].

a. Semi- conducteur dopé n :

Le matériau dopé n est un semi-conducteur dont la concentration en électrons est largement supérieure à la concentration en trous. On y a introduit généralement du Phosphore, de l'Arsenic ou encore de l'Antimoine. Prenons par exemple le cas du Silicium dans lequel on introduit de l'arsenic (il possède 5 électrons sur la couche extérieure). L'arsenic a un niveau donneur dans la bande interdite très proche de la bande de conduction. L'intérêt est que pour les températures supérieures à 0K, les atomes d'arsenic sont ionisés ce qui revient à faire passer l'électron du niveau donneur à la bande de conduction. La concentration de donneurs sera donc supérieure à la concentration d'accepteurs (ce qui correspond à la définition d'un semi-conducteur dopé n. [5])

A la température ambiante pratiquement tous les donneurs sont ionisés et si la concentration en atomes donneurs est N_d , la densité de porteurs libres du semi-conducteur sera :

$$n=n_0 + N_d \quad (1.2)$$

Où n_0 est la densité d'électrons générés par le processus de rupture de liaisons de covalence qui engendre des paires électrons-trous.

b. Semi- conducteur dopé p :

Il s'agit d'un semi-conducteur dont la concentration en trous est largement supérieure à la concentration en électrons. On y a introduit généralement du Bore, de l'Aluminium, du Gallium ou encore de l'Indium. Prenons le cas du Silicium dans lequel on introduit du Bore. On associe au Bore un niveau accepteur dans la bande interdite très proche de la bande de valence.

De la même façon que pour le semi-conducteur dopé n, la concentration en trous du Semi-conducteur sera [5] :

$$P = p_0 + N_a \quad (1.3)$$

1.4 Jonction P-N :

Une jonction PN est constituée de deux zones respectivement dopées P et N et juxtaposées d'une façon que nous supposerons abrupte (figure 1.2), c'est-à-dire que la transition de la zone P à la zone N se fait brusquement. Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la région P vont diffuser vers la région N laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui diffusent vers la région P laissant derrière eux des charges positives. Il apparaît aussi au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges créent un champ électrique qui s'oppose à la diffusion des porteurs de façon à ce qu'un équilibre électrique s'établisse [6].

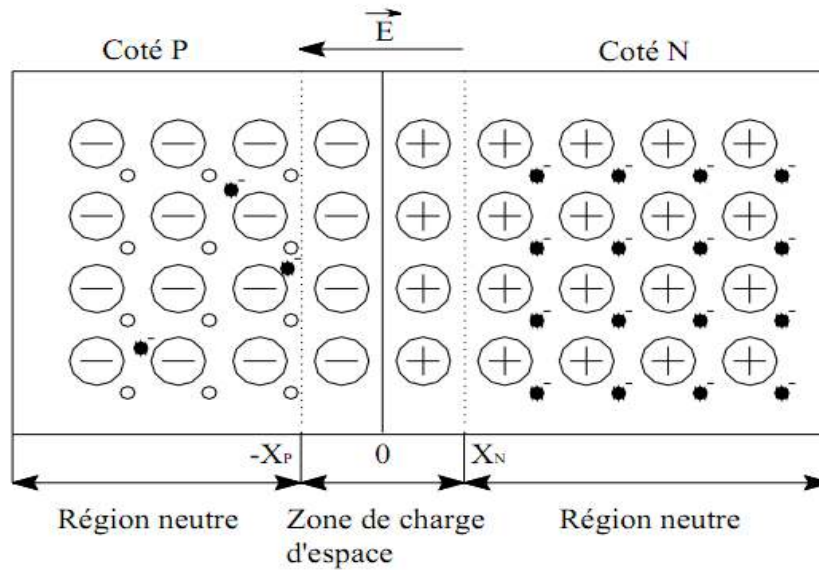


Figure 1.2 : Schéma d'une jonction P-N [7]

1.5 Les cellules solaires à base de semi-conducteurs

1.5.1 Description de la cellule :

Une cellule solaire conventionnelle consiste en une jonction P/ N ou N/ P. Le contact à la face éclairée a la forme d'une grille qui n'occulte qu'une faible portion de la surface, pour permettre à une quantité maximale de lumière d'atteindre le semiconducteur.

Un contact ohmique couvre toute la surface arrière du substrat. La région frontale de la jonction (réalisée par diffusion ou par dépôt), fortement dopée, est appelée Emetteur. L'autre côté de la jonction représentant le reste du substrat hormis la région de déplétion est appelé Base. Afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident, une couche antireflet recouvre uniformément toute la face avant [8].

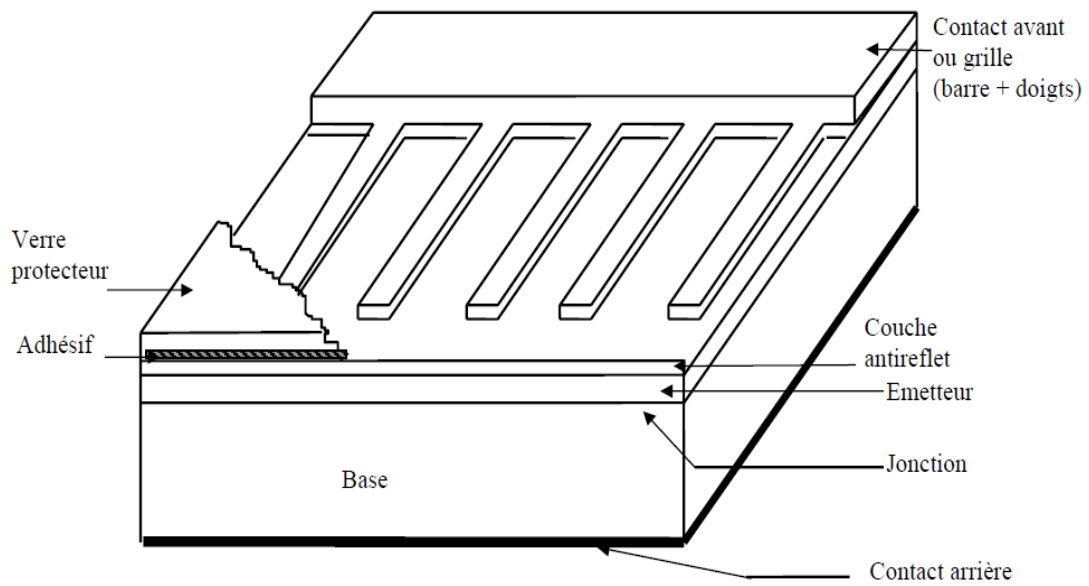


Figure 1.3: Configuration de base d'une cellule solaire [8]

1.5.2 Principe de base :

Une cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Le fonctionnement d'une cellule solaire peut se résumer en deux étapes [4]:

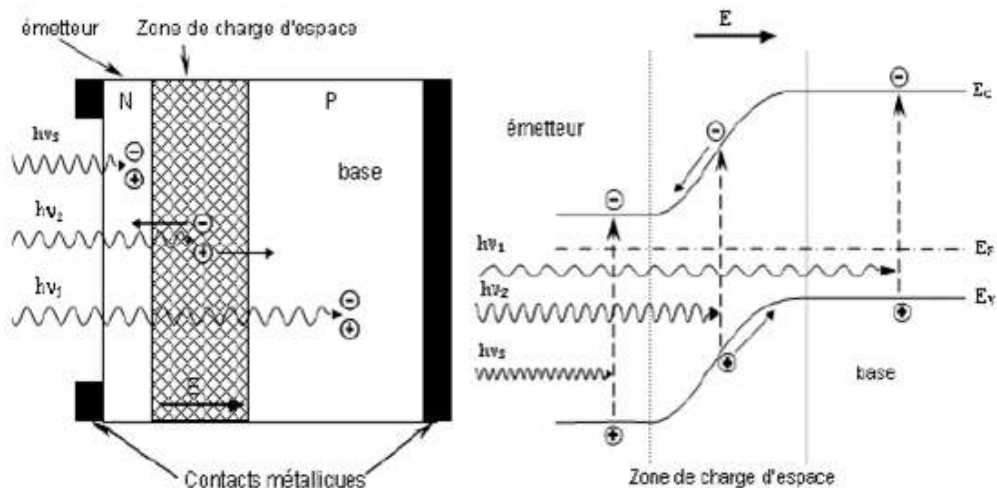


Figure 1.4 Schéma de la structure d'une cellule photovoltaïque illustration (a)phénomène de photogénération (b) collecte des porteurs pour différentes longueurs d'ondes [4].

- Un photon d'énergie $E_{ph} = hu$ (quantum de lumière) pénétrant dans la cellule solaire est absorbé par le matériau semi-conducteur. Si son énergie est suffisamment élevée, le photon va pouvoir faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi une paire électron-trou.

-Les électrons et les trous doivent être séparés pour pouvoir être collectés.

1.5.3 Paramètres essentiels caractérisant une cellule solaire :

Considérons la caractéristique courant-tension de la cellule photovoltaïque représentée sur la figure suivante (figure 1-5).[7]

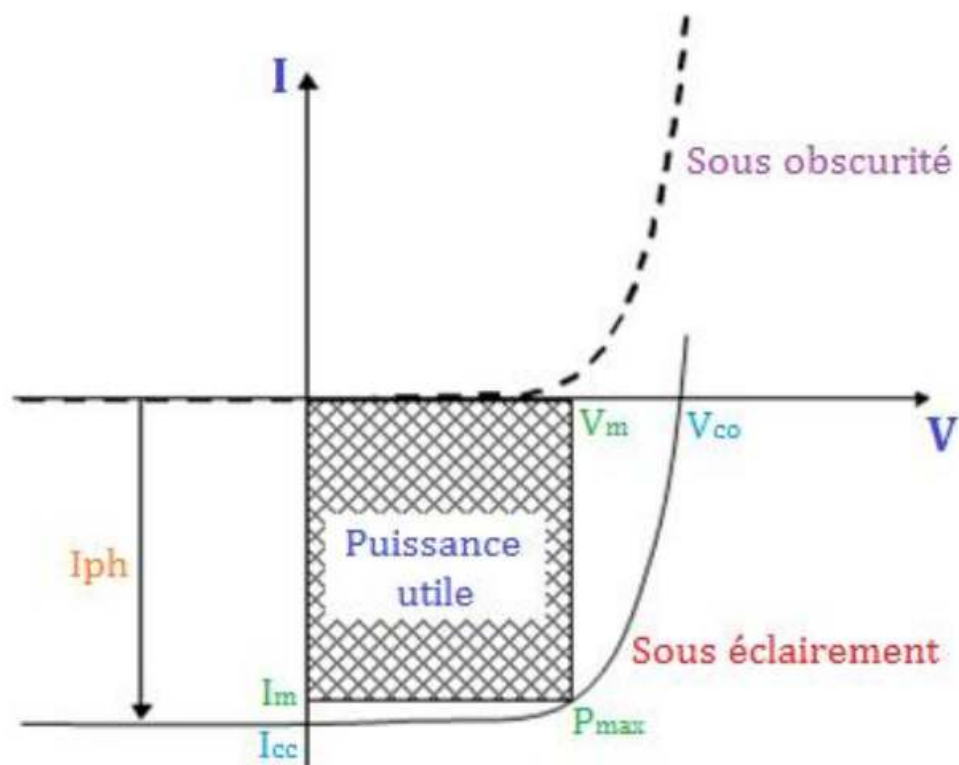


Figure 1.5 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

Les différents paramètres caractéristiques de la cellule sont les suivants [7]:

a. Courant de court-circuit

Le courant de court-circuit est le courant lorsque $V=0$.

$$I_{ph} = q \times \Phi \left[1 - \frac{e^{-\alpha w}}{1 + \alpha w} \right] \times A \quad (1.4)$$

Où

q : Charge élémentaire ($q=1.6 \times 10^{-19}C$).

w : coefficient d'absorption.

k : Constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23} J.K^{-1}$).

Φ : Flux incident.

T : Température en (K).

A : Surface de la cellule PV.

b. Tension de circuit ouvert :

V_{co} c'est la tension de circuit ouvert : elle représente la tension aux bornes de la cellule sous éclairage sans circuit de charge, V_{co} est donnée par la relation suivante:

$$V_{co} = \left(\frac{KT}{q} \right) \ln \left[\left(\frac{I_{cc}}{I_0} \right) + 1 \right] \quad (1.5)$$

c. Facteur de forme :

Le facteur de forme représente l'efficacité de la cellule ou encore, il peut nous renseigner sur le vieillissement de la cellule. C'est le rapport entre la puissance maximale débitée $V_m I_m$ et la puissance idéale $V_{co} I_{cc}$, on le note :

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{co} I_{cc}} \quad (1.6)$$

Dans le cas d'une cellule idéale le facteur de forme FF ne peut pas être supérieur à 0.89 du fait de la relation exponentielle liant courant et tension.

V_m : C'est la tension correspondante à la puissance maximale fournie.

I_m : C'est le courant correspondant à la puissance maximale fournie.

Rendement de conversion d'énergie :

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_o . On appelle rendement maximal, le rapport entre la puissance maximale et la puissance P_o :

$$\eta = \frac{U_m I_m}{P_i S} = \frac{FF V_{CO} I_{CC}}{P_i S} \quad (1.7)$$

Avec : P_i puissance d'éclairement reçue par unité de surface ; et S : la surface de la cellule PV et FF : Facteur de Forme.

d. La puissance maximale P_m :

Le point de fonctionnement est imposé par la résistance de charge et non par la cellule elle-même. Un choix judicieux de la résistance de charge permettra donc d'obtenir la puissance maximale, soit :

$$P_m = I_m V_m \quad (1.8)$$

1.6 Facteurs limitant le rendement :

Les différents facteurs de pertes, sont dus soit aux bornes purement physiques liées au matériau, soit aux limitations technologiques induites par le processus de fabrication. Des choix de technologies appropriés peuvent cependant avoir des conséquences sur la limitation intrinsèque du matériau [9].

1.6.1 Pertes physiques :

Les photons qui possèdent une longueur d'onde supérieure à celle associée au gap du semiconducteur ($\lambda_{ph} > \lambda_{Eg}$), ne peuvent pas générer des paires électrons-trous et sont donc perdus.

Le photon d'énergie supérieure au gap, ne peuvent générer qu'une seule paire électron-trou, l'excès d'énergie supérieure à la longueur de la bande interdite, est dissipé sous forme de chaleur (thermalisation).

Facteur de tension ($\frac{qV_{CO}}{E_g}$), c'est le rapport de l'énergie maximale développée par la cellule par l'énergie de gap. la tension aux bornes de la cellule n'est qu'une fraction de l'énergie de gap à cause notamment de la chute de potentiel au niveau des contacts et de la jonction.

Le facteur de forme, ne peut dépasser 0.86, car les courbes courant-tension sont générées par les équations de Boltzmann sous forme exponentielle ($\exp(qV/kT)$), donc il n'existe pas des courbes $I(V)$ de forme rectangulaire, même dans le cas d'une cellule idéale. Ce paramètre dépend également de la conception de la cellule, de la qualité de la jonction des matériaux utilisés, de la résistivité des contacts métalliques, etc.

Ces facteurs physiques étant considérés comme limitatifs pour une structure donnée de cellules photovoltaïque, les facteurs technologiques sont les seuls acteurs qui peuvent améliorer le rendement de la cellule.

1.6.2 Pertes technologiques :

Le rendement de la cellule photovoltaïque dépend à la base du nombre des photons incidents. Cette quantité d'énergie est limitée par le coefficient de réflexion de la surface de la cellule R , qui pondère toutes les équations de photocourant de génération par un facteur $(1-R)$, le coefficient de réflexion peut être optimisé par la mise en œuvre des traitements de surface appropriés et de couche antireflet.

Les contacts métalliques présents sur la face avant de la cellule afin de collecter les porteurs, entraîne des pertes de puissance car ils couvrent des parties de la surface réceptrice de la cellule (effet d'ombre). La largeur de métal, engendre un compromis entre les pertes dues à la couverture partielle de l'émetteur et les pertes de facteur de forme FF provoquées par la résistance série (liée à la largeur de la métallisation).

Il y a des photons, ayant l'énergie nécessaire pour créer une paire électron-trou, mais traversent l'épaisseur de la cellule sans être absorbés. Ce nombre de photons devient important surtout dans les cellules minces d'épaisseur ($< 100 \mu\text{m}$). Ce phénomène réduit le rendement d'absorption, et peut être diminué en utilisant une couche réfléchissante sur la face arrière de la cellule (appelé réflecteur arrière ou miroir arrière « BSR »).

Le rendement de collecte, c'est le rapport entre le nombre de porteurs de charge effectivement collectés, et le nombre des porteurs photogénérés. En effet, certains porteurs se recombinent à la surface ou dans le volume de la cellule photovoltaïque. Ce phénomène est lié directement à la durée de vie τ des porteurs minoritaires (le temps moyen entre la génération et la recombinaison d'un porteur minoritaire). Egalement ; il est possible d'améliorer la collecte par l'utilisation (diffusion) d'un champ arrière P^+ dans le cas de la structure NP (BSF).

Ces phénomènes peuvent être optimisés à l'aide des technologies de fabrication des cellules photovoltaïques.[9]

1.7 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque dans l'obscurité se comporte comme une diode classique et elle obéit à la loi Shockley qui est la suivante [9]:

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{qv}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1.9)$$

Avec I_0 : Le courant de saturation

q : La Charge de l'électron

K : La constante de Boltzmann

T : La température

n : Le facteur d'idéalité ($n=2$ pour une diode en silicium)

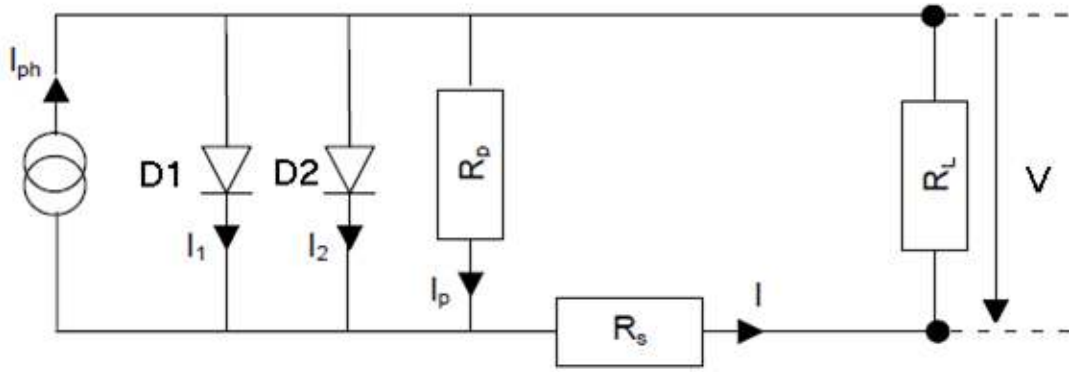


Figure 1.6 : Schéma du circuit équivalent de la cellule.

L'équation de courant s'écrit :

$$I = I_1 + I_2 + I_p - I_{ph} \quad (1.10).$$

$$I = I_{01} \left(e^{\frac{q(V-IR_s)}{n_1 kT}} - 1 \right) + I_{02} \left(e^{\frac{q(V-IR_s)}{n_2 kT}} - 1 \right) + \frac{V - IR_s}{R_p} - I_{ph} \quad (1.11)$$

R_s la résistance série modélise résistance des différentes couches de la cellule (émetteur, base et contacts métallique). Pour limiter l'impact de cette résistance sur le courant de la cellule, il faut que sa valeur soit la plus faible possible. Ceci peut être réalisé en optimisant la surface de contact métal/semiconducteur et en réduisant la résistivité du matériau utilisé. Cependant, un dopage trop élevé entraîne une augmentation de la recombinaison des porteurs.

R_p la résistance parallèle (de court-circuit) traduit quant à elle, la présence d'un courant de fuite à travers l'émetteur, causé par un défaut. Ceci est le cas lorsque la diffusion des contacts métalliques à haute température perce l'émetteur. Elle peut être due à un court-circuit sur les bords de la cellule. Cette valeur devra être la plus élevée possible.

La première diode qui a un facteur d'idéalité $n_1 \approx 1$ correspond au courant de diffusion dans la base et l'émetteur de la cellule. I_{01} C'est le courant de saturation de ce phénomène.

I_2 est le courant de génération-recombinaison ou d'effet tunnel dans la zone de charge d'espace, avec I_{02} le courant de saturation de ce phénomène et $n_2 \approx 2$ le facteur d'idéalité de la deuxième diode.

1.8 Avantage et inconvénient :

1.8.1 Avantages :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages [2].

-D'abord, une haute fiabilité – elle ne comporte pas de pièces mobiles - qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

-Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

-Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

-Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

1.8.2 Inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients.

-La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

-Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).

-Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

1.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases indispensables de comprendre le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. Et de déduire les caractéristiques principales ainsi que les paramètres (I_{co} , V_{co} , FF) et facteur limitant le rendement de conversion pour une cellule photovoltaïque.

2.1 Introduction

Les matériaux semi-conducteurs III-V sont des corps composés formés à partir d'un élément de la troisième (III) colonne et d'un élément de la cinquième (V) colonne de la classification périodique de Mendeleïev. Le tableau (2.1) regroupe un extrait de cette classification (les chiffres en haut et bas représentent respectivement le nombre atomique et la masse atomique). Ainsi de nombreux composés binaires peuvent être réalisés.[4]

III	IV	V
$^{10.81}_{5}\text{B}$	$^{12.01}_{6}\text{C}$	$^{14.01}_{7}\text{N}$
$^{26.98}_{13}\text{Al}$	$^{28.09}_{14}\text{Si}$	$^{30.97}_{15}\text{P}$
$^{69.74}_{31}\text{Ga}$	$^{72.59}_{32}\text{Ge}$	$^{74.92}_{33}\text{As}$
$^{114.82}_{49}\text{In}$	$^{118.69}_{50}\text{Sn}$	$^{121.75}_{51}\text{Sb}$

Tableau 2.1 : Extrait de la classification périodique des éléments [4].

2.1.1 La structure cristalline :

La plupart des matériaux III-V se cristallisent dans la structure sphalérite dite "Zinc Blende". Cette structure, qui s'apparente à celle du diamant, est constituée de deux sous-réseaux cubiques à faces centrées (cfc), l'un étant constitué des atomes de l'élément III, l'autre des atomes de l'élément V. Ces deux sous-réseaux sont décalés

l'un par rapport à l'autre d'une translation de $(\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4})$ suivant la direction $\{111\}$. Chaque sous-réseau est constitué exclusivement d'atomes III ou d'atomes V (figure 2.1) [10].

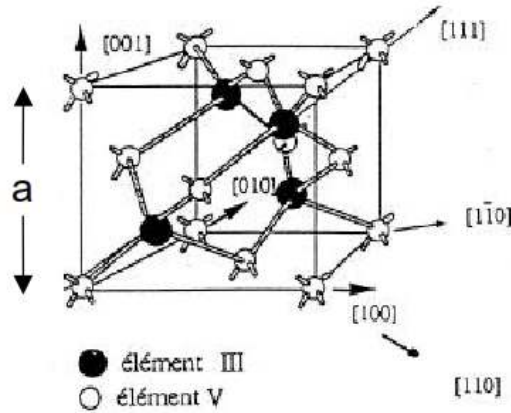


Figure 2.1 : maille élémentaire de la structure Zinc Blende.

Plusieurs paramètres de l'alliage AlInAsSb peuvent être déterminés par interpolation linéaire de paramètres binaires parents qui le composent, cette interpolation est appelée : « loi de Vegard ».

2.1.2 Paramètre de maille :

Le paramètre de maille noté 'a' se définit comme étant la distance séparant deux mailles consécutives. Lors de la réalisation d'alliage avec des semi-conducteurs différents, le paramètre de maille de l'alliage peut être considéré comme évaluant linéairement en fonction de la composition des différents binaires suivant la loi de Vegard qui est donnée par la relation suivante [10]:

$$a(\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}) = xy a_{\text{AlAs}} + x(1-y)a_{\text{AlSb}} + (1-x)ya_{\text{InAs}} + (1-x)(1-y)a_{\text{InSb}} \quad (2.1)$$

	InSb	GaSb	AlSb	InAs	AlAs
a(A°)	6.47937	6.09593	6.1335	6.0584	5.6622

Tableau 2.2 Les paramètres de maille des binaires [11]

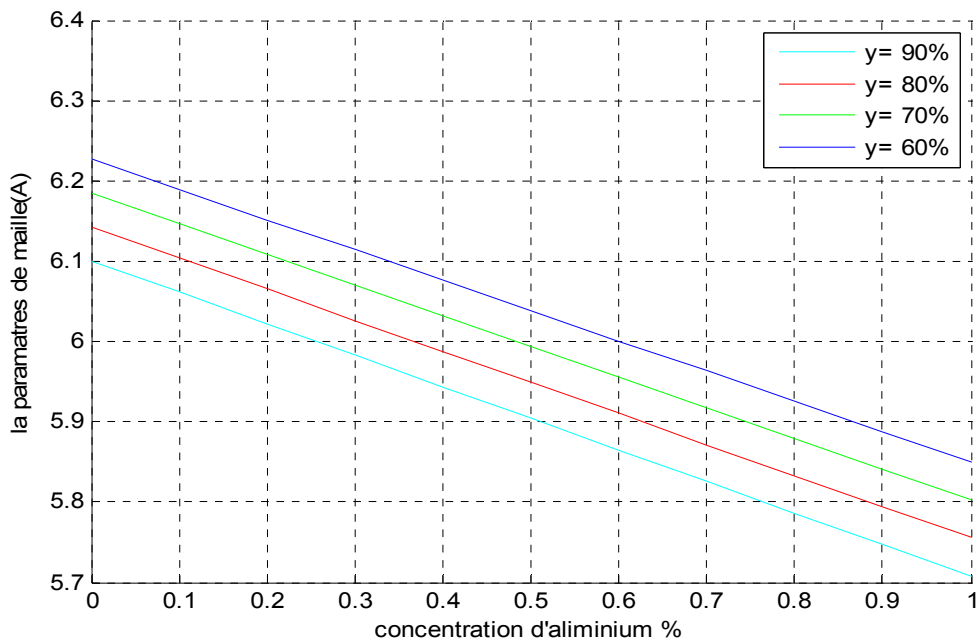


Figure 2.2.a : Variation du paramètre de maille de $Al_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).

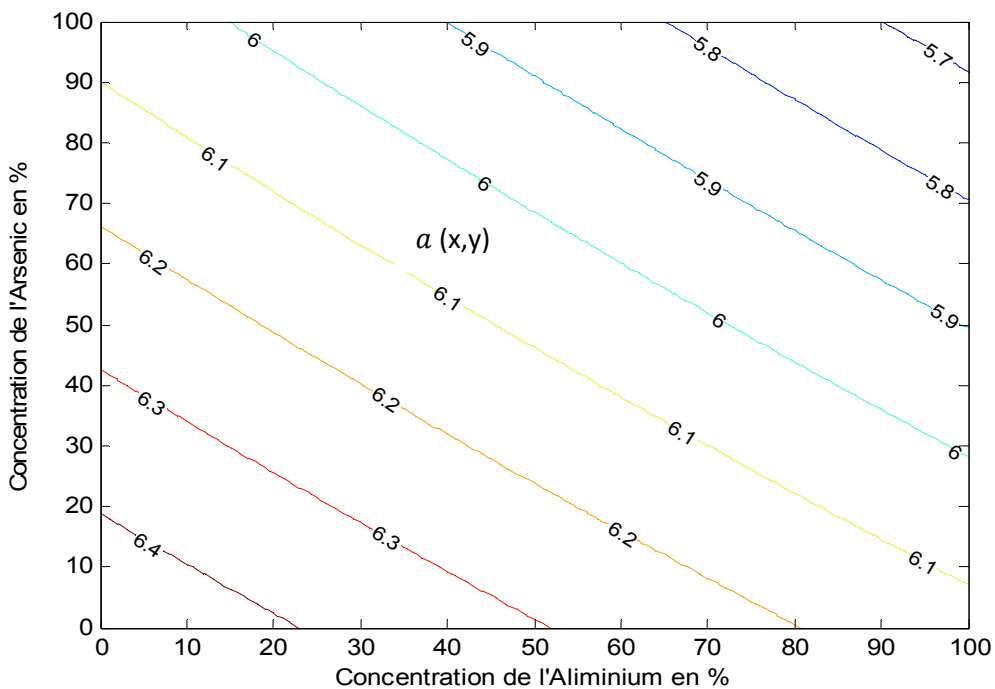


Figure 2.2.b : Variation du paramètre de maille en fonction de la concentration d'aluminium (x) et d'arsenic (y)

Les figures (2.2.a) et (2.2.b) présentent la variation de paramètre de maille de la structure $(Al_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y})$ en fonction de la concentration d'aluminium et

d'arsenic, on constate que l'augmentation de la concentration d'aluminium et d'arsenic provoque une diminution du paramètre de maille.

2.1.3 La structure de bande :

InAs, GaSb et InSb sont des semiconducteurs à bande interdite directe, seul le AlSb possède une bande interdite indirecte. L'ordre des minima de la bande de conduction de AlSb semble être identique à celui des matériaux binaire GaP et AlAs X - L - Γ avec la vallée L a seulement 60-90 meV de la vallée Γ . le comportement indirect est donc associé a la vallée X dont le minimum se situe a 1.69Ev de maximum de la bande de valence[12] .

Les énergies de transition entre le maximum de la bande de valence et les trois minima de la bande de conduction sont des caractéristiques essentielles de la structure de bande.

Et voici les structures des bandes électroniques des composés binaires :

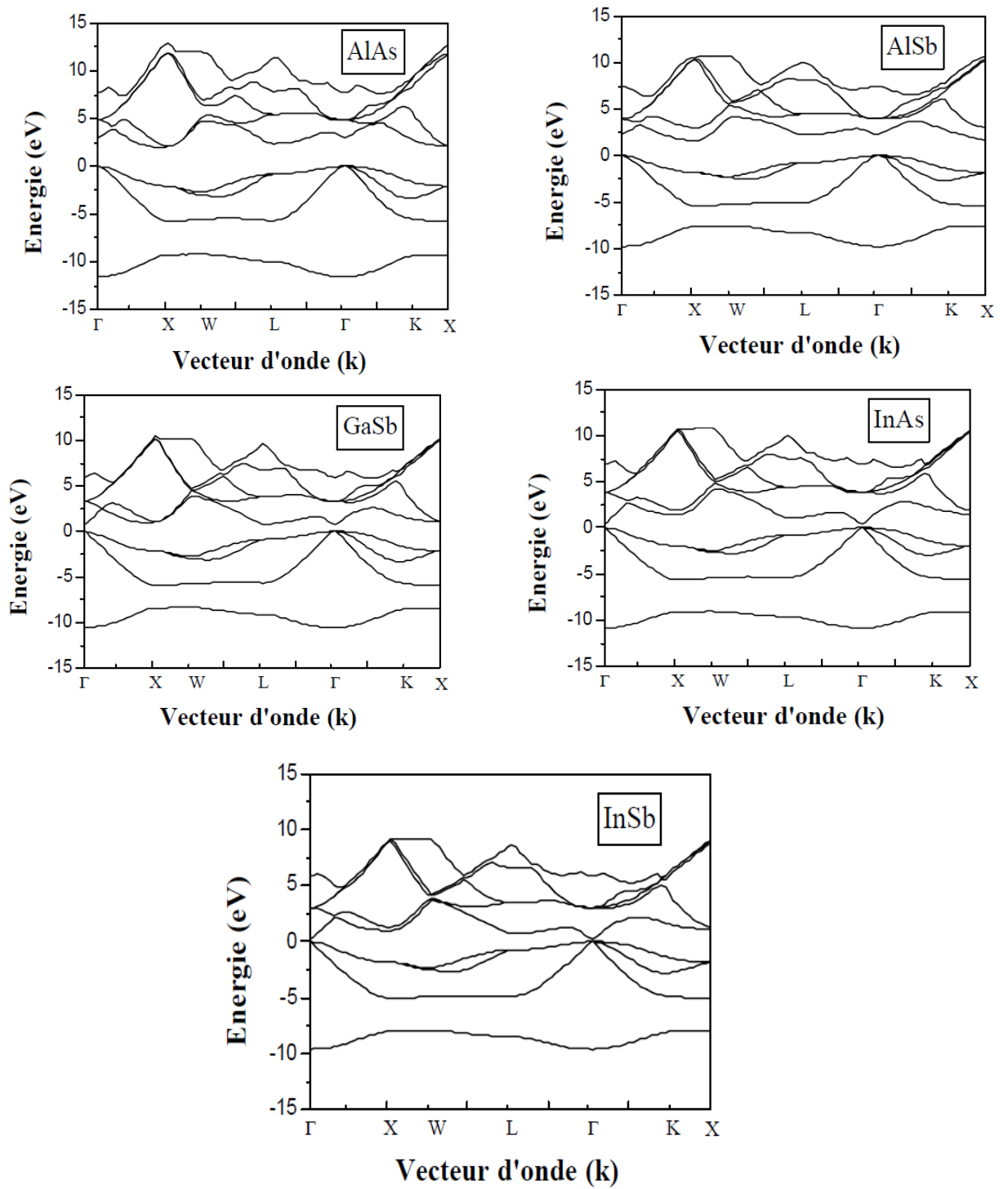


Figure 2.3 : Structures de bandes électroniques des composés :

InSb, AlSb, AlAs, InAs et GaSb[13].

2.1.4 Cas du quaternaire AllnAsSb :

L'avantage des alliages quaternaire par rapport aux alliages ternaires réside dans la possibilité d'ajuster de manière quasiment indépendante leur paramètre de maille et l'énergie de bande interdite en variant la composition. Il est donc théoriquement facile d'obtenir l'énergie de bande interdite désirée tout en maintenant l'accord de maille avec le substrat [12].

L'AllnAsSb peut ainsi être épitaxié en accord de maille sur substrat GaSb, InP et InAs.

2.2 L'énergie de la bande interdite (gap) :

Le gap est la bande interdite, c'est -à-dire la différence d'énergie entre le minimum absolu de la bande de conduction et le maximum absolu de la bande de valence [14].

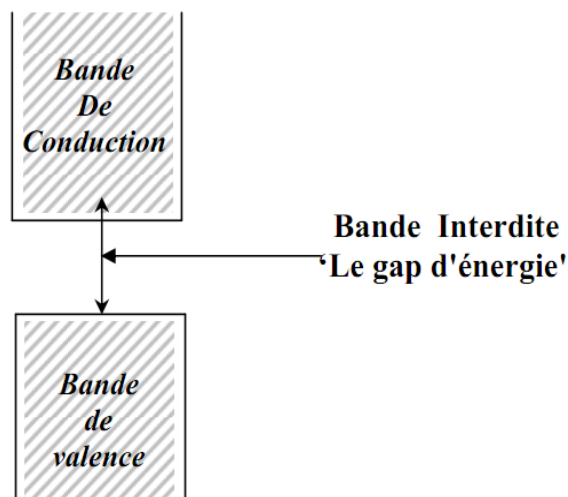


Figure 2.4 Gap d'énergie

Il y a deux types de gap d'énergie:

2.2.1 Le gap direct :

Le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont situés au même point de l'espace K comme le montre la figure (2.5).

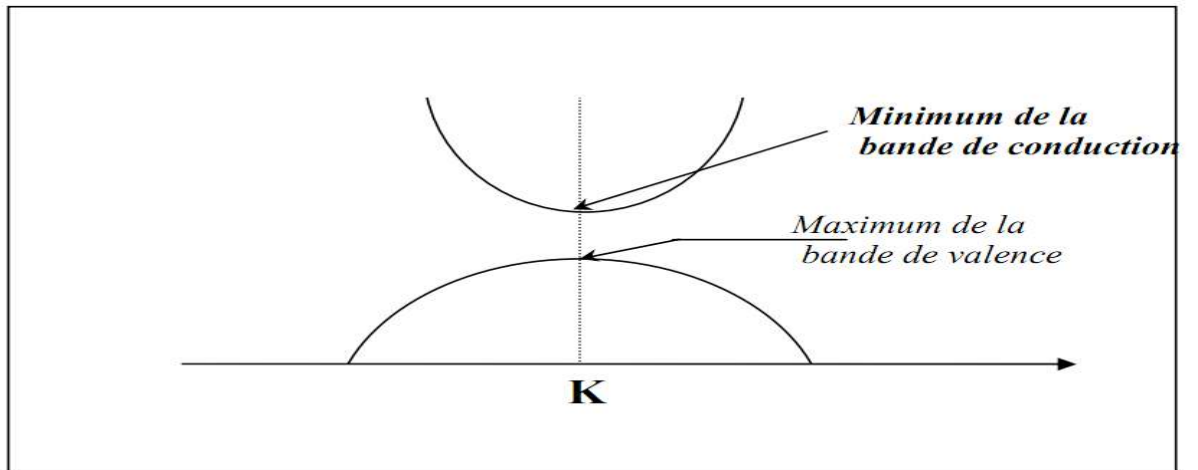


Figure 2.5 le gap direct [14]

2.2.2 Le gap indirect :

Le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont situés en des points différents de l'espace de K comme le montre la figure (2.6).

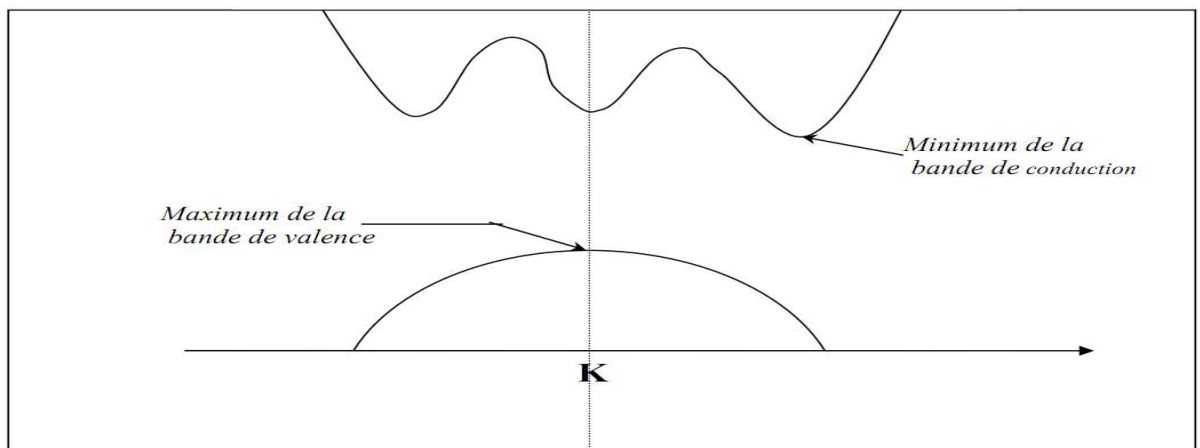


Figure 2.6 Le gap indirect [14]

Pour notre matériau on a tracé le gap en fonction de la concentration d'aluminium :

	InSb	GaSb	AlSb	InAS	AlAs
Eg(ev)	0.17	0.72	2.27	0.359	3.01

Tableau 2.3 Les énergie de la bande interdite des binaires [11]

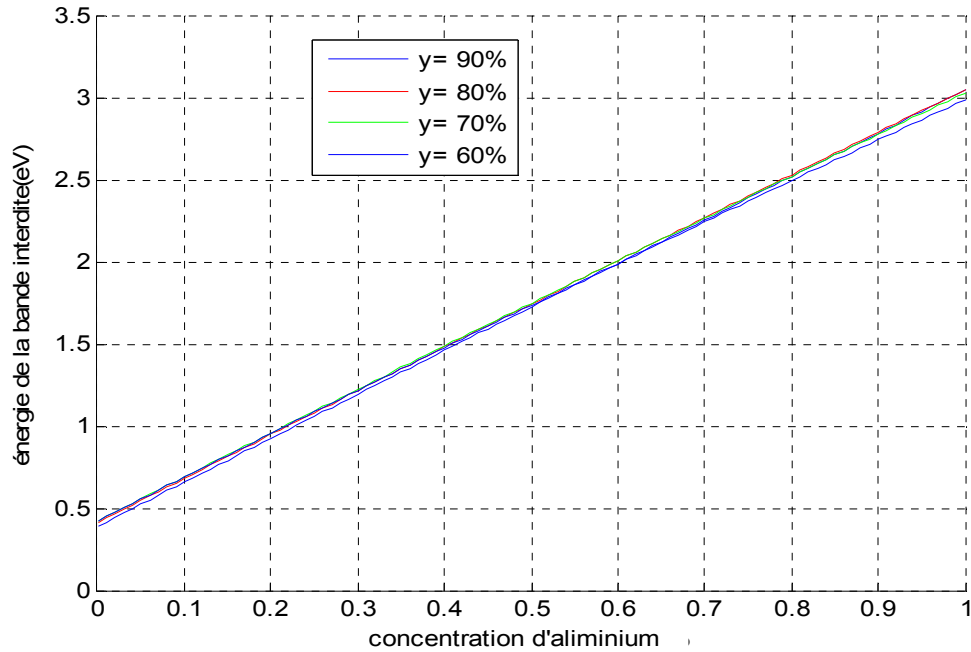


Figure 2.7 Variation de l'énergie de bande interdite de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium (x)

La figure (2.7) présente la variation de la bande interdite en fonction de la composition d'aluminium pour différente concentration d'arsenic. On constate que l'augmentation de la composition d'aluminium et d'arsenic croit le gap. Par exemple pour un pourcentage de 50% de l'aluminium et 60% de l'arsenic le gap de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ atteindre a une énergie égale à 1.75ev.

La diminution de la concentration des porteurs dans la bande de conduction et dans la bande de valence résulte en une augmentation de la bande interdite donc l'énergie de Gap.

2.3 L'effet de la température sur le gap :

Les mesures expérimentales montrent que l'énergie du gap varie avec la température, ceci est expliqué par un changement de paramètre de maille. Pour déterminer cette variation, on a utilisé la loi de Varshni [15]

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{aT^2}{(T+b)} \quad (2.2)$$

Avec:

$E_g(0)$: Le gap a T=0.

a et b sont des constantes spécifiques à chaque semi-conducteur.

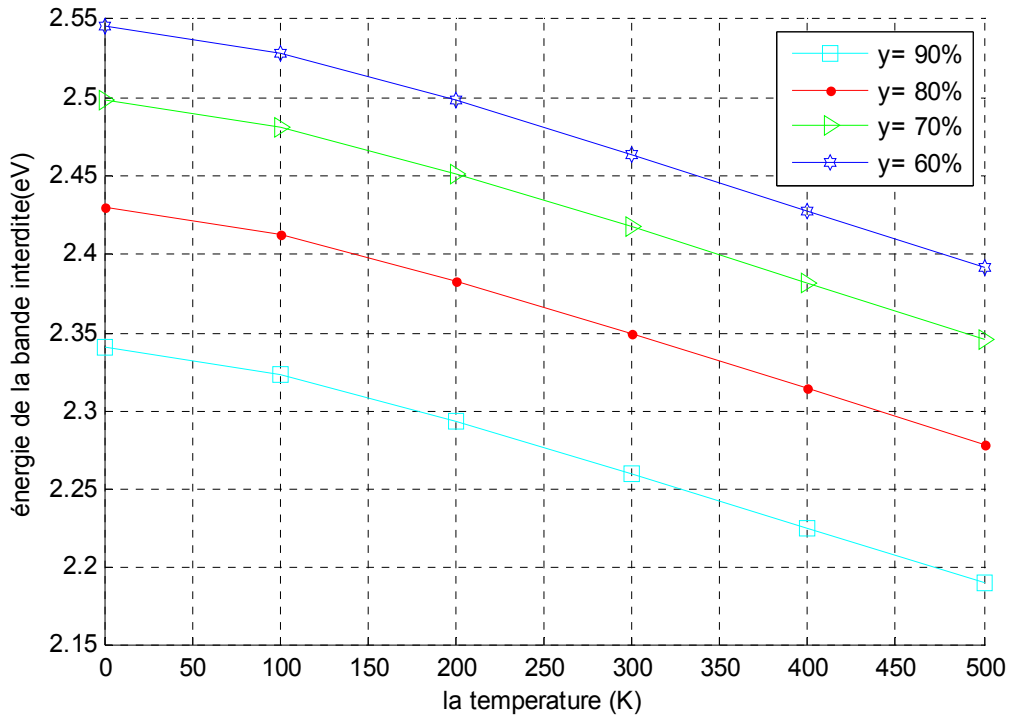


Figure 2.8 L'effet de la température sur le gap de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$

Pour connaître l'influence de la température sur l'énergie de bande interdite de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$, nous avons varié la température dans la loi de Varshni dans un intervalle de [0 500k], La figure (2.8) présente l'évolution de l'énergie de la bande interdite en fonction de la température (k). On constate que pour une concentration d'arsenic égale à 90% et une concentration d'aluminium égal 60% et pour une température T=100k on a $E_g=2.32\text{ev}$ et pour T=400K on a une énergie $E_g=2.22\text{ev}$. Ces valeurs est arbitraire et juste prise pour voire l'influence de la température sur le Gap. D'après la figure ci-dessus on constate que la température a pour effet de diminuer l'énergie de la bande interdite. Les causes de cette diminution sont :

La dilatation thermique: lorsque la température augmente, l'anharmonicité du potentiel des atomes induit une augmentation de la distance interatomique.

L'augmentation consécutive du paramètre de maille diminue le gap et les interactions électron-phonon : lorsque la température augmente, la densité de phonons et leur couplage avec les électrons augmente, ce qui diminue le gap

2.4 Notion de couche contrainte (épaisseur critique) :

2.4.1 La couche contrainte :

Comme nous le verrons plus en détail dans la suite de ce chapitre les tensions énergétiques induites par la contrainte modifient la structure des bandes des semi conducteurs. Ces changements présentent plusieurs intérêts pour la réalisation de composants pour le principal étant l'obtention de courants de seuil plus faibles que ceux obtenus avec des structures non contraintes[9]

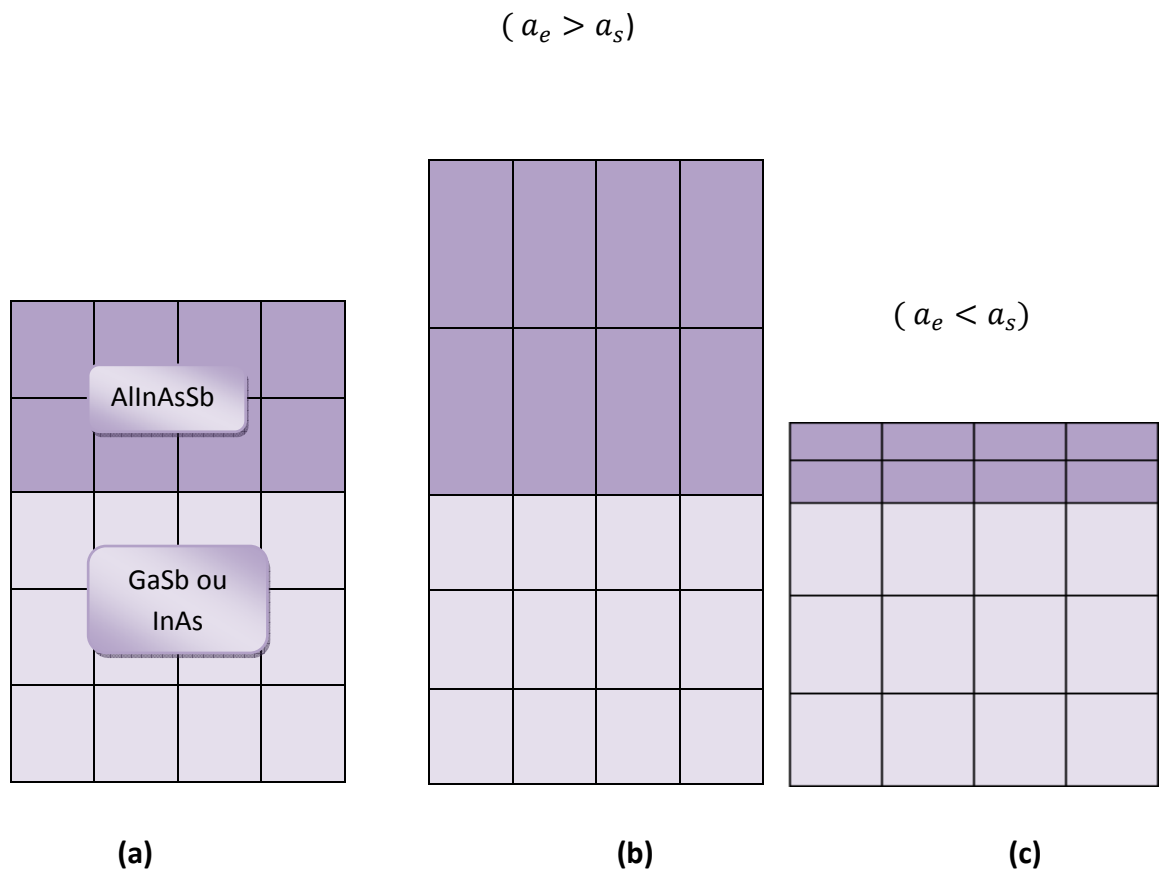


Figure 2.9 : Illustration des deux types de déformation, (a) couche non contrainte. (b) couche en compression $(a_e > a_s)$ ou a_s : paramètre de maille du substrat et a_e : celui de la couche épitaxie. (c) couche en tension $(a_e < a_s)$

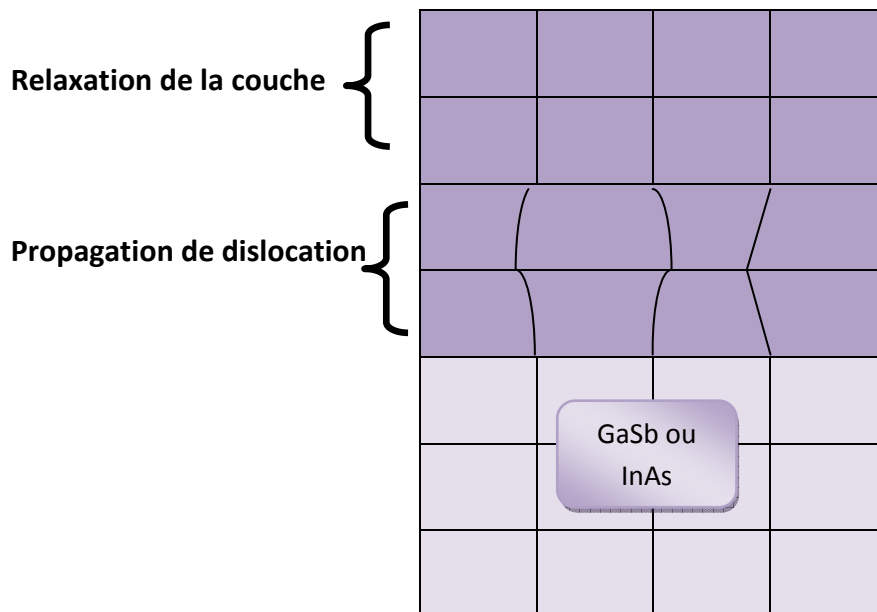


Figure 2.10 : Propagation de dislocation dans la couche épitaxie épaisse.

Lorsqu'on fait croître un semi-conducteur sur un autre, et si les deux matériaux constituant le substrat et la couche active ont des paramètres de mailles différents, évidemment ces deux matériaux doivent avoir la même structure cristalline ainsi que des paramètres de maille voisins, le matériau constituant la couche de plus grande épaisseur impose sa maille à l'autre au voisinage de l'interface. Donc, pour les couches suffisamment fines, la maille du matériau épitaxie se déforme de manière élastique dans les deux directions Parallèles et perpendiculaire à la surface.

Selon que le paramètre de la couche épitaxie est plus petit ou plus grand que celui du substrat, la déformation est soit un allongement "couche en tension", soit un rétrécissement "couche en compression "

Lors de l'épitaxie d'un matériau sur un substrat de paramètre de maille différent on génère un désaccord paramétrique ; ce désaccord peut être rattrapé par deux façons différentes :

a) Dans le cas de couche épitaxie suffisamment fine, la maille du matériau épitaxie se déforme de manière élastique de telle sorte que le paramètre de maille s'accorde au substrat dans la direction parallèle à l'interface .Dans la direction perpendiculaire a

l'interface de croissance le réseau se déforme en s'allongeant ou se rétrécissant selon que le paramètre de maille de la couche est plus petit ou plus grand que celui du substrat. Dans ce cas la couche est considérée comme étant totalement contrainte (figure 2.9).

b) Dans le cas de couche épitaxiale plus épaisse la déformation de la maille du matériau ne suffit plus à équilibrer l'énergie mécanique engendrée par la croissance. Le désaccord est alors rattrapé par la génération de dislocation à l'interface de croissance (figure 2.10). Ces dislocations se propagent du substrat vers l'interface de croissance et la couche commence à relaxer.

$$\Delta_a = \frac{a_{sub} - a_{epit}}{a_{sub}} \quad (2.3)$$

A partir de l'équation (2.3) et la loi de Vegard « équation (2.1) », on a calculé le désaccord de maille de notre structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb/InAs$ par rapport à la variation de la densité d'aluminium et d'arsenic.

Les figures (2.11.a) et (2.11.b) montrent les variations du désaccord de maille en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la couche GaSb.

a. Pour la couche GaSb :

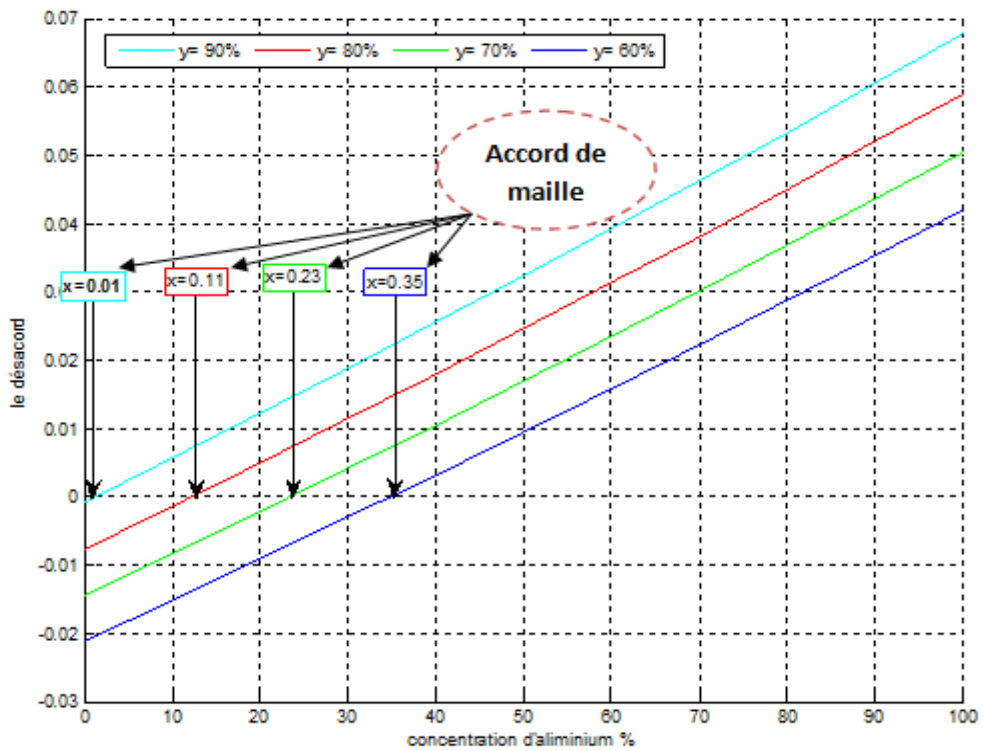


Figure 2.11.a : Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$.

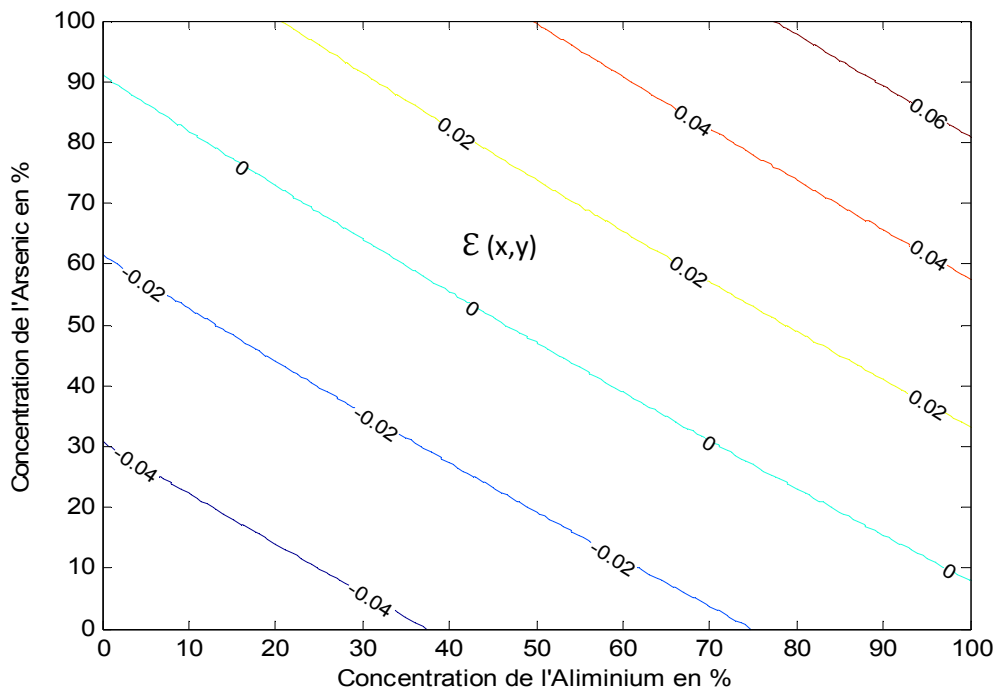


Figure 2.11.b : Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$.

Pour les figures (2.11.a) et (2.11.b) on remarque qu'il y a un faible désaccord entre la couche épitaxie $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ et la couche substrat GaSb ; ce désaccord augmente lorsque les concentrations d'aluminium et d'arsenic augmentent.

b. Pour la couche InAs :

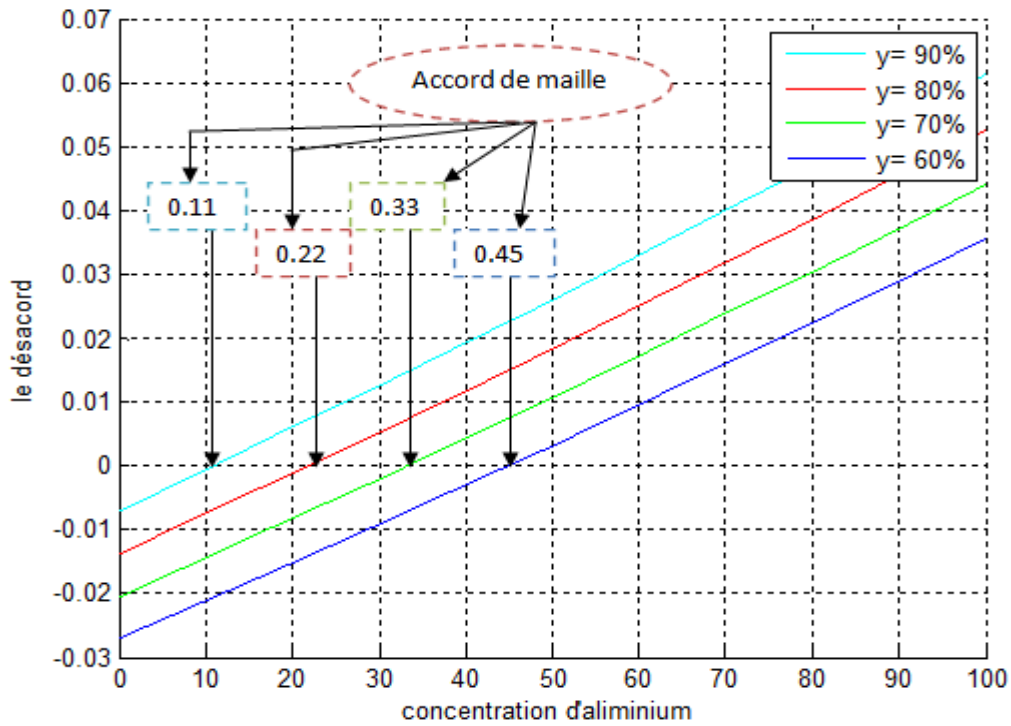


Figure 2.12.a: Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$.

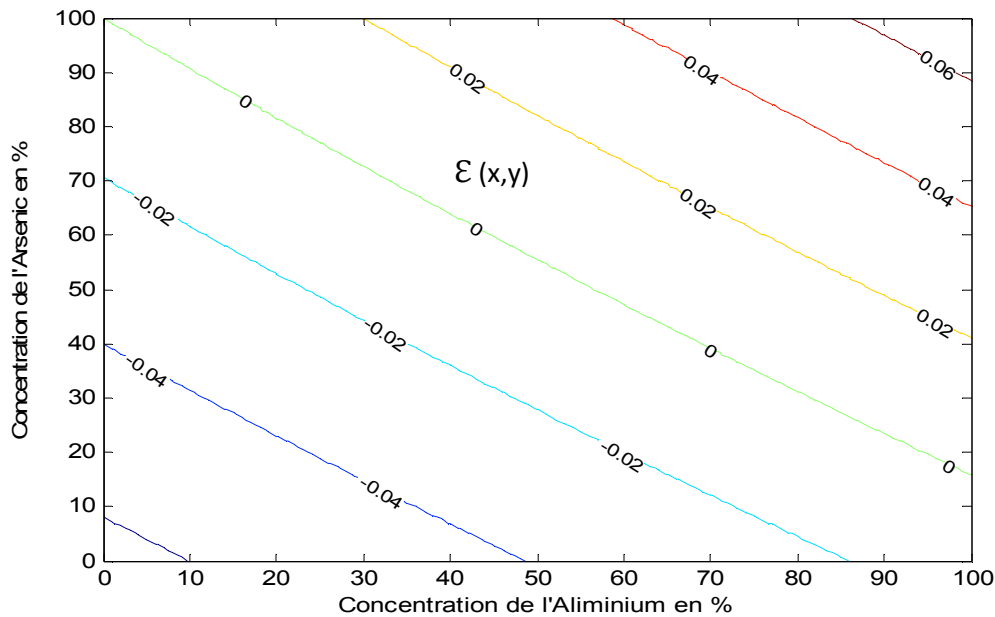


Figure 2.12.b : Variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic .

Les figures (2.12.a) et (2.12.b) présentent la variation du désaccord paramétrique en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ avec une couche d'InAs. L'augmentation de la concentration d'aluminium et d'arsenic augmente les contraintes.

2.4.2 L'épaisseur critique :

L'épaisseur au delà de laquelle la couche épitaxie commence à relaxer est appelé épaisseur critique. Cette épaisseur critique dépend des propriétés mécaniques des matériaux (coefficients élastiques C_{ij}), ainsi que du degré de désaccord paramétrique Δ_a entre le substrat et la couche épitaxie. Si l'épaisseur de la couche épitaxie dépasse la valeur de l'épaisseur critique, les mailles ne subissent plus les contraintes mécaniques imposées par le substrat et le paramètre de maille atteint celui du matériau massif. Le réseau est totalement relaxé [16]. (Figure 2.10).

Pour calculer l'épaisseur critique de notre structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$. On a utilisé le modèle le plus classique, celui de K. Koksall et B. Gonul [17], Qui traite le cas d'un matériau faiblement désaccordé par rapport au substrat (désaccord de maille

<2%). Il définit l'épaisseur critique comme l'épaisseur à partir de laquelle une dislocation initialement présente à l'interface de contact se propage latéralement sous l'effet du champ de contrainte. La valeur de l'épaisseur critique h_c qui en résulte dans le cas d'un matériau de structure sphalérite (blende de zinc) épitaxie sur la surface (001) est donnée par l'équation suivante [17] :

$$h_c = \frac{a_{epit}}{k \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \Delta_a} \times \frac{1 - (0.25 \cdot \gamma)}{(1 + \gamma)} \times \ln \left(\frac{h_c \cdot \sqrt{2}}{a_{epit}} + 1 \right) \quad (2.4)$$

a_{epit} : Paramètre de maille de la couche relaxée.

Δ_a : Désaccord paramétrique.

γ : Coefficient de Poisson donné par :

$$\gamma = \frac{C_{12}}{C_{11} + C_{12}} \quad (2.5)$$

C_{ij} : Les coefficients élastiques (cm^{-2}).

k : est un coefficient égal à 1 dans le cas d'un super-réseau ; à 2 pour un puits quantique ; 4 dans le cas d'une couche unique.

Structure	Couche unique	Puits quantique	Super réseau
Valeur de k	4	2	1

a. Pour le substrat GaSb :

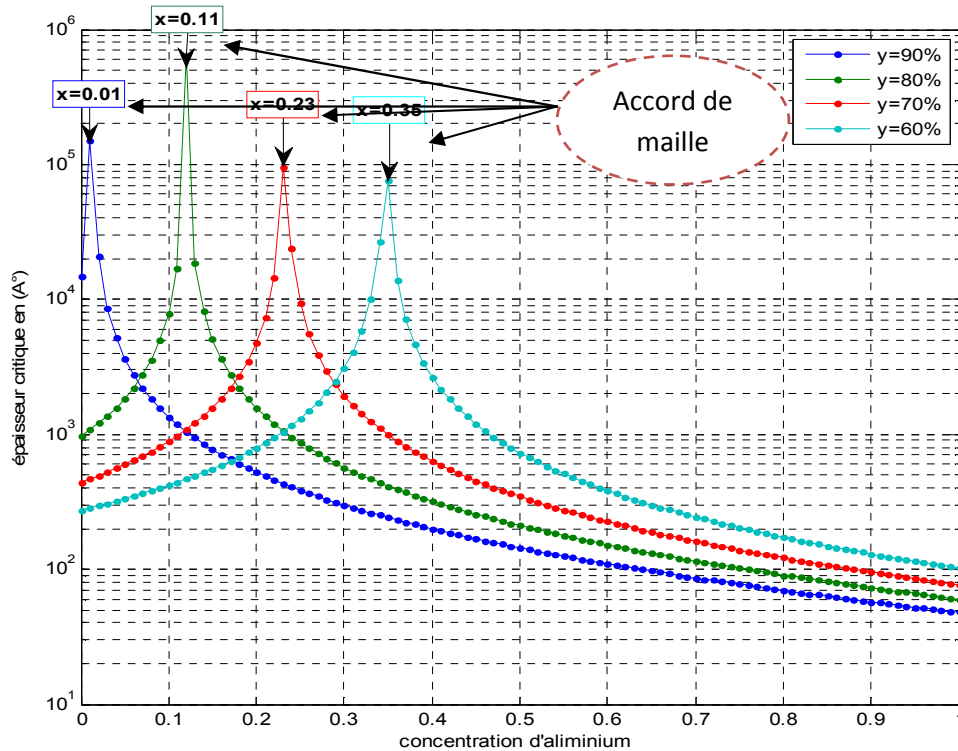


Figure 2.13: Variation de l'épaisseur critique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $\text{Al}_x \text{In}_{(1-x)} \text{As}_y \text{Sb}_{(1-y)} / \text{GaSb}$.

Pour la structure $\text{Al}_x \text{In}_{(1-x)} \text{As}_y \text{Sb}_{(1-y)}$ et avec une couche de GaSb, on a tracé les variations de l'épaisseur critique en fonction de la concentration d'aluminium et pour différentes valeurs de la concentration d'arsenic dans la figure (2.13). Pour une contrainte compressive l'augmentation d'aluminium croît l'épaisseur critique et pour une contrainte extensive l'aluminium le diminue. Pour différentes valeurs de la concentration d'arsenic exemple $y=90\%$ et $y=70\%$ on a la valeur maximale de l'épaisseur critique signifie un accord de maille.

b. Pour le substrat InAs :

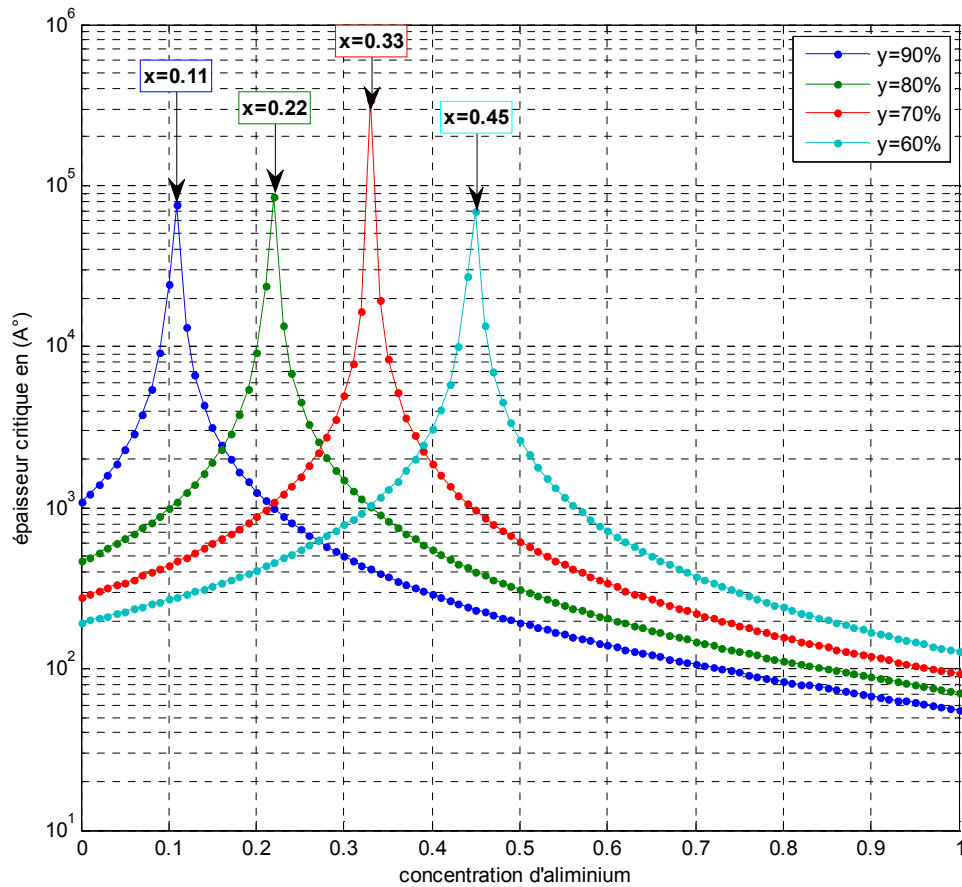


Figure 2.14: Variation de l'épaisseur critique en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $\text{Al}_x \text{In}_{(1-x)} \text{As}_y \text{Sb}_{(1-y)} / \text{InAs}$.

D'après la figure (2.14), on constate que l'aluminium a pour effet d'augmenter l'épaisseur critique dans les contrainte compressive et le diminuer dans les contrainte extensive quelque soit la concentration d'arsenic.

2.4.4 Effet de la contrainte sur le gap:

Pour la description de l'effet de la contrainte sur la structure de bande nous avons utilisé le modèle de Van et Walle et utilisé le formalisme de Krijin. Les deux composantes parallèle et perpendiculaire du tenseur de la déformation peuvent être définies de la manière suivante [9] :

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{a_{\parallel} - a}{a} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{a_{\perp} - a}{a} \quad (2.7)$$

Pour une structure totalement contrainte:

$$a_{\parallel} = a_{sub} \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{\perp} = -2 \times \frac{C_{12}}{C_{11}} \times \varepsilon_{\parallel} \quad (2.9)$$

En absence de contrainte, les bandes de trous lourds et de trous légers sont isotropes et dégénérées au centre de la zone de Brillouin (annexe), et la bande de trous spin-splittée est située à une énergie Δ_0 en dessous de ces deux bandes. Le centre de gravité de la bande de valence d'énergie moyenne $E_{V,moy}$ se trouve par conséquent à $\frac{\Delta_0}{3}$ au dessous du haut de la bande de valence en $k=0$.

$$E_{V,moy} = \frac{E_{HH} + E_{LH} + \Delta_0}{3} \quad (2.10)$$

E_{HH} : Energie de la bande de trous lourds.

E_{LH} : Energie de la bande de trous légers.

Δ_0 : Energie de décalage des bandes des trous spin-splittée.

L'effet de la contrainte sur les bandes de valence et de conduction peut être décomposé en deux parties :

La composante hydrostatique, liée à la déformation selon l'axe de croissance, provoque un décalage du centre de gravité de la bande de valence ainsi que le centre de gravité de la bande de conduction.

La contrainte de cisaillement, qui lève la dégénérescence des états énergétiques des trous lourds et des trous légers en $k = 0$ (typiquement d'une valeur Δ_{hh-lh} de l'ordre de 60-80 meV pour un désaccord paramétrique de 1%).

Pour une couche épitaxiale soumise à une contrainte bi-axiale de compression, la composante hydrostatique augmente l'écart entre la bande de valence et la bande de

conduction, et la contrainte de cisaillement rend les bandes de valence fortement anisotropes; la bande de plus haute énergie devient lourde selon k_{\perp} et légère selon k_{\parallel} (bande HH). La bande d'énergie inférieure devient elle légère selon k_{\perp} et lourde selon k_{\parallel} (bande LH).

Si la couche est soumise à une contrainte bi-axiale de tension, le gap moyen diminue et les bandes de valences sont inversées par rapport à celles d'une couche en compression ; la bande de plus haute énergie (bande LH) restant légère selon k_{\perp} et lourde selon k_{\parallel} .

Les décalages énergétiques des centres de gravité de la bande de valence et de la bande de conduction en $K = 0$ induits par la contrainte hydrostatique, varient proportionnellement à la contrainte:

$$\Delta E_{v,moy}^{hyd} = a_v(2\mathcal{E}_{\parallel} + \mathcal{E}_{\perp}) \quad (2.11)$$

$$\Delta E_c^{hyd} = a_c(2\mathcal{E}_{\parallel} + \mathcal{E}_{\perp}) \quad (2.12)$$

Avec a_c et a_v les potentiels hydrostatiques de déformation pour la bande de conduction et la bande de valence respectivement

La détermination du Gap contraint nécessite la connaissance du Gap non contraint E_g et l'éclatement spin-orbite Δ_0 de la couche relaxée, les constantes élastiques C_{ij} de la couche, les potentiels de déformation hydrostatique a_c et a_v , ainsi que le potentiel de déformation tétragonale b . ces paramètres sont répertoriés en ANNEXE pour les composés III-V binaires. Ces paramètres peuvent être déterminés par interpolation linéaire.

Dans le cas où la couche contrainte est une solution solide quaternaire (exemple $A_xB_{(1-x)}C_yD_{(1-y)}$), ces paramètres peuvent être déterminés par interpolation linéaire, sauf pour les énergies E_g et Δ_0 qui sont déterminées par l'expression suivante :

$$E_{A_xB_{(1-x)}C_yD_{(1-y)}} = E_x(1-y)B_{AD} + E_{xy}B_{AC} + (1-x)y B_{BC} + (1-x)(1-y)B_{BD} \quad (2.13)$$

Avec :

E : est E_g ou Δ_0 .

B : Terme de Boeing.

a. Pour le substrat GaSb :

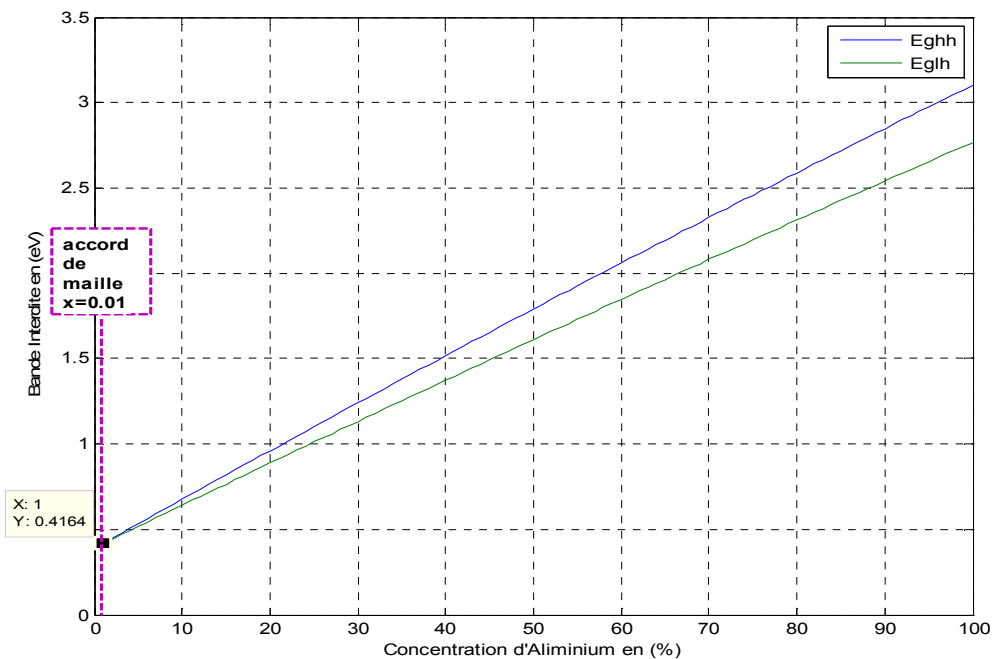


Figure 2.15: Variation de l'énergie de la bande interdite de la structure contraint sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium avec $Sb=10\%$; $As=90\%$.

La figure (2.15) illustre la variation de l'énergie du gap de la couche épitaxie $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ contrainte dans les trois cas possibles (soumise à une contrainte en extension ($x>0.01$), à une contrainte en compression ($x<0.01$) et sans contrainte ($x=0.01$), dans tout le domaine de composition.

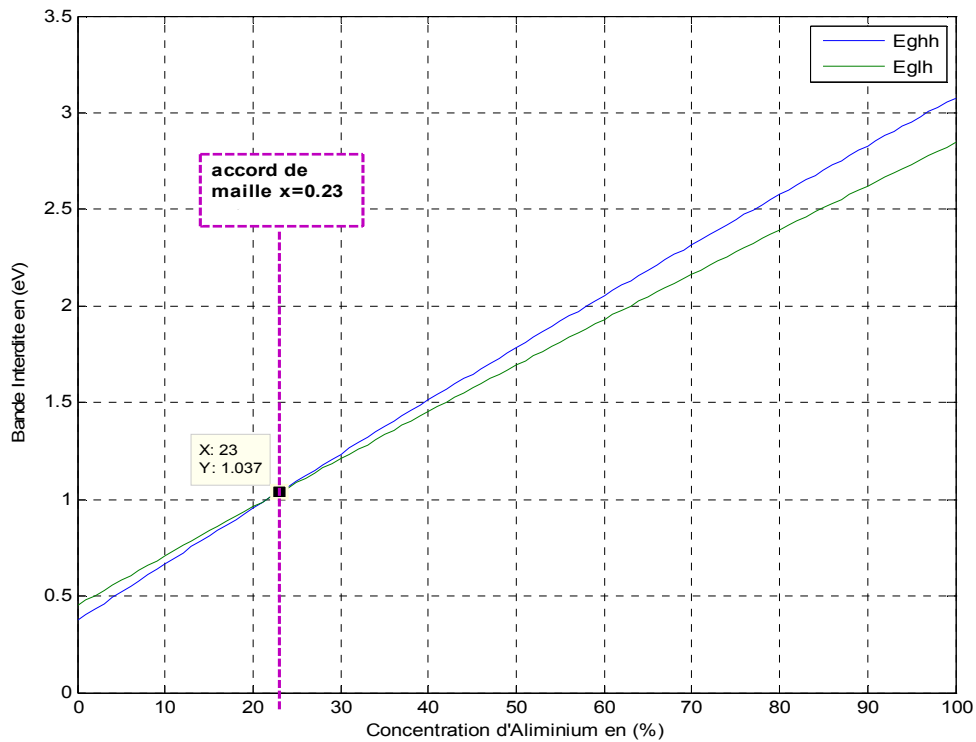


Figure 2.16: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium pour avec $Sb=30\%$; $As=70\%$

Pour le système $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$, on fixe $y=70\%$, la figure (2.21) donne la variation de l'énergie du gap de la couche épitaxie $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ contrainte dans les trois cas possibles (soumise à une contrainte en tension ($x>0.23$), à une contrainte en compression ($x<0.23$) et sans contrainte ($x=0.23$), dans tout le domaine de composition.

D'après les figures (2.16.a) et (2.16.b) on constate que pour une contrainte compressive l'énergie des trous lourds est grande par rapport aux trous légers mais le contraire dans une contrainte extensive ça veut dire l'énergie des trous léger et grand par rapport au trou lourd. Et pour un accord de maille les énergies sont égales.

Les figures (2.17.a) et (2.17.b) représente la variation de les trous lourds et les trous légers de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration de l'aluminium et d'arsenic.

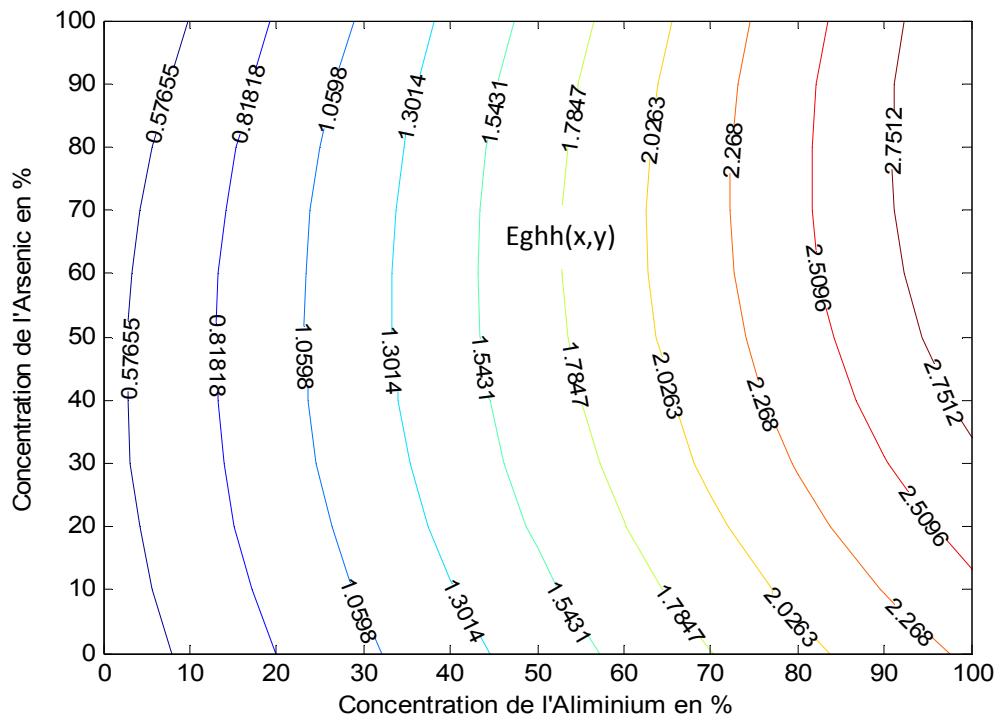


Figure 2.17.a: Variation de l'énergie des trous lourds de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.

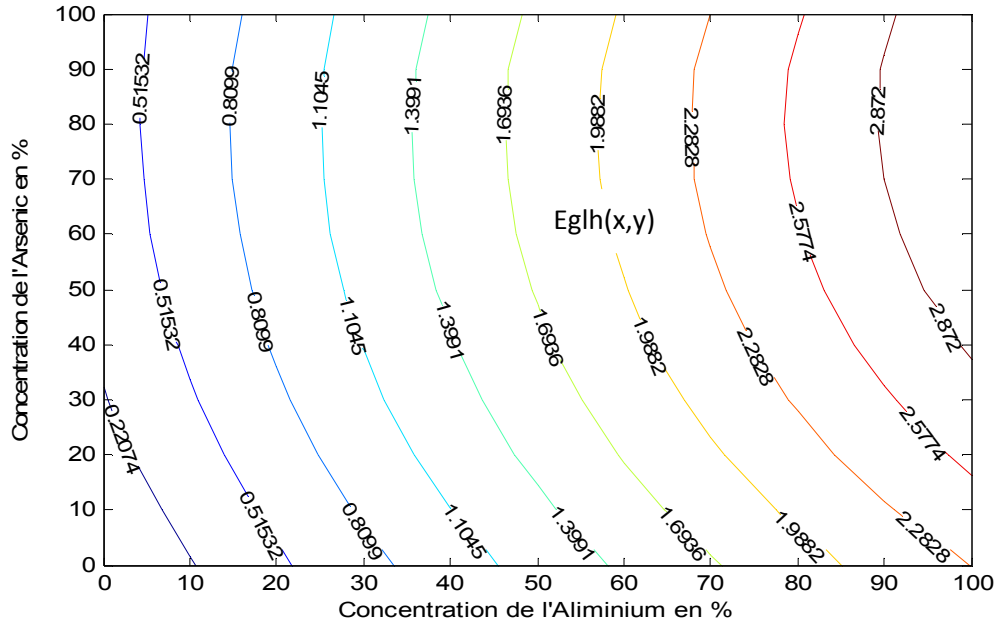


Figure 2.17.b: Variation de l'énergie des trous légers en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic

L'augmentation d'aluminium et d'arsenic augmente les énergies des trous lourds et des trous légers

b. Pour le substrat InAs :

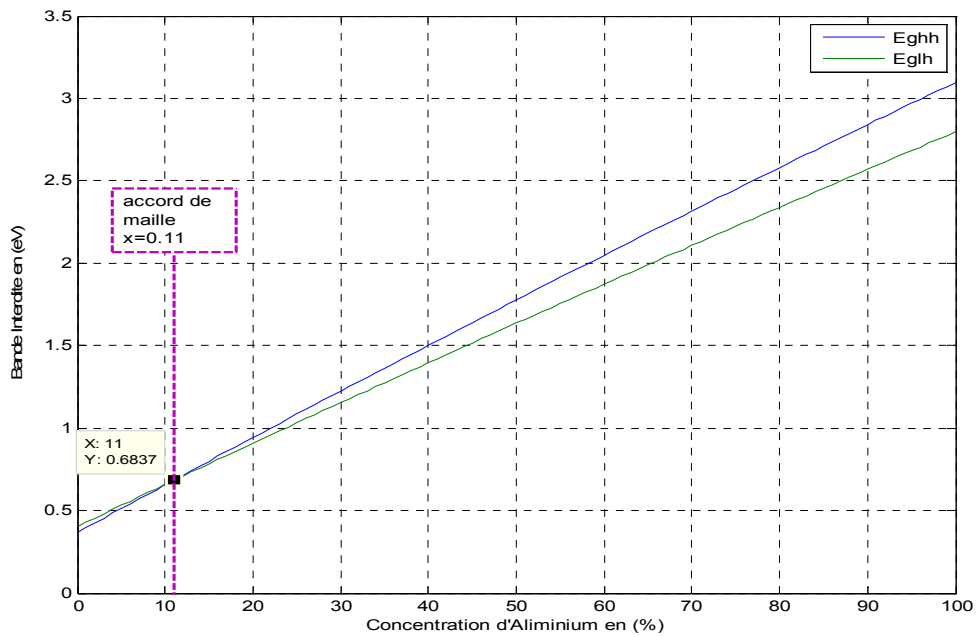


Figure 2.18: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint en fonction de la concentration d'aluminium avec Sb=10% ; As=90%.

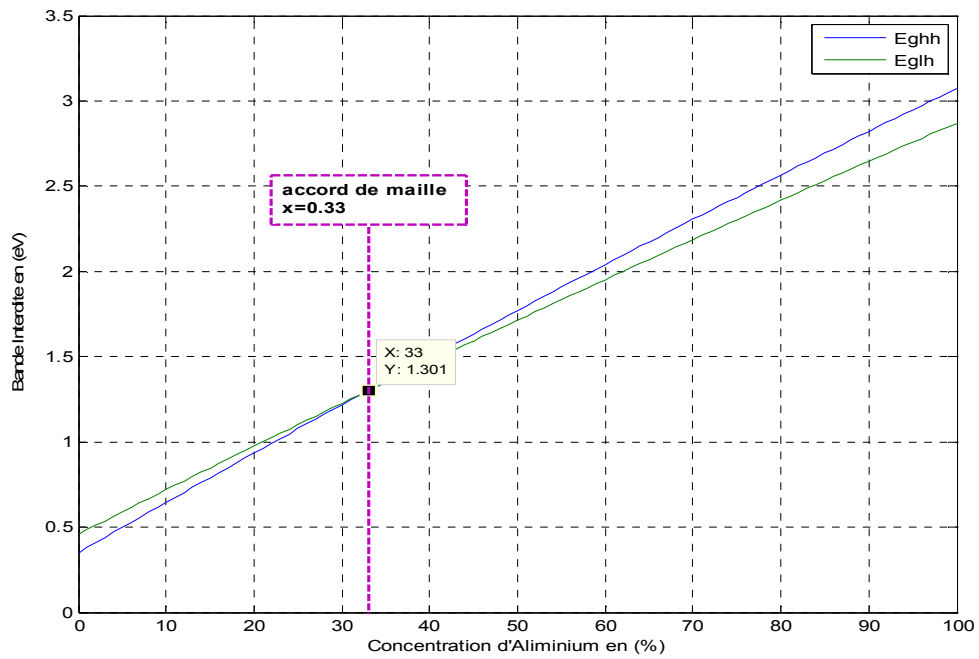


Figure 2.19: Variation de l'énergie de bande interdite de la structure contraint en fonction de la concentration d'aluminium avec Sb=30% ; As=70%.

Les figures 2.18 et 2.19 montrent les variations de l'énergie de la bande interdite de la structure contrainte dans deux cas As=90% et As=70%.

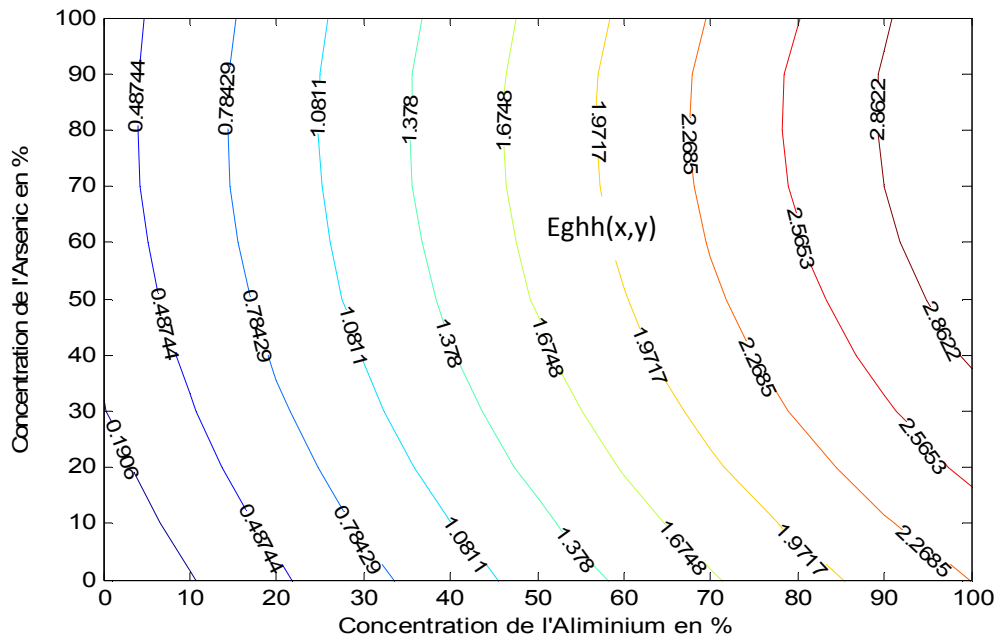


Figure 2.20.a: Variation de l'énergie des trous lourds en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic

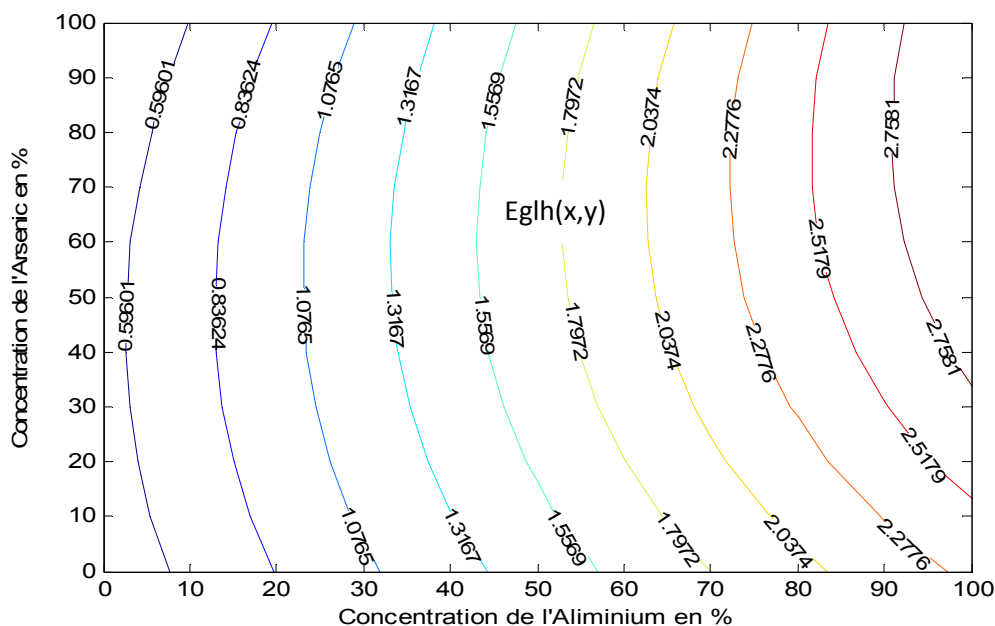


Figure 2.20.b: Variation de l'énergie des trous légers en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic.

L'augmentation d'aluminium et d'arsenic augmente les énergies des trous lourds et trous légers.

2.5 L'Absorption :

Seule la lumière absorbée est restituée sous forme d'énergie électrique. Le matériau photovoltaïque utilise différemment toutes les longueurs d'ondes du spectre solaire : il se caractérise par sa réponse spectrale, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle il transforme l'énergie d'un rayonnement d'une longueur d'onde en énergie électrique. Cette efficacité dépend essentiellement des caractéristiques du matériau [18].

Etudes du coefficient d'absorption :

Le coefficient d'absorption (α), est une propriété qui définit la quantité de lumière absorbée par un matériau.

Les électrons dans la bande de valence d'un semi-conducteur peuvent absorber des photons dont l'énergie est plus grande que l'énergie de bande interdite (E_g), puis passer à la bande de conduction. Le coefficient d'absorption $\alpha(E)$, pour une énergie E supérieure à l'énergie de la bande interdite est donnée par :

$$\alpha = \alpha_0 \frac{\sqrt{E-E_g}}{E} \quad (2.14)$$

E_g : Energie du gap.

E : Energie du photon.

$\alpha_0 = 2.2 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$.

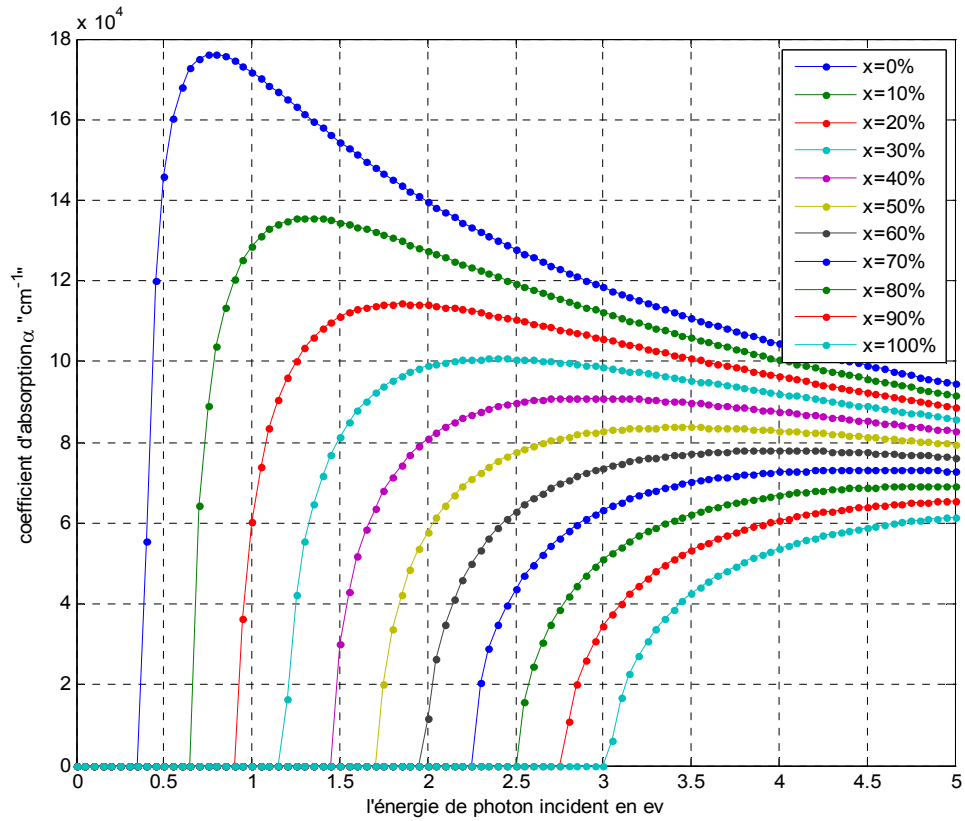


Figure 2.21.a: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $\text{Al}_x\text{In}_{(1-x)}\text{As}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$

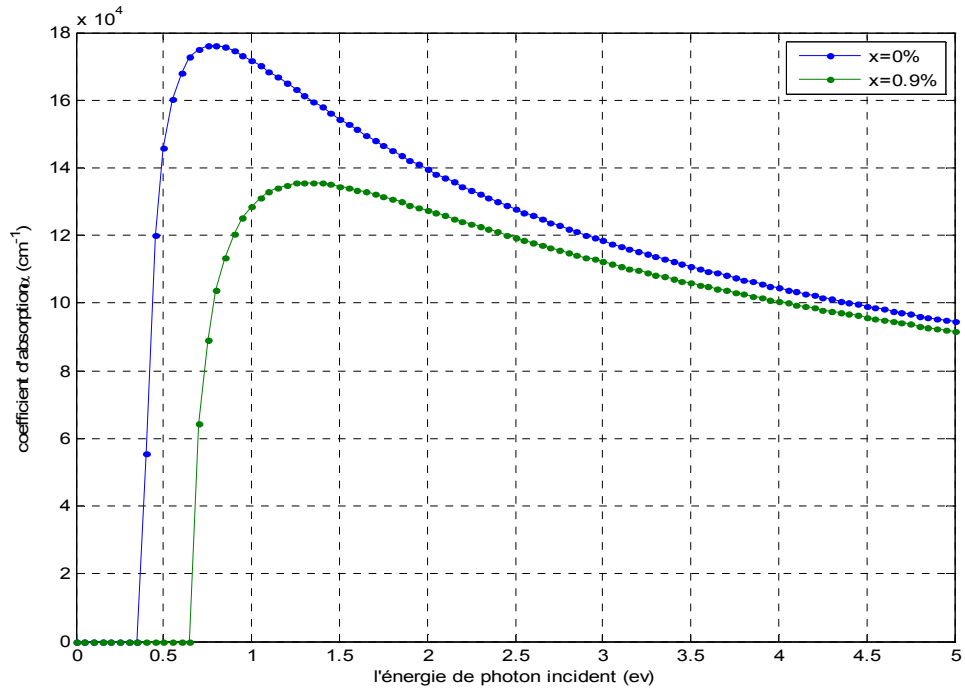


Figure 2.21.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x < x_0$ (compression)

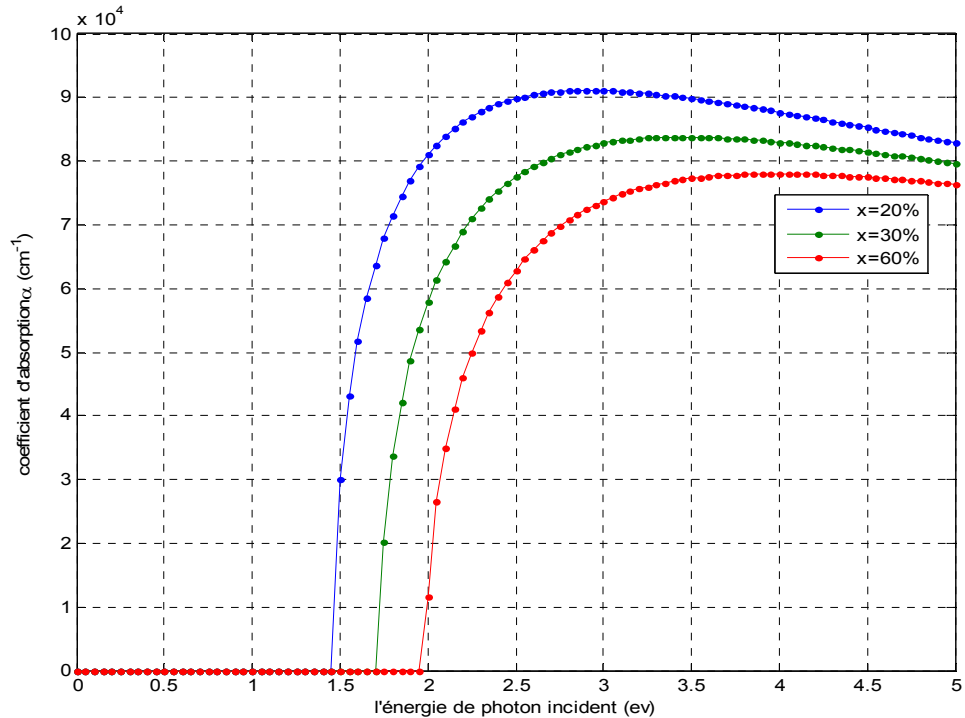


Figure 2.21.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x > x_0$ (tension)

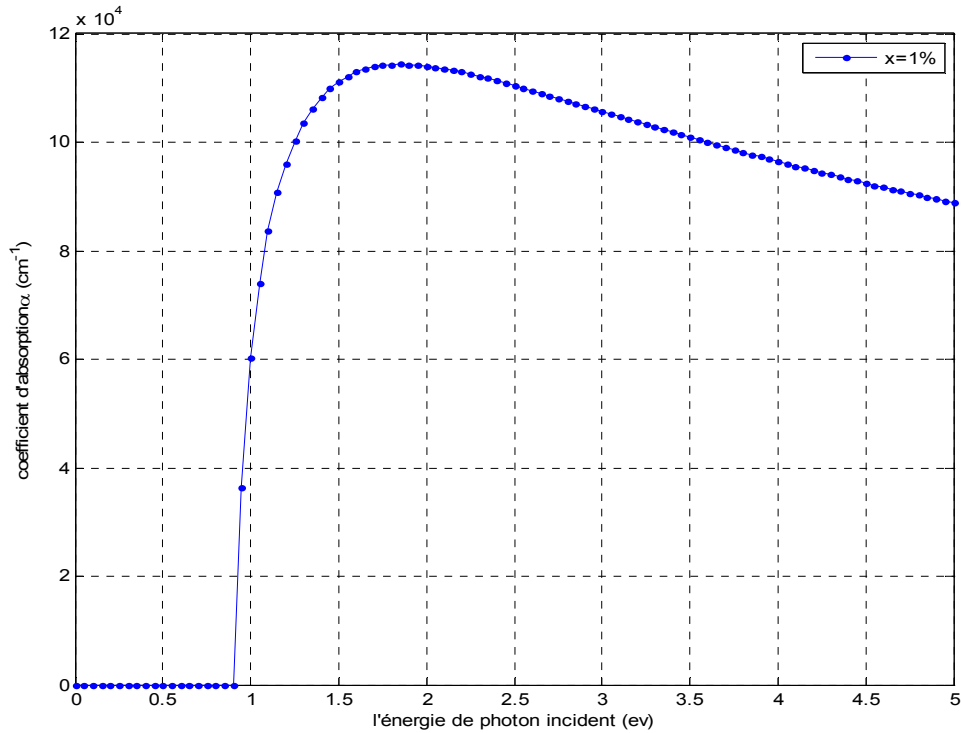


Figure 2.21.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour $x = x_0$ (accord de maille)

Les figures (2.21.a), (2.21.b), (2.21.c) et (2.21.d) représentent les variations de l'absorption en fonction de l'énergie du photon incident E_{ph} pour différents valeurs de l'aluminium et pour une concentration d'arsenic égale 90%.

La figure (2.21.e) montre les valeurs maximales de l'absorption en fonction de la concentration d'aluminium pour une concentration d'arsenic égale à 90%.

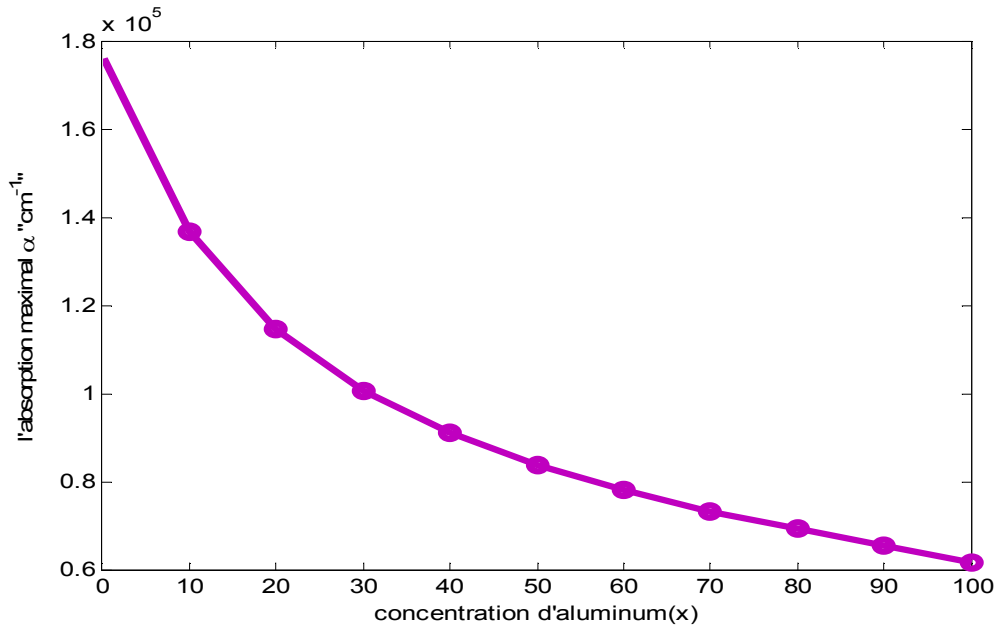


Figure 2.21.e : L'absorption maximale en fonction de la concentration d'aluminium de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}$

Pour $y=90\%$ et avec l'augmentation d'aluminium, l'absorption maximale est diminuée.

Pour $y=70\%$:

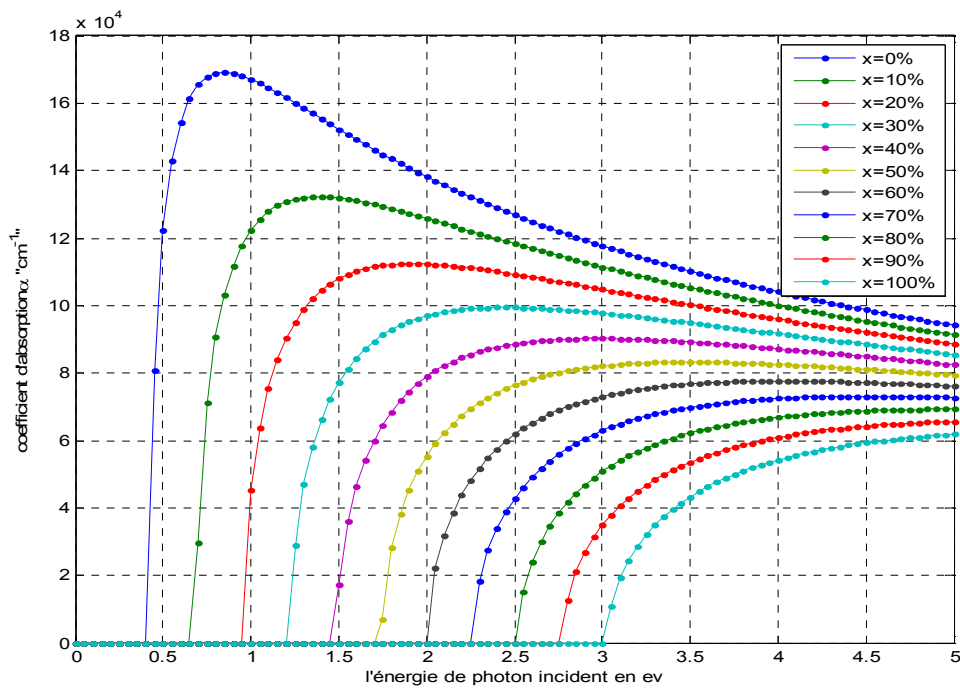


Figure 2.22.a : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}$

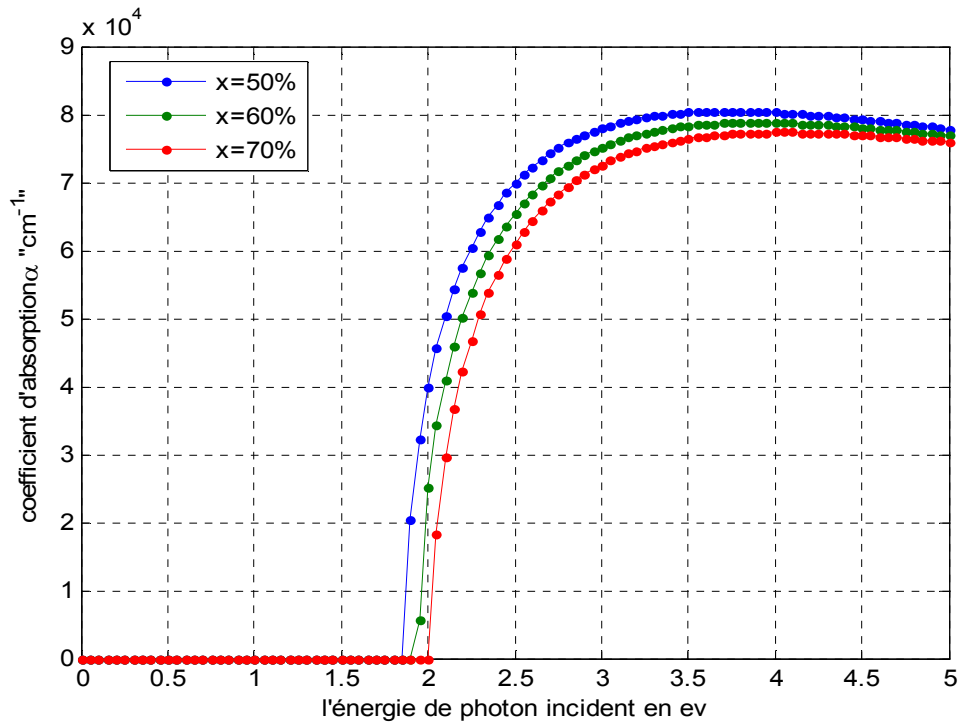


Figure 2.22.b: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour $x > x_0$ (tension)

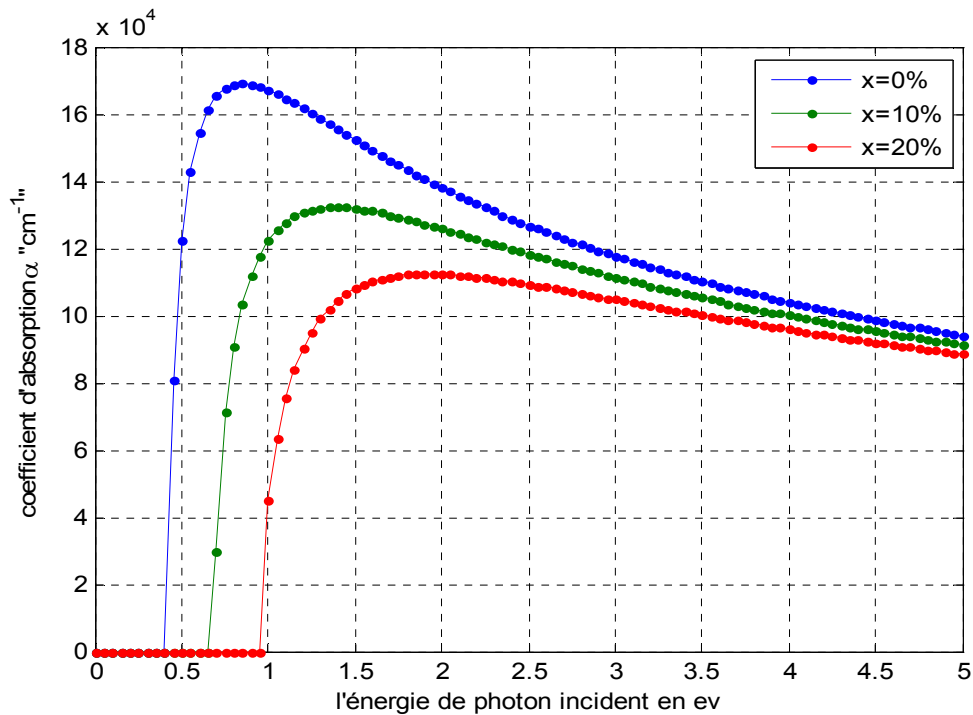


Figure 2.22.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour $x < x_0$ (compression)

Les figures (2.22.a) (2.22.b) (2.22.c) (2.22.d) représentent les variations de l'absorption en fonction de l'énergie du photon incident E_{ph} pour différents valeurs de l'aluminium pour une concentration d'arsenic égale 70%.

D'après les figures (2.21) et (2.22) on constate que pour les photons qui on une énergie très proche de l'énergie de la bande interdite, l'absorption est relativement faible puisque seuls les électrons a la limite de bande de valence peuvent interagir avec les photons quelque soit la concentration d'arsenic. Pour différentes valeurs de x l'absorption maximale est diminuée lorsque l'énergie de photon incident augmente. L'absorption est meilleure dans la partie contrainte compressive.

b. Pour la couche InAs :

Les figures (2.23.a), (2.23.b), (2.23.c) et (2.23.d) représentent les variations de l'absorption en fonction de l'énergie de photon incident et on a les mêmes résultats avec la couche GaSb

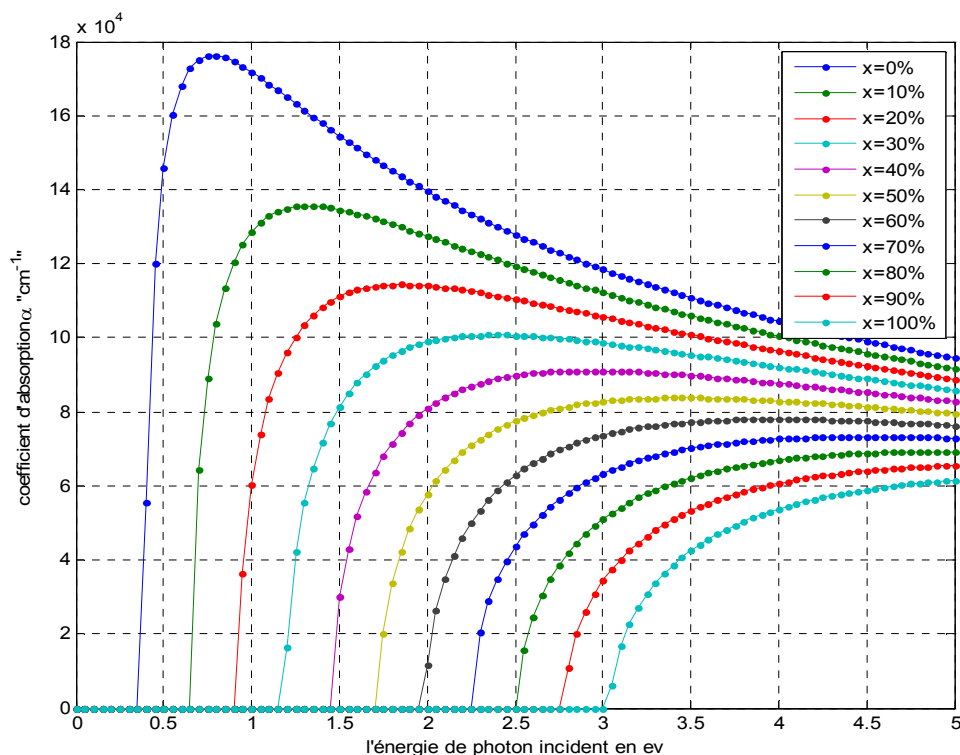


Figure 2.23.a : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_x In_{(1-x)} As_{0.9} Sb_{0.1} / InAs$

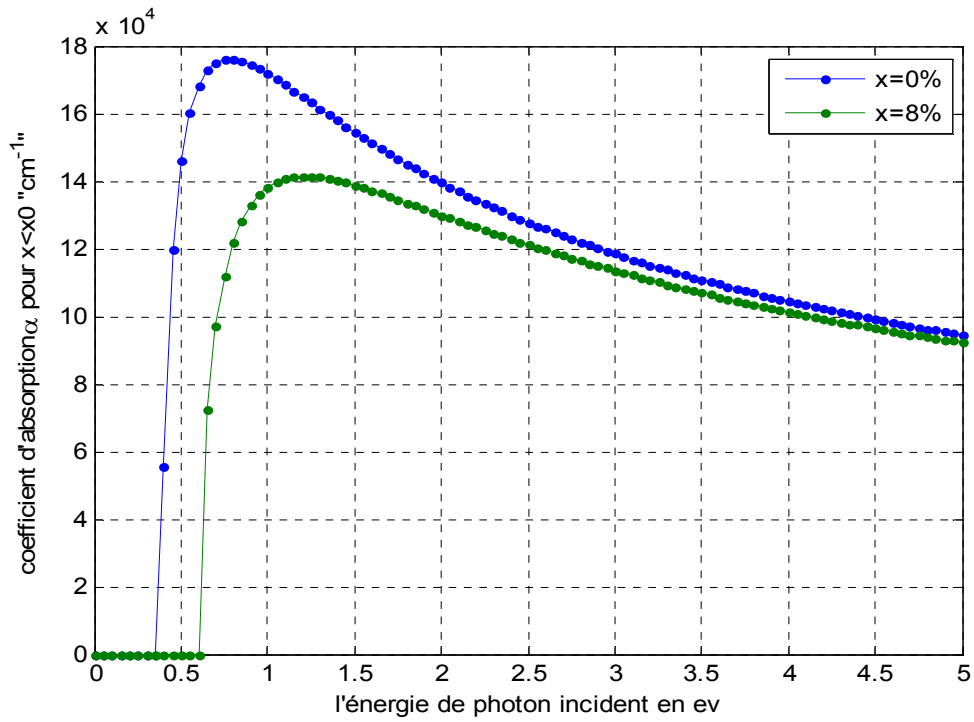


Figure 2.23.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x < x_0$ (compression)

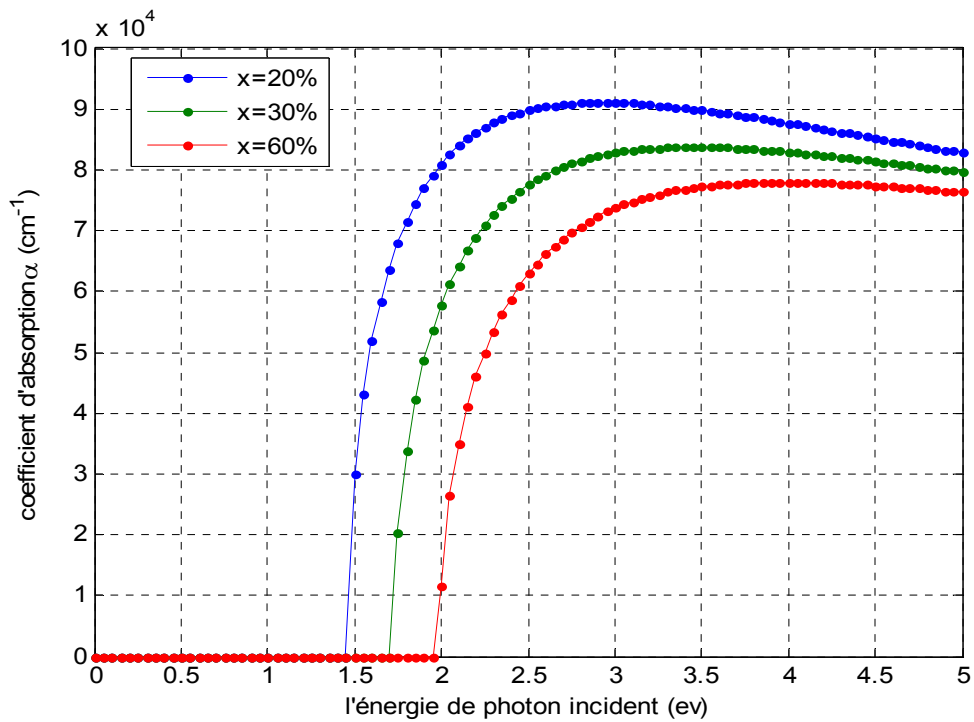


Figure 2.23.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x > x_0$ (tension)

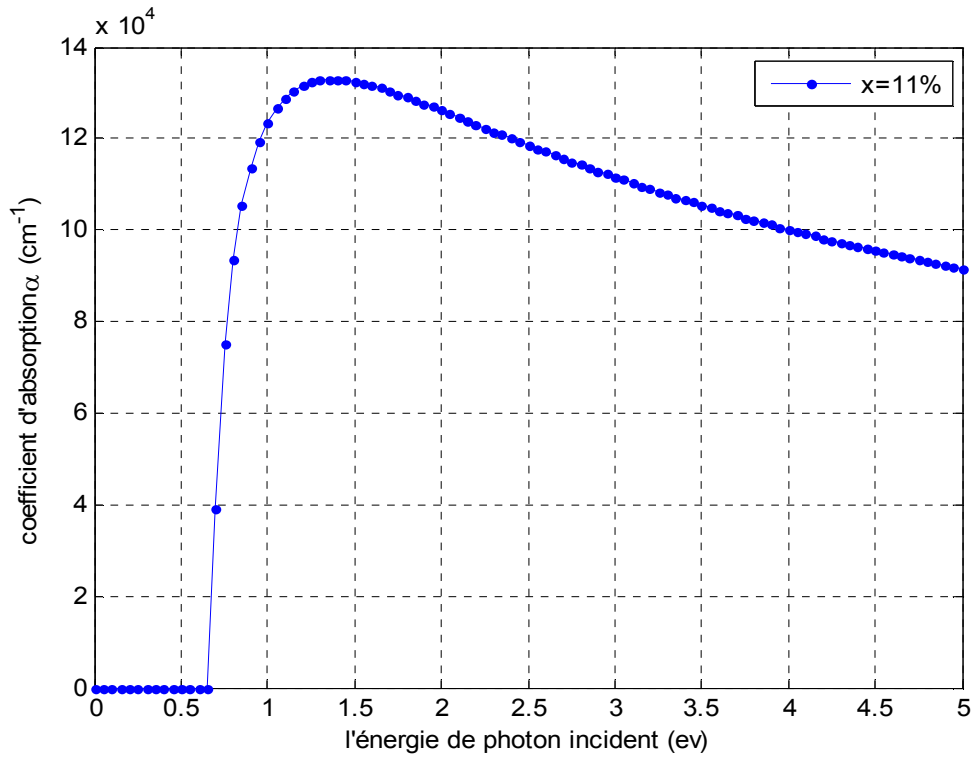


Figure 2.23.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x = x_0$ (accord de maille)

Pour $y=70\%$

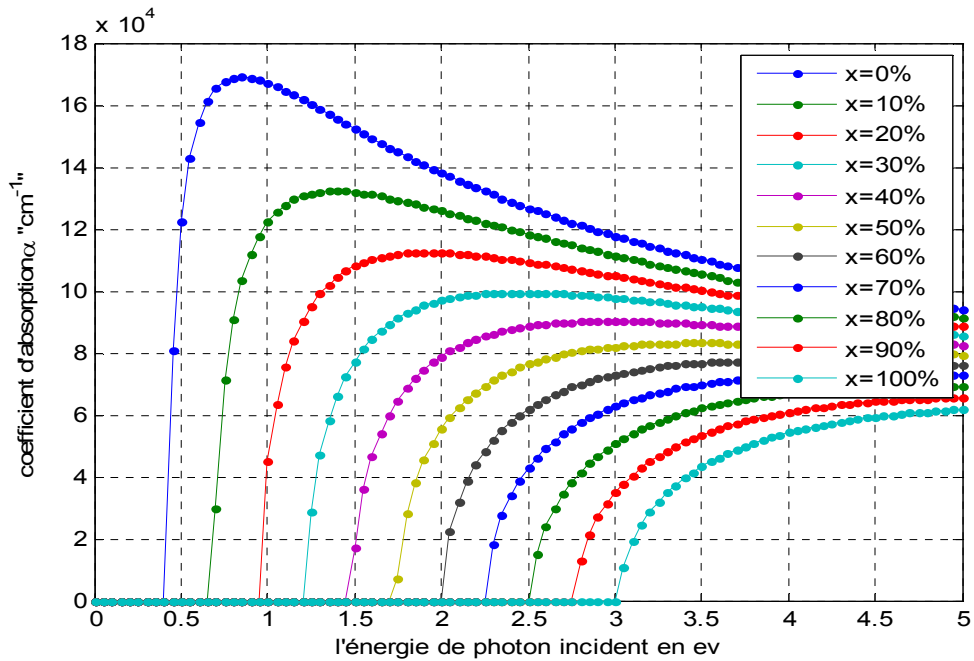


Figure 2.24.a: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$

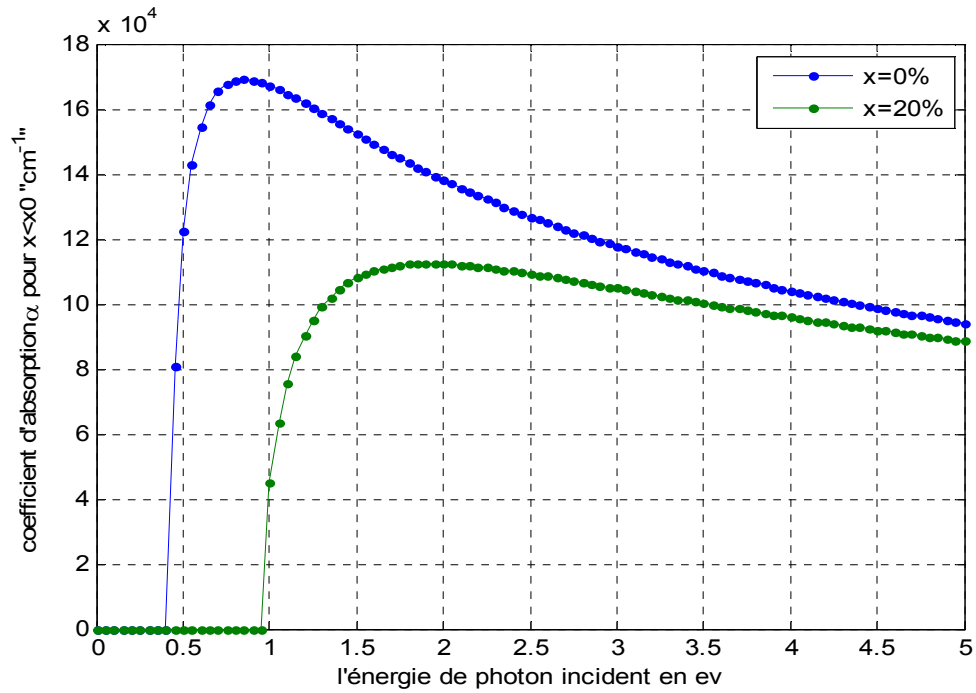


Figure 2.24.b : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ pour $x < x_0$ (compression)

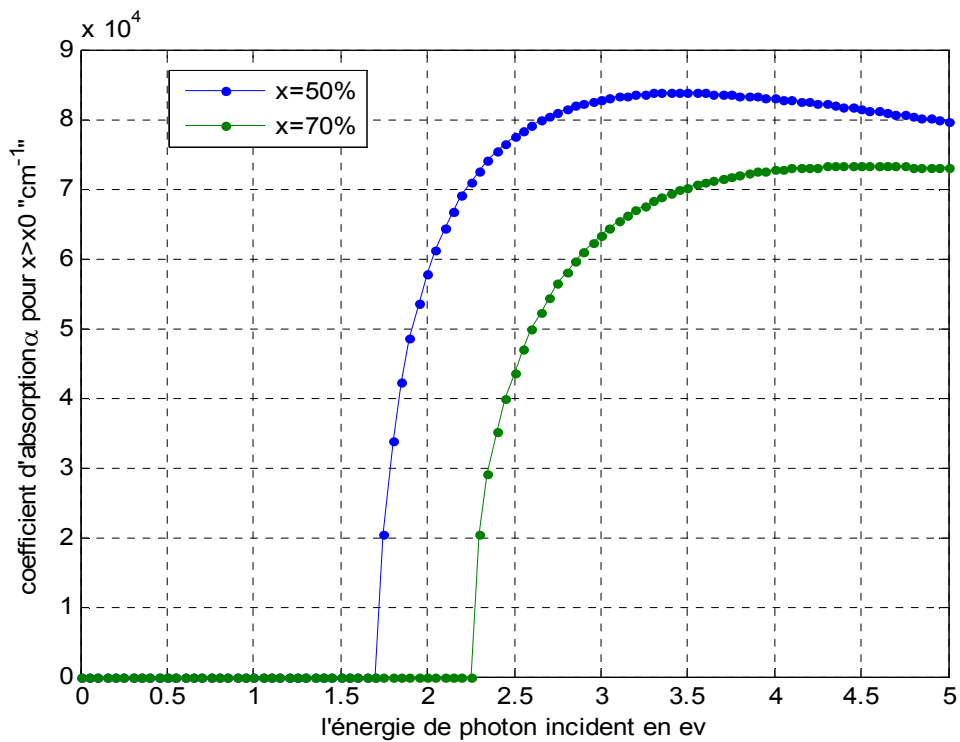


Figure 2.24.c : Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour $x > x_0$ (tension)

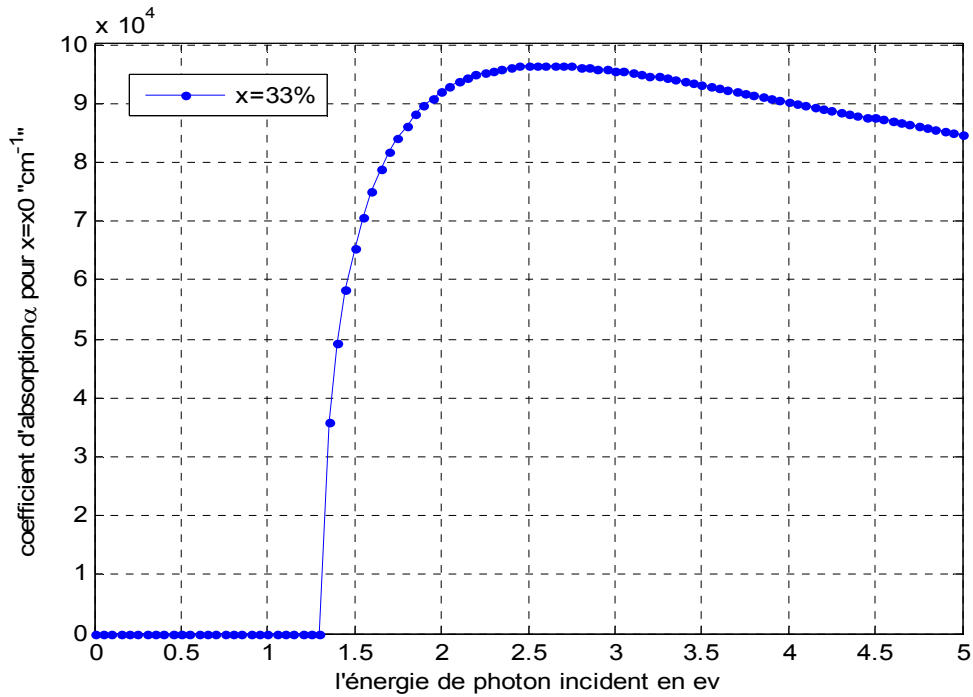


Figure 2.24.d: Coefficient d'absorption α en fonction de l'énergie du photon incident pour la structure $Al_x In_{(1-x)} As_{0.7} Sb_{0.3} / InAs$ pour $x = x_0$ (accord de maille)

On a simulé la variation du coefficient d'absorption en fonction de l'énergie de la lumière incidente de la structure $Al_x In_{(1-x)} As_y Sb_{1-y} / InAs$ pour une concentration d'arsenic égal à 90% et 70%. On constate que l'absorption augmente considérablement quand l'énergie des photons incidents augmente jusqu'à une énergie égale à 3eV on peut voir une diminution de l'absorption. L'absorption est toujours meilleure dans la partie contrainte compressive.

*Pour une concentration d'arsenic égale à 90% et pour deux valeurs d'énergie de photon incident $E_{ph}=5\text{eV}$ et $E_{ph}=3\text{eV}$ on a tracé les valeurs du coefficient d'absorption en fonction de la concentration d'aluminium.

a. Pour le substrat GaSb :

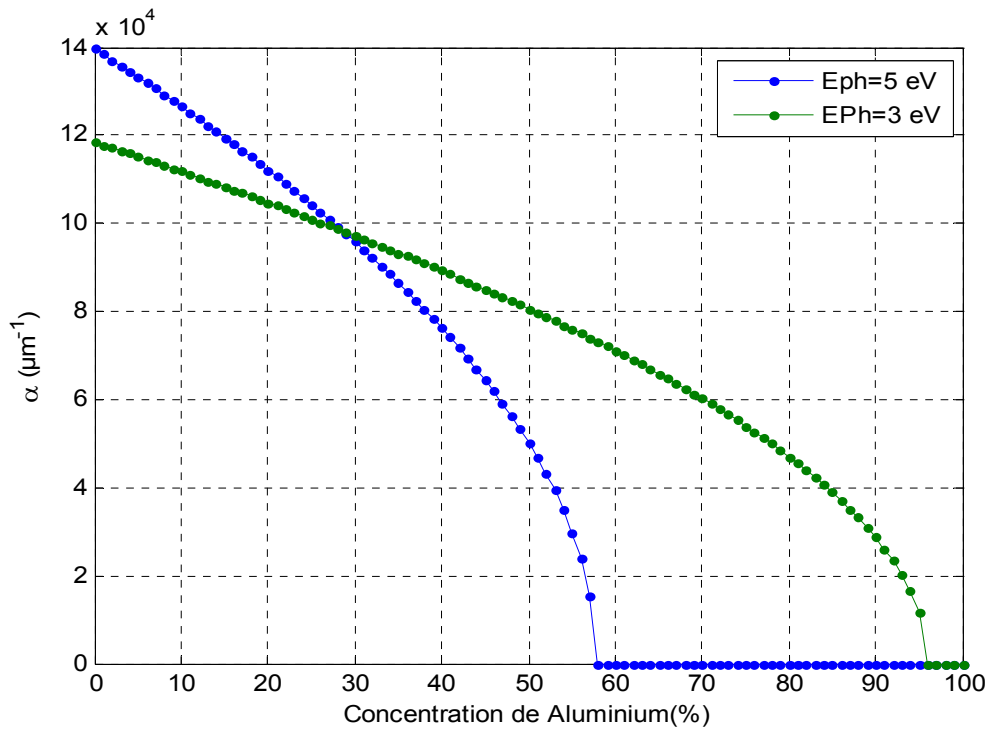


Figure 2.25.a : Variation de l'absorption alpha de la structure contrainte sur $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{(0.1)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium (x).

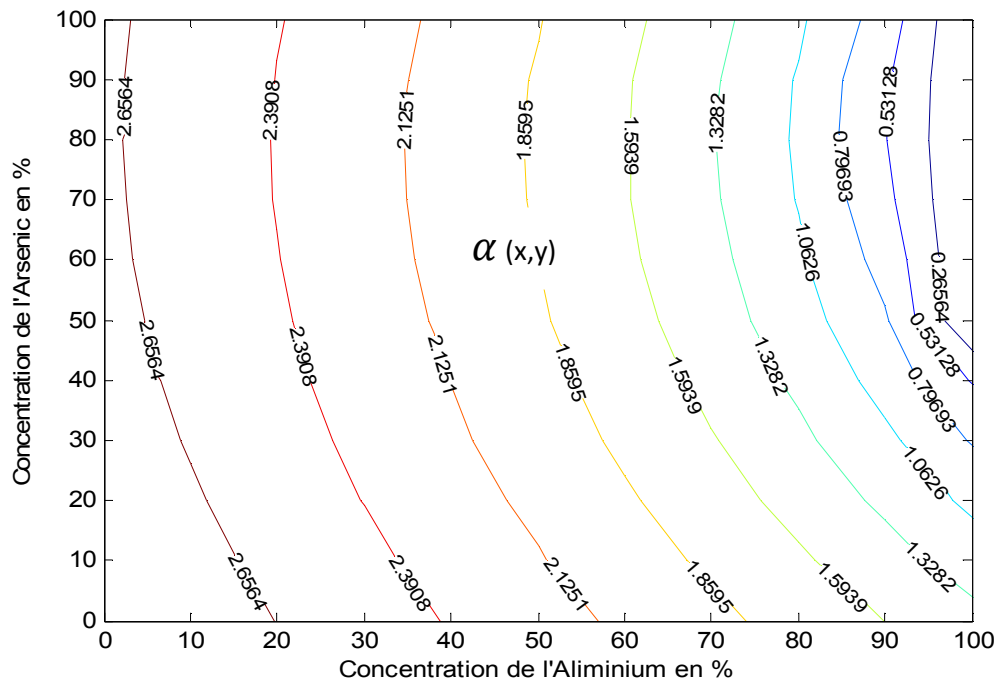


Figure 2.25.b : l'effet de la contrainte sur le coefficient d'absorption de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la composition (x,y)

Les figures (2.25.a) et (2.25.b) montrent le coefficient d'absorption en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la couche contrainte $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$. On remarque qu'il y a une diminution de l'absorption avec l'augmentation de la concentration d'aluminium et on a une meilleure absorption pour une énergie de photon égale à 5ev.

b. Pour le substrat InAs :

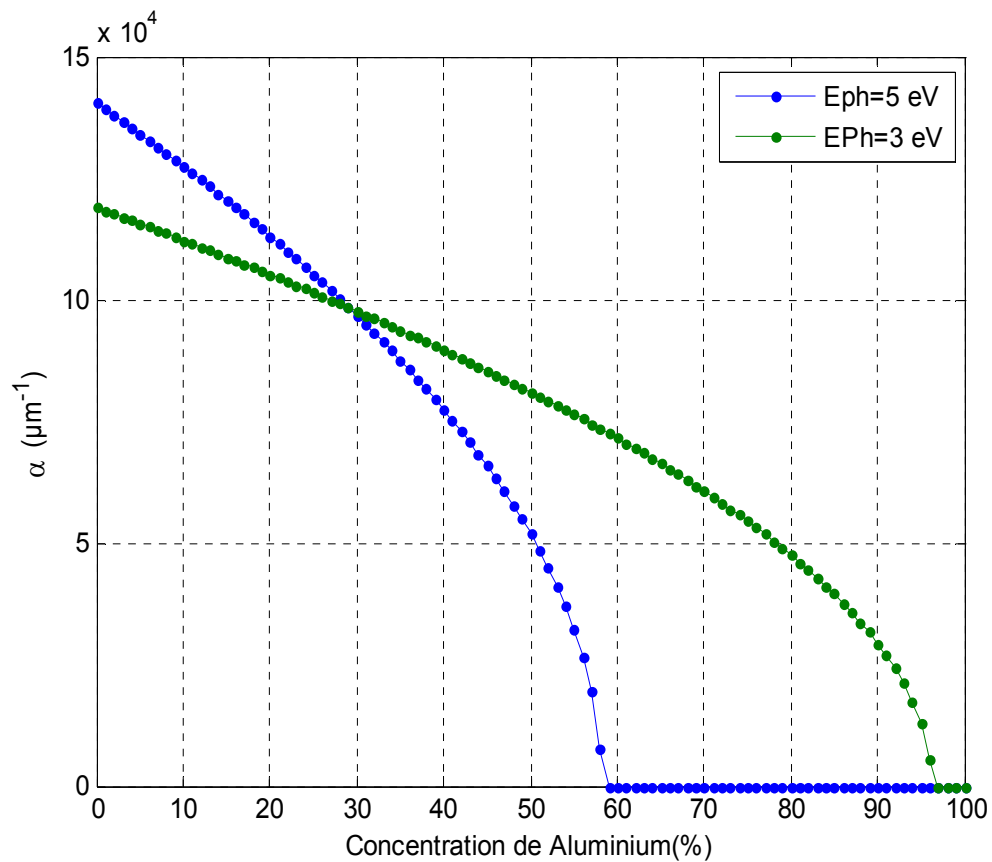


Figure 2.26.a : Variation de l'absorption alpha de la structure contrainte sur $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium (x)

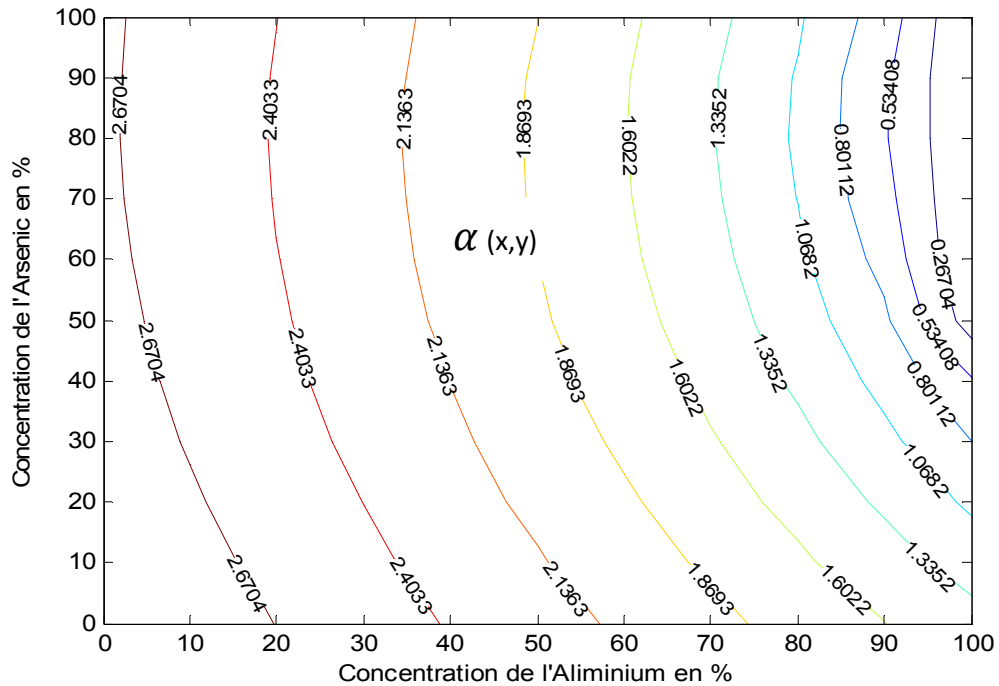


Figure 2.26.b: l'effet de la contrainte sur le coefficient d'absorption de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de les composition (x,y)

Les figure (2.26.a) et (2.26.b) montre le coefficient d'absorption en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la couche contrainte $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$. On remarque qu'il y a une diminution de l'absorption avec l'augmentation de la concentration d'aluminium et on a une meilleure absorption pour une $E_{ph}=5eV$.

2.6 Nombre de photon incident :

Nous avons tracé le nombre de photon incident en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ et $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ par la relation suivant :

$$N(\lambda) = 5.03 \cdot 10^{18} \lambda \cdot P(\lambda) \quad (2.15)$$

avec $P(\lambda)$, est l'irradiance spectrale solaire en $Wcm^{-2}\mu m^{-1}$ et la longueur d'onde est en μm .

a. Pour couche GaSb :

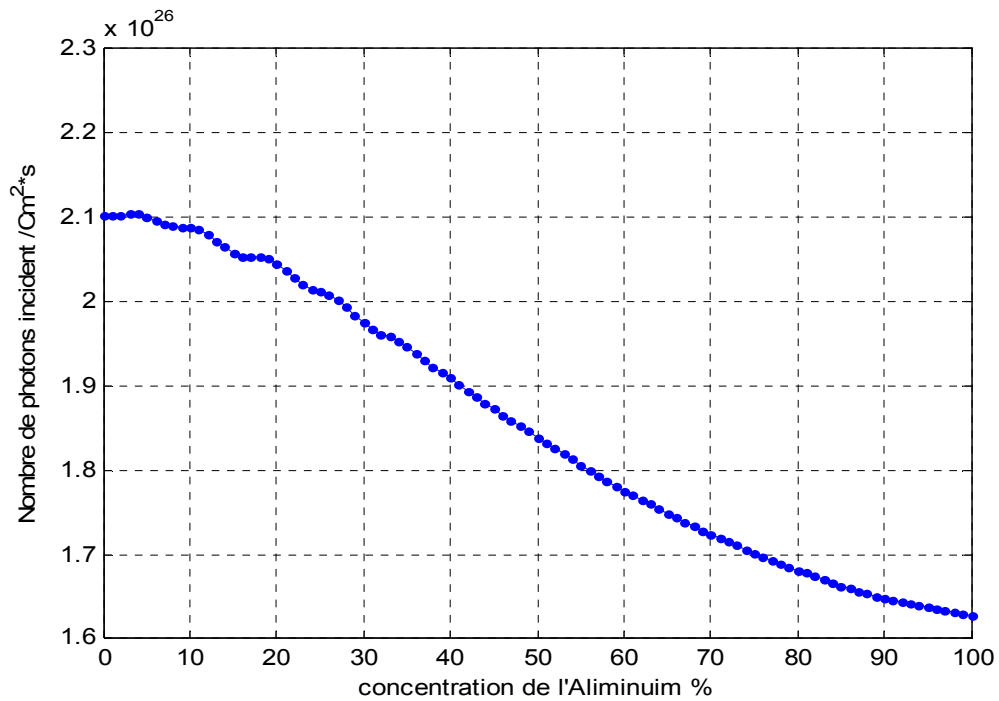


Figure 2.27.a : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium

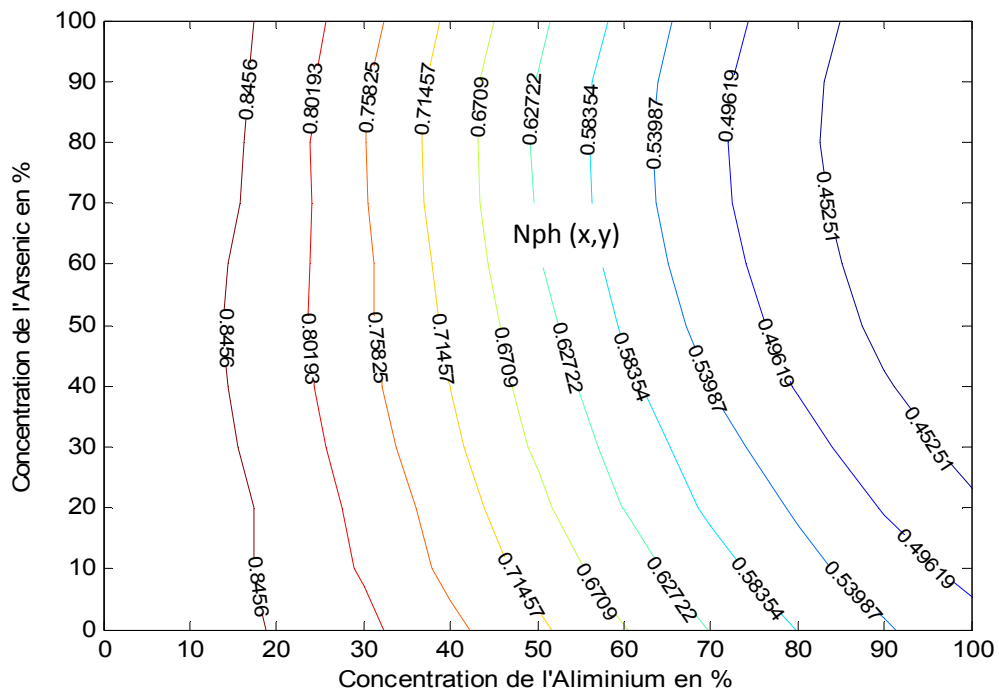


Figure 2.27.b : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic

Les figures (2.27.a) et (2.27.b) montrent le nombre de photon incident en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la couche GaSb.

b. Pour la couche InAs :

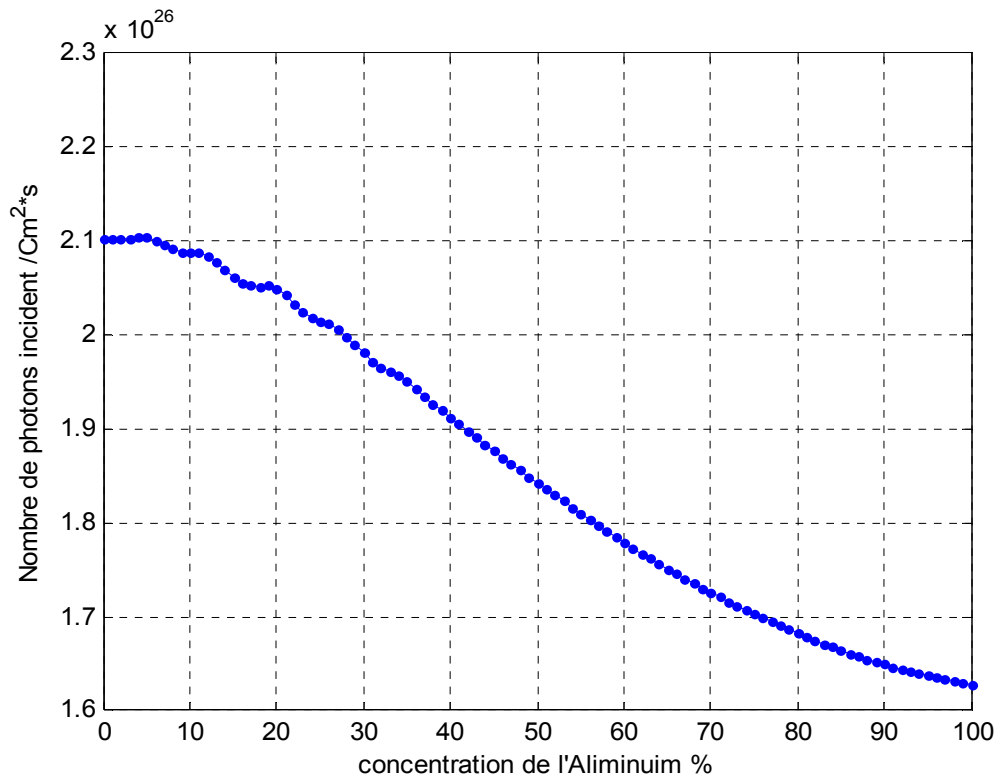


Figure 2.28.a : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium

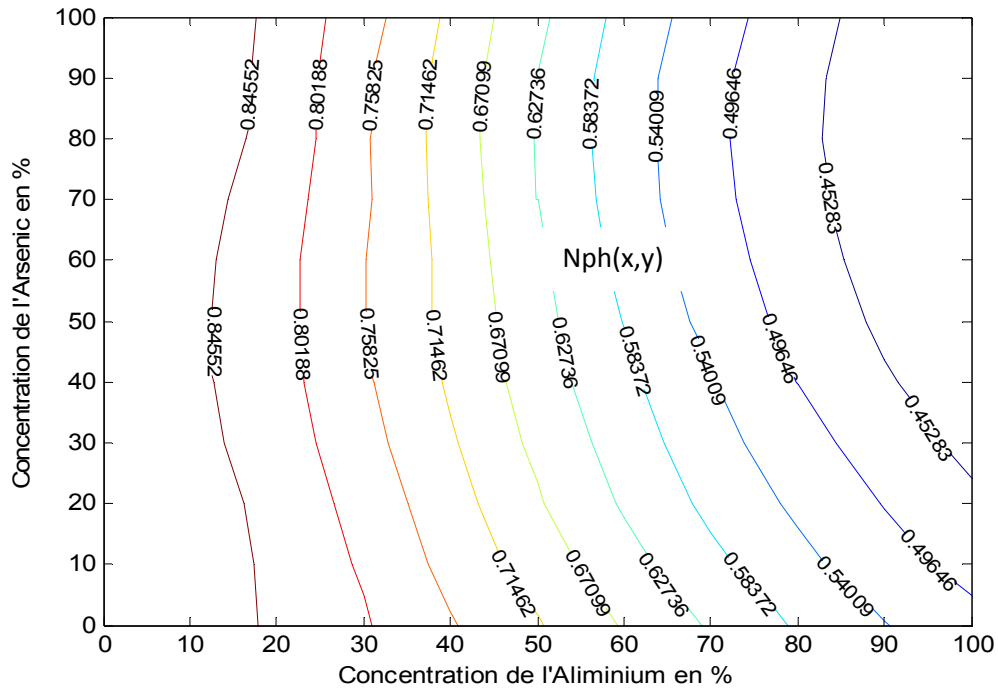


Figure 2.28.b : nombre de photon incident de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic

Les figures (2.28.a) et (2.28.b) montrent le nombre de photon incident en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la couche InAs.

On constate que le nombre de photon incident diminue lorsque la concentration d'aluminium augmente

2.7 Hétérojonction (semiconducteur/semiconducteur) :

2.7.1 Diagramme de bandes d'énergie :

Au contact de deux semi-conducteurs différents, il apparaît une barrière de potentiel à l'interface, donnée par :

$$E_b = e(\chi_1 - \chi_2) \quad (2.16)$$

Où $e\chi_1$ et $e\chi_2$ sont les affinités électroniques des deux semiconducteurs. En l'absence de tout contact, la figure (2.29) montre les diagrammes énergétiques dans chacun des semi-conducteurs. E_{g1} et E_{g2} représentent les gaps des semiconducteur 1 et

semiconducteur 2, et les dopages sont représentés par la distance $e\phi_{F1}$ et $e\phi_{F2}$ du niveau de fermi à la bande de conduction.

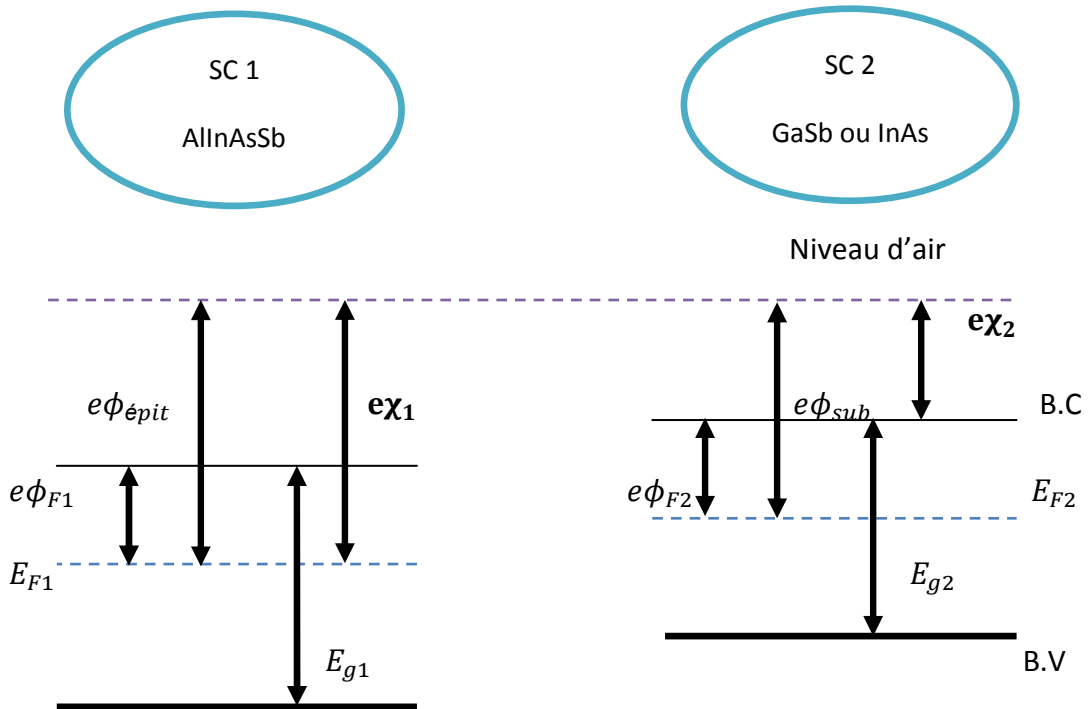


Figure 2.29 : diagramme du bande de deux semi-conducteurs

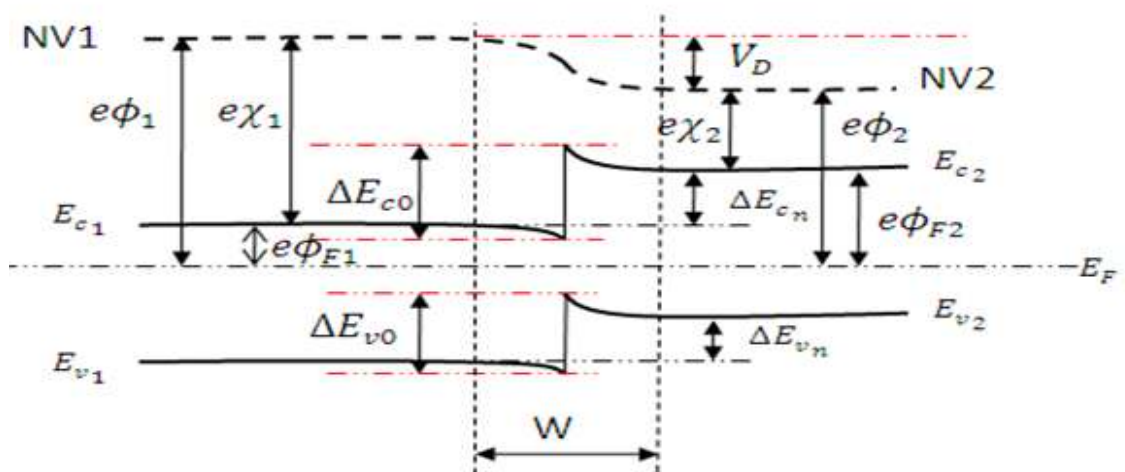


Figure 2.30 : Diagramme énergétique au voisinage de la jonction $\chi_1 > \chi_2$.(déplétion)

$$\Delta E_c = -e(\chi_2 - \chi_1) \quad (2.17)$$

$$\Delta E_v = -(\Delta E_g + e(\chi_2 - \chi_1)) \quad (2.18)$$

Ou χ_1 et χ_2 représentent les affinités électroniques des deux semi-conducteurs.

ΔE_c : Différence d'énergie entre les bandes de conduction.

ΔE_v : Différence d'énergie entre les bandes de valence.

Les électrons diffusent du semiconducteur 2 vers le semiconducteur 1 et vice-versa pour les trous, car $\phi_1 > \phi_2$:

Dans le semiconducteur 1 (type N) la charge d'espace est due à une augmentation de la densité d'électrons au voisinage de l'interface.

Dans le semiconducteur 2 (type P) le passage des trous augmente la densité des trous au voisinage de l'interface

On peut calculer les largeurs des zones de déplétion (w_n, w_p) via les conditions de continuité du vecteur de déplacement à l'interface et la continuité du potentiel en $x=0$ (l'interface), les largeurs w_n et w_p sont données par :

$$w_n = \sqrt{\frac{2N_{a2}\varepsilon_1\varepsilon_2}{eN_{d1}(\varepsilon_1N_{d1} + \varepsilon_2N_{a2})}} \sqrt{V_D} \quad (2.19)$$

$$w_p = \sqrt{\frac{2N_{d1}\varepsilon_1\varepsilon_2}{eN_{a2}(\varepsilon_1N_{d1} + \varepsilon_2N_{a2})}} \sqrt{V_D} \quad (2.20)$$

La somme des deux équations (2.19) et (2.20) donne la largeur totale de la zone de déplétion w :

$$w = \sqrt{\frac{2\varepsilon_1\varepsilon_2(N_{d1} + N_{a2})^2}{eN_{d1}N_{a2}(\varepsilon_1N_{d1} + \varepsilon_2N_{a2})}} \sqrt{V_D} \quad (2.21)$$

Dans le cas où la densité des donneurs dans le semi-conducteur type N, est supérieure à la densité d'accepteurs dans le semi conducteur type P, la largeur de la zone de déplétion qui se développe dans le semi-conducteur type P w_p est supérieure à celle qui se développe dans le semi-conducteur type N [19].

2.8 Conclusion :

Les principales conclusions que l'on peut tirer de ce chapitre sont :

Pour une concentration d'Arsenic fixe par exemple a 70% l'alliage $AlInAsSb$ sur la couche $GaSb$ est soumis à une contrainte de compression pour la densité d'aluminium $x < 23\%$ et à une contrainte en tension pour $x > 23\%$ et un accord de maille pour x égale à 23% .

Pour la même concentration d'arsenic $y=70\%$ l'alliage $AlInAsSb$ sur la couche $InAs$ est soumis à une contrainte de compression pour la densité d'indium $x < 23\%$ et à une contrainte en tension pour $x > 33\%$ et un accord de maille pour $x = 33\%$.

La simulation qui donne la variation de gap en fonction de la concentration d'aluminium et pour des valeur fixe de la concentration d'arsenic y, montre que le gap de l'alliage diminue avec l'augmentation de la concentration d'aluminium, et que le gap dans la zone extensive et plus grand que dans la zone compressive.

L'augmentation du gap avec l'augmentation de l'aluminium influe directement sur le coefficient d'absorption et la simulation qui a été présenté sur les figures (2.24.b) montre que la contrainte compressive augmente le coefficient d'absorption.

3.1 Introduction

La simulation numérique est toujours utilisée pour l'optimisation des cellules solaires, et pour décrire le comportement des composants électroniques. Cette méthode nous permet de confronter les résultats avec de l'expérience, de ce fait la simulation numérique est indispensable avant la réalisation des dispositifs.

Le but de ce travail est donc la conception d'un programme de simulation sur Matlab permettant d'étudier l'influence de l'aluminium et l'arsenic dans l'alliage $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ et $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ sur tension de circuit ouvert, le courant de court circuit, le facteur de forme et le rendement de conversion.

3.2 La simulation numérique sous Matlab :

Pour la simulation de la structure $AlInAsSb/GaSb/InAs$, nous avons utilisé le logiciel Matlab.

Et pour réaliser cette simulation on a besoin des nombreuses relations et valeurs (annexe) comme suit :

	GaSb	InAs	InSb	AlAs	AlSb
$e\chi_e$ (eV)	4.06	4.9	4.59	3.5	3.6
$e\phi_{max}$ (eV)	4.74	5.26	4.66	5.66	5.2

Tableau 3.1 : affinités électroniques $e\chi_e$ et valeurs maximales des travaux de sortie $e\phi_{max}$ des principaux semi-conducteurs.

Pour l'affinité électronique et le travail de sortie d'un alliage $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ on les détermine avec l'interpolation linéaire :

$$e\chi_e = x * (1 - y) * e\chi_e(AlSb) + x * y * e\chi_e(AlAs) + (1 - x) * y * e\chi_e(InAs) + (1 - x) * (1 - y) * e\chi_e(InSb) \quad (3.1)$$

$$e\phi_{\max} = x * (1 - y) * e\phi_{\max}(AlSb) + x * y * e\phi_{\max}(AlAs) + (1 - x) * y * e\phi_{\max}(InAs) + (1 - x) * (1 - y) * e\phi_{\max}(InSb) \quad (3.2)$$

D'après les relations au dessus on a tracé les variations de l'affinité électronique et le travail de sortie de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$

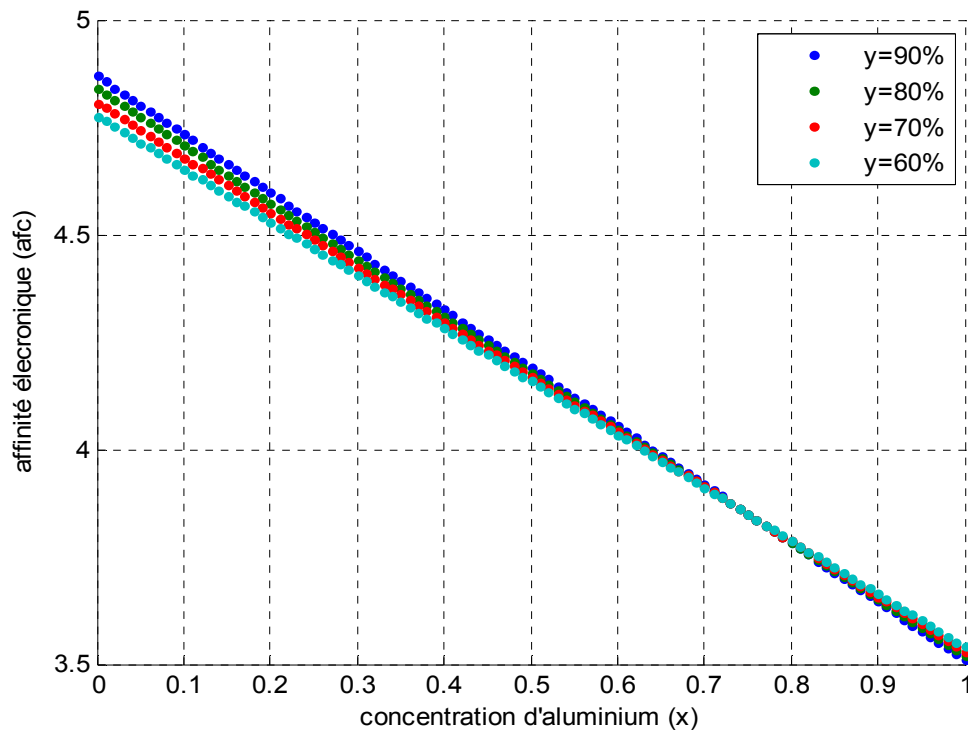


Figure 3.2.a : Variation de l'affinité électronique de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium

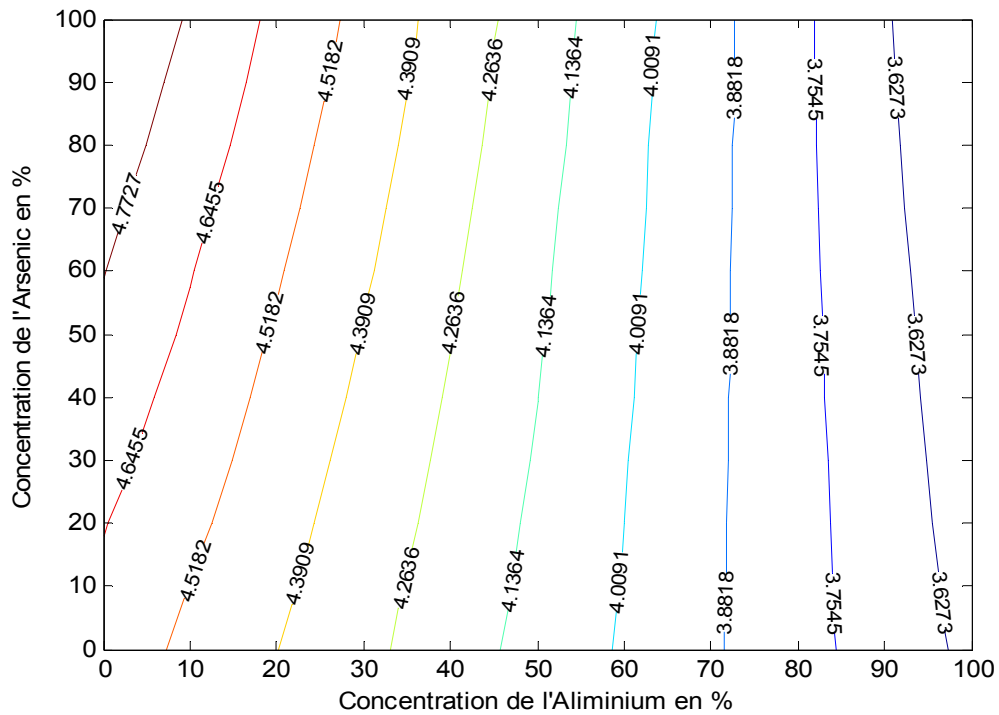


Figure 3.2.b : Variation de l’affinité électronique de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d’aluminium et d’arsenic

Les figures (3.2.a) et (3.2.b) montrent les variations de l’affinité électronique de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d’aluminium et d’arsenic, on constate que l’augmentation de l’aluminium diminue l’affinité électronique ça veut dire diminue l’énergie fourni par les électrons situés dans la bande de conduction mais l’arsenic a pour effet de l’augmenter par exemple pour $x=10\%$ on a une augmentation importante pour l’affinité électronique lorsque la concentration d’arsenic augmente mais pour une concentration d’aluminium plus de 60% l’augmentation de l’affinité électronique est presque nul quelque soit la concentration d’arsenic.

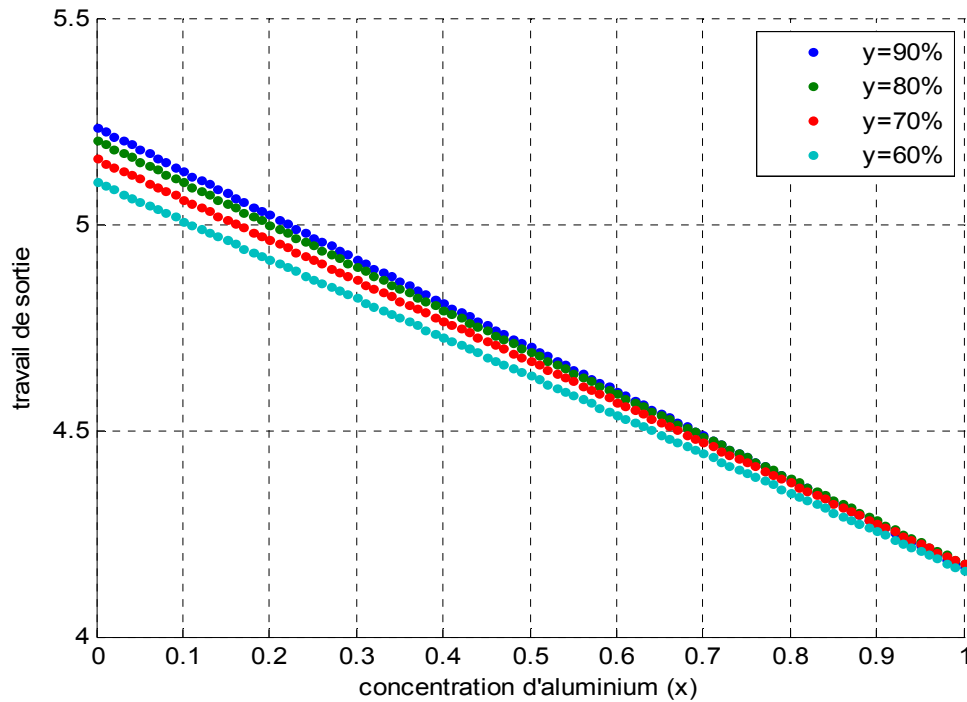


Figure 3.3 : Variation de travail de sortie de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration d'aluminium

La figure (3.3) montre les variations de travaux de sortie de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ en fonction de la concentration de l'aluminium pour différentes valeurs de y ($y=90\%$, $y=80\%$, $y=70\%$ et $y=60\%$). On remarque que l'aluminium a pour effet de diminuer le travail de sortie c'est-à-dire diminuer l'énergie fournie par les électrons situés au niveau de Fermi et l'arsenic l'augmente par exemple pour une concentration d'aluminium égale à 10% on a une augmentation de travail de sortie lorsque l'arsenic augmente pour $y=60\%$ on a $e\phi_{\max}=5.03\text{eV}$ et pour $y=90\%$ on a $e\phi_{\max}=5.15\text{eV}$.

3.2.1 Discontinuité de bandes aux hétérojonctions "offset" :

Les discontinuités de bandes (ou "offsets" de bandes) aux hétérojonctions (ΔE_c , ΔE_v) sont certainement les paramètres à la fois les plus importants mais aussi les plus difficiles à déterminer. En fait, le problème est très complexe, d'autant plus que la dépendance éventuelle des "offsets" de bandes en fonction de la technologie de

croissance, de l'orientation cristallographique, ou même de la séquence de croissance est peu connue.

Les principales théories permettant de prédire ces discontinuités de bandes sont des théories dites "linéaires" ; elles supposent qu'il existe une énergie absolue, spécifique, associée à chaque bord de bandes de tout semi-conducteur. Les "offsets" de bandes sont alors simplement les différences entre les énergies absolues de chaque bande pour chacun des deux semi-conducteurs.

a. Pour la couche InAs:

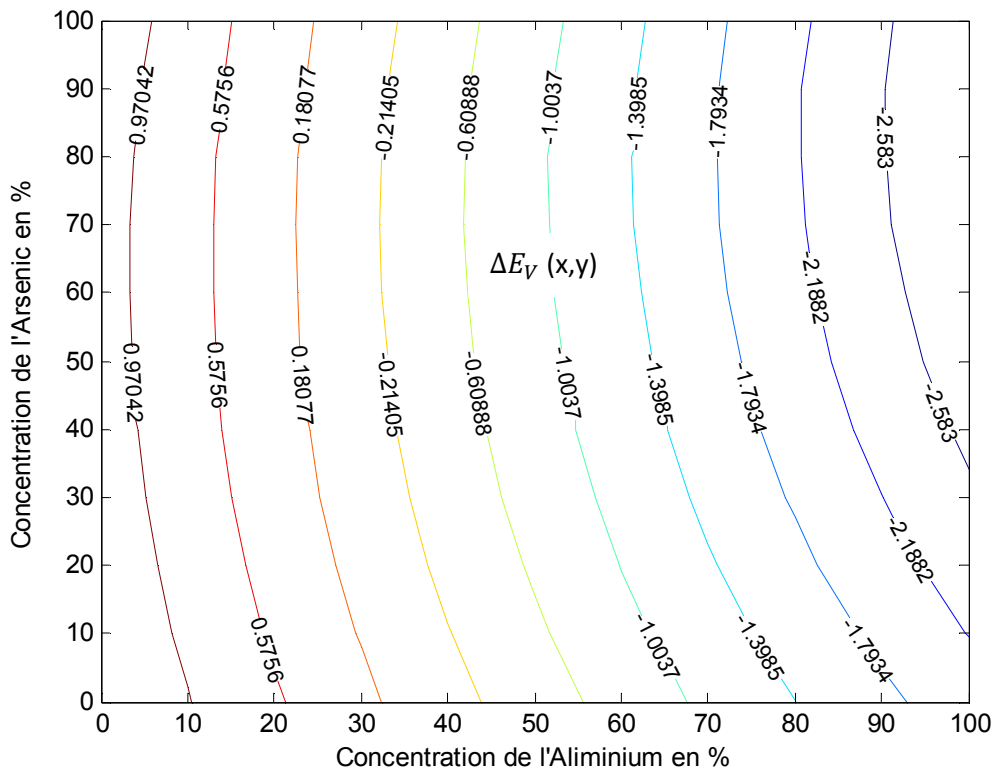


Figure 3.4: l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de valence entre l'AlInAsSb et InAs

La figure (3.4) représente l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de valence entre le $AllnAsSb$ et $InAs$. On remarque que pour une concentration d'aluminium dans l'alliage $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}$ et pour $x=10\%$ on a $\Delta E_v = 0.69\text{eV}$ et pour $x=50\%$ on a $\Delta E_v = -0.93\text{eV}$ pour $y=70\%$. ça veut dire une diminution de ΔE_v , même résultat pour l'arsenic parce que pour une concentration d'aluminium égale 20% on a une $\Delta E_v = 0.32\text{eV}$ pour $y=90\%$ mais pour une concentration d'arsenic $y=70\%$ on a $\Delta E_v = 0.28\text{eV}$ alors l'augmentation d'aluminium et d'arsenic diminue la différence de bande de valence entre $AllnAsSb$ et $InAs$.

Nous avons également tracé la différence de bande de conduction entre l' $AllnAsSb$ et $InAs$.

La figure (3.5) illustre la courbe de ΔE_c en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic.

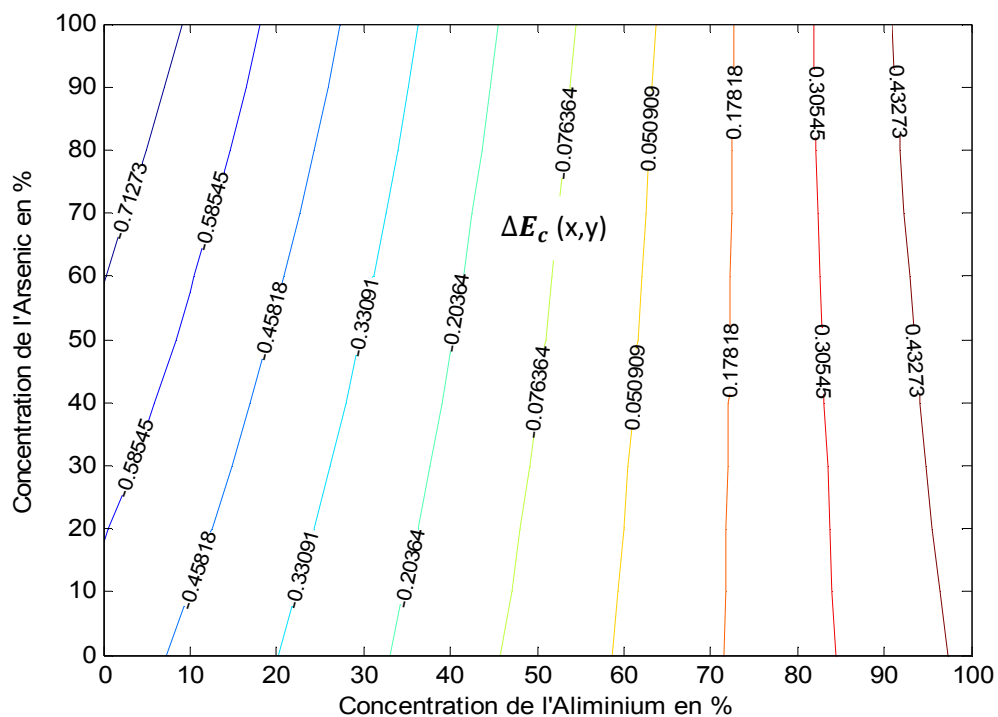


Figure 3.5: l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de conduction entre l' $AllnAsSb$ et $InAs$

D'après la figure au dessus et pour $x=10\%$ on a $\Delta E_c = -0.61\text{ev}$ et pour $x=70\%$ on a $\Delta E_c = 0.14\text{ev}$ ça pour l'aluminium mais pour l'arsenic, lorsque $x=20\%$ et $y=90\%$, $\Delta E_c = -0.53\text{ev}$ et pour même concentration de x et $y=70\%$ on a $\Delta E_c = -0.49\text{ev}$. Nous constatons que le décalage de bande de conduction ΔE_c croit avec l'augmentation de la concentration d'aluminium et diminue avec l'augmentation d'arsenic.

b. Pour la couche GaSb :

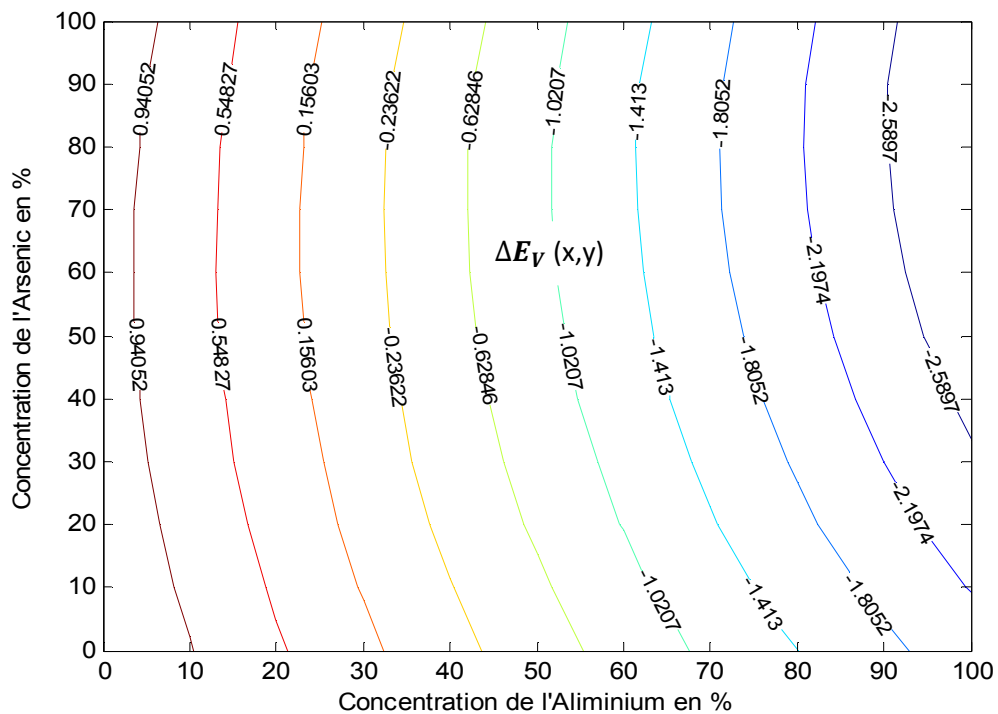


Figure 3.6 : l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de valence entre le AlInAsSb et GaSb

La figure (3.6.c) montre la courbe de la différence de bande de valence entre AlInAsSb et GaSb en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic. Pour $x=30\%$ on a $\Delta E_v = -0.36\text{ev}$; et pour $x=70\%$ on a $\Delta E_v = 0.14\text{ev}$ alors quand l'aluminium augmente ΔE_v augmente et l'inverse pour l'arsenic puisque ΔE_v diminue avec l'augmentation de l'arsenic.

On a tracé également dans la figure (3.7) l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande de conduction entre l'AlInAsSb et GaSb.

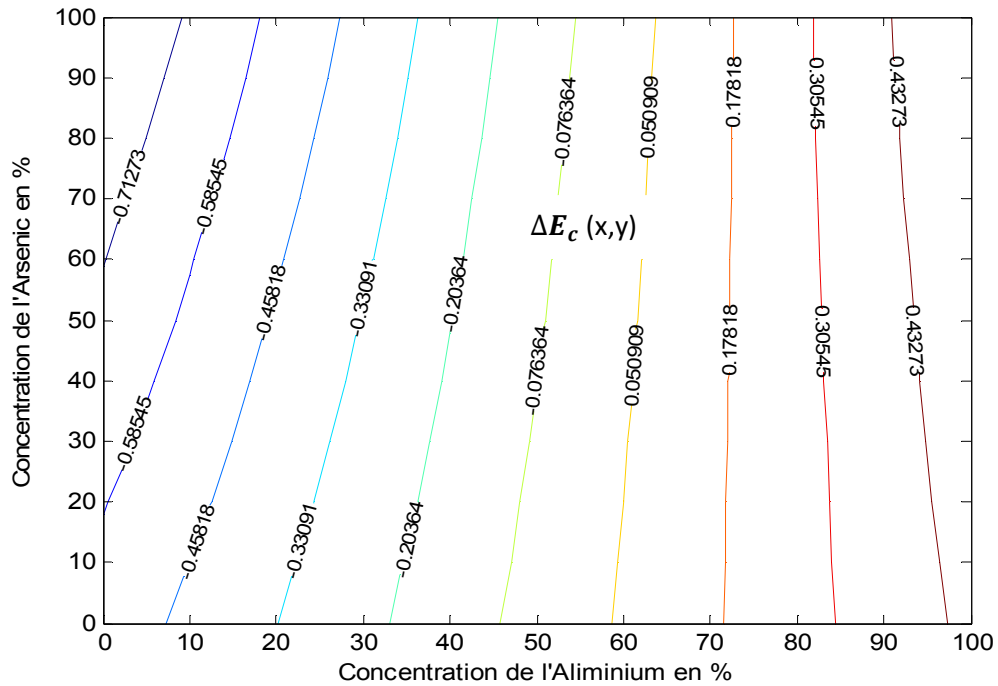


Figure 3.7 : l'influence de la concentration d'aluminium et d'arsenic sur la différence de bande conduction entre le AlInAsSb et GaSb

D'après la simulation présentée dans la figure (3.7), on constate que l'aluminium croit la différence entre la bande de conduction et l'arsenic la diminue.

3.2.2 Paramètres essentiels caractérisant une cellule solaire :

a. Le photocourant J_{ph} :

Dans la simulation nous avons fixé la densité des donneurs dans le AlInAsSb $N_d = 5 * 10^{15} \text{cm}^{-3}$ et la densité des accepteurs dans le InAs et GaSb à

$$N_a = 2.5 * 10^{10} \text{cm}^{-3}$$

Le photocourant J_{ph} [20][21] :

$$I_{ph} = q \times \Phi \left[1 - \frac{e^{-\alpha w}}{1 + \alpha w} \right] \quad (3.3)$$

Ou

q : Charge élémentaire ($q=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$).

V : Tension aux bornes de la jonction.

k : Constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J.K}^{-1}$).

Φ : Flux incident.

T : Température en (K).

$$\Phi = q * G_{lum}$$

G= le taux de génération de paires électron –trou

$$G_{lum} = \frac{\alpha \times P_{lum}(L)}{h\nu} = \alpha \times \Phi_0 \quad (3.4)$$

Avec :

Φ_0 : est la densité du flux photonique au point L (en $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).

a. Pour la couche GaSb

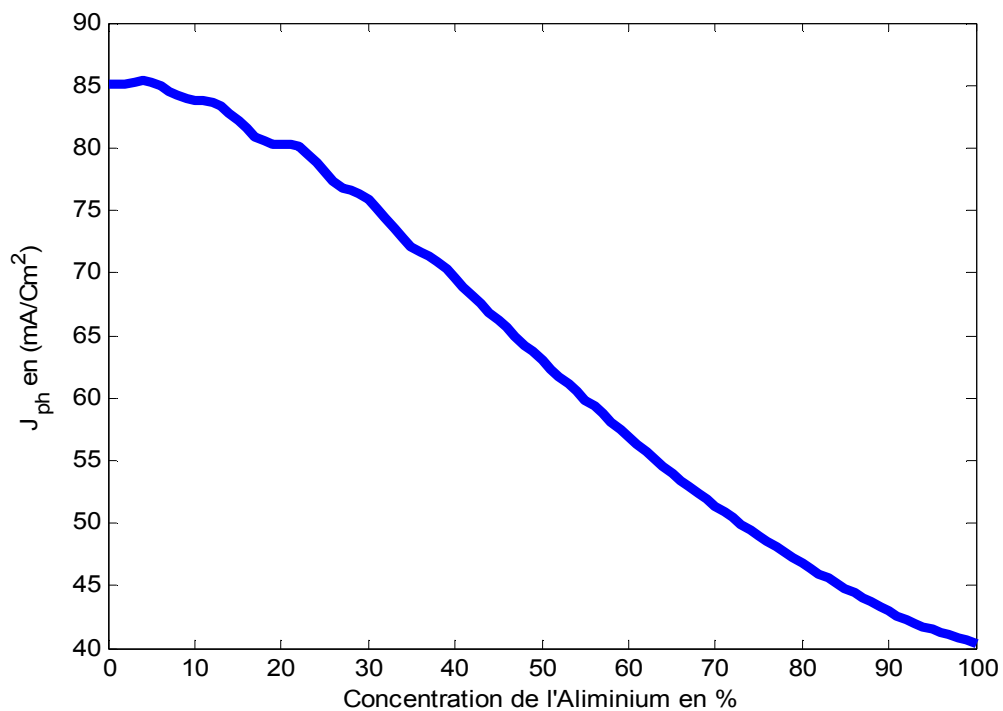


Figure 3.8 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$

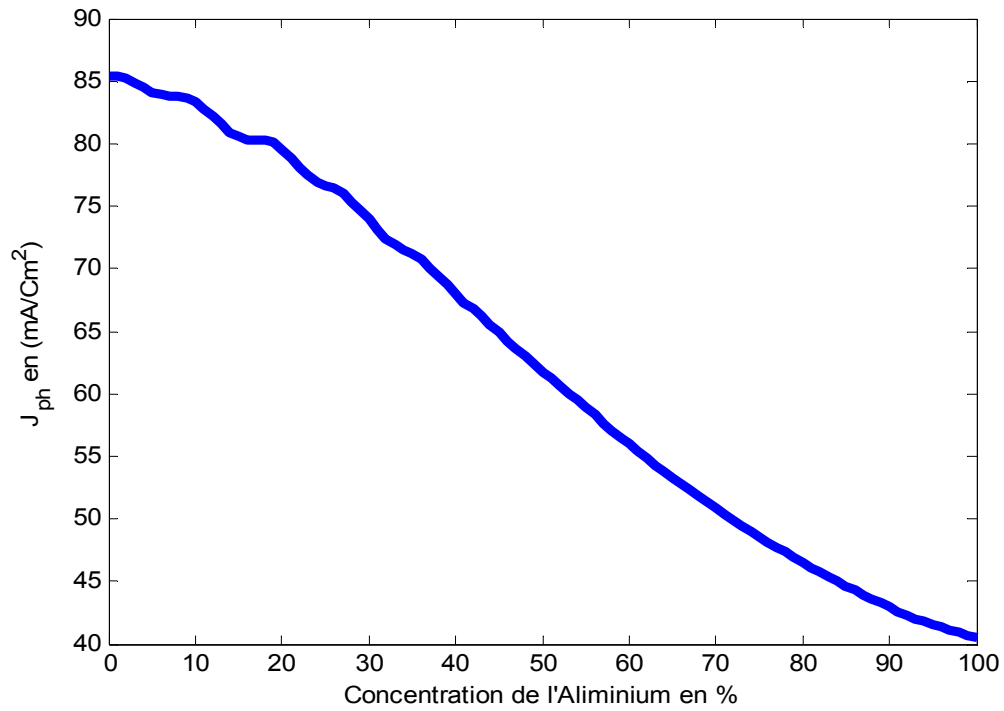


Figure 3.9 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$

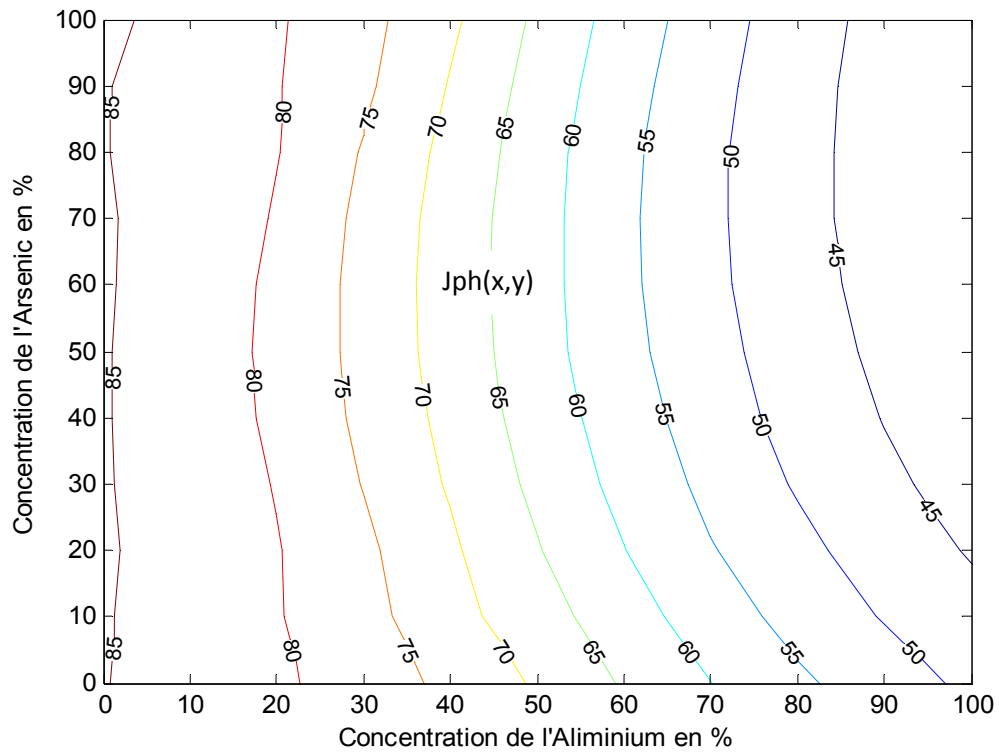


Figure 3.10: Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$

b. Pour la couche InAs

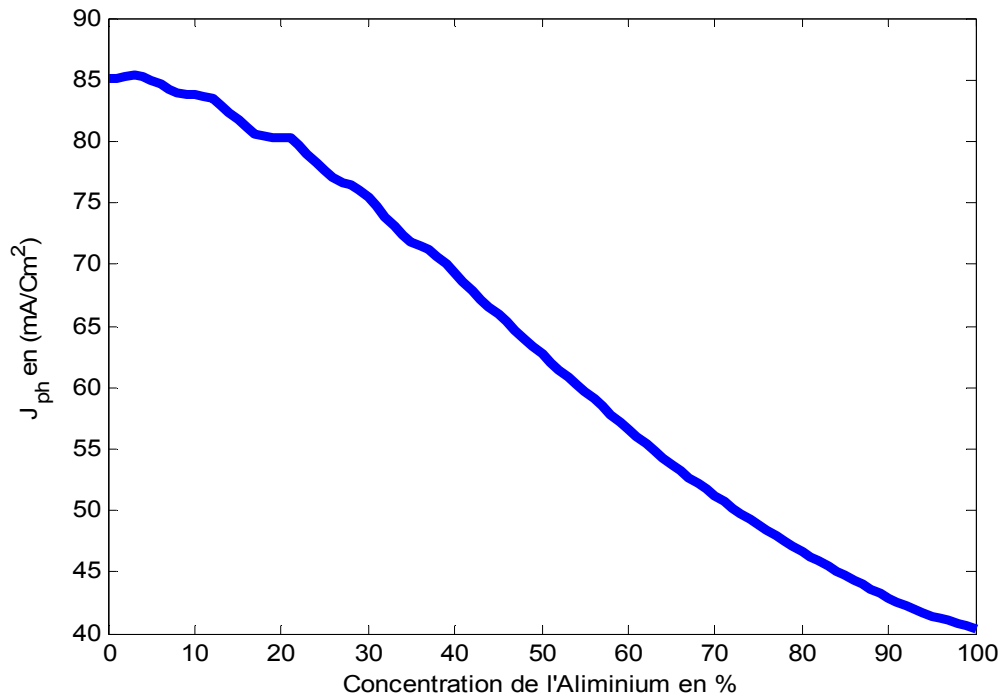


Figure 3.11 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$

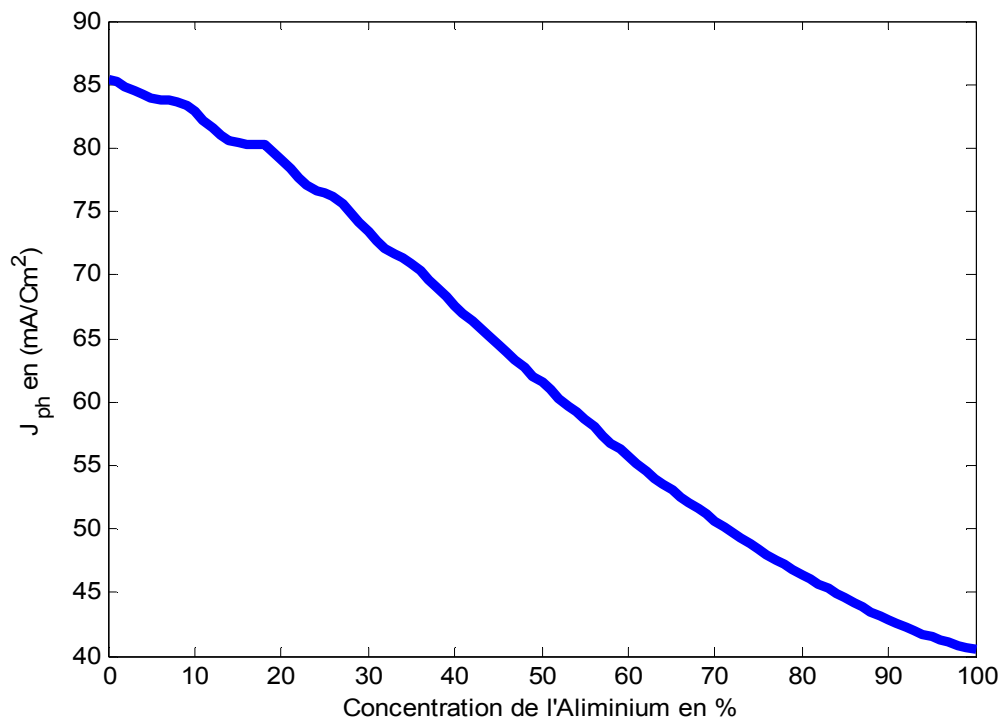


Figure 3.12 : Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$

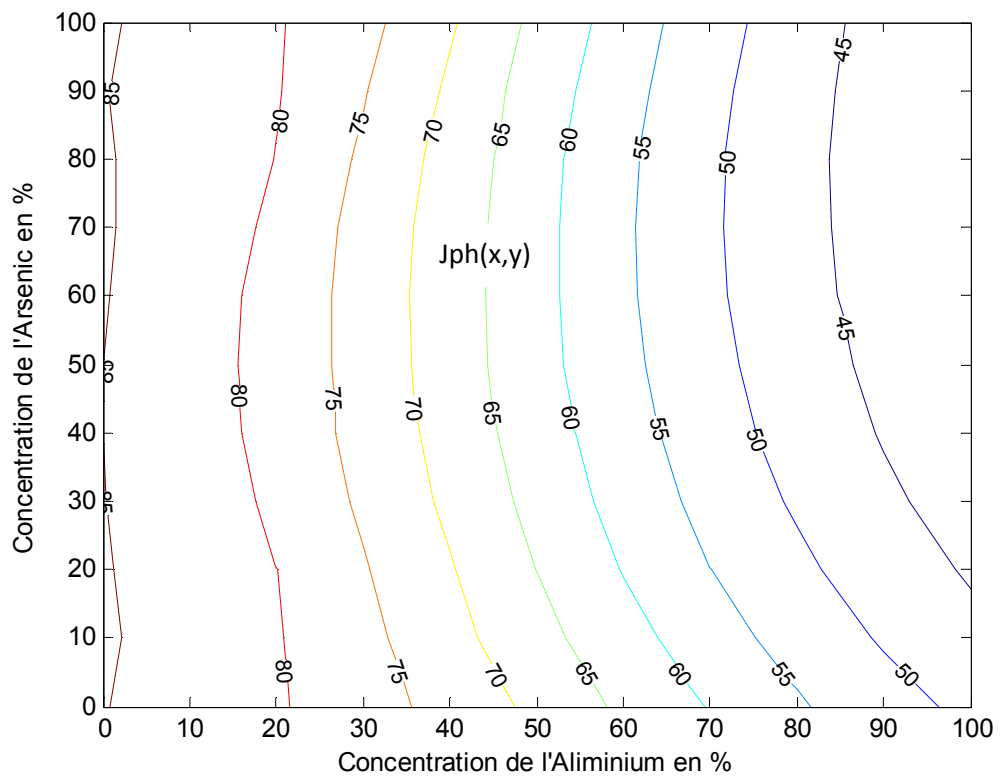


Figure 3.13: Variation de photocourant en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$

b. Tension de circuit ouvert :

Le programme développé sur MATLAB, correspond au calcul la tension de circuit ouvert de la cellule solaire pour plusieurs concentrations d'aluminium et l'arsenic.

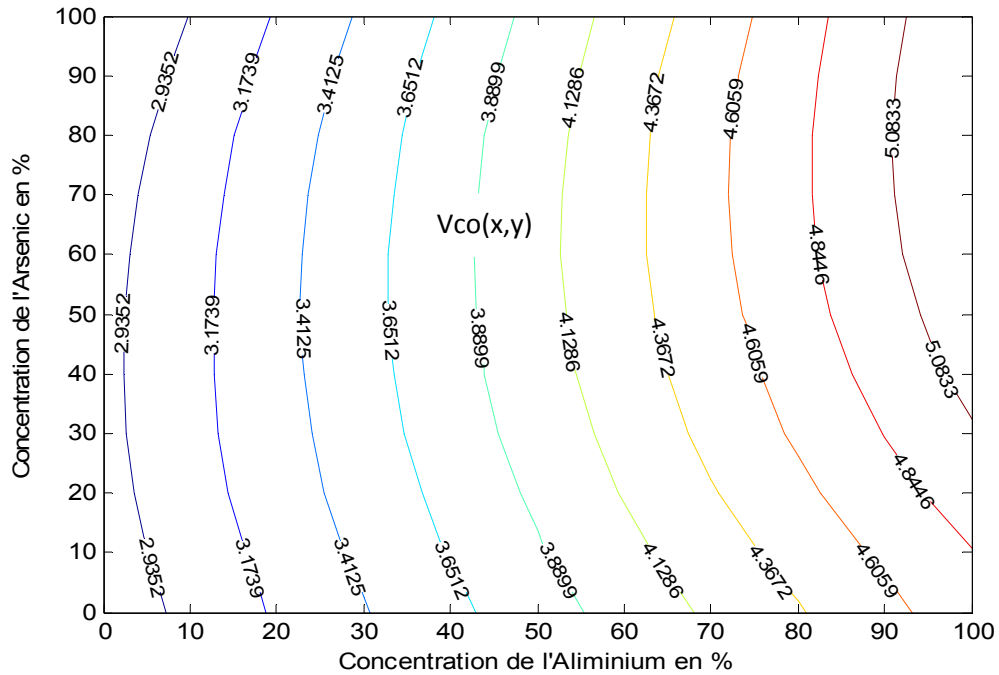


Figure 3.14 variation de la tension de circuit ouvert en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$

L'aluminium augmente la tension de circuit ouvert, puisque pour une concentration d'aluminium =20% on a un $V_{co}=3.3\text{ev}$ et pour une concentration =70%, $V_{co}=4.53\text{ev}$.

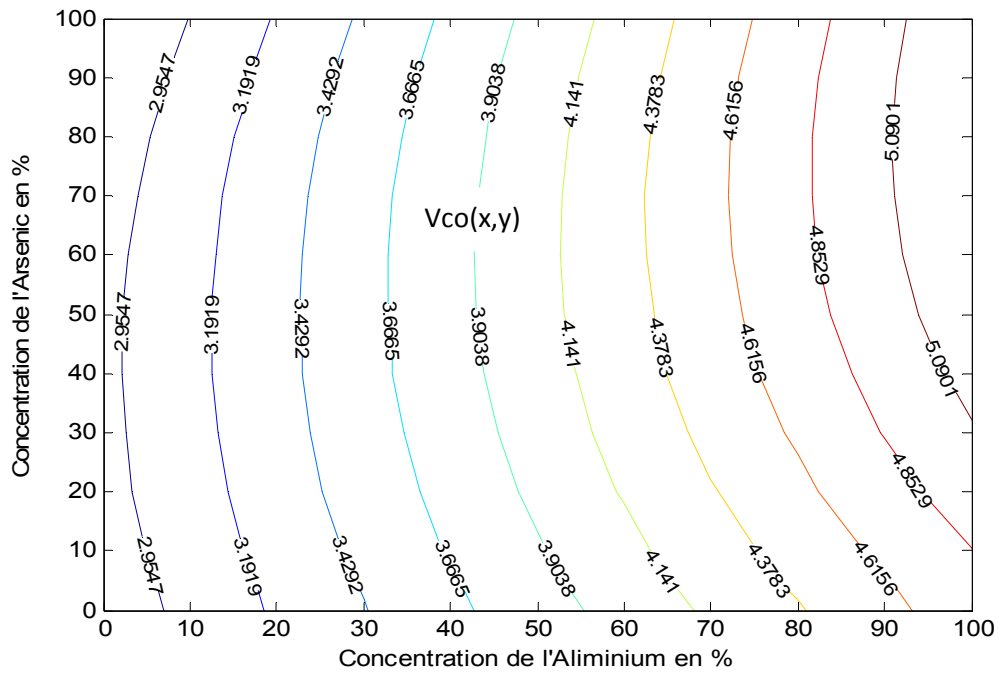


Figure 3.15: Variation de la tension de circuit ouvert en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic de $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$

Les figures (3.14) et (3.15) illustrent les résultats de simulation de la tension de circuit ouvert V_{CO} en fonction de la concentration d'aluminium et la concentration d'arsenic. On observe une amélioration remarquable de la tension de circuit ouvert de la cellule. Cette amélioration est liée à la réduction du courant thermoélectronique.

c. Caractéristique courant- tension :

Les figure (3.16), (3.17), (3.18) et (3.19) illustrent la simulation de la caractéristique courant- tension $j = f(V)$ de la cellule solaire étudiée pour plusieurs concentrations d'aluminium et pour des concentrations d'arsenic égale à 70% et 90% pour les structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ et $In_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$

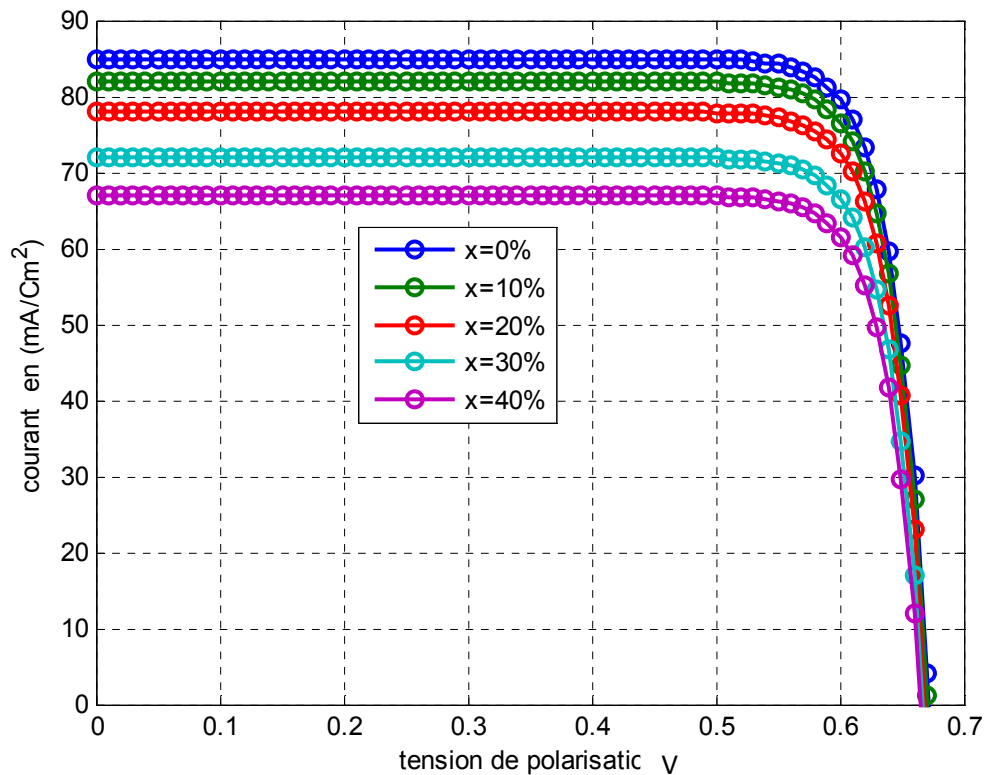


Figure 3.16 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ pour différentes valeurs de x

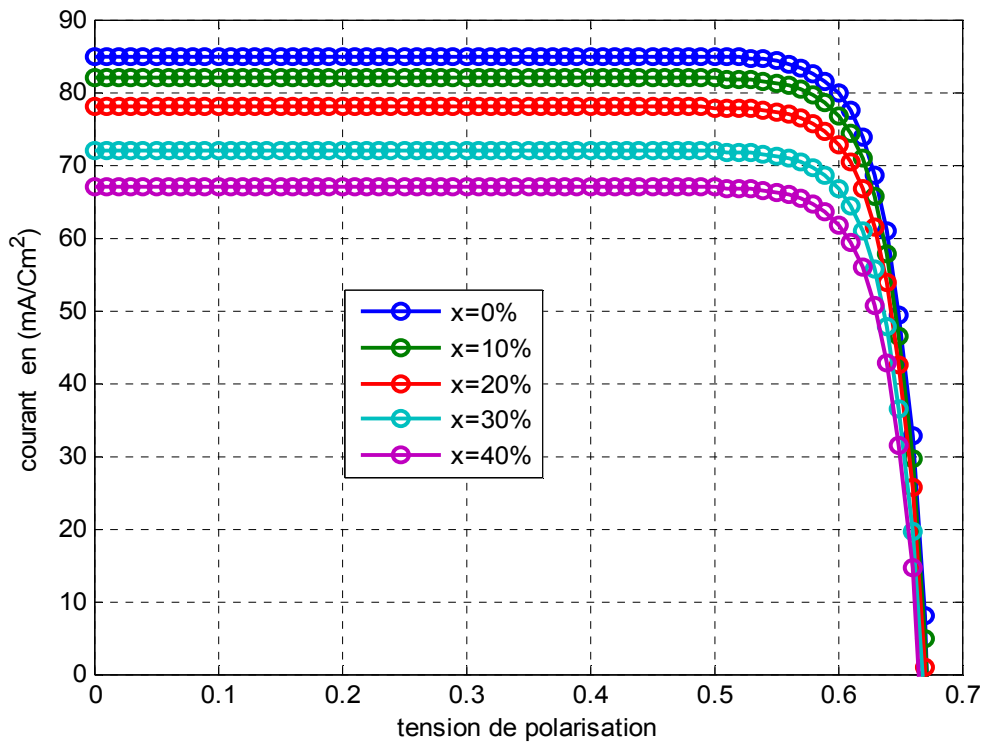


Figure 3.17 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ pour différentes valeurs de x

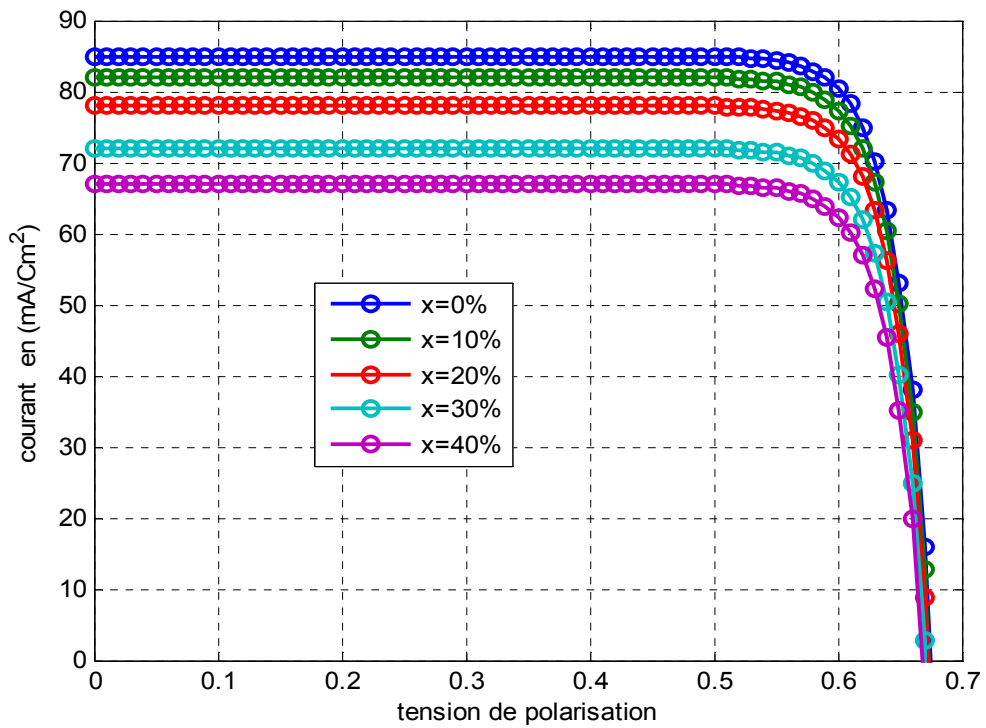


Figure 3.18 : Caractéristique courant tension de la cellule $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ pour différentes valeurs de x

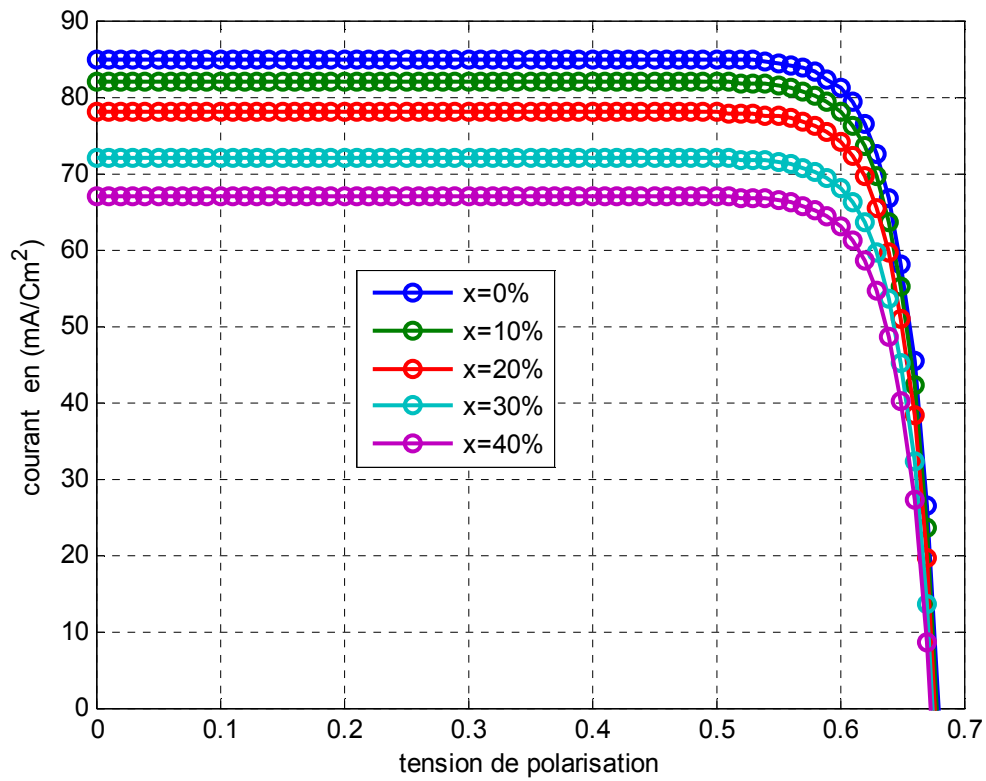


Figure 3.19 : Caractéristique courant tension de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ pour différentes valeurs de x.

Avec la diminution de la concentration d'aluminium et pour des concentrations d'arsenic égale a 70% et 90%, on observe une amélioration de la caractéristique de la cellule. Ce qui implique une amélioration de la puissance délivrée par la cellule, comme il est montré par les figure (3.20), (3.21), (3.22) et (3.23) pour les deux structures $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ et $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$.

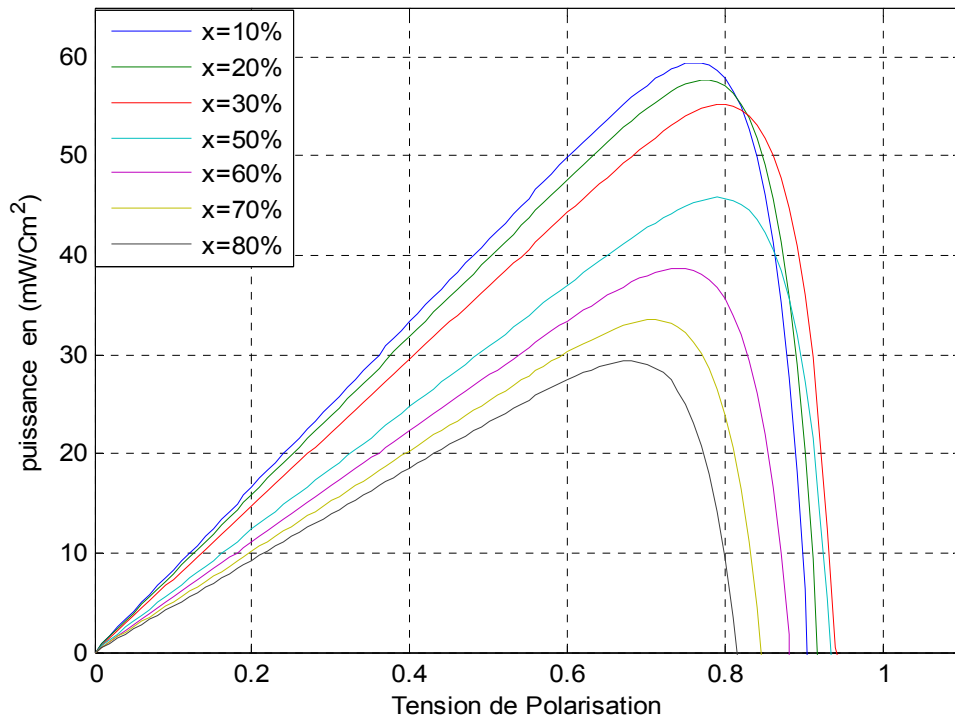


Figure 3.20 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$.

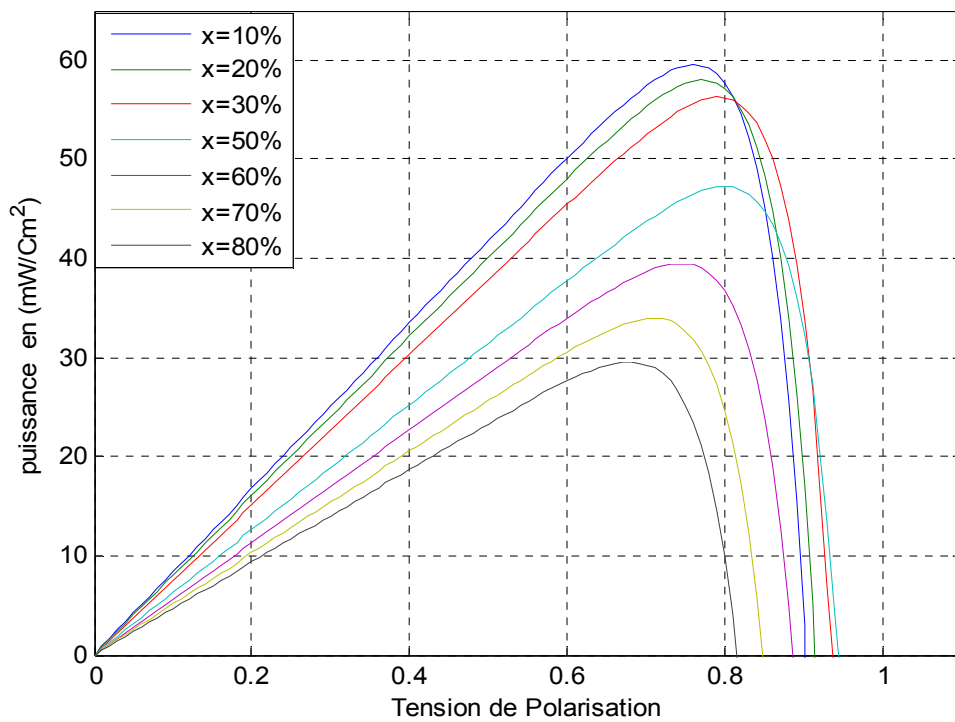


Figure 3.21 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$

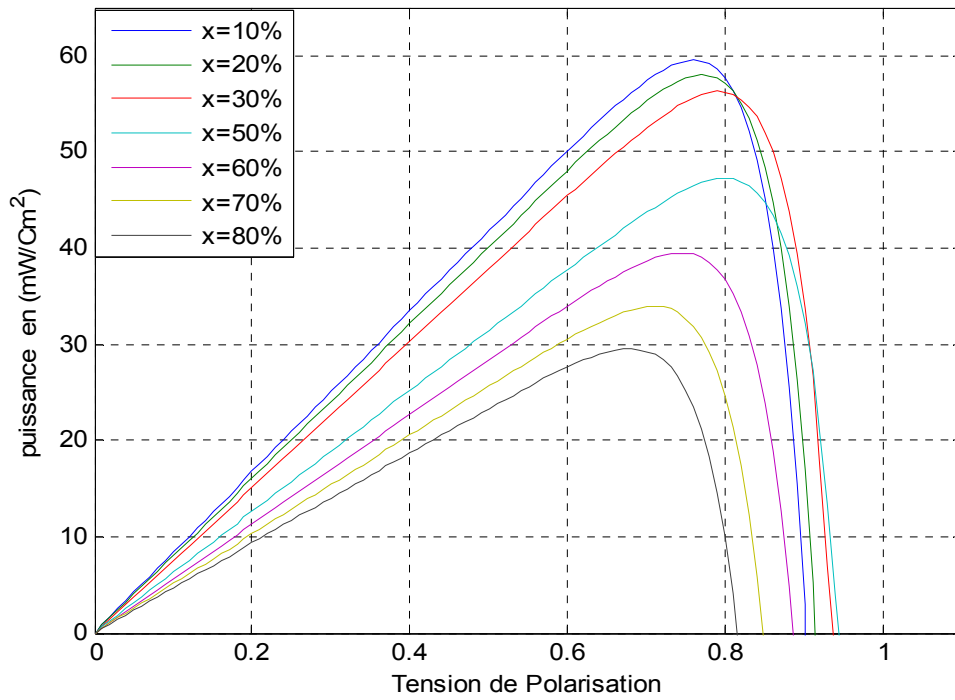


Figure 3.22 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$

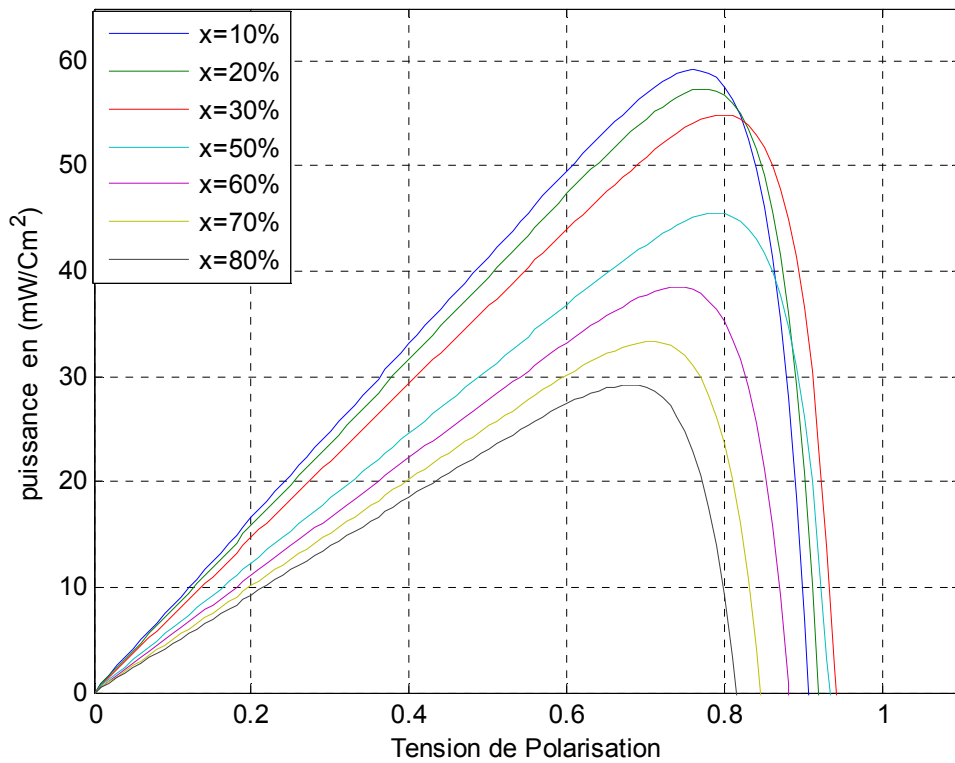


Figure 3.23 : Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$

Les figures (3 .19) a (3 .23) represente Puissance délivrée par la cellule pour plusieurs concentrations d'aluminium pour la structure AllnAsSb /InAs et AllnAsSb/GaSb on remarque qui il ya une ameliration ramarquable avec la dimunition de la concentration d'aluminum cette c'est-à-dire on a la génération des pair electrons-trous qui interpréte cette amelioration .

d. Facteur de forme :

Dans le cas d'une cellule idéale le facteur de forme ne peut pas être supérieur à 0.89 de fait de la relation exponentielle liant courant et tension.

Ce paramètre dépend de la conception de la cellule, de la qualité de la jonction PN, du matériau utilisé et de la résistivité des contacts métalliques.

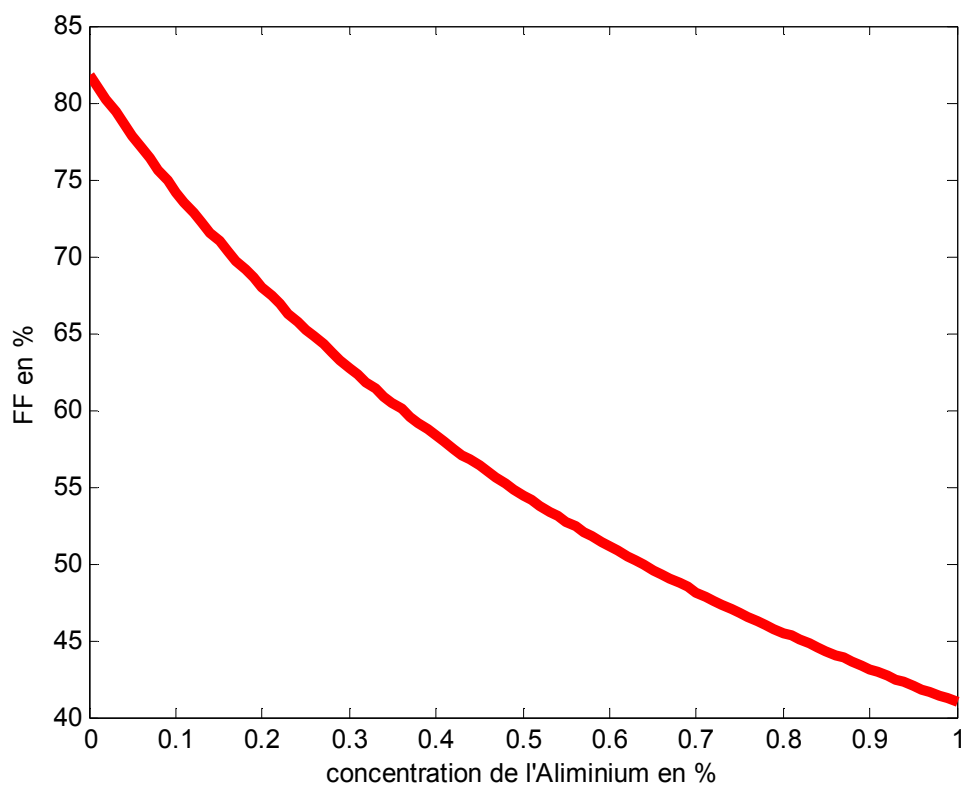


Figure 3.24 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium

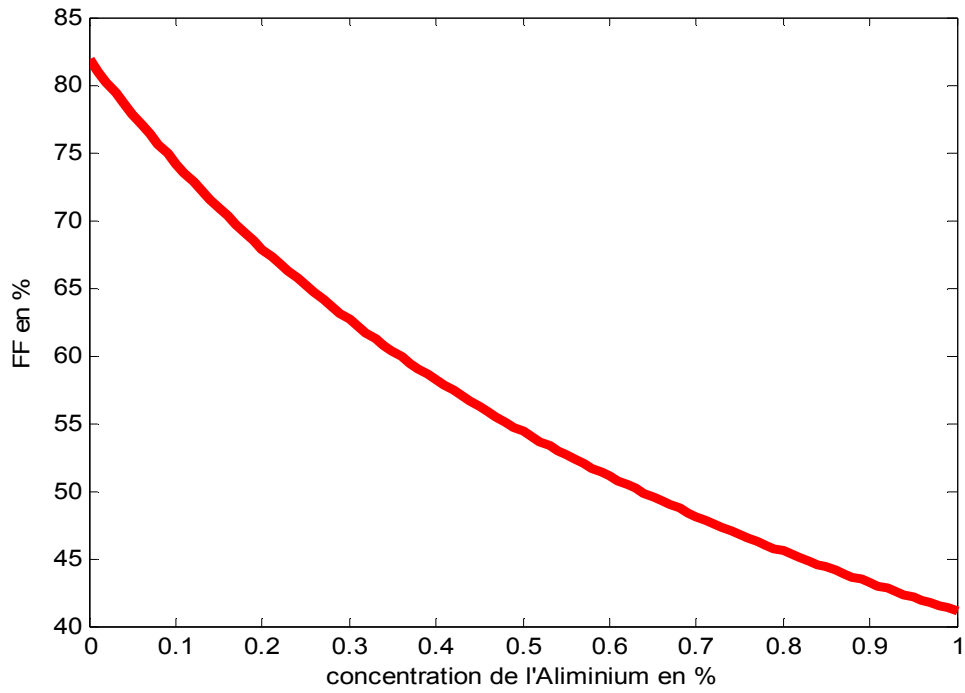


Figure 3.25 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium

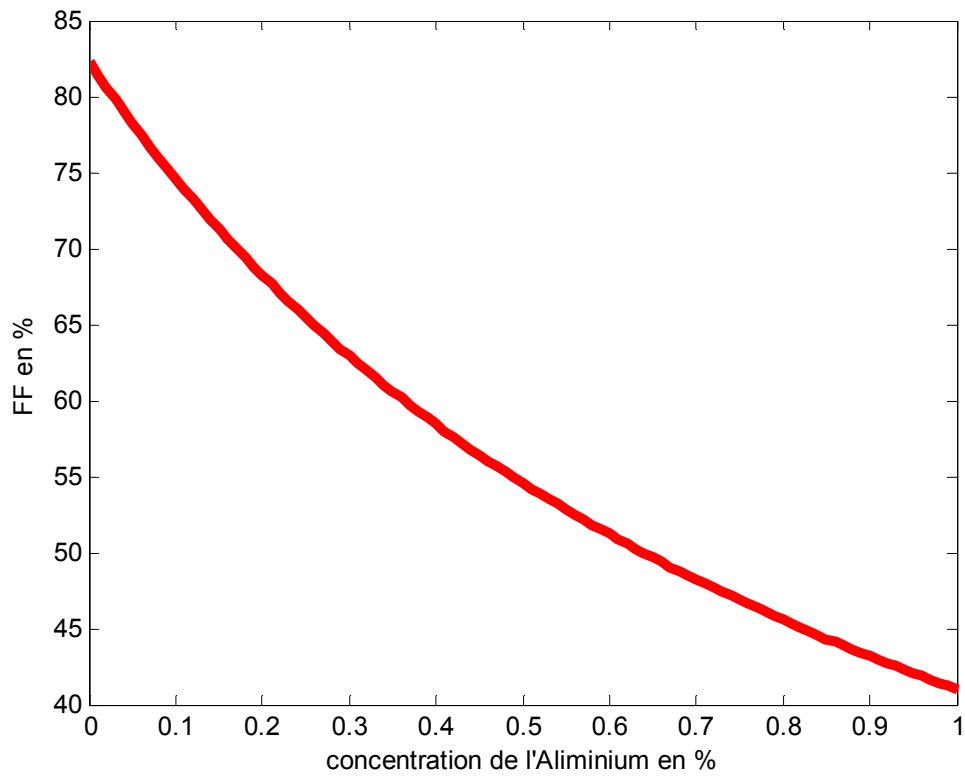


Figure 3.26 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium

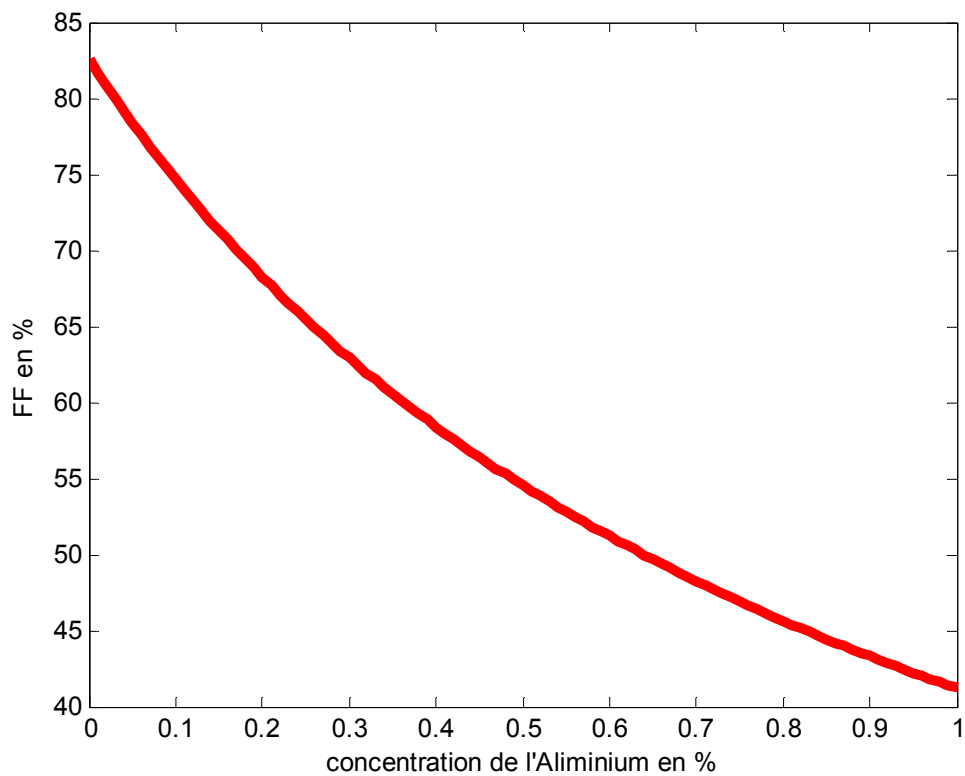


Figure 3.27 : Représentation du facteur de forme de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium

Les figures (3.24), (3.25), (3.26) et (3.27) montrent les variations du facteur de forme pour les deux structure $AllnAsSb /GaSb$ $AllnAsSb /InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium et pour différents valeurs de la concentration d'arsenic

e. Le rendement :

Le plus important qui caractérisant la cellule photovoltaïque est le rendement, il est illustré dans les figures suivantes en fonction de la concentration d'aluminium et d'arsenic.

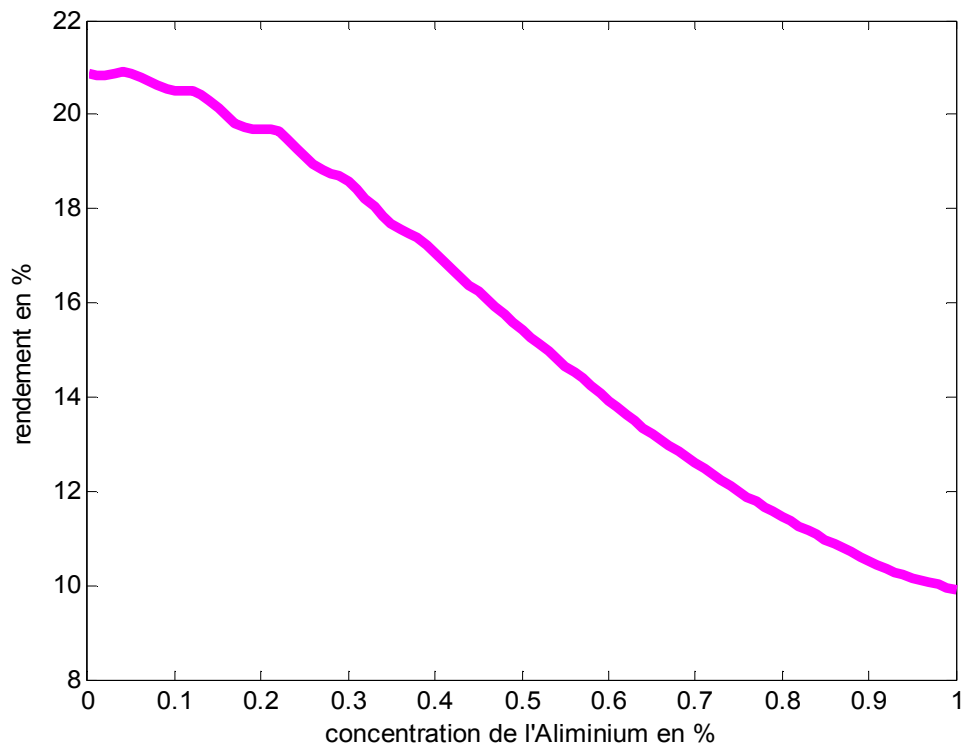


Figure 3.28 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium

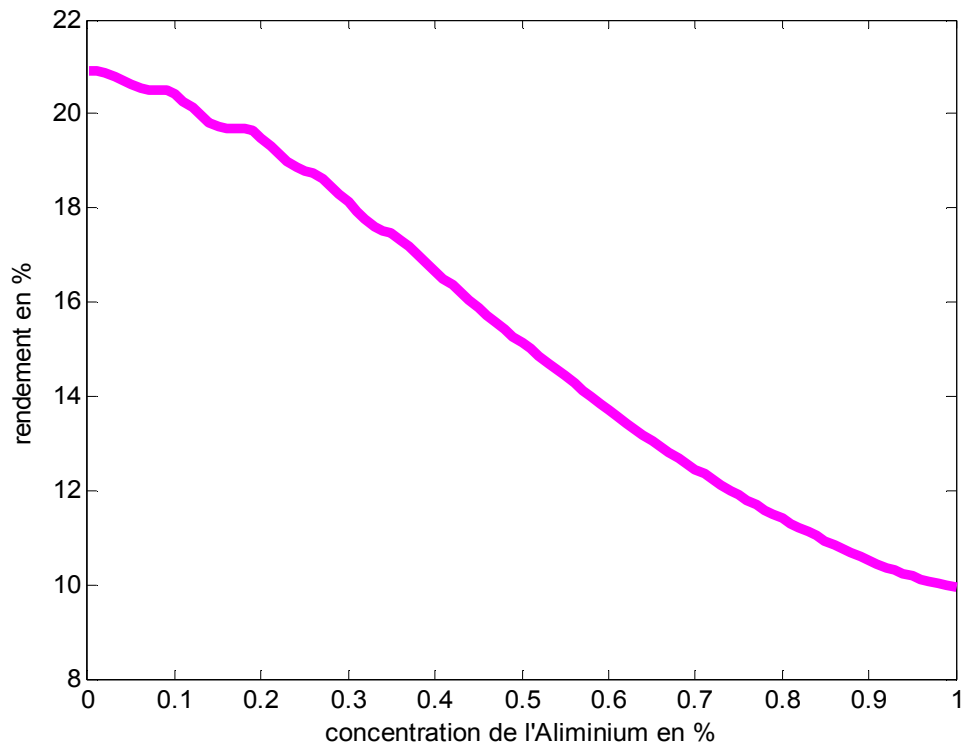


Figure 3.29 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/GaSb$ en fonction de la concentration d'aluminium

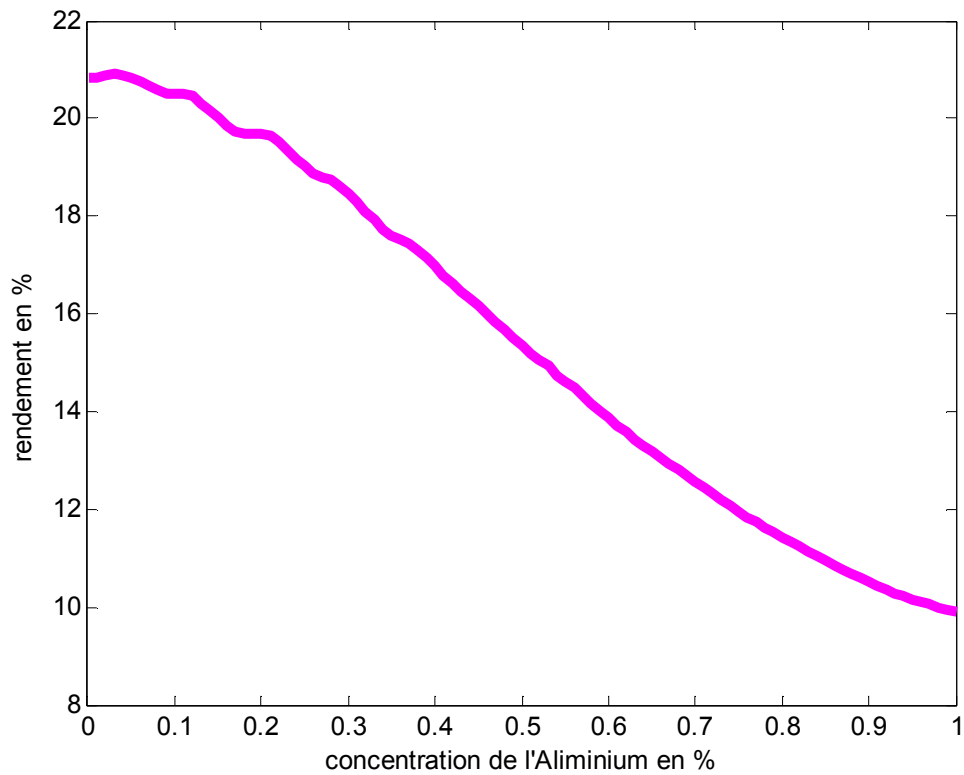


Figure 3.30 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.9}Sb_{0.1}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium

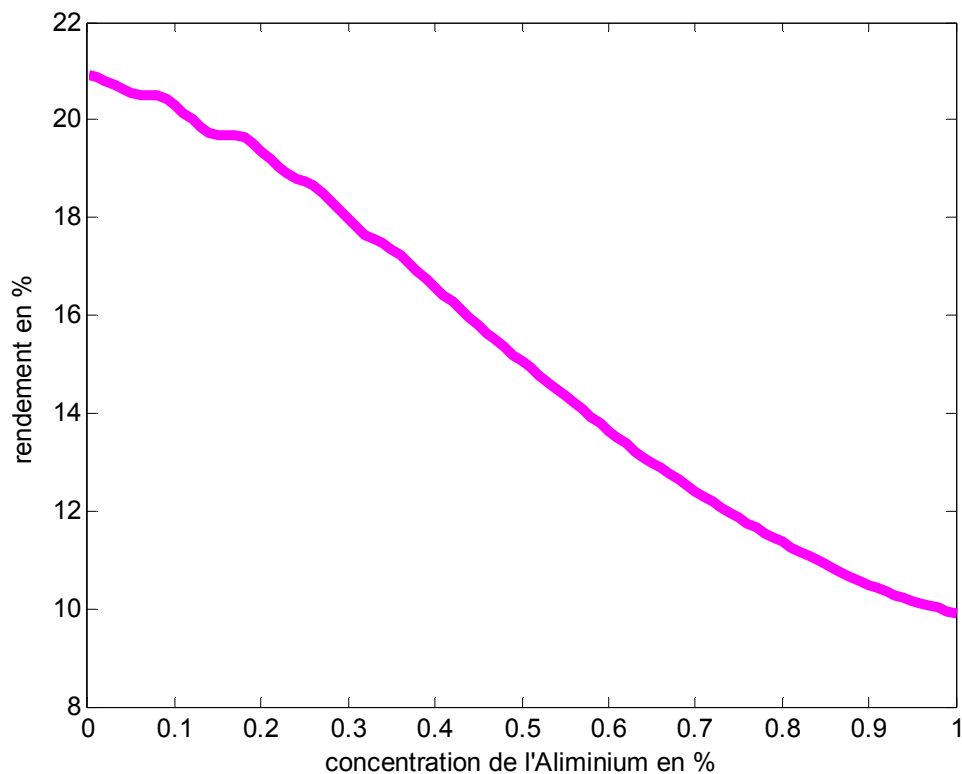


Figure 3.31 : Représentation du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_{0.7}Sb_{0.3}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium

Les figure (3.28), (3.29), (3.30) et (3.31) montrent les variations du rendement de la structure $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ et $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$ en fonction de la concentration d'aluminium pour une concentration d'arsenic égale à 90% et 70% le rendement de conversion est diminué avec l'augmentation de la concentration de l'aluminium

On a travaillé dans notre sujet avec deux couches différent « InAs » et « GaSb » et d'après le rendement nous avons trouvé qu'il n'y a pas une différence important entre les deux couches car ils ont presque le même rendement.

3.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous sommes intéressés à la détermination des concentrations optimales de la concentration de l'aluminium et l'arsenic

un rendement de conversion maximale est obtenu avec une concentration d'aluminium égal à 3% et une concentration d'arsenic varie de 70% à 90% de la structure AlInAsSb /InAs .donne des résultats concluants avec un rendement égal à 20.92%, et un facteur de forme FF égal à 82%

pour la structure AlInAsSb /GaSb on a obtenus un rendement égal 20.92% pour une concentration d'aluminium égal à 4%

Pour les couche GaSb et InAs on a obtenue des résultats identiques mais reste le coût de GaSb moins cher que InAs.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié la structure d'une cellule photovoltaïque. L'étude a porté sur une structure à bas de semiconducteur $AlInAsSb/GaSb/InAs$.

Dans un premier temps, nous avons présenté le principe de fonctionnement des cellules solaires et les différents facteurs de perte limitant le rendement de conversion.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié l'influence de la concentration d'aluminium et l'arsenic sur les différents paramètres physiques de l'alliage, et la contrainte entre les deux semi-conducteurs $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/GaSb$ et $Al_xIn_{(1-x)}As_ySb_{(1-y)}/InAs$. Les résultats de simulations qui ont été faites pour le gap, le coefficient d'absorption, et l'épaisseur critique favorisent la contrainte compressive, particulièrement pour une concentration d'aluminium $[0, x_0]$, le x_0 qui correspond la concentration d'aluminium pour un accord de maille et pour des valeur fixe de l'arsenic compris entre 70% et 90%.

Le troisième chapitre, présente la détermination de l'influence de la la concentration d'aluminium sur la couche $AlInAsSb/InAs$ et $AlInAsSb/GaSb$ sur les caractéristique de la cellule pour des concentration d'rsenic fixe , d'autre part l'augmentation de la concentration d'aluminium provoque une diminution du rendement de conversion s'explique par la diminution du photocourant . Une amélioration de la caractéristique courant-tension avec la diminution de la concentration d'aluminium dans l'alliage $AlInAsSb/InAs$ et $AlInAsSb/GaSb$, entraine une augmentation de la puissance délivré par la cellule photovoltaïque qui améliore le facteur de forme, donc une amélioration du rendement de conversion.

Les simulations qui ont été faites dans la thèse permettent d'optimiser la concentration d'aluminium à 3% pour des concentrations d'arsenic variant de 70% à 90% pour obtenir un rendement de conversion maximal égal à 20.92%. Pour la structure AlInAsSb /InAs, aussi on a obtenu la même valeur de rendement pour la structure AlInAsSb /GaSb mais avec une concentration d'aluminium égale à 4%

D'après ces résultats on peut choisir la structure AlInAsSb /GaSb parce que c'est disponible et moins chère que le InAs

1. Caractéristique des matériaux massifs:

Il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres physiques caractéristique des matériaux utilisés dans cette thèse. Ces paramètres récapitulés pour les principaux binaires dans le tableau ci-dessous.

Matériau	InAs	GaSb	AlSb	AlAs	InSb
a (nm)	6.0584	6.0954	6.1355	5.6622	6.0954
E_g (eV)	0.365	0.725	2.3	3.02	0.725
Δ_{SO} (eV)	0.380	0.8	0.67	0.3	0.8
C_{11} (10^{11} dy/cm ²)	8.33	8.84	8.80	12.5	8.84
C_{12} (10^{11} dyn/cm ²)	4.53	4.03	4.30	5.30	4.03
a_v (eV)	1.00	0.79	1.38	2.47	0.36
a_c (eV)	-5.08	-6.85	-6.97	-5.64	-6.17

Tableau A.1 : Paramètres physiques fondamentaux des principaux binaires III-V pour les alliages quaternaires, les paramètres a , Δ_{SO} , C_{11} , C_{12} , a_v et a_c

Sont déterminés à partir de la relation de la loi de Végard (interpolation).

2. Epitaxie:

L'épitaxie est une étape technologique consistant à faire croître du cristal sur du cristal. Étymologiquement, « épi » signifie sur et « Taxie » arrangement. La technique va donc consister à utiliser le substrat comme germe cristallin de croissance et à faire croître la couche par un apport d'éléments constituant la nouvelle couche.

3. Tableau périodique de Mendeleïev :

Le tableau périodique de Mendeleïev est présenté avec une légende explicative pour la structure d'une case :

- Z** : Numéro atomique
- M** : Masse molaire atomique (g.mol⁻¹)
- X** : Symbole atomique
- Famille** : Famille
- Nom** : Nom

Le tableau est divisé en plusieurs sections :

- Tableau principal** : Éléments de la 1^{ère} à la 7^{ème} période.
- Tableau des lanthanides** : Éléments de la 6^{ème} et 7^{ème} périodes (Ce à Lu).
- Tableau des actinides** : Éléments de la 7^{ème} période (Th à Lw).

Chaque case du tableau contient le numéro atomique, le symbole chimique, le nom de l'élément et sa masse molaire atomique.

Bibliographie

- [1] : Makhoulouf messaoud « Etude et simulation d'une modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage », Université Mentouri Constantine (2006)
- [2] : Assia Bouraiou « Elaboration et caractérisation des couches minces CuInSepar électrodéposition. » Université Mentouri Constantine (2009).
- [3] : Rémi de Bettignies « Cellules photovoltaïque organiques dérivée de nouveaux système conjugués » Université d'Angers 2003.
- [4] : Allaoui Abdelmadjid « simulation numérique des caractéristiques électriques des cellules solaires en GaAs » UNIVERSITE DE BECHAR (2009).
- [5] : Hadj Ahmed Khaled « Etude et simulation d'une structure à base de GaAsN/GaAs pour le Photovoltaïque » Université saad dahleb de blida.
- [6] : Sari-Ali et al « étude de la jonction PN d'un semi-conducteur a l'équilibre thermodynamique » Journal of Electron Devices, Vol. 5, 2007, pp. 122-126.
- [7] : Malika Madani « réalisation des couche antireflets dans les cellules solaire a couche mince » Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen (2006).
- [8] : zighed lilia « Etude de l'influence de nouveaux films antiréfléchissante sur la conversion photovoltaïque » université é de Constantine(2007).
- [9] : Bestam Rachid « Modélisation et Simulation d'une Structure à base de Semiconducteur III-V pour le Photovoltaïque » Université Saad dahleb de Blida.
- [10] : Dehimi Said « Etude de laser a base des composés semi-conducteurs (InP, GaAs, GaP) » Université El-Hadj Lakhder – Batna (2011).

- [11]: Sadao Adachi «properties of semiconductor alloys group-IV, III-V and II-VI Semiconductors» 2009.
- [12]: Estelle Mairiaux « Développement d'une nouvelle filière de transistor bipolaires à hétérojonction AlIn(As)Sb/GaInSb en vue applications térahertz » Université de lille(2010).
- [13]: Abderrachid BECHIRI « EFFETS DU DESORDRE ET DU SUBSTRAT SUR LA STRUCTURE ELECTRONIQUE DANS LES ALLIAGES SEMI-CONDUCTEURS III-V » UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE (2006).
- [14]: BARKA FATIHA «la corrélation entre l'ionisation les facteurs de forme symétriques et antisymétriques dans les semi-conducteurs » université Mohamed Boudiaf de M'Sila (2004).
- [15]: BENZAYED Adel « Etude et simulation d'une structure d'un Photodétecteur à base de InGaAs » Université de Blida (2010).
- [16]: Bethoux, J.-M., "Relaxation des Contraintes dans les Hétérostructures Epaissees (Al,Ga)_n : une Piste Originale pour la Réalisation de Diodes Electroluminescentes à Cavité Résonante", Université de Nice Sophia-Antipolis, (24 septembre 2004).
- [17]: K. Koksai, B. G., "Critical Layer Thickness of GaIn(n)As(sb) qws on GaAs and InP Substrates for (001) and (111) Orientations". the European Physical Journal(5 may 2009), 211–218.
- [18]: Bourouis Imen « étude et simulation d'une structure a base de GaInNaS/GaAs pour le photovoltaïque » université de Blida 2011.
- [19] Castafier, T. M., "Solar Cells: Materials Manufacture and Operation", Elsevier ,(2005).
- [20] Samira, B., "Etude des Paramètres Limitant le Rendement d'une Photopile à base d'une Structure MIS", Université Hadj Lakhdar de batna, (2009).
- [21] Liulei, C. N., "Temperature Dependent Spectral Response Characteristic of III-V Compound Tandem Cell", Chinese Science Bulletin, (february 2009), p 353-357.