

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 Master

Filière ELECTRONIQUE  
OPTION : MICROELECTRONIQUE

présenté par

BAHA HAROUNE

---

# Optimisation d'absorption intrabande de la structure $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$

---

Promotrice:

M<sup>me</sup>. Chenini Lynda

Co-promoteur :

M<sup>r</sup>. Aissat Abdelkader

2021-2022

# Remerciements

Avant tout je tiens à remercier Allah de m'avoir guidé et accordé sa sauvegarde pour mener à terme ce modeste travail.

Je tiens à remercier également mes parents pour tous les sacrifices qu'ils ont voulu bien consentir à mon égard tout le long de mon cursus universitaire.

Aussi, j'adresse et en particulier, mes vifs remerciements les plus chaleureux à mes deux encadreur M<sup>me</sup> L. CHENINI et M<sup>r</sup> A. AISSAT de m'avoir encadré et accordé leur entière disponibilité d'une part, et de m'avoir orienté par leurs précieux conseils, qui été d'un très grand apport.

D'autre part, je remercie les membres de jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants de l'université Saad Dahleb Blida et particulièrement à ceux du département de Génie Electrique.

Sans oublier en dernier, mes remerciements à tous mes amis pour leur aide et leurs encouragements.

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude des propriétés optoélectroniques des structures  $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$  à puits quantique. Il s'agit plus précisément d'évaluer l'influence de l'incorporation d'aluminium sur la structure de bande et les différentes propriétés optoélectroniques. On a d'abord étudié le paramètre de maille, la contrainte, l'épaisseur critique, l'énergie de bande interdite ainsi que d'autres propriétés qui figurent dans ce travail. Ensuite, nous avons étudié l'influence de l'ajout d'Aluminium sur le coefficient de l'absorption intrabande.

### Mots clés :

$Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$ , optoélectronique, absorption, intrabande.

## Abstract

This work focuses on the study of the optoelectronic properties of  $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$  quantum well structures. It is more precisely, a question of evaluating the influence of the incorporation of aluminum on the band structure and the different optoelectronic properties. We first studied the lattice parameter, strain, critical thickness, the band gap energy and other properties that appear in this work. Then, we studied the influence of the addition of Aluminum on the coefficient of the intraband absorption.

### Key words:

$Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$ , optoelectronic, absorption, intraband.

## ملخص

يركز هذا العمل على دراسة الخصائص الكهروضوئية لهياكل الآبار الكمومية  $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$ . إنها بشكل أكثر دقة ، مسألة تقييم تأثير دمج الألومنيوم على هيكل النطاق والخصائص الكهروضوئية المختلفة. درسنا أولاً ثابت الشبكة، الانفعال ، السمك الحرج ، طاقة فجوة النطاق وغيرها من الخصائص التي تظهر في هذا العمل. ثم درسنا تأثير إضافة الألمنيوم على معامل الامتصاص الداخلي.

### الكلمات الدالة:

$Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$  ، الكهروضوئي ، امتصاص.

## Listes des acronymes et abréviations

$a$  : Paramètre de maille.

$a_e$  : Le paramètre de maille de la couche épitaxie.

$a_c$  : Potentiels hydrostatiques de déformation pour la bande de conduction.

$a_v$  : Potentiels hydrostatiques de déformation pour la bande de valence.

$a_s$  : Le paramètre de maille du substrat.

$Al$  : Aluminium

BC: Bande de conduction.

BV : Bande de valence.

$C_{ij}$  : Les coefficients d'élasticité.

$E_c$  : Energie de la bande conduction.

$E_g$  : Énergie de la bande interdite.

$E_n$  : Energie de quantification.

$E_{tr}$  : Energie de transition.

$E_v$  : Energie de la bande valence.

$E_{v moy}$  : L'énergie moyenne de la bande de valence.

$In$ : Indium.

$hh$ : Trou lourd (Heavy hole).

$k$ : Constante de Boltzmann

$h_c$ : L'épaisseur critique.

$lh$  : Trou léger (Light hole).

$L_p$  : Largeur du puits quantique.

$m_0$ : La masse effective de l'électron.

$Sb$  : Antimoine.

$x$  : Concentration d'Aluminium.

$\lambda$  : Longueur d'onde.

$\varepsilon$  : La déformation ou le désaccord de maille.

$\alpha, \beta$  : Paramètres de Varshni.

# **Table des matières**

Remerciements	
Résumé	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralités</b>	
1.1. Introduction.....	2
1.2. Les matériaux semiconducteurs .....	2
1.3. Les semiconducteurs III-V.....	3
1.4. Système cristallin.....	4
1.5. Paramètre de maille.....	5
1.6 Energie de la bande interdite .....	5
1.7. Masse effective.....	6
1.8. La contrainte.....	6
1.9. L'effet de la contrainte sur la bande d'énergie .....	7
1.10. Epaisseur critique .....	8
1.11. Les puits quantiques .....	8
1.12. Energie de quantification .....	10
1.13. Rayonnement infrarouge .....	11
1.14. Domaine d'application .....	11
1.15. Théorie des transitions intersousbandes .....	12
1.16. Conclusion.....	13
<b>Chapitre 2 : Résultats et discussion</b>	
2.1. Introduction.....	14

2.2. Paramètre de maille .....	14
2.3. Contrainte .....	15
2.4. Epaisseur critique.....	16
2.5. Energie de la bande interdite.....	17
2.6. Effet de la température sur l'énergie de la bande interdite .....	18
2.7. Les alignements des bandes $\Delta E_c$ et $\Delta E_v$ .....	19
2.8. Energie de confinement .....	22
2.9. Energie de transition interbande et longueur d'onde .....	25
2.10. Energie de transition intersousbande et longueur d'onde .....	26
2.11. Coefficient d'absorption intersousbande.....	28
2.12. Conclusion.....	29
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>30</b>

## **Références**

## Liste des figures et tableaux

Figure 1.1 : Diagramme de bandes (isolant/semi-conducteur/conducteur).....	3
Figure 1.2 : Tableau périodique des éléments.....	3
Figure 1.3 : Structure cristallographique de zinc blende.....	4
Figure 1.4 : Structure Wurtzite.....	5
Figure 1.5 : Gap direct et indirect.....	5
Figure 1.6 : Les deux types de déformation.....	7
Figure 1.7 : Effet de la contrainte sur l'énergie de la bande interdite : a) non contraint, b) en compression, c) en tension.....	8
Figure 1.8 : Schéma d'une structure à puits quantique.....	9
Figure 1.9 : Puits quantique : a) type I et b) type II. ....	10
Figure 1.10 : Spectre de la lumière.....	11
Figure 1.11 : Profil d'un puits quantique formé de deux matériaux de gap A et B. A gauche : transition interbande. A droite : transition intersousbande.....	13
Figure 2.1 : Variation du paramètre de maille du matériau AlInSb en fonction de la concentration d'aluminium.....	15
Figure 2.2 : Variations de la contrainte en fonction de la concentration d'aluminium.....	16
Figure 2.3. Variation de l'épaisseur critique de la structure $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$ en fonction de la concentration d'aluminium. ....	17
Figure 2.4. Variation de l'énergie de la bande interdite de la structure $Al_xIn_{1-x}Sb/AlSb$ en fonction de la concentration d'aluminium pour les trois vallées $\Gamma$ , X et L.....	18
Figure 2.5. Effet de la température et la concentration d'aluminium sur l'énergie de la bande interdite.....	19
Figure 2.6. Décalage de la bande de conduction et de la bande de valence de la structure AlInSb/AlSb en fonction de la concentration d'aluminium.....	22
Figure 2.7. Evolution de l'énergie des électrons dans un puits quantique $Al_{0.1}In_{0.9}Sb/AlSb$ en fonction de la largeur du puits.....	23

Figure 2.8. Evolution de l'énergie des électrons dans un puits quantique $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ en fonction de la largeur du puits.....	23
Figure 2.9. Evolution de l'énergie des trous lourds dans un puits quantique $\text{Al}_{0.1}\text{In}_{0.9}\text{Sb}/\text{AlSb}$ en fonction de la largeur du puits.....	24
Figure 2.10. Evolution de l'énergie des trous lourds dans un puits quantique $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ en fonction de la largeur du puits.....	24
Figure 2.11. Evolution de l'énergie de transition interbande dans un puits quantique $\text{AlInSb}/\text{AlSb}$ en fonction de L pour différentes valeurs de concentration d'Al.....	25
Figure 2.12. Evolution de la longueur d'onde d'émission dans un puits quantique $\text{AlInSb}/\text{AlSb}$ en fonction de L pour différentes valeurs d'Al.....	26
Figure 2.13. Energie de transition $E_{21}$ dans le puits quantique $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .....	27
Figure 2.14. Longueur d'onde $\lambda_{21}$ dans le puits quantique $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .....	27
Figure 2.15. Coefficient d'absorption intersousbande dans le puits quantique $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .....	28

## Liste des tableaux

Tableau 2.1. Paramètre de maille des binaires de l'alliage $\text{AlInSb}$ .....	14
Tableau 2.2. Potentiels de déformation pour $\text{AlSb}$ et $\text{InSb}$ .....	20

## Introduction générale

Les transitions intersousbandes sont en opposition avec les transitions interbandes qui auront lieu entre des électrons et des trous dans un semiconducteur. Dans les années 80-90, la physique et les applications des transitions intersousbandes ont connu un essor remarquable. Les structures à cascade quantique, détecteurs ou lasers, sont des dispositifs intersousbandes. Ces dispositifs sont constitués de plusieurs périodes (entre 1 et 200) d'une série de puits quantiques multiples. Les électrons présent dans de tel type de système peuvent effectuer une transition d'un état confiné à un autre soit par effet tunnel, soit par émission ou absorption d'un phonon, soit par collision électron-électron, soit en absorbant ou en émettant un photon. Grâce à la flexibilité intrinsèque des transitions intersousbandes, les dispositifs à cascade quantique couvrent une large plage de longueur d'onde. Notamment entre 1 et 4  $\mu\text{m}$  pour les systèmes à base de GaN/AlN; les systèmes à base de InAs/AlSb sont plutôt utilisés autour de 3–5  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde, tandis que le système InGaAs/AlInAs couvre tout l'infrarouge moyen. Entre 24  $\mu\text{m}$  et 60  $\mu\text{m}$  il n'y a pas de dispositifs intersousbandes (à cause de la bande d'absorption des phonons dans les systèmes à base de GaAs ou d'InGaAs). Cette gamme spectrale pourrait être couverte par les nitrures. Enfin les structures à cascade couvrent la gamme spectrale du THz en utilisant principalement le système GaAs/AlGaAs. Il faut disposer d'hétérostructures présentant une discontinuité de potentiel élevée.

Dans notre travail, on s'intéresse aux transitions intersousbandes dans les structures à puits quantiques à base de AlInSb/AlSb afin de voir ce que ça va donner et qu'elle effet ça va avoir lieu sur le coefficient d'absorption dans de telles structures.

Pour cela, dans le premier chapitre, après une introduction sur les propriétés électroniques et optiques des matériaux III-V, on décrira la théorie nécessaire pour la compréhension de la structure électronique d'un système à base de puits quantique tel que les diagrammes de bande et la contrainte. On mettra brièvement l'accent sur les transitions intersousbandes.

Dans le deuxième chapitre, on explore la structure AlInSb/AlSb en détaillant les propriétés optoélectroniques principales. Par conséquent, il sera très intéressant de voir qu'elle effet ça va avoir l'introduction de l'aluminium sur les propriétés d'une telle structure et surtout sur le coefficient de l'absorption intersousbandes.

# Chapitre 1 : Généralités

## 1.1 Introduction

Les semi-conducteurs ont acquis une importance considérable dans notre société. Ils sont à la base de tous les composants électroniques et optoélectroniques qui entrent dans les dispositifs informatiques, de télécommunications, de télévision, dans l'automobile et les appareils électroménagers, etc...

Ce premier chapitre est consacré à un rappel des principes de base de la physique de semiconducteurs, plus particulièrement les semiconducteurs III-V, tels que la structure de bande des diagrammes d'énergie, leurs élaborations et leurs intérêts. Aussi, nous allons voir un bref aperçu sur les transitions intersousbandes.

## 1.2 Les matériaux semiconducteurs

On appelle semi-conducteur un matériau électriquement intermédiaire entre isolant et conducteur. Au sein des structures cristallines de la matière, les électrons ont des énergies distinctes qui appartiennent à certains ensembles de valeurs appelées bandes d'énergies (figure 1.1). On distingue isolants et conducteurs par la différence d'énergie qu'il existe entre ces bandes, appelée le « gap » ou « bande interdite ». Dans les semi-conducteurs, le gap est assez faible, ce qui permet aux porteurs de passer dans la bande de conduction grâce à leur énergie d'agitation thermique, ainsi le semiconducteur en tant que mauvais conducteur ou mauvais isolant a, lui, une conductivité qui augmente avec la température [1].

Un des matériaux semiconducteurs le plus couramment utilisé est le Silicium, qui appartient au groupe IV; il contribue grâce à son faible coût, à sa grande disponibilité et à sa bonne conductivité thermique, à la réalisation des circuits intégrés et à la technologie la plus mature. D'ailleurs, la majorité des cellules solaires sont à base de silicium [2]. Cependant, ses propriétés sont insuffisantes (mobilités des porteurs relativement petites et transitions électroniques indirectes au seuil d'absorption optique).

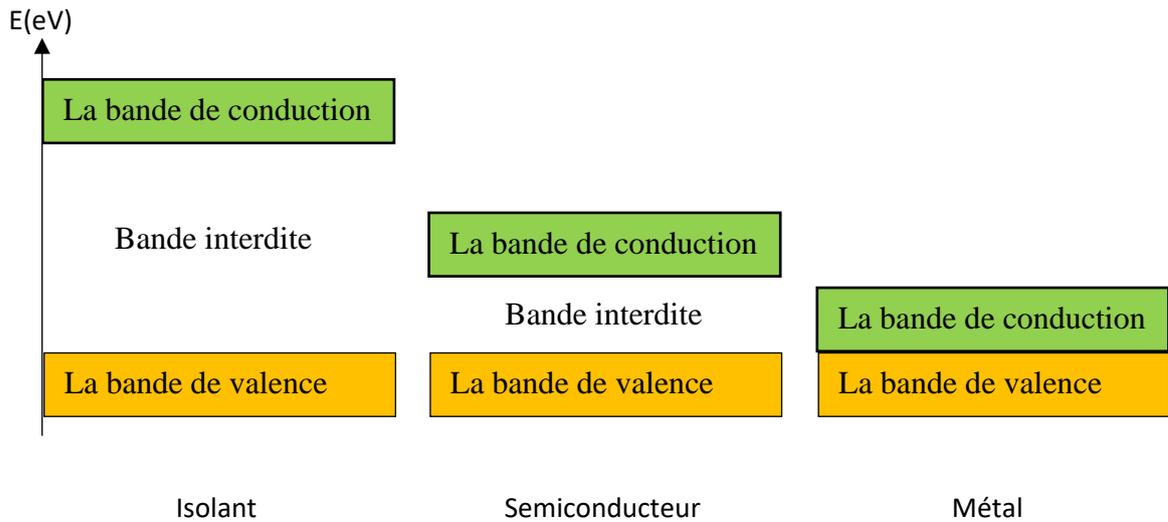


Figure 1.1 : Diagramme de bandes (isolant/semi-conducteur/conducteur).

### 1.3 Les semi-conducteurs III-V

Les matériaux semi-conducteurs III-V sont formés principalement par les éléments des colonnes III et V du tableau de classification périodique de Mendeleïev (figure 1.2). Leur composition chimique offre des propriétés physique et électronique très intéressantes pour le domaine de l'optoélectronique. Ils possèdent un gap direct qui autorise un taux d'émission de photons par recombinaison radiative très élevé ainsi qu'une très grande mobilité [1].

I		Alcalins										Halogènes						VIII	
1 H		Alcalino-terreux										Gaz inertes						2 He	
II												III	IV	V	VI	VII			
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
87 Fr	88 Ra	Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo		
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

Figure 1.2 : Tableau périodique des éléments [3].

## 1.4 Système cristallin

Un cristal peut être représenté à partir d'une cellule de base qui est répétée périodiquement formant ainsi le réseau cristallin. Selon la nature des opérations du système de symétrie qui laissent la structure cristalline invariante, on est amené à définir deux systèmes cristallins: le système Zinc Blende et le système Wurtzite.

### 1.4.1 Système Zinc-Blende

La plupart des semi-conducteurs cristallisent selon un système cubique dit zinc blende. Les atomes du réseau se positionnent en deux sous réseaux de type faces centrées (CFC) décalés l'un par rapport l'autre par un quart ( $1/4$ ) de la grande diagonale du cube d'une valeur de  $(a/4, a/4, a/4)$ ,  $a$  étant le paramètre cristallin (voir figure 1.3).

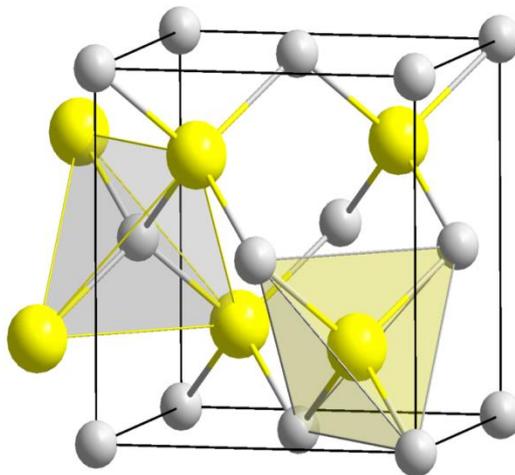


Figure 1.3 : Structure cristallographique de zinc blende.

### 1.4.2 Système Wurtzite

La Wurtzite est la structure cristalline hexagonale représentée par le sulfure de zinc (ZnS). Nous appelons cette structure cristalline une structure hexagonale (figure 1.4). On peut la caractériser par 12 ions dans les coins de chaque maille élémentaire, ce qui crée une structure prismatique hexagonale.

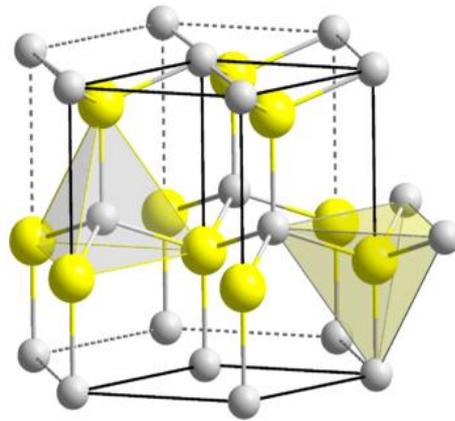


Figure 1.4 : Structure Wurtzite.

## 1.5 Paramètre de maille

Le paramètre de maille «  $a$  » est égal à la distance entre deux atomes dans un cristal. Lorsqu'un atome étranger est introduit dans le réseau cristallin, il provoque en général une variation du paramètre cristallin qui se traduit par une expansion ou une contraction du réseau, fonctions de la taille des atomes.

## 1.6 Energie de la bande interdite

C'est l'énergie qui sépare la bande de valence et la bande de conduction quand les transitions interbandes s'effectuent verticalement. Il s'agit donc d'un gap direct, dans le cas contraire les transitions interbandes dans ce cas sont diagonales, telles que l'on peut voir sur la figure (1.5).

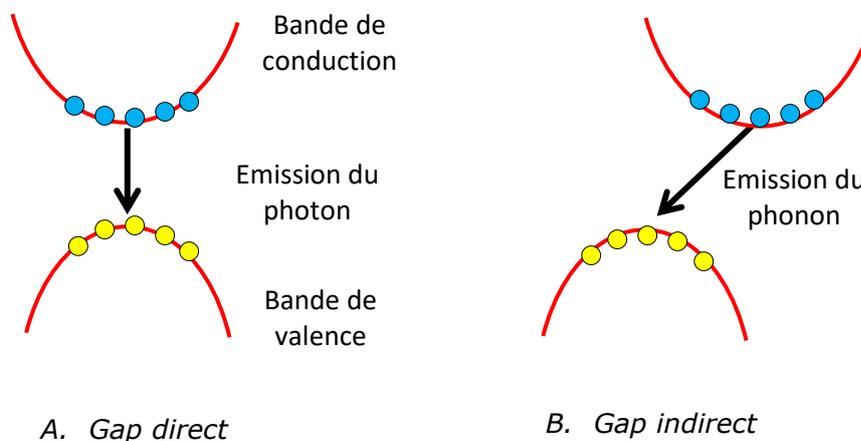


Figure 1.5 : Gap direct et indirect [4].

## 1.7 Masse effective

### 1.7.1 Masse effective des électrons

Dans la bande de conduction, un électron est caractérisé par une fonction d'onde qui représente la somme d'ondes de Bloch d'orbitale anti-liante. En termes corpusculaires, c'est une particule dans un potentiel cristallin. On représente cette particule quasi-libre de charge  $e^-$  par la masse  $m_e^*$ , qu'on appelle masse effective de l'électron.

La masse effective des électrons est inversement proportionnelle à la dérivée seconde de la courbe de dispersion de l'énergie dans l'espace  $k$ , [5].

$$\left(\frac{1}{m^*}\right)_{ij} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{\partial^2 E}{\partial k_i \partial k_j} \quad (1.1)$$

### 1.7.2 Masse effective des trous

La masse effective des trous est définie comme celle des électrons, mais la bande de valence des semiconducteurs cubiques est composée de deux branches dégénérées en  $k=0$ . Les énergies des trous sont comptées positivement vers le bas. La bande de plus grande courbure, bande inférieure, correspond à des trous de masse effective inférieure (bande des trous légers) et la bande de plus faible courbure, bande supérieure, correspond à celle des trous lourds [5].

## 1.8 La contrainte

La contrainte est un désaccord paramétrique généré lorsque l'on fait croître deux semi-conducteurs l'un sur l'autre, et que les deux matériaux constituant le substrat et la couche active ont la même structure cristalline mais des paramètres de maille différents. La maille du matériau épitaxié se déforme de manière élastique dans les deux directions parallèle et perpendiculaire à la surface de croissance [6]:

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \frac{a_s - a_e}{a_e} \quad (1.2)$$

$$\varepsilon_{zz} = -2 \frac{C_{12}}{C_{11}} \varepsilon_{xx} \quad (1.3)$$

$a_e$  : Le paramètre de maille de la couche épitaxiée.

$a_s$  : Le paramètre de maille du substrat.

$C_{ij}$  : Les coefficients d'élasticité.

La contrainte peut être de type compression ou tension tel qu'on peut voir sur la figure 1.6.

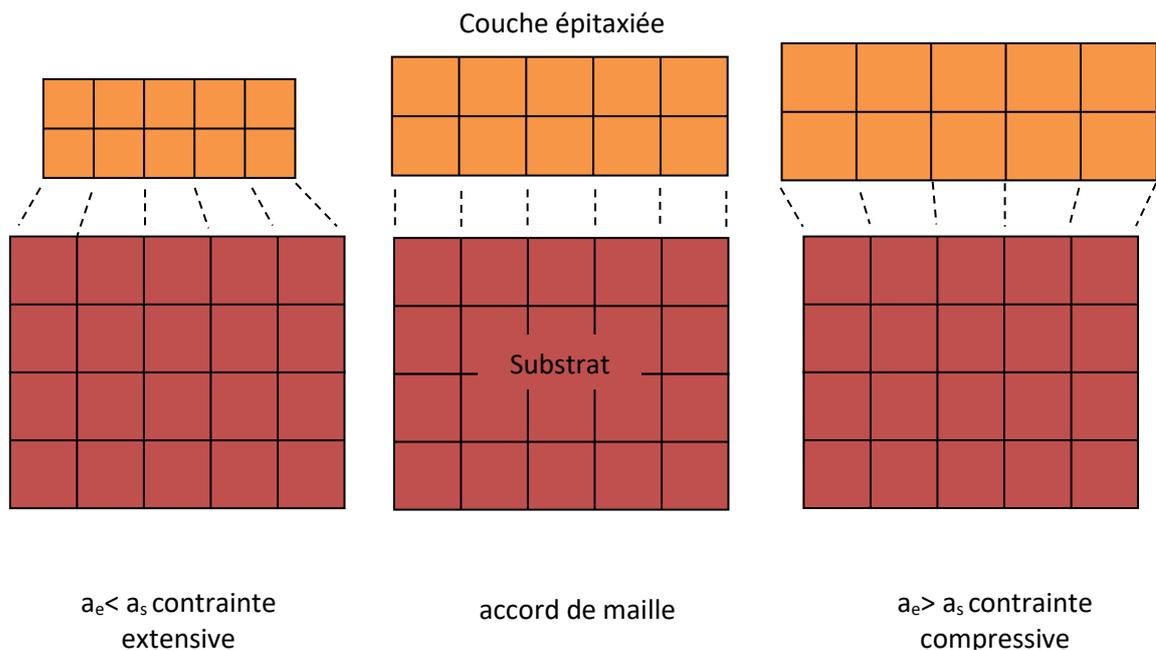


Figure 1.6 : Les deux types de déformation.

## 1.9 L'effet de la contrainte sur la bande d'énergie

L'effet de la contrainte sur les bandes de valence et de conduction peut être décomposé en deux parties [6]:

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

- La composante de cisaillement liée à la déformation selon les axes  $Ox$  et  $Oy$ , provoque la dégénérescence des états énergétiques des trous lourds et trous légers (voir figure 1. 7).

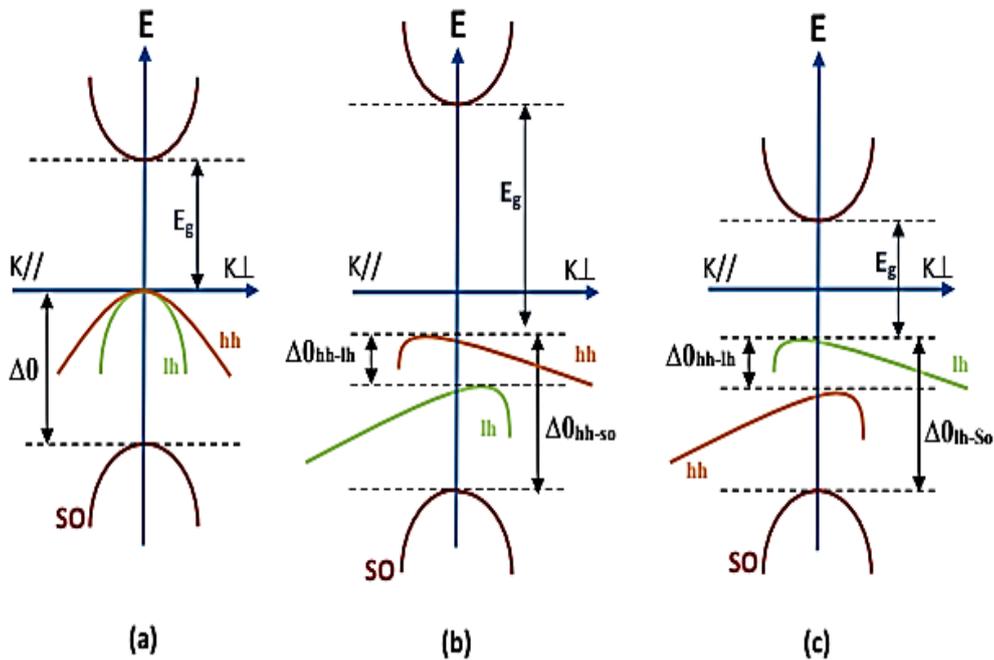


Figure 1.7 : Effet de la contrainte sur l'énergie de la bande interdite : a) non contraint, b) en compression, c) en tension [7]

## 1.10 Epaisseur critique

L'épaisseur au-delà de laquelle la couche épitaxiée commence à relaxer est appelée épaisseur critique. Cette épaisseur critique dépend des propriétés mécaniques des matériaux (coefficients élastiques), ainsi que du degré de désaccord paramétrique entre le substrat et la couche épitaxiée. Si l'épaisseur de la couche épitaxiée 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 [6].

## 1.11 Les puits quantiques

### 1.11.1 Définition

Un puits quantique est formé par une fine couche (quelques nm) d'un matériau Semi-conducteur de faible gap entouré de matériaux de plus grand gap (voir figure 1.8). On réalise ainsi un puits de potentiel artificiel de taille quantique dans lequel les

porteurs libres du semi-conducteur (électrons et trous) vont se retrouver confinés sur des niveaux d'énergie discrets.

L'utilisation de puits quantiques au sein de la zone active engendre un confinement des électrons et des trous dans un plus faible volume, ce qui pour une injection donnée, permet d'augmenter la densité des porteurs et donc d'atteindre l'inversion de population plus facilement [16].

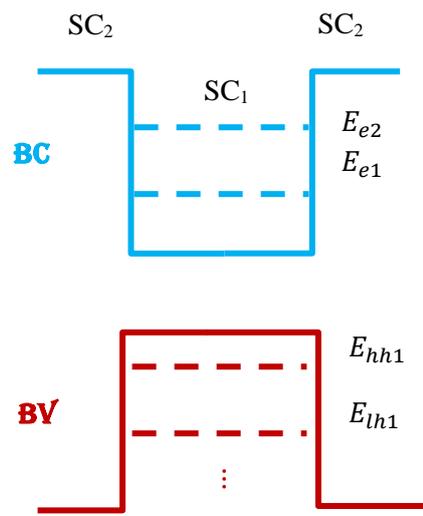


Figure 1.8 : Schéma d'une structure à puits quantique.

### 1.11.2 Puits quantiques de type I et II :

Les puits quantiques de type I sont des puits où les électrons et les trous sont confinés dans le même matériau constituant le puits. L'énergie du photon dépend des énergies de confinement des porteurs et du gap du matériau du puits (voir la figure 1.9 a).

Les puits quantiques de type-II sont des puits où les porteurs sont confinés dans deux matériaux adjacents. Dans ce cas, l'énergie du photon est fonction des énergies de confinement des porteurs mais aussi des gaps des deux matériaux formant l'hétérostructure (voir la figure 1.9 b).

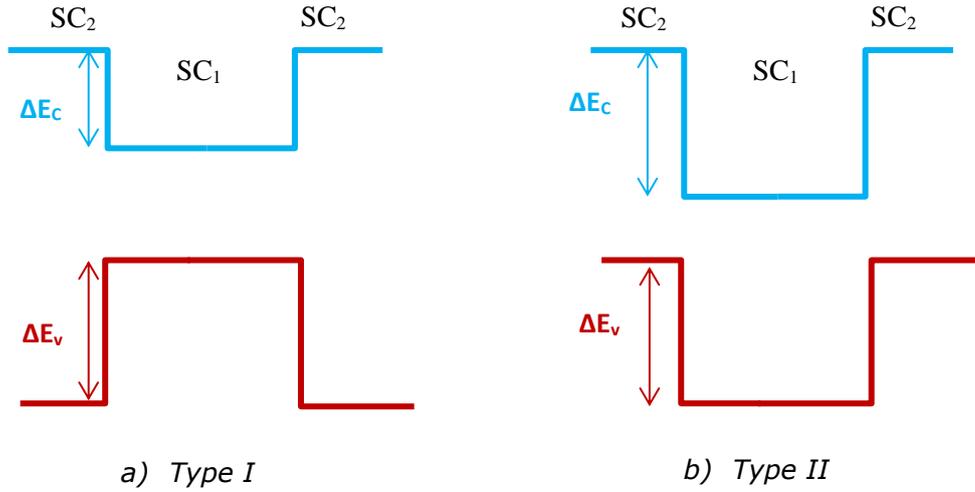


Figure 1.9 : Puits quantique : a) type I et b) type II.

### 1.12 Energie de quantification

En prenant en compte les niveaux discrets le long de la direction  $z$  et le continuum d'états le long des directions  $x$  et  $y$ , les états d'énergie d'une particule confinée dans un puits quantique sont donnés par l'expression [6]:

$$E(n, k_x, k_y) = E_n + \frac{\hbar^2}{2m^*} (k_x^2 + k_y^2) \quad (1.4)$$

L'équation de Schrödinger a les expressions suivantes [6]:

$$\begin{cases} -\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2\psi}{dz^2} + (V - E_n)\psi = 0 & (z \geq L, z \leq 0) \\ -\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2\psi}{dz^2} - E_n\psi = 0 & (0 \leq z \leq L) \end{cases} \quad (1.5)$$

Où  $\hbar$  est la constante de Planck,  $\psi$  est la fonction d'onde,  $V$  est la profondeur du puits de potentiel,  $L$  est l'épaisseur du puits,  $m^*$  représente la masse effective de la particule.

L'écriture des conditions de raccordement des fonctions d'ondes et de leurs dérivées

$\frac{1}{m^*} \frac{d\psi}{dz}$  qui doivent être continues aux interfaces  $z=0$  et  $z=L$ .

L'équation aux valeurs propres sera donnée par l'expression [6]:

$$\frac{\sqrt{2m_1E_n}}{\hbar}L = n\pi - 2\arctg\left(\sqrt{\frac{m_2E_n}{m_1(V-E_n)}}\right) \quad (1.6)$$

Où  $m_1$  et  $m_2$  sont, respectivement, les masses effectives de l'électron dans la barrière et le puits.

### 1.13 Rayonnement infrarouge

Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde supérieure à celle du spectre visible mais plus courte que celle des micro-ondes ou du domaine TéraHertz (figure 1.10).

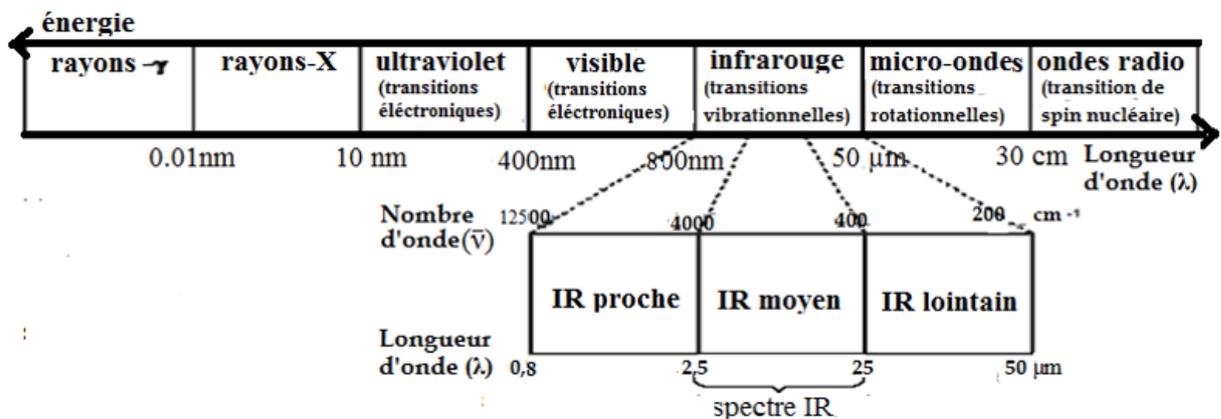


Figure 1.10 : Spectre de la lumière.

### 1.14 Domaine d'application

De nombreuses applications en rapport avec la chaleur et avec l'analyse spectrographique des matériaux utilisent ou mesurent les rayonnements infrarouges.

#### 🌈 L'infrarouge proche (0.76 – 2.5 μm)

Le proche infrarouge est la partie du spectre électromagnétique qui vient juste après le visible (couleur rouge). Ce domaine du spectre électromagnétique est très utilisé en télédétection pour différencier les surfaces naturelles qui se caractérisent par

de très importantes variations de la réflectance à cette longueur d'onde. Il permet également l'étude des surfaces continentales, et notamment de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales car les surfaces couvertes par la végétation se distinguent par une forte réflectance dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, alors qu'elles réfléchissent peu le rayonnement dans le visible.

### **L'infrarouge moyen (2.5 – 25 $\mu\text{m}$ )**

L'infrarouge moyen permet de façon générale d'étudier les teneurs en eau des surfaces. Il est très utilisé en foresterie et en agriculture, notamment pour cartographier les couverts végétaux en état de stress hydrique. L'atmosphère est en grande partie opaque aux rayonnements du moyen infrarouge qui sont absorbés par la vapeur d'eau. Seules quelques fenêtres atmosphériques permettent la transmission du rayonnement. Elles sont centrées sur les longueurs d'onde 2,5 $\mu\text{m}$ , 3,5 $\mu\text{m}$  et 5 $\mu\text{m}$ . Aussi il est utilisé pour la détection des gaz; la spectroscopie pour l'imagerie médicale et biomédicale (la détection instantanée est sans dommage sur la peau et de certaines molécules dans le sang par exemple le glucose pour le contrôle du diabète dans les aéroports) ainsi que diverses applications militaires.

### **L'infrarouge lointain (25 – 100 $\mu\text{m}$ )**

Des détecteurs, appelés bolomètres utilisent cette gamme de longueurs d'onde pour mesurer l'intensité du rayonnement infrarouge émis par les corps célestes. Il est également utilisé dans les circuits ultra-rapides.

## **1.15 Théorie des transitions inter-sous-bandes**

La quantification unidimensionnelle de l'énergie des porteurs dans le puits quantiques donne lieu à la formation de sous-bandes dans la bande de conduction ou de valence qui traduisent le fait que l'énergie du porteur est la somme de son énergie cinétique de confinement et de son énergie cinétique dans le plan des couches. Ainsi, l'on pourra modifier les longueurs d'onde des transitions optiques permises au sein du matériau [8].

Cette quantification unidimensionnelle de l'énergie des porteurs donne lieu à la formation de sousbandes dans la bande de conduction ou de valence. L'intérêt majeur pour le physicien est que l'on dispose, avec les puits quantiques, d'une structure artificielle où les effets quantiques peuvent être facilement modulés en jouant sur les paramètres de croissance [8].

Donc, comme on peut le voir sur la figure 1.11, les transitions intersousbandes sont donc en opposition avec les transitions interbandes. Ces transitions auront lieu entre des électrons et des trous dans un semiconducteur [9].

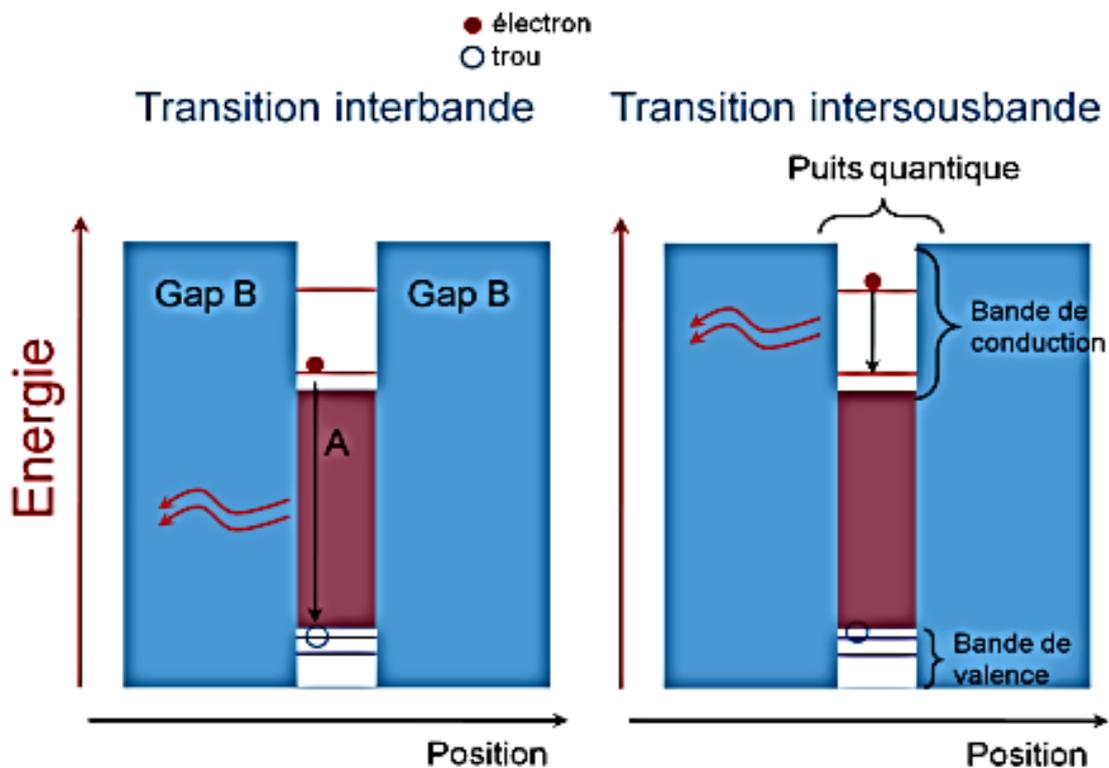


Figure 1.11 : Profil d'un puits quantique formé de deux matériaux de gap A et B. A gauche : transition interbande. A droite : transition intersousbande [9].

### 1.16 Conclusion

Ce premier chapitre été consacré à la compréhension des principales notions permettant de comprendre le monde des semiconducteurs, en particulier les semiconducteurs III-V. Nous avons vu aussi un bref aperçu sur le rayonnement infrarouge et les différentes applications possibles ainsi que les transitions intersousbandes.

## Chapitre 2: Résultats et discussions

### 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier la structure à base de puits quantiques  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  afin de mieux connaître les propriétés optoélectroniques et d'avoir une idée sur le potentiel de cette structure. Nous allons discuter les différents résultats obtenus. On s'intéresse aussi à explorer l'effet d'introduire de l'aluminium dans de telles structures sur le coefficient d'absorption intersousbandes .

### 2.2 Paramètre de maille

Les ternaires sont des alliages composés de deux binaires dont les propriétés dépendent de la composition  $x$ . Le changement continu de son paramètre cristallin est causé par cette variation de composition. Le paramètre de maille de l'alliage  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  est obtenu par la loi de Végard qui est une interpolation linéaire des valeurs des propriétés de ses composants.

$$a_{\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}} = xa_{\text{AlSb}} + (1 - x)a_{\text{InSb}} \quad (2.1)$$

La figure 2.1 représente la variation du paramètre de maille du matériau ternaire  $\text{AlInSb}$  en fonction de la concentration d'aluminium. On constate que le paramètre de maille diminue avec l'augmentation de la concentration d'aluminium.

Le tableau 2.1 représente les valeurs du paramètre de maille des binaires qui forment l'alliage  $\text{AlInSb}$ .

Tableau 2.1 paramètre de maille des binaires de l'alliage  $\text{AlInSb}$  [10].

Binaire	AlSb	InSb
Paramètre de maille $a(\text{Å})$	6.1355	6.4794

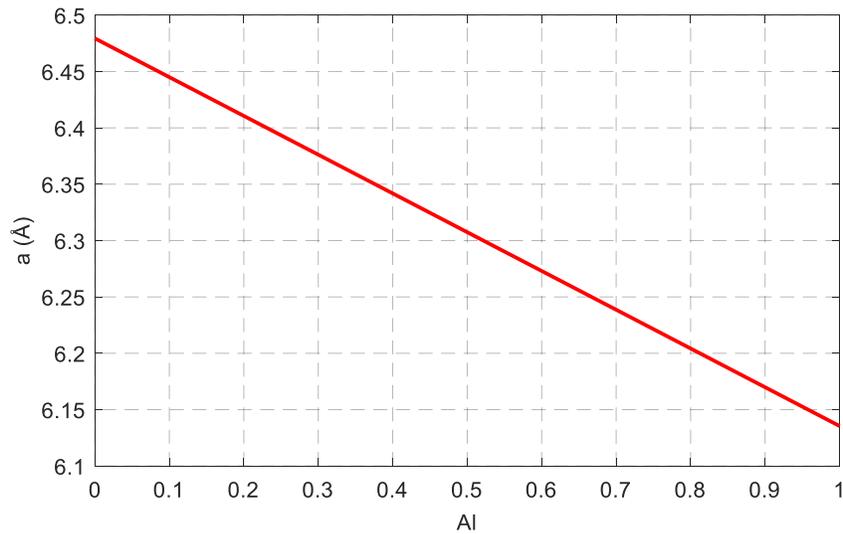


Figure 2.1. Variation du paramètre de maille du matériau AlInSb en fonction de la concentration d'aluminium.

## 2.3 Contrainte

Les hétérostructures semi-conductrices déformées, sont maintenant bien étudiées. En effet, l'utilisation d'hétérostructures désaccordées affecte l'énergie de la bande interdite en modifiant les positions énergétiques dans les bandes de valence et de conduction. La différence entre les paramètres de maille des deux matériaux entraîne une contrainte bi-axiale dans le matériau le plus fin, car le matériau constituant la couche la plus épaisse impose sa maille à la seconde couche.

La figure 2.2 montre la variation de la déformation parallèle et perpendiculaire à l'interface, en fonction de la concentration en aluminium. On constate que l'augmentation de la concentration en aluminium impose une augmentation de la contrainte bi-axiale qui modifie à son tour la stabilité de la structure et du composant. On remarque que croître des couches de AlInSb sur un substrat AlSb crée une contrainte de type compression.

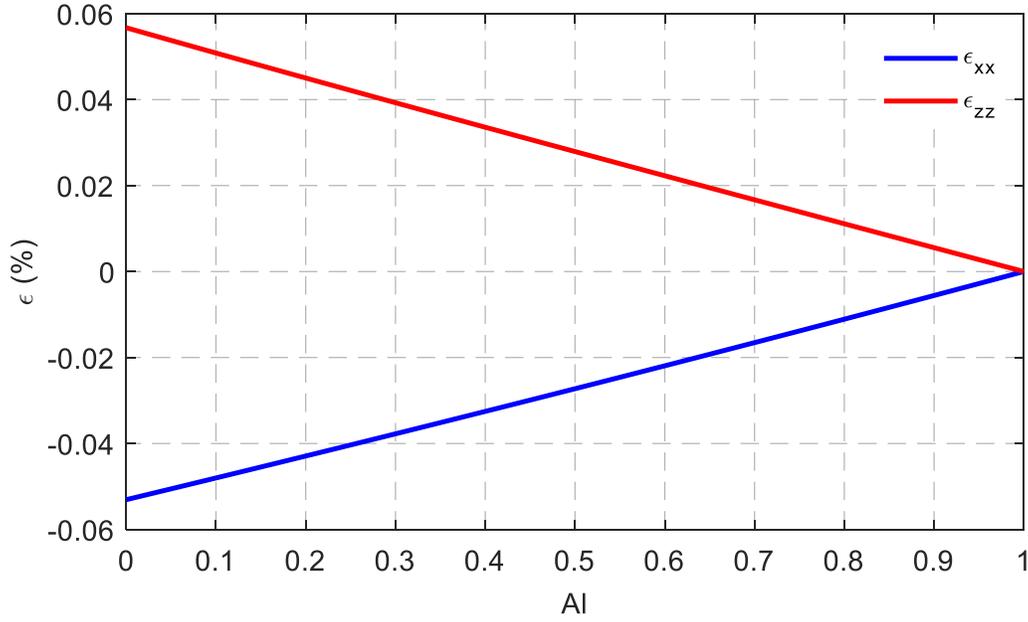


Figure 2.2. Variations de la contrainte en fonction de la concentration d'aluminium.

## 2.4. Epaisseur critique

La croissance typique d'une hétérostructure n'est réalisable que si l'épaisseur de la couche épitaxiée ne dépasse pas une certaine épaisseur limite appelée épaisseur critique. Au-delà de cette épaisseur la contrainte devient trop importante et le matériau épitaxié rattrape ce désaccord de maille par le biais de dislocations. Dans cette simulation, nous avons utilisé le modèle de Matthews et Blackeslee.

$$h_c = \frac{a_s}{2\sqrt{2}\pi\epsilon_{xx}} \frac{\left[1 - \frac{C_{12}}{4(C_{11} + C_{11})}\right]}{\left(1 + \frac{C_{12}}{C_{11} + C_{11}}\right)} \ln\left(\frac{h_c\sqrt{2}}{a_s} + 1\right) \quad (2.2)$$

Où  $\epsilon_{xx}$  est le désaccord de maille,  $a_s$  paramètre de maille du substrat et  $C_{ij}$  sont les coefficients d'élasticités.

La figure 2.3 représente l'effet de la concentration en aluminium sur l'épaisseur critique de la structure  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$ . On constate que si l'on augmente la concentration d'aluminium, l'épaisseur critique va augmenter au fur et à mesure.

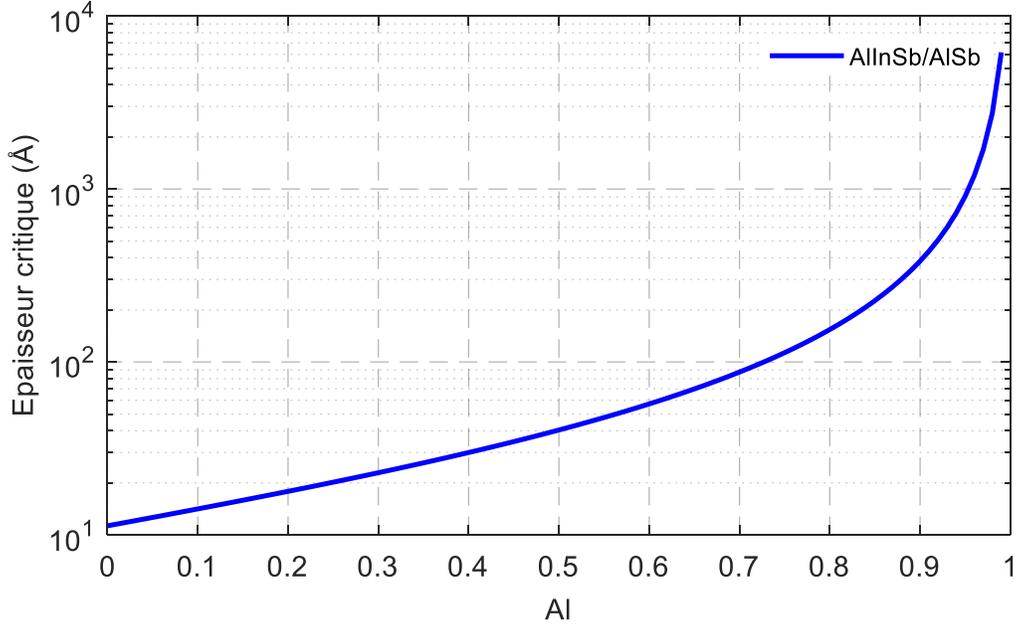


Figure 2.3. Variation de l'épaisseur critique de la structure  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la concentration d'aluminium.

## 2.5. Energie de la bande interdite

L'énergie de la bande interdite de l'alliage  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$  est calculée par la loi de Végard avec un paramètre de courbure  $C$  (paramètre de Bowing),  $C=0.43$  eV pour ce matériau, et sera écrite comme suit:

$$E_{g(\text{AlInSb})} = x \cdot E_{g(\text{AlSb})} + (1 - x) \cdot E_{g(\text{InSb})} - x \cdot C \cdot (1 - x) \quad (2.3)$$

Afin d'étudier et d'optimiser le phénomène des transitions des porteurs (électrons, trous) entre les deux bandes de conduction et de valence, nous avons simulé l'effet de la concentration d'aluminium sur l'énergie de la bande interdite de la structure  $\text{AlInSb}$  sur un substrat  $\text{AlSb}$  pour les trois vallées  $\Gamma$ ,  $X$  et  $L$ .

On peut voir que la croissance de l'aluminium entraîne une augmentation de l'énergie de la bande interdite, on remarque que  $E_{g\Gamma}$  est la plus faible pour une variation de la concentration en aluminium de 0% à 37% ce qui implique un gap direct. Au-delà de cette valeur le gap sera de type indirect et c'est la raison pour laquelle la concentration d'aluminium ( $x$ ) maintenue sera entre 0 et 37%.

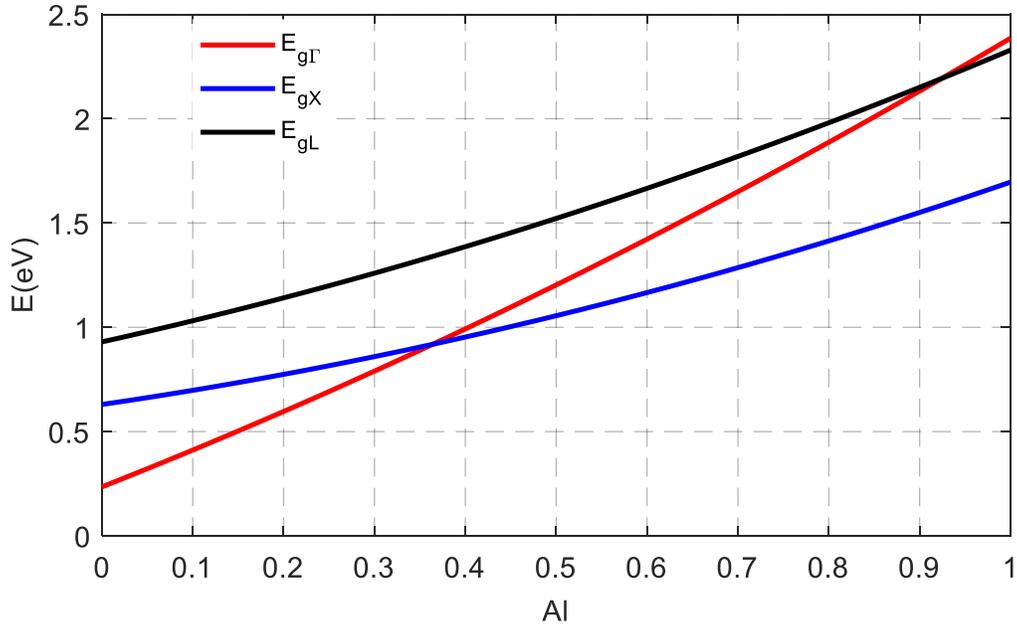


Figure 2.4. Variation de l'énergie de la bande interdite de la structure  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la concentration d'aluminium pour les trois vallées  $\Gamma$ , X et L.

## 2.6. Effet de la température sur l'énergie de la bande interdite

Traditionnellement, l'effet de la température sur l'énergie de la bande interdite  $E_g$  est exprimé selon la formule de Varshni :

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (2.4)$$

Où  $E_g(0)$  est l'énergie de la bande interdite à  $T = 0$  K,  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres de Varshni.

La figure 2.5 présente l'effet de la température et de la concentration en aluminium sur l'énergie de la bande interdite de la structure  $\text{AlInSb}$  sur le substrat  $\text{AlSb}$ . Cette étude nous montre l'impact des deux paramètres sur l'énergie de la bande interdite. L'augmentation de la concentration en aluminium provoque une augmentation très significative de l'énergie de la bande interdite à la température ambiante 300K. Par contre, l'augmentation de la température impose une diminution de l'énergie de la bande interdite, pour une concentration de l'Aluminium de 30% l'énergie de la bande interdite

passe de 0.7847 eV jusqu'à 0.7816 eV pour une variation de température de 250K à 350K. On peut donc optimiser ces deux paramètres pour obtenir une structure stable et fiable. On constate que l'effet de la température sur l'énergie de la bande interdite est faible par rapport à l'effet de la concentration en Aluminium.

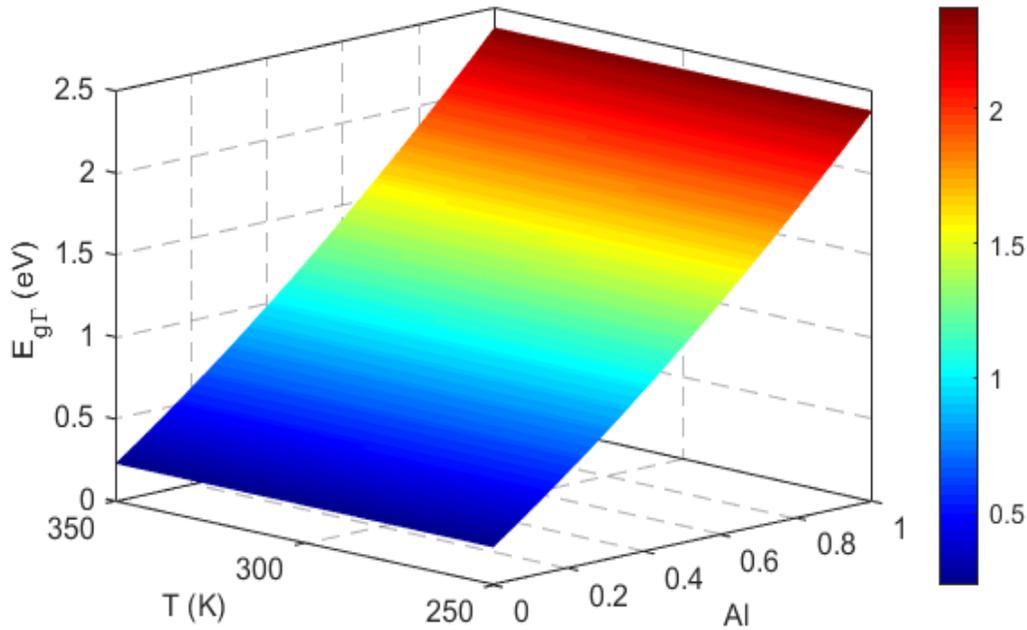


Figure 2.5. Effet de la température et la concentration d'aluminium sur l'énergie de la bande interdite.

### 2.7. Les alignements de bande $\Delta E_c$ et $\Delta E_v$

L'importance de simuler la différence d'énergie entre la barrière et la couche active c'est d'avoir une idée concernant la profondeur du puits quantique qui est nécessaire pour calculer l'énergie de quantification. La moyenne pondérée sur les trois bandes de valence les plus élevées à  $\Gamma$  (à savoir, les bandes des trous légers et lourds, et la bande de séparation spin-orbite) est choisie de façon à ce que le niveau d'énergie de référence soit, notée  $E_{v_{moy}}$ .

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

- La composante de cisaillement liée à la déformation selon les axes  $ox$  et  $oy$ , provoque la dégénérescence des états énergétiques des trous lourds et trous légers.

Les décalages d'énergie de  $E_{v_{moy}}$  et  $E_c$  induits par la composante de déformation hydrostatique peuvent être exprimés de la manière suivante [11]:

$$\Delta E_c^{hyd} = a_c(2\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz}) \quad (2.5)$$

$$\Delta E_v^{hyd} = a_v(2\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz}) \quad (2.6)$$

Où  $a_v$  et  $a_c$  sont les potentiels de déformation hydrostatique pour les bandes de valence et de conduction, respectivement.

Tableau 2.2. Potentiels de déformation pour AlSb et InSb [10].

Binaire	$a_c$ (eV)	$a_v$ (eV)	b (eV)
AlSb	-4.5	-1.4	-1.35
InSb	-6.94	-0.36	-2.0

La dégénérescence de la bande de valence en  $\Gamma$  est levée par la composante de déformation par cisaillement. Les décalages d'énergie résultants pour la sous-bande de valence  $E_{v_{hh}}$  et la sous-bande  $E_{v_{lh}}$  sont calculés par rapport à leur moyenne pondérée  $E_{v_{moy}}$  :

$$dE_{v_{hh}} = \frac{\Delta_0}{3} - \frac{\delta E^{cisa}}{2} \quad (2.7)$$

$$dE_{v_{lh}} = -\frac{\Delta_0}{6} + \frac{\delta E^{cisa}}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_0 \delta E^{cisa} + \frac{9}{4} (\delta E^{cisa})^2} \quad (2.8)$$

$$\delta E^{cisa} = 2b(\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xx}) \quad (2.9)$$

Où b est le potentiel de déformation par cisaillement pour une contrainte de symétrie tétragonale. Les valeurs de b,  $\Delta_0$ ,  $a_v$ ,  $a_c$ , et  $E_{v_{moy}}$  des alliages sont obtenues par interpolation linéaire à partir des paramètres binaires de base de ces alliages.

Les lignes de bande pour un accord de maille peuvent donc être exprimées comme suit :

$$E_v = E_{v_{moy}} + \frac{\Delta_0}{3} \quad (2.10)$$

$$E_c = E_v + E_g \quad (2.11)$$

Pour les alliages sous contrainte, les expressions seront les suivantes :

$$E_{v_{hh}} = E_{v_{moy}} + \Delta E_v^{hyd} + dE_{v_{hh}} \quad (2.12)$$

$$E_{v_{lh}} = E_{v_{moy}} + \Delta E_v^{hyd} + dE_{v_{lh}} \quad (2.13)$$

$$E_{c_c} = E_{v_{moy}} + \frac{\Delta_0}{3} + E_g + \Delta E_c^{hyd} \quad (2.14)$$

$E_g$  est l'énergie de la bande interdite de l'alliage non contraint.

Les décalages de bande peuvent alors être définis comme suit [11]:

$$\Delta E_c = E_c - E_{c_s} \quad (2.15)$$

$$\Delta E_{v_{hh}} = E_{v_{hh}} - E_{v_s} \quad (2.16)$$

$$\Delta E_{v_{lh}} = E_{v_{lh}} - E_{v_s} \quad (2.17)$$

$E_{c_s}$  : l'énergie de la bande de conduction du substrat

$E_{v_s}$  : l'énergie de la bande de valence du substrat

La figure 2.6 présente l'évolution des alignements dans la bande de conduction  $\Delta E_c$  et dans la bande de valence  $\Delta E_v$  en fonction de la concentration en aluminium.

On remarque que l'augmentation d'aluminium engendre une diminution rapide et forte de  $\Delta E_c$ , par contre  $\Delta E_v$  subit une diminution lente. On en déduit alors qu'il serait préférable de travailler avec de petites quantités de la composition  $x$  ce qui sera d'une très grande utilité pour les transitions intersubbandes.

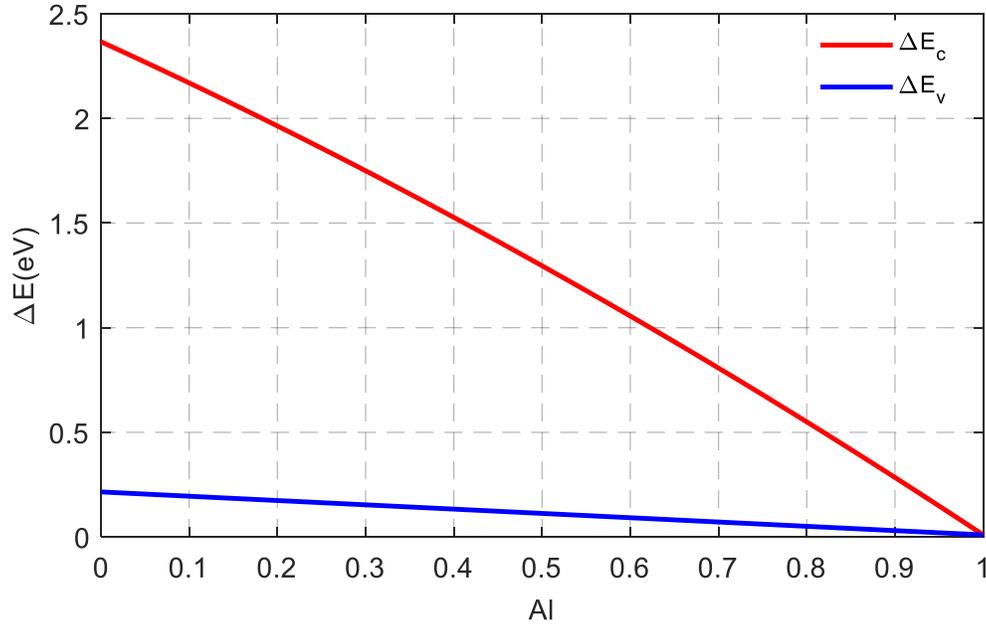


Figure 2.6. Décalage de la bande de conduction et de la bande de valence de la structure AlInSb/AlSb en fonction de la concentration d'aluminium.

## 2.8. Energie de confinement

L'énergie des porteurs de charge confinés dans un puits quantique de type I est quantifiée sous forme des niveaux discrets. Ces niveaux sont en fonction de la profondeur du puits et de la largeur de la couche active telle que nous avons vu dans le chapitre 1.

Les figures 2.7 et 2.8 montrent la variation de l'énergie de quantification des électrons en fonction de la largeur du puits quantique pour des concentrations d'aluminium de 10% et de 30%. On remarque que lorsque la largeur du puits quantique augmente, l'énergie des niveaux décroît rapidement puis devient stationnaire. L'augmentation de la concentration de l'aluminium diminue la valeur de l'énergie des niveaux des électrons dans la bande de conduction. Dans un puits quantique AlInSb/AlSb de largeur 2nm et une concentration  $x=10\%$ , le premier niveau énergétique sera  $E_1= 1.4$  eV alors que si  $x=30\%$ , ce niveau sera  $E_1= 1.2$  eV. Alors on doit trouver un compromis entre la largeur du puits quantique,  $L$ , ainsi que la concentration d'aluminium,  $x$ , afin d'optimiser la structure. La simulation du phénomène de quantification, nous permet

d'optimiser la probabilité des différentes transitions interbandes possible des porteurs entre la bande de conduction et la bande de valence.

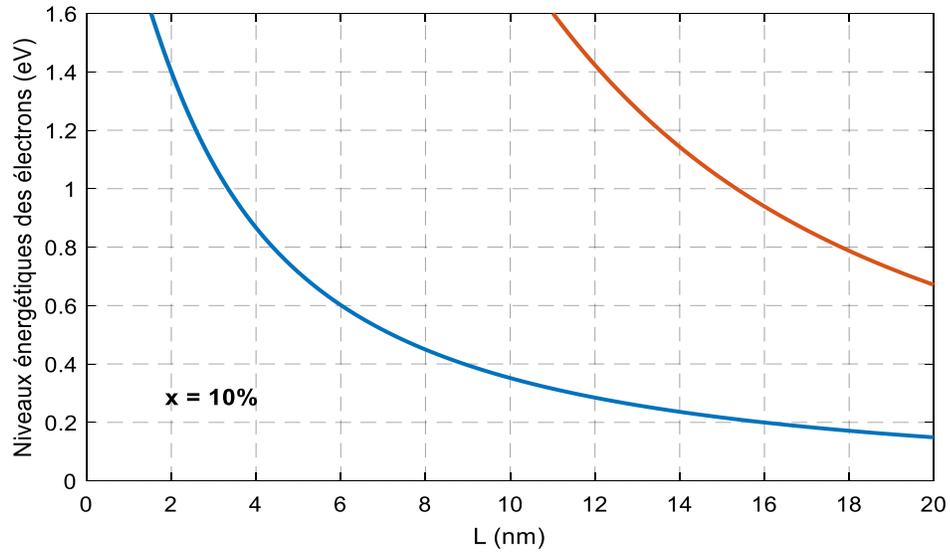


Figure 2.7. Evolution de l'énergie des électrons dans un puits quantique  $\text{Al}_{0.1}\text{In}_{0.9}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la largeur du puits.

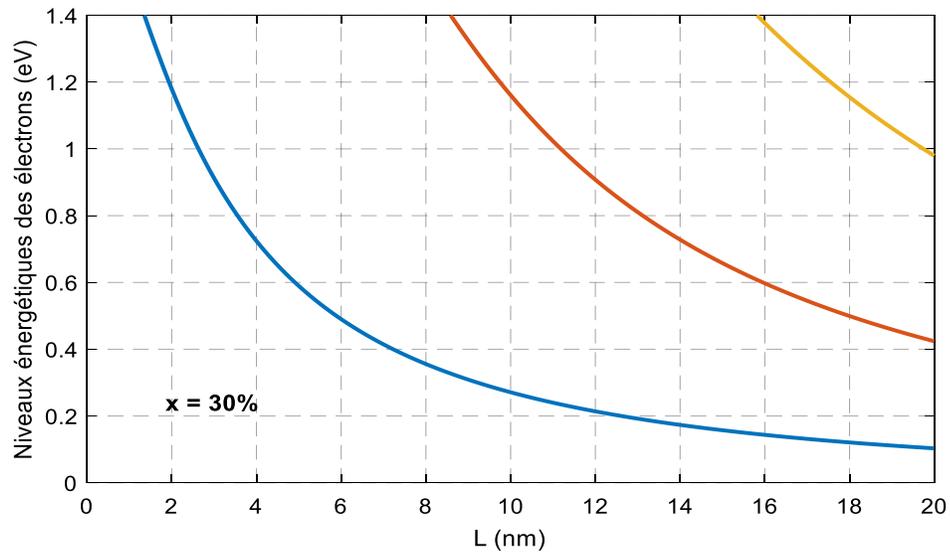


Figure 2.8. Evolution de l'énergie des électrons dans un puits quantique  $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la largeur du puits.

Les figures 2.9 et 2.10 montrent la variation de l'énergie de quantification des trous lourds en fonction de la largeur du puits quantique pour des concentrations d'aluminium de 10% et de 30%. De même manière que les électrons, l'augmentation de la largeur du puits quantique induit une décroissance rapide des niveaux d'énergie. L'augmentation de la concentration de l'aluminium diminue la valeur de l'énergie des niveaux des trous dans la bande de valence. Dans un puits quantique AlInSb/AlSb de largeur 2nm et une concentration  $x=10\%$ , le premier niveau énergétique sera  $E_1=0.14$  eV alors que si  $x=30\%$ , ce niveau sera  $E_1=0.116$  eV.

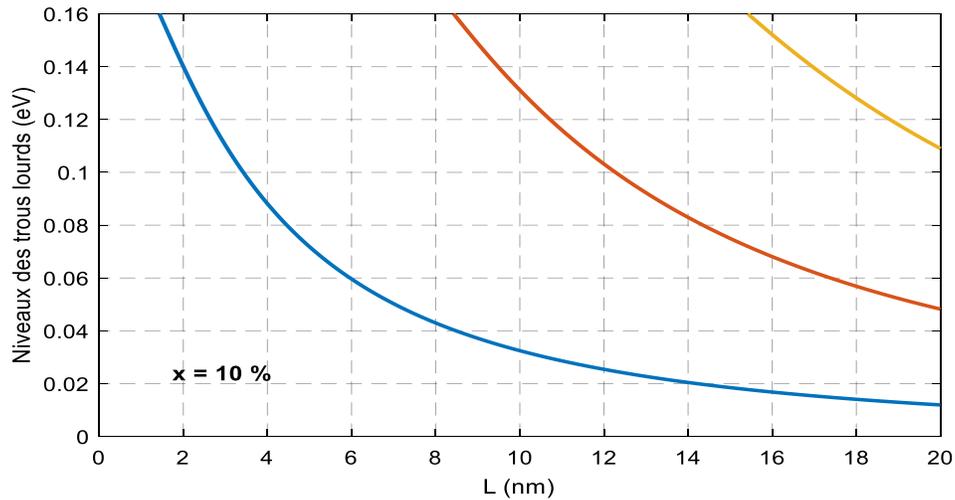


Figure 2.9. Evolution de l'énergie des trous lourds dans un puits quantique  $\text{Al}_{0.1}\text{In}_{0.9}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la largeur du puits.

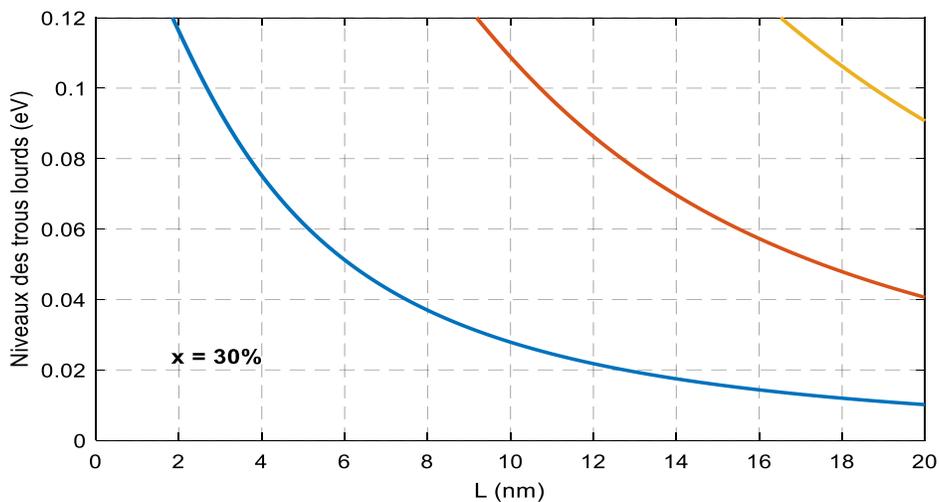


Figure 2.10. Evolution de l'énergie des trous lourds dans un puits quantique  $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$  en fonction de la largeur du puits.

## 2.9. Energie de transition interbande et longueur d'onde

Le calcul des transitions interbandes qui se produisent dans un semi-conducteur est un paramètre clé pour connaître la longueur d'onde ce qui nous donne une idée du domaine d'application des dispositifs à base de cette structure. Cette énergie de transition et la longueur d'onde correspondante seront données, respectivement, comme suit :

$$E_{tr} = E_g + E_{en} + E_{hhn} \quad (2.18)$$

$$\lambda(\mu m) = \frac{1.24}{E_{tr}} \quad (2.19)$$

La figure 2.11 montre l'évolution de l'énergie de transition dans un puits quantique AlInSb/AlSb en fonction de la largeur du puits pour différentes valeurs de concentration d'aluminium. La croissance de la largeur de la zone active L induit une diminution significative de l'énergie de transition. On constate que l'augmentation de l'aluminium induit une augmentation de l'énergie de transition.

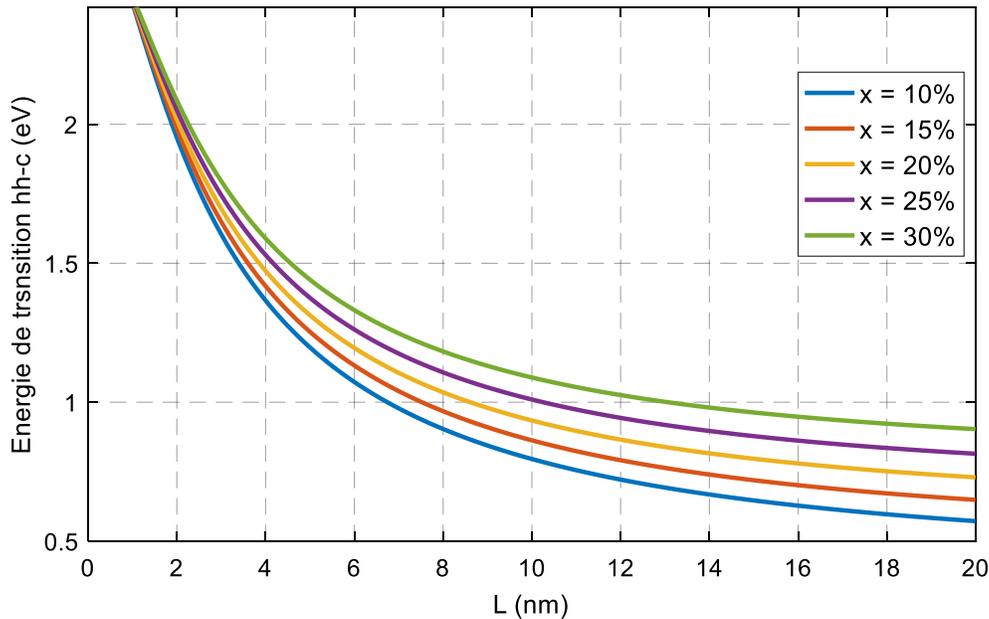


Figure 2.11. Evolution de l'énergie de transition interbande dans un puits quantique AlInSb/AlSb en fonction de L pour différentes valeurs de concentration d'Al.

La figure 2.12 présente l'évolution de la longueur d'onde d'émission dans un puits quantique AlInSb/AlSb en fonction de la largeur du puits pour différentes valeurs de concentration d'aluminium. On observe que l'augmentation de la concentration en aluminium provoque une diminution de la longueur d'onde d'émission. Avec cette structure, il serait possible d'atteindre les deux longueurs d'onde très utilisées dans les systèmes de transmission optique à savoir le 1.31  $\mu\text{m}$  et 1.55  $\mu\text{m}$ .

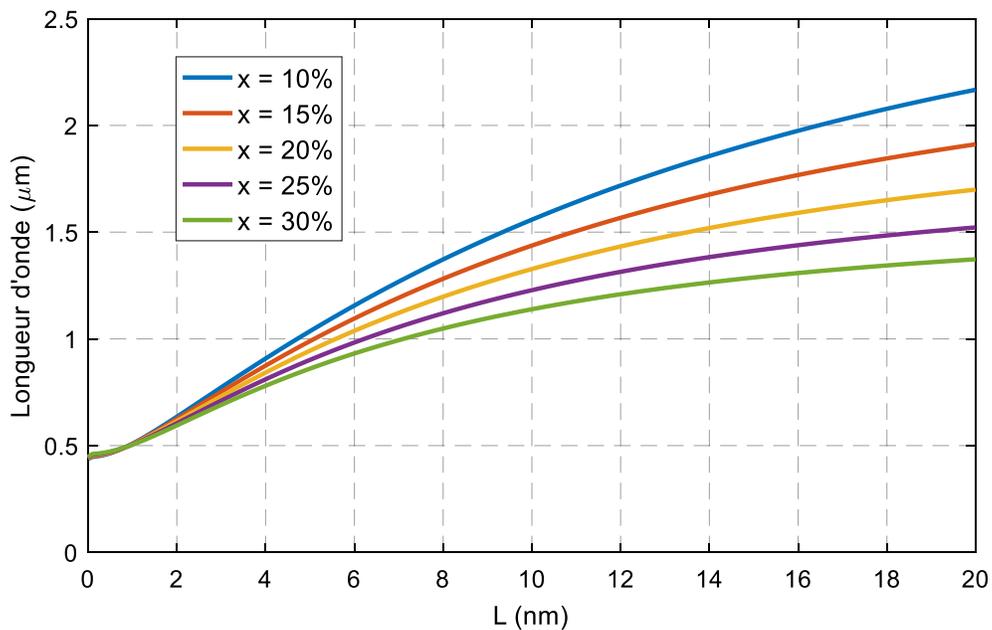


Figure 2.12. Evolution de la longueur d'onde d'émission dans un puits quantique AlInSb/AlSb en fonction de L pour différentes valeurs d'Al.

## 2.10. Energie de transition intersousbande et longueur d'onde

La figure 2.13 montre l'évolution de l'énergie de transition  $E_{21}$  dans un puits quantique AlInSb/AlSb en fonction de la largeur du puits pour une concentration d'aluminium de  $x=30\%$ . La transition  $E_{21}$  concerne la transition des électrons entre le premier et le deuxième niveau dans la bande de conduction. On constate que l'augmentation de la largeur du puits induit une diminution de l'énergie de transition intersousbande dans la bande de conduction.

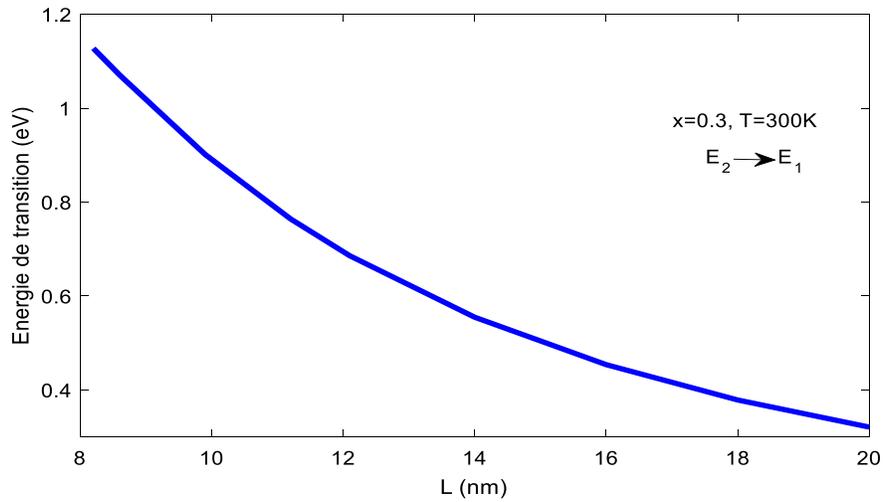


Figure 2.13. Energie de transition  $E_{21}$  dans le puits quantique  $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .

La figure 2.14 représente l'évolution de la longueur d'onde d'émission  $\lambda_{21}$  dans un puits quantique  $\text{AlInSb}/\text{AlSb}$  en fonction de la largeur du puits pour une concentration d'aluminium  $x=30\%$ . On observe que l'augmentation de la largeur du puits provoque une croissance de la longueur d'onde d'émission. On remarque bien qu'il serait possible de pousser un peu plus loin le domaine de la longueur d'onde dans le domaine de l'infrarouge moyen ce qui élargie le domaine d'application de cette structure.

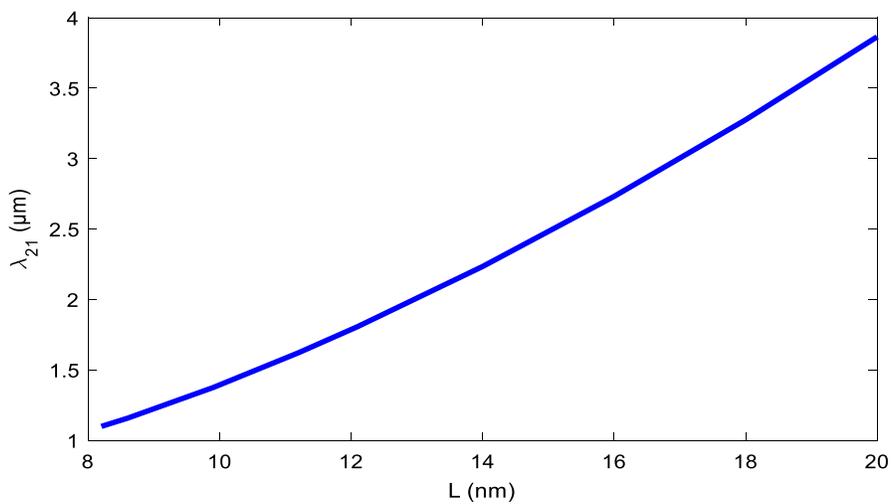


Figure 2.14. Longueur d'onde  $\lambda_{21}$  dans le puits quantique  $\text{Al}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .

## 2.11. Coefficient d'absorption intersousbande

Le coefficient d'absorption est obtenu à partir de l'équation 2.20 :

$$\alpha = \frac{\pi e^2 (E_i - E_f)}{2 m_0 L \omega n c \epsilon_0} f_{12} \frac{(\sin \theta)^2}{\cos \theta} (n_i^s - n_f^s) g(E_f - E_i - \hbar \omega) \quad (2.20)$$

$e$  : la charge de l'électron;  $m_0$ : la masse de l'électron;  $\hbar$  : la constante réduite de Planck;  $\epsilon_0$ : la permittivité du vide;  $L$ : la largeur du puits quantique;  $c$  : célérité de la lumière;  $n$  : L'indice de réfraction relatif du matériau,  $f_{12}$  est la force d'oscillateur décrivant la force de couplage quantique entre les sousbandes  $i$  et  $f$ ,  $n_i^s - n_f^s$  est la différence de population entre les sousbandes  $i$  et  $f$  par unité de volume,  $g(E)$ : correspond à une fonction de type Lorentzien, donnée par :

$$g(E) = \frac{\hbar \Gamma}{\pi} \frac{1}{(E_f - E_i - \hbar \omega)^2 + (\hbar \Gamma)^2} \quad (2.21)$$

La figure 2.15 nous montre l'évolution du coefficient d'absorption intersousbandes dans le puits quantique  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  de largeur 70 Å. Quand la concentration de l'aluminium augmente ce la mène à la diminution de l'absorption intersousbande et décale la longueur d'onde correspondante vers les longueurs d'ondes lointaine. Pour avoir des valeurs maximales du coefficient d'absorption intersousbande, il serait préférable de diminuer les concentrations de l'aluminium.

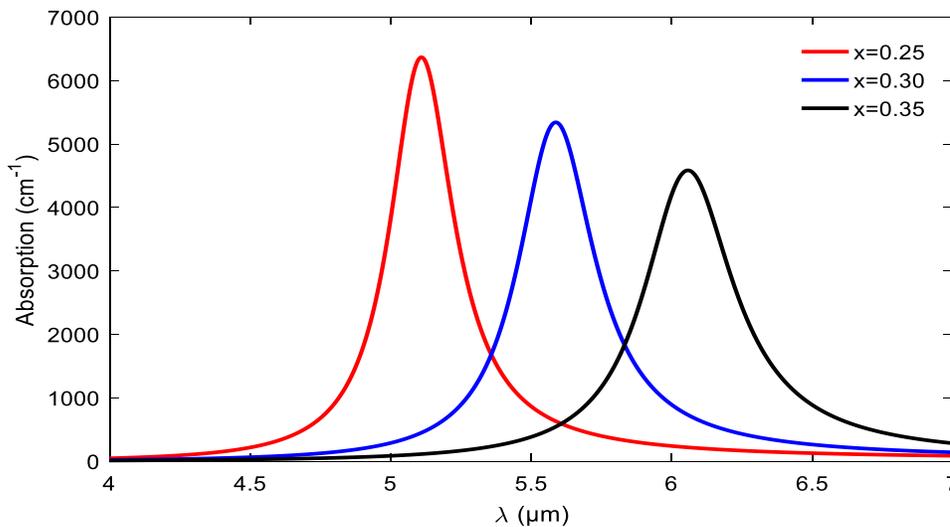


Figure 2.15. Coefficient d'absorption intersousbande dans le puits quantique  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$ .

## 2.12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vérifié l'effet de la concentration de l'aluminium  $x$  sur les différents paramètres de la structure à puits quantique  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}/\text{AlSb}$  : énergie de bande interdite, les alignements de bandes, énergie de quantifications,... etc. Nous avons constaté que la concentration  $x$  a un effet remarquable sur ces paramètres. D'autres paramètres ont aussi été vérifiés tel que la température et la contrainte. On se basant sur les transitions interbandes, cette structure nous donne la possibilité d'atteindre les deux longueurs d'ondes 1.3 et 1.55  $\mu\text{m}$  exploitables par les fibres optiques pour la télécommunication. Alors que les transitions intersousbandes, nous donne la possibilité d'étendre les applications dans le domaine infrarouge moyen.

## Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés optoélectroniques de la structure à puits quantiques contraints à base de InAlSb/AlSb tout en se basant sur les transitions interbandes et intersousbandes. On s'intéresse beaucoup plus, à voir qu'elle effet ça va avoir lieu l'ajout de l'aluminium dans ce type de structures sur le coefficient d'absorption intersousbandes.

Nous avons vu que cette structure cristallise dans une structure zinc blende. L'ajout de l'aluminium augmente la contrainte, l'épaisseur critique et l'énergie de la bande interdite. Au-delà de  $x = 0.37$ , le gap est indirect c'est la raison pour laquelle nous nous sommes limité à des fractions molaire d'aluminium inférieure à cette valeur-là.

L'ajout de l'aluminium mène aussi à la diminution du paramètre de maille ainsi que les décalages des bandes. Donc, il serait préférable de choisir de petites quantités d'aluminium puisque  $\Delta E_c$  sera plus grand, ce qui est plus intéressant pour les transitions intersousbandes.

Nous avons constaté que la concentration  $x$  a un effet remarquable sur ces facteurs. D'autres paramètres ont aussi été vérifiés tel que la température et la contrainte.

On se basant sur les transitions interbandes, cette structure nous donne la possibilité d'atteindre les deux longueurs d'ondes 1.3 et 1.55  $\mu\text{m}$  exploitables par les fibres optiques pour la télécommunication. Alors que les transitions intersousbandes, nous donne la possibilité d'étendre les applications dans le domaine infrarouge moyen ce qui fait de cette structure un très bon candidat pour réaliser des dispositifs fonctionnant dans le moyen infrarouge.

Quand la concentration de l'aluminium augmente cela mène à la diminution du coefficient de l'absorption intersousbande et décale la longueur d'onde correspondante vers les longueurs d'ondes lointaine. Pour avoir des valeurs maximales du coefficient d'absorption intersousbande, il serait préférable de diminuer la concentration de l'aluminium. Cette dernière nous donne la possibilité donc d'ajuster la longueur d'onde selon le domaine d'application voulu.

## Références

- [1] R. R. Elidi, «Etalonnage sur spectre d'un détecteur en Cadmium Zinc Tellure CdZnTe du L.P.N.P.E », Thèse de Master, Université Antananarivo, Madagascar, 2014.
- [2] R.Castagné et al. « Circuits intégrés en arséniure de Gallium. Physique, technologie et règles de conception », Masson, 591 p, 1989.
- [3] Les familles dans le tableau périodique, alloprof.qc.ca : Site internet.
- [4] C. Ngô et H. Ngô, « Physique des semiconducteurs », 4<sup>ème</sup> édition, Dunod, 2012.
- [5] R. Planel, «Propriétés optiques des semi-conducteurs et de leurs hétérostructures», France.
- [6] A. Aissat, « Modélisation et Simulation du gain optique et du courant de seuil d'un laser à puits quantique contraint à base de  $Ga_xIn_{1-x}N_yAs_{1-y}/GaAs$  », Thèse de doctorat, Université de Blida, 2007.
- [7] A. Aissat, M. El bey, R. Bestam, J.P. Vilcot, « Modeling and simulation of  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP$  quaternary structure for photovoltaic», International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 39, pp 15287-15291, 2014.
- [8] F. Julien et al, « Transition inter-sous-bandes dans les puits quantiques », pp 105-112.
- [9] H. Machahadani, « Transitions intersousbandes dans les puits quantiques GaN/AlN du proche infrarouge au THz », Thèse de doctorat, université Paris-sud 11, France, 2011.
- [10] S. Adachi, « Ternary and quaternary compounds », S. Kasap, P. Capper (Eds.), Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials, 725-741, 2017.
- [11] C. Van De Walle, “Band lineups and deformation potentials in the model-solid theory”, Phy. Rev. B, V 39, 1871-1883, 1989.