

# UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication  
Département d'électronique et des télécommunications



## Mémoire de fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master Professionnel

**Domaine** : Science et Technologie

**Filière** : Electronique

**Spécialité** : Instrumentation et Systèmes

## THÈME

Contribution à l'étude et de simulation de la structure  
semi-conductrice à puits quantique : application en  
laser

Etudié et présenté par :

- BAHHA CHARAFEDDINE
- BEDDA ISHAK

Soutenu publiquement Le: /06/2021

Mr. BELKHIR BENHLAL	MCB	Président	UKMOurgla
Mr .BENATHMANE KHALED	MAA	Encadreur	UKMOurgla
Mr. OTMANI HAMZA	MCB	Examineur	UKMOurgla

Année Universitaire 2021/2022

## *Remerciements*

Nous remercions dieu qui nous a donné la santé, la Volonté et la patience, nous permettant d'accomplir cette Œuvre présente.

Tout d'abord, nous tenons à remercier sincèrement notre directeur de mémoire, M. khaled benathmane, d'avoir accepté de diriger ce travail. nous voulons lui exprimer notre profonde gratitude pour sa disponibilité et ses qualités éducatives et scientifiques, et lui rendre un hommage respectueux pour ses encouragements, sa patience et son aide tout au long de ce travail.

Nous voudrions aussi rendre hommage aux parents, aux frères, aux sœurs et à toute la famille.

Enfin remercier tous les amis.

# *Dédicace*

Je Remercie d'abord ALLAH Le Tout Puissant de nous avoir donné la santé et le courage afin d'atteindre notre objectif, Je dédie ce modeste travail :

*A mon père.*

*A ma mère.*

*A mes frères ( Haithem, Dia elhak) et mes sœurs (Amina , Ikhlas).*

*A tous ma famille .*

*A mon cher Binôme Charaf Eddine.*

*A mes amis et mes collègues de la promotion.*

*A mes féaux amis Dodo, Abdo, Omar, Med amani, Mino ,aymen et touts que rest*

.

# *Dédicace*

Je Remercie d'abord ALLAH Le Tout Puissant de nous avoir donné la santé et le courage afin d'atteindre notre objectif, Je dédie ce modeste travail :

A mon père , et ma mère

A mes frères ( Ilias, abdelouahed, Amine)  
et mes sœur (kaouther, Afnane).

A tous ma famille .

A mon cher Binôme ISHAK.

A tous mes amis ( Group  
18), Akram, yacine et baba kadir

Je dédie enfin ce modeste travail à toute  
personne ayant contribué de près ou de loin  
à sa concrétisation.

*Charafo*

## Sommaire

Liste de figures.....	7
Liste de tables.....	9
Introduction Générale :.....	1
Chapitre I : .....	3
Généralités sur les lasers à semi conducteurs.....	3
I. Les avantages, les intérêts et les applications de GAN et ses composites : .....	3
II. Propriétés structurales et optoélectroniques : .....	4
II.1. Propriétés structurales :.....	5
II.2. Propriétés optoélectronique : .....	6
II.2.1. Indice de réfraction :.....	6
II.2.2. Gap d'énergie interdite dans le GAN :.....	7
II.2.3. Le champ de claquage et la mobilité électronique :.....	7
II.2.4. Le coefficient d'absorption :.....	8
III. Effet de la température et de la fraction molaire sur les propriétés du GaN : 9	
III.1.1. Evolution du gap d'énergie interdite en fonction de la température : ...	9
III.1.2. La mobilité électronique :.....	11
III.2. Le coefficient d'absorption :.....	13
Chapitre II :.....	14
Propriétés électroniques et optiques des semi-conducteurs pour l'application laser.....	14
II.1. Introduction : .....	16
II.2. Principes de fonctionnement d'une diode laser à semi-conducteur : .....	16
II.2.1. Confinement des porteurs et des photons :.....	16
II.2.2 Injection de porteurs et recombinaison :.....	18

II. 2.3 Transitions radiatives :.....	18
II.2.3.1 Émission spontanée : .....	19
II.2.3.2. Emission stimulée :.....	19
II.3. Mode de fonctionnement continu et impulsionnel :.....	20
II.4. Diode laser à puits quantique :.....	21
<i>Chapitre III</i> .....	23
III-1. Introduction :.....	24
III-2. Logiciel de simulation « Silvaco-Atlas »: .....	24
III-2.1. Structure de fichier d'entrée:.....	26
III-3. Structure :.....	26
III-4-Résultats et Discussion : .....	27
III.4.1. pour l'épaisseur de la couche active n=3nm :.....	28
Pour $Na = 1. 10^{18}$ .....	28
Pour $Na = 4. 10^{18}$ .....	28
Pour $Na = 6. 10^{18}$ .....	29
Pour $Na = 1. 10^{18}$ .....	29
Pour $Na = 4. 10^{18}$ .....	30
Pour $Na = 6. 10^{18}$ .....	30
III.4.2. pour l'épaisseur de la couche active n=4nm :.....	31
Pour $Na = 1. 10^{18}$ .....	31
Pour $Na = 4. 10^{18}$ .....	31
Pour $Na = 6. 10^{18}$ .....	32
Conclusion :.....	32
Conclusion générale .....	34
Bibliographies .....	35

## *Liste de figures*

**Figure I.1:** Structure a) wurtzite et b) blende de zinc des nitrures d'éléments III

**Figure I.2:** Première zone de Brillouin d'un réseau cubique faces centrées. Wurtzite GaN (*hexagonale*) GaN].

**Figure I.3:** Indice de réfraction (ordinaire) pour le GaN et l'AlGaIn en fonction de la longueur d'onde **Figure I.4:** La bande interdite pour le group III nitrides en fonction du paramètre de maille.

**Figure I.5:** Le spectre d'absorption de GaN à la température ambiante.

**Figure I.6:** Evolution du gap d'énergie de GaN en fonction de la température. Les courbes A, B et C font référence aux excitons du même nom .

**Figure I.7:** Mobilité des électrons à faible champ de GaN en fonction de la température.

**Figure I.8:** Mobilité des électrons dans  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , en fonction de la fraction de mole Al.

**Figure II.1:** profils de bande de conduction et de valence d'une jonction p-n polarisée en direct.

**Figure II.2 :** Représentation schématique d'une diode laser (InAl)GaN.

**Figure II.3:** Absorption, émission spontanée et émission stimulé.

**Figure II.4:** Lasers continu et pulsé.

**Figure II.5.** Zone active d'une diode laser à puits quantique.

**Figure III.1.** Environnement virtuel de fabrication des plaquettes de Silvaco [23].

**Figure III.2** Entrées et sorties du logiciel « Atlas » [24].

**Figure III. 3:** Groupes de commandes [39].

**Figure III.4:** Le model SCH pour un laser bleu hétéro structure In  $(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$ .

**Figure III.5:** Représente la puissance en fonction de la longueur d'onde pour ( $N_a = 1.10^{18}$ ,  $N_a = 4.10^{18}$  et Pour  $N_a = 6.10^{18}$ ).

**Figure III.6:** Représente le gain en fonction de la longueur d'onde pour ( $Na = 1.10^{18}$ ,  $Na = 4.10^{18}$  et Pour  $Na = 6.10^{18}$ ).

**Figure III.7:** Représente la puissance en fonction de la longueur d'onde pour ( $Na = 1.10^{18}$ ,  $Na = 4.10^{18}$  et Pour  $Na = 6.10^{18}$ ).



# Liste de tables

**Tableau (I-1)** Paramètres de Varshni et gap d'énergie du GAN et de l'AlN [18].

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale :**

Dans l'ensemble des matériaux, les semi-conducteurs constituent une classe bien définie, avec des propriétés physiques particulières qui sont sources d'intérêt au plan de la connaissance fondamentale et à celui des applications. Ces deux facteurs indissociables font l'importance de ces matériaux, malgré le nombre limité d'éléments et de composés semi-conducteurs.

Principalement remarquables par leurs propriétés électroniques, les semi-conducteurs interviennent dans presque tous les équipements électriques et optiques.

La plus grande partie des composants (transistors, diodes, et ce qu'on appelle puce en générale) sont réalisés en silicium qui joue un rôle prépondérant, sa technologie et sa connaissance théorique ont atteint des niveaux inégalés.

En électronique et en optoélectronique, les propriétés du silicium sont insuffisantes (mobilités des porteurs relativement petites et transitions électroniques indirectes au seuil D'absorption optique). Dans de telles applications, les composés semi-conducteurs III-V sont préférables. On citera par exemple quelques composés binaires et ternaires, GaAs, InP, GaAlAs, InGaAs,... Les propriétés de ces matériaux sont très intéressantes pour les performances de ces dispositifs.

L'objectif principal de ce travail est la simulation des caractéristiques électriques et optiques d'un dispositif Laser à hétéro structure de la famille III-V des semi-conducteurs, à travers le logiciel Silvaco Atlas.

Un Laser à semi-conducteur se compose d'une jonction PN réalisée avec un matériau à bande interdite directe; le côté N contient un excès d'électrons tandis que le côté P contient un excès de trous. À travers cette jonction il se forme une barrière de potentielle qui empêche la recombinaison entre les électrons et les trous. La polarisation directe de cette jonction abaisse cette barrière et facilite la recombinaison des porteurs. Si la polarisation directe est importante, il se produit une inversion de population qui rapporte le gain exigé pour l'émission laser.

L'interaction entre la région active et la lumière laser est optimisée par l'utilisation d'une double hétéro structure consistée par une combinaison de matériaux semi-conducteurs avec différentes bandes interdites. Cette structure assure le confinement des photons et des porteurs de charges suite aux différences d'indices de réfraction et de largeurs de bandes interdites respectivement. L'utilisation de cette technique de confinement améliore l'efficacité du laser et abaisse le courant d'entraînement.

## Introduction générale

---

Les semi-conducteurs employés dans notre travail sont les III-N qui sont des semi-conducteurs directs,

Le système GaN/InGaN a été jusqu'ici le plus étudié et le plus utilisé pour réaliser des diodes lasers. Pour différentes raisons :

Le GaN est un semi-conducteur à gap direct que l'on peut doper n et p facilement.

Le composé ternaire InGaN peut être fabriqué sur une gamme étendue de composition et présente avec GaN un désaccord de maille très faible (0.1%) pour toutes les valeurs de x.

L'accord de maille entre les constituants d'une structure multicouche est un paramètre important car il conditionne l'absence de contraintes créant des centres de recombinaison non radiative.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les lasers à semi**  
**conducteurs**

## I. Les avantages, les intérêts et les applications de GaN et ses composites :

Dans ce chapitre nous allons reporter un résumé sur les principales propriétés de GaN et ses composites. Le GaN poly-cristallin a été synthétisé pour la première en 1932 au début des années 1970, la première croissance des couches épitaxiales de GaN a été rapporté dans la littérature [1]. Le GaN et ses alliages avec le nitrure d'indium (InN) et le nitrure d'aluminium (AlN) sont actuellement l'objet de beaucoup de recherches concernant les semi-conducteurs [2].

La structure de bande interdite directe est mise à profit pour la réalisation de dispositifs optiques (GaN et alliages), ce qui autorise un spectre d'applications du visible aux ultraviolets, en émission et en détection : le matériau GaN est le seul qui puisse prétendre à des applications optoélectroniques aux courtes longueurs d'onde (bleu, ultraviolet, blanc). Les recherches sur le GaN sont commencées dans les années 60 et la première bleue-LED réalisé à base de GaN en 1971 [3]. Le GaN présente les avantages d'une bande interdite directe, d'une grande stabilité chimique, de très bonnes propriétés mécaniques, mais également de propriétés physiques intéressantes qui le rendent non seulement attractif pour les émetteurs bleus, mais également pour l'électronique haute température, haute puissance et haute fréquence. Sa large bande interdite permet également d'envisager son utilisation dans des photo-détecteurs UV insensibles au rayonnement visible du soleil.

Les III-nitrides ont des propriétés intrinsèques supérieures, comme le champ de claquage électrique élevée (de  $3,3 \text{ MV} \cdot \text{cm}^{-1}$  pour GaN à  $11,7 \text{ MV} \cdot \text{cm}^{-1}$  pour AlN), la haute mobilité d'électrons ( $\approx 2\,000 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ), et une large bande interdite (de 3,4 pour GaN eV à 6,2 eV pour AlN) en comparaison avec des matériaux utilisés souvent pour les composants électroniques comme le Si ou GaAs [17]. Ainsi la forte conductivité thermique du GaN ( $1.3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  contre  $0.5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  pour le GaAs) et de certains substrats (diamant  $>9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , SiC  $>5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) est avantageuse pour l'évacuation de la chaleur. Mais, le développement de GaN a été limité par la mauvaise qualité du matériau obtenu, des recherches ont abouti à un matériau de bonne qualité [4]. Cependant, les années 1990 ont apporté des avancées significatives dans la sophistication des techniques de croissance, la pureté des produits chimiques utilisés pour le dépôt du film, l'introduction contrôlée et l'activation des impuretés sélectionnées, et les progrès dans les techniques de traitement. La plupart des obstacles mentionnés ci-dessus ont été suffisamment surmontés, et les dispositifs électroniques et optiques ont été démontrés et partiellement commercialisés.

Autres applications importantes des LED à base de GaN sont de retour éclairage (téléphones cellulaires, ordinateurs portables, ...), la lumière blanche (lampes de poche, phares de voiture),

Le développement futur dans ce domaine va certainement être alimenté par la demande croissante de haute température, applications haute puissance. Pour des applications dans le génie électrique ou l'électronique, qui nécessitent à la fois des tensions maximales et des temps de commutation les plus courts possibles les propriétés des GaN sont bien supérieures à celles du Si ou de GaAs. D'une façon générale, les nitrures du groupe III-V offrent une combinaison de valeur de comportement électrique, optique et piézoélectrique, et permettent la fabrication de diodes électroluminescentes, LDs, détecteurs, et des transistors et les principaux domaines actuels d'application industrielle des nitrures d'éléments III, sont en particulier les suivants [5]:

- Les diodes électroluminescentes émettant dans le violet, le bleu, le vert, l'ambre (hétéro structures GaN/InGaN) et l'ultra-violet (hétéro structures GaN/AlGaN).
- Les lasers bleus (hétéro structures GaN/AlGaN/InGaN).
- Les transistors à effet de champ à gaz d'électrons bidimensionnels (hétéro structures GaN/AlGaN).
- Les photo-détecteurs dans l'ultraviolet.
- Et des transistors à haute mobilité électronique d'AlGaN/GaN pour l'application biocapteur [6].

## **II. Propriétés structurales et optoélectroniques :**

L'intérêt important et croissant dans les semi-conducteurs III-nitrures réside dans la large gamme d'applications utiles qui peuvent être obtenus, à partir de transistors de haute mobilité d'électrons (HEMT) à de LED et les lasers. Cependant, les matériaux de nitrure III sont généralement obtenus par croissance épitaxiale sur des substrats étrangers, qui conduisent à la formation d'un grand nombre de dislocations et les variations de contraintes significatives dans les couches épitaxiales qui affectent sérieusement la performance des dispositifs basés sur eux. Le GaN est un semi-conducteur de la famille des «III-V», étant composé d'atomes des colonnes III et V du tableau périodique [5].

## II.1. Propriétés structurales :

Les semi-conducteurs III-nitrides existent sous deux formes cristallines : la phase wurtzite (hexagonale) (figure (I.1) (a)) et la phase blende de zinc (cubique) (figure (I.1) (b)). Le GaN, AlN et ses alliages peut exister dans la phase cubique (zinc-blend) et dans la phase hexagonale (wurtzite), ce dernier étant thermodynamiquement favorable. La structure wurtzite se compose de deux sous réseaux hexagonaux compacts, l'un occupé par l'azote (N) et l'autre par l'élément III (Ga, Al, In) [7].

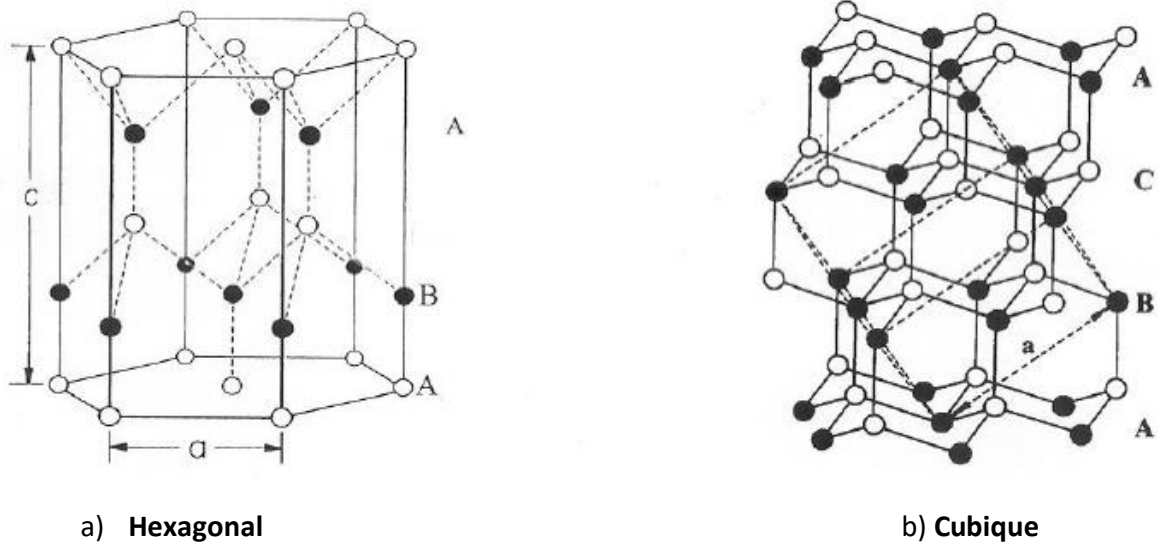


Figure (I.1) Structure a) wurtzite et b) blende de zinc des nitrides d'éléments III. [7].

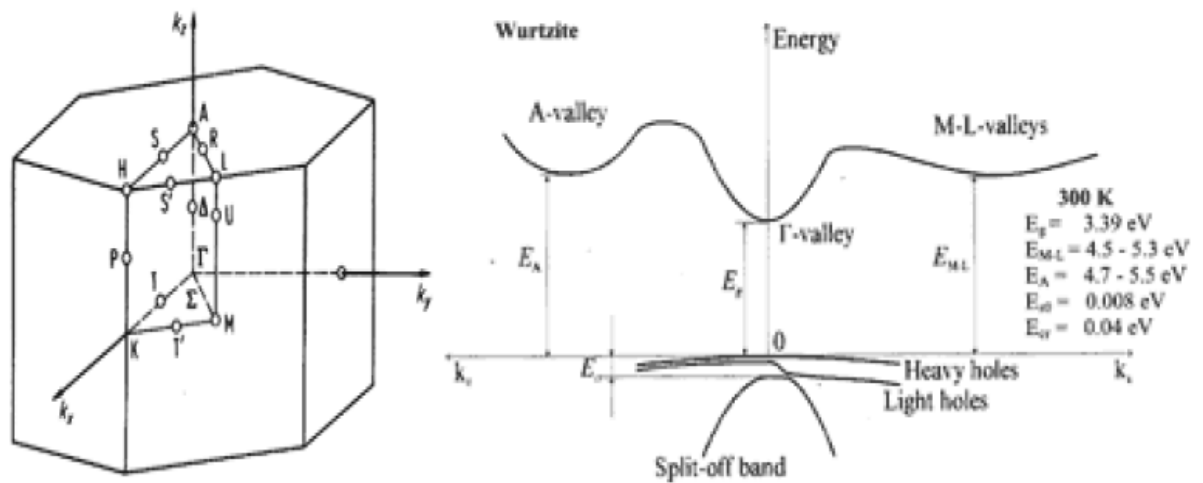


Figure (I.2) Première zone de Brillouin d'un réseau cubique faces centrées. Wurtzite GaN (hexagonale) GaN [8].



## II.2. Propriétés optoélectronique :

Les propriétés optiques d'un matériau regroupent principalement son indice de réfraction et son coefficient d'absorption. Ces propriétés sont primordiales pour les composants optoélectroniques puisqu'elles régissent le déplacement de la lumière dans le composant. Par exemple, dans un dispositif composé de différents matériaux, la lumière a tendance à se propager dans les matériaux ayant le plus fort indice de réfraction. On peut alors confiner la lumière dans une couche particulière, comme c'est le cas pour les lasers. Cette propriété est aussi très intéressante pour les applications cellules solaires afin d'augmenter l'efficacité d'absorption de la lumière. Les nitrures d'éléments III présentent une grande variété de structure de bande [5].

### II.2.1. Indice de réfraction :

L'indice de réfraction est un paramètre très utile dans les structures laser, pour cela, la connaissance de ce paramètre est indispensable pour le confinement optique, la propagation des photons dans le guide d'onde ....etc. Dans le cas du GaN, l'indice de réfraction est égal à environ 2,3 [9], alors que pour l'InN il vaut environ 2,9 dans l'infrarouge [10]. Anani et al [11] ont estimé expérimentalement la variation de l'indice de réfraction des alliages de nitrures d'éléments III en fonction de l'énergie d'un photon absorbé par le matériau. Le tracé de l'indice de réfraction en fonction de la composition reporté sur la Figure (I.3) montre que l'équation qui relie ces valeurs est de type quadratique. La variation de l'indice de réfraction ordinaire  $n$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ , dans la gamme de transparence.

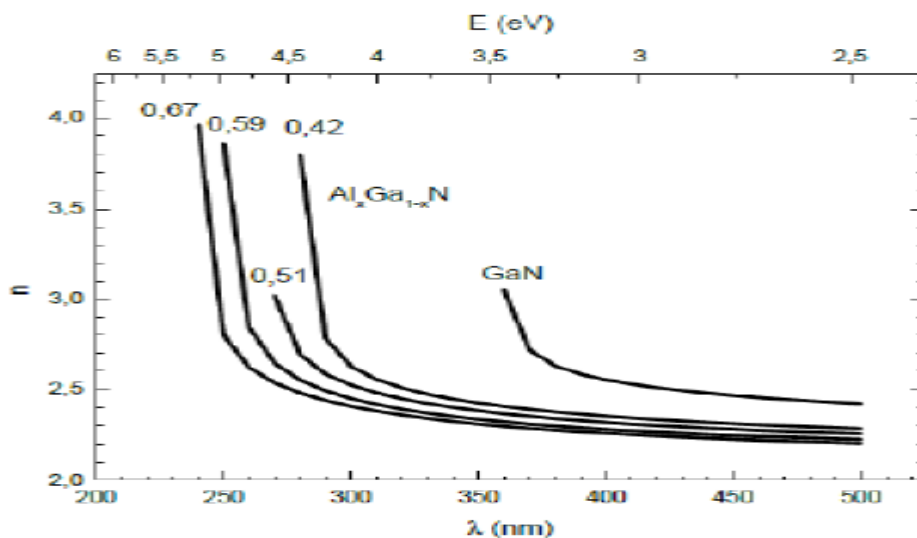


Figure (I.3) Indice de réfraction pour le GaN et AlGaIn en fonction de la longueur d'onde [12].

### II.2.2. Gap d'énergie interdite dans le GaN :

La nature du gap joue un rôle fondamental dans l'interaction du semi-conducteur avec un rayonnement électromagnétique (en particulier lumineux), et donc dans le fonctionnement des composants utilisés en optoélectronique. On peut remarquer, pour l'instant, que dans un SC à gap direct un électron du haut de la Bv qui acquière une énergie  $E_g$  passe dans la Bc sans changer de quantité de mouvement ce qui n'est pas le cas dans un SC à gap indirect. La largeur de la bande interdite joue aussi un rôle important selon l'application envisagée. Les semi conducteurs à grand gap permettent d'atteindre des tensions de claquage et des températures de fonctionnement assez élevées, ce qui rend possible leur utilisation dans les dispositifs à haute tension d'alimentation. III-nitrides présentent toujours une bande interdite directe, qui couvre une large gamme d'énergie qui va du mi-infrarouge pour InN à l'UV profond pour AlN (Figure (I.4)). SiC et GAN possèdent un gap deux à trois fois plus grand et le champ de claquage est de l'ordre de grandeur plus grand que celles de Si, le GaAs ou InP [13].

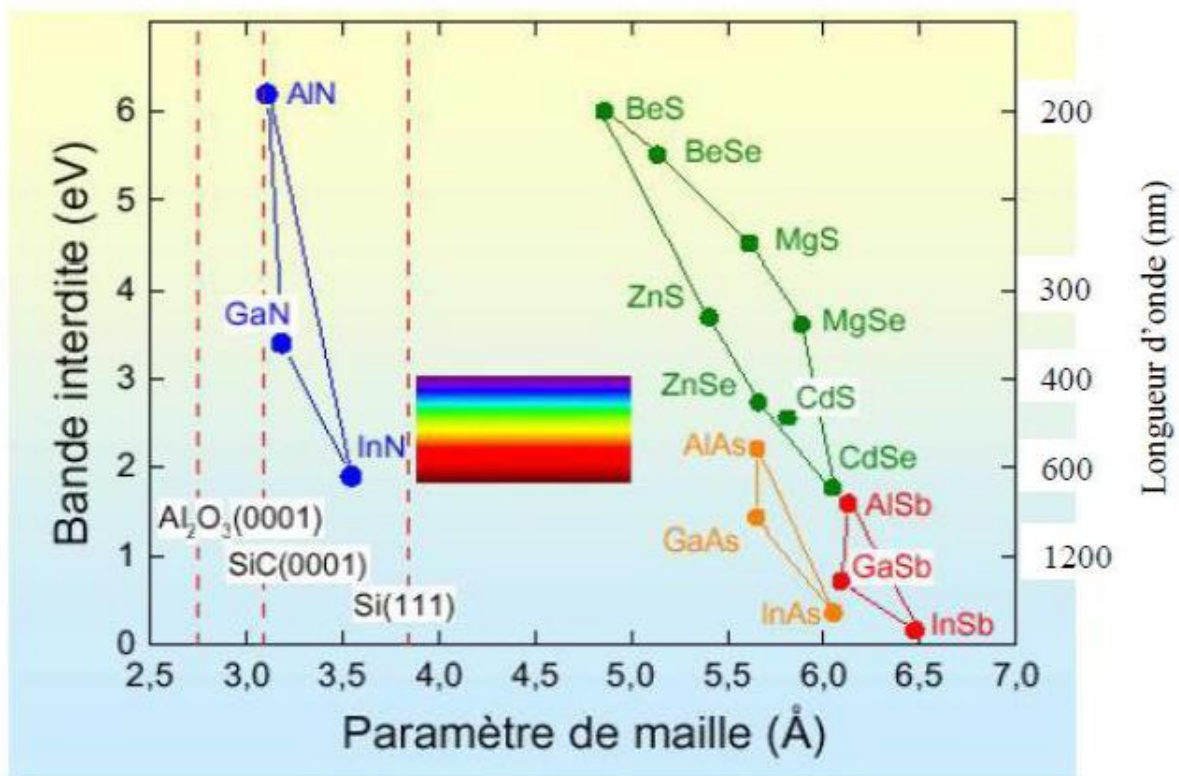


Figure (I.4) La bande interdite pour le group III nitrides en fonction du paramètre de maille.

### II.2.3. Le champ de claquage et la mobilité électronique :

Une propriété électrique importante dans les semi-conducteurs est la capacité de déplacement des électrons sous l'effet d'un champ électrique, appelée mobilité électronique. La mobilité

électronique dépend fortement de la qualité cristallographique du matériau. Le GAN possède une mobilité électronique satisfaisante, ce qui favorise la montée en fréquence des composants électroniques (les HEMTs par exemples). Le champ de claquage d'un matériau représente le champ électrique maximal qu'il peut supporter. Comme pour tous les matériaux à large bande interdite, le champ de claquage du GAN est très élevé. Les composés III-N sont des matériaux de choix pour la réalisation de dispositifs microélectroniques hyperfréquence et de puissance. La combinaison d'un champ de claquage important ( $>3.3 \text{ MV.cm}^{-1}$  pour GAN) avec la possibilité d'atteindre des mobilités et des densités électroniques élevées permet à la technologie GAN d'être aujourd'hui largement acceptée comme un véhicule pour les applications haute fréquence/haute puissance [13].

#### II.2.4. Le coefficient d'absorption :

Dans la figure (I.5), le spectre d'absorption de GaN à la température ambiante est présenté. L'encart est une vue agrandie de la structure exciton que à 77oK. A température ambiante, les excitons A et B se chevauchent en raison de l'élargissement de phonon pour former un pic alors que l'exciton C apparaît comme un changement de pente. À 77oK, les excitons A, B, et C sont clairement résolus montrant l'absorption exciton que en raison des trois bandes de valence [14].

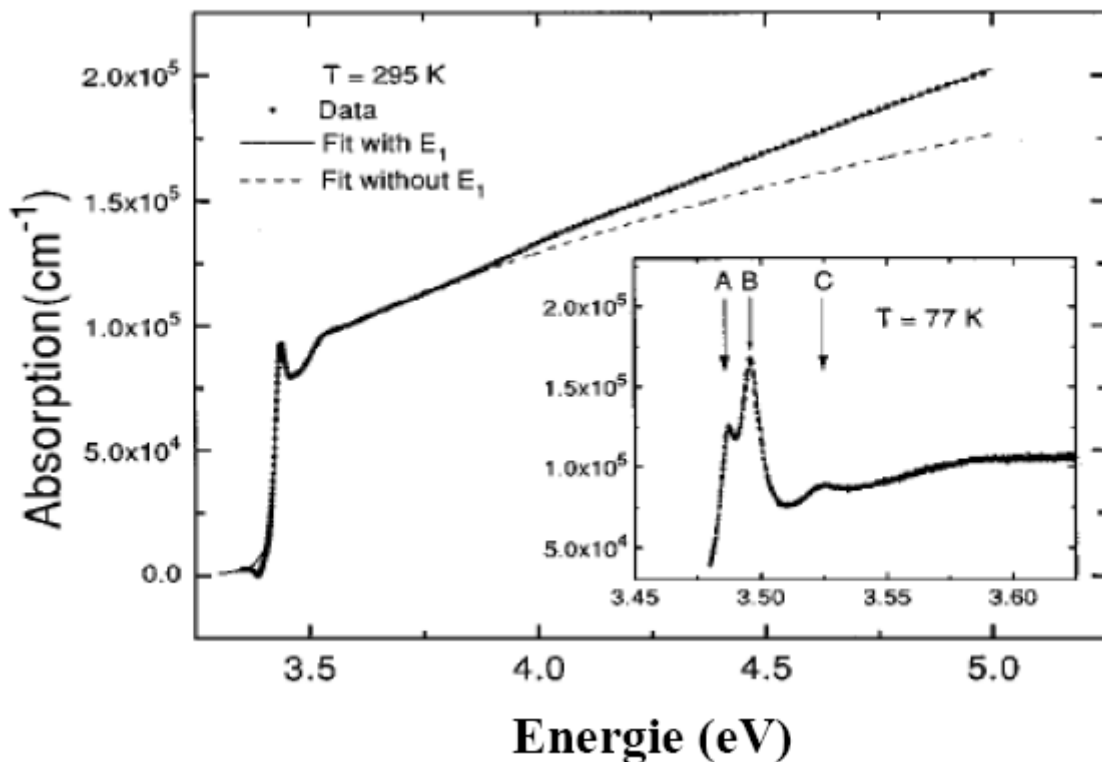


Figure (I.5) Le spectre d'absorption de GaN à la température ambiante [14].

### **III. Effet de la température et de la fraction molaire sur les propriétés du GaN :**

Les alliages semi-conducteurs, avec la richesse de leurs structures électroniques et leurs propriétés thermiques, électriques, ont trouvé une large application dans les dispositifs optoélectroniques. Il est donc impératif de donner quelques notions de base traitant ce sujet, en reliant les propriétés des alliages semi-conducteurs à leurs constituants, notamment à la température et de a la fraction molaire. L'influence de la température et de la fraction molaire dans des matériaux utilisées (caractérisées) se traduit par une évolution de leurs propriétés physiques telles que : largeur de la bande interdite, concentration intrinsèque de porteurs, longueur de diffusion, coefficient d'absorption, la conductivité thermique, mobilité des porteurs de charges, etc. (l'intensité de la lumière et l'augmentation de la température locale sous l'impact un faisceau électronique). Pour mieux comprendre la dépendance en température et de la fraction molaire, nous utiliserons les expressions analytiques proposées dans la littérature qui permettent d'expliquer d'une manière adéquate les différents comportements liés à ces paramètres caractéristiques. De plus, il est nécessaire de connaître l'ordre de grandeur pour la compréhension et l'interprétation des résultats obtenus par la simulation. Nous allons introduire des variations à certains paramètres tels que la chaleur spécifique, la conductivité thermique, qui sont considérés comme des constantes dans l'ancien modèle de simulation de Nouri et al [15]. En réalité, ils varient en fonction de la température. Pour améliorer ce modèle et pour étudier l'influence de la température sur les paramètres physiques tels que la bande interdite ( $E_g$ ), la longueur de diffusion ( $L_n$ ), la concentration intrinsèque ( $n_i$ ) et autres, ces derniers sont exprimés en fonction de la température.

#### **III.1.1. Evolution du gap d'énergie interdite en fonction de la température :**

La taille de la bande interdite confère des caractéristiques optoélectroniques importantes à chaque semi-conducteur. En effet, la largeur de bande interdite fixe la limite en température en dessous de laquelle le dispositif peut fonctionner sans détérioration, ainsi que l'aptitude du semi-conducteur à résister aux radiations. D'après [16 ,17], deux mécanismes sont responsables à la diminution de l'énergie de bande interdite d'un semi-conducteur lorsque sa température augmente:

- La dilatation thermique, qui modifie les positions des bandes de valence et de conduction.

- Les interactions électron-photon, qui induisent un décalage des positions relatives des bandes de valence et de conduction. C'est ce phénomène qui donne lieu à la plus forte contribution dans la variation en température d' $E_g$ .

Pour décrire la variation du gap en fonction de la température, on utilise généralement la loi de Varshni qui s'écrit :

$$E_g = E_g(T_0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (\text{I.1})$$

Où  $E(T_0)$  est le gap à la température  $T_0$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres ajustables qui dépendent de la nature du semi-conducteur.

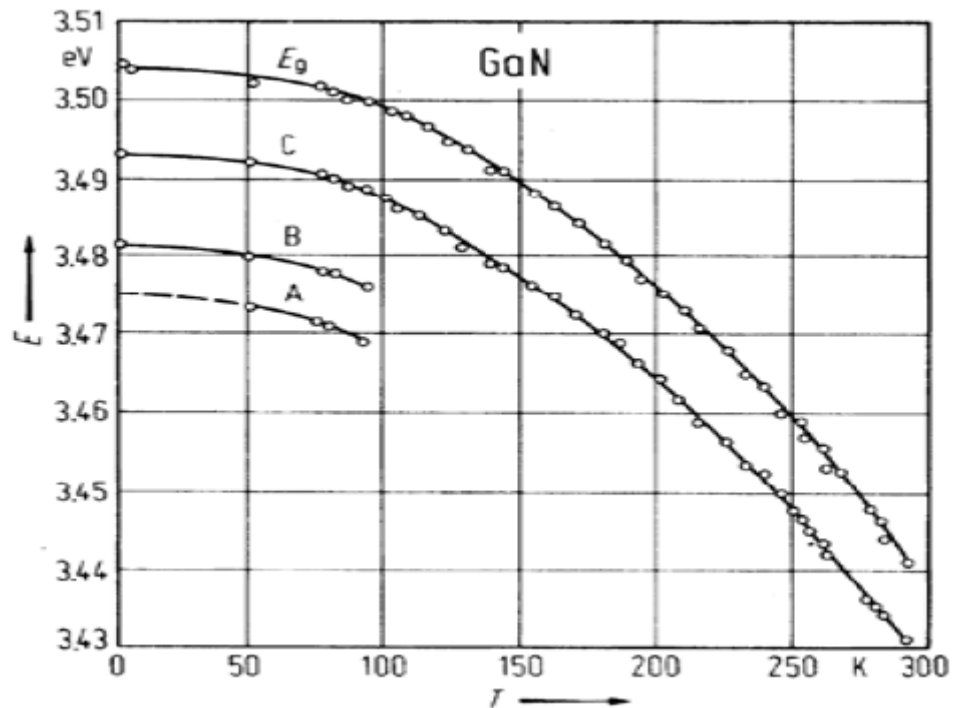
Matériau	$E_g(300\text{K})$ [eV]	$\alpha$ [eV.K <sup>-1</sup> ]	$\beta$ [K]
GaN	3.4	$9.09 \cdot 10^{-4}$	800
AlN	6.2	$18.0 \cdot 10^{-4}$	1462

**Tableau (I-1)** Paramètres de Varshni et gap d'énergie du GaN et de l'AlN [18].

La variation de la bande interdite avec la température a été mesurée pour le GaN à partir d'analyse par photoluminescence du spectre de réflexion de l'exciton du nitrure de gallium massif réalisé par Monemar [19] et donne une relation empirique précise de l'évolution de la bande interdite en fonction de la température :

$$E_g(T) = 3.503 - \frac{5.08 \cdot 10^{-4} \cdot T^2}{T - 996} \text{ eV} \quad \text{Pour} \quad T < 295 \quad (\text{I.2})$$

La validité de cette expression est limitée à des températures inférieures à la température ambiante  $T < 300\text{K}$ , avec une incertitude de 0.002eV.

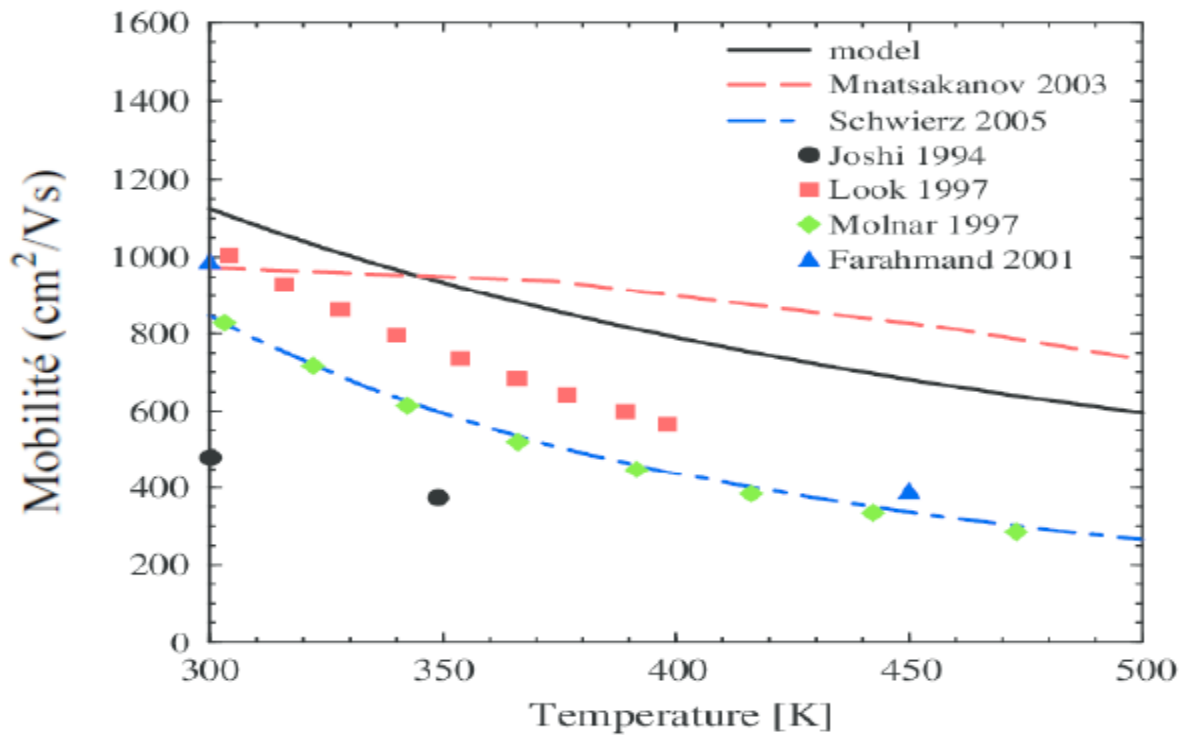


**Figure (I.6)** Evolution du gap d'énergie de GaN en fonction de la température. Les courbes A, B et C font référence aux excitons du même nom [19].

### III.1.2. La mobilité électronique :

Les électrons et les trous dans les composants électroniques actifs sont accélérés par le champ électrique, mais perdent de leur vitesse à la suite de divers processus de diffusion. Ces mécanismes de diffusion comprennent des vibrations de réseau (phonons), d'impuretés, des surfaces et d'autres imperfections. Puisque les effets de tous ces phénomènes microscopiques sont groupés dans les mobilités macroscopiques introduites par les équations de transport, ces mobilités sont donc des fonctions du champ électrique local, de la température du réseau, de la concentration de dopage, etc. L'augmentation de la température engendre des perturbations dans le réseau cristallin qui affectent la mobilité des porteurs. À proximité de la température ambiante ( $T = 300K^0$ ) et à des champs électriques faibles, la mobilité est souvent considéré comme suivant :

$$\mu = \mu_{T_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\gamma_1} \quad (\text{I.3})$$

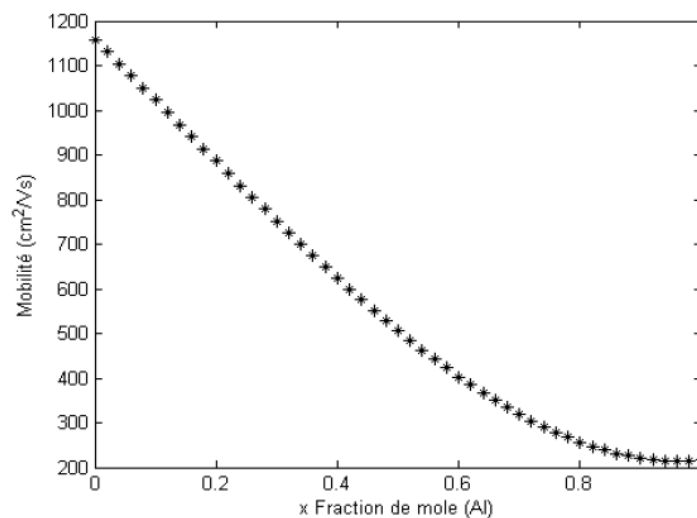


**Figure (I.7)** Mobilité des électrons à faible champ de GaN en fonction de la température.

A faible champ ; la courbe décrivant la mobilité des électrons dans ces alliages, est approchée par l'équation [20]:

$$\mu(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (I.4)$$

Où a, b et d sont des constantes [20].



**Figure (I.8)** Mobilité des électrons dans  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , en fonction de la fraction molaire Al [20].

**III.2. Le coefficient d'absorption :**

Dans ce paragraphe, nous revenons encore une fois pour voir l'influence de la température et de la fraction molaire sur le coefficient d'absorption. Tous d'abord, le coefficient d'absorption dépend de plusieurs paramètres qui sont : la longueur d'onde de la radiation incidente, le dopage, la pureté ainsi que la température de l'échantillon. L'énergie minimale nécessaire au photon incident pour provoquer la transition électronique dépend de la largeur de bande interdite du matériau, c'est la raison pour laquelle on détermine un coefficient d'absorption intrinsèque. Pour des photons d'énergie inférieure à  $E_g$ , le coefficient d'absorption est négligeable et la radiation lumineuse traverse le matériau avec une atténuation quasiment nulle.

$$\alpha(T) = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu - E_g}{k_B T}\right) \text{ pour } h\nu < E_g \quad k_B : \text{ constante de Boltzmann.}$$



*Chapitre II :*

*Propriétés électroniques et optiques des semi-conducteurs  
pour l'application laser*

## **II.1. Introduction :**

Les diodes laser violet InGaN/GaN ont été lancées par Nakamura et al. et sont maintenant disponibles dans le commerce. Ces diodes laser ont un potentiel dans un certain nombre d'applications telles que le stockage optique, impression, écrans couleur, capteurs chimiques et applications médicales. La capacité de données des disques numériques polyvalents (DVD) peut être augmentée de 4,7 à plus de 15 gigabits en utilisant des lasers InGaN au lieu des lasers rouges AlInGaP.

La durée de vie estimée du laser InGaN sous un fonctionnement continue à température ambiante a été améliorée à plus de 10 000 heures en utilisant du GaN épitaxié latéralement comme substrat et des super-réseaux à couche contrainte AlGaIn/GaN (SLS) comme couches de revêtement.

Des densités de courant de seuil aussi faibles que  $1,2 \text{ kA/cm}^2$  ont été obtenues à l'aide de puits quantiques In<sub>0,15</sub>Ga<sub>0,85</sub>N (QW).

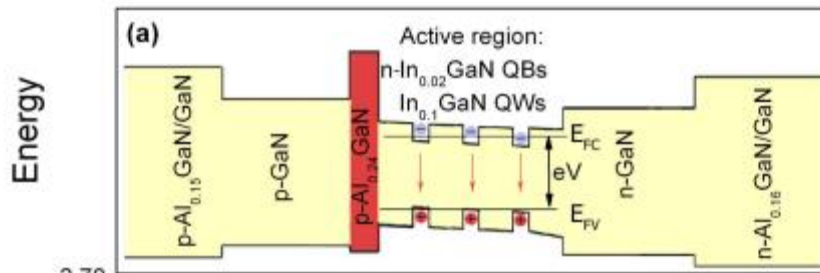
## **II.2. Principes de fonctionnement d'une diode laser à semi-conducteur :**

### **II.2.1. Confinement des porteurs et des photons :**

Un laser à semi-conducteur est une structure de diode créée par des matériaux de types de conductivité opposés (négatifs et positifs). Une fois ces matériaux physiquement connectés, les porteurs majoritaires commencent à diffuser le long du gradient de concentration en laissant derrière eux des donneurs et des accepteurs ionisés. La charge d'espace formée par les dopants ionisés établit le champ électrique dirigé à l'opposé de la direction de diffusion des porteurs. Les processus de dérive et de diffusion se poursuivent jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint, ce qui se traduit par une flexion des profils de bande de conduction et de valence le long de l'axe de croissance en raison de la formation d'un niveau de Fermi constant dans toute la structure laser. L'application du biais direct perturbe l'équilibre. Le mouvement net des porteurs à travers la pile laser apparaît. Les porteurs de charges opposées générés par l'excitation électrique doivent se recombiner radiativement dans la région active, comme illustré à la figure (II.1).

Pour les faibles courants d'injection, la lumière est émise de manière incohérente d'une manière similaire au cas des LED. Afin d'atteindre une action laser, il faut fournir une concentration suffisamment élevée de porteurs dans la région active, ce qui est nécessaire

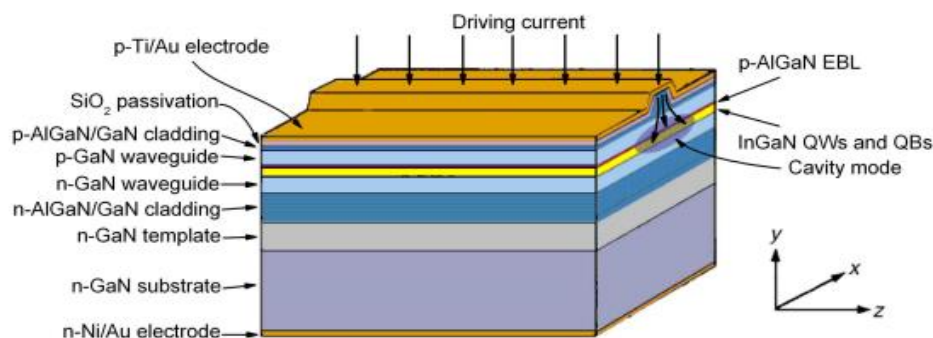
pour induire l'inversion de population. Les photons générés de cette manière voyagent à travers les couches épitaxiales et induisent d'autres événements de recombinaison des porteurs. Sous une excitation suffisamment élevée, un processus semblable à une avalanche de recombinaison optique stimulée par des photons se produit. L'appareil commence à agir comme un amplificateur optique.



**Figure II.1:** profils de bande de conduction et de valence d'une jonction p-n polarisée en direct

L'effet d'une amplification optique peut être le plus efficacement accompli par l'utilisation d'une hétérostructure de confinement séparé (SCH). L'idée utilise un concept de confinement indépendant des porteurs injectés et des photons émis. Dans le cas des dispositifs à base de nitrure, l'approche est réalisée par une couche active mince (dans une gamme nanométrique) constituée d'une série de minces puits quantiques InGaN (QW) et de barrières quantiques (QB), qui servent de confinement des porteurs (voir Figure II.1)

Ils sont pris en sandwich entre un guide d'ondes optique à base de GaN de type n et p et des super-réseaux AlGaIn/GaN utilisés comme couches de revêtement pour un guide d'ondes optique. En raison d'une concentration accrue de porteurs excités, la probabilité de la recombinaison radiative augmente également.



**Figure II.2 :** Représentation schématique d'une diode laser (InAl)GaN

### II.2.2 Injection de porteurs et recombinaison :

Dans tous les cas pratiques, le courant électrique appliqué aux électrodes de contact du dispositif joue le rôle d'une source de population de porteurs excités établie dans la région active. L'injection efficace de porteurs est l'un des principaux facteurs nécessaires pour approcher les conditions spécifiques dans lesquelles l'effet laser se produit. Après l'injection, en raison de la diffusion intra bande, les électrons et les trous en excès s'équilibrent instantanément. Même dans des conditions d'injection dynamique, les probabilités d'occupation de l'état fondamental (E1) et de l'état excité (E2) suivent les fonctions de distribution de Fermi-Dirac . Les niveaux d'occupation séparés pour la conduction ( $E_{F_c}$ ) et la bande de valence ( $E_{F_v}$ ) établis de cette manière sont généralement séparés d'un peu moins que la tension appliquée à la jonction p-n (Figure II.1).

$$f_1 = \frac{1}{\exp\left[\frac{E_1 - E_{F_v}}{k_B T}\right] + 1} \quad (\text{II.1})$$

$$f_2 = \frac{1}{\exp\left[\frac{E_2 - E_{F_c}}{k_B T}\right] + 1} \quad (\text{II.2})$$

Le principe de neutralité de charge exige que la densité de charge totale dans le puits quantique ou dans toute la région active soit égale à zéro. Étant donné que les puits quantiques sont généralement non dopés ou légèrement dopés, on peut supposer que la concentration d'électrons (N) est égale à la concentration de trous (P). Ainsi, il est possible d'extraire des informations sur une dépendance de la densité de porteurs des mécanismes de recombinaison uniquement en suivant uniquement la densité d'électrons injectés.

### II. 2.3 Transitions radiatives :

La dépendance temporelle de la concentration d'électrons excités peut être enfermée dans une équation de taux de porteurs qui prend en considération tous les mécanismes de recombinaison de porteurs possibles se produisant dans un volume actif unitaire par intervalle de temps unitaire ( $s^{-1}m^{-3}$ ):

$$\frac{dN}{dt} = G - R \quad (\text{II.3})$$

L'injection de porteurs causée par la tension électrique appliquée entre par le taux de génération G. Le taux de recombinaison total des porteurs R dépend à son tour de nombreux mécanismes de recombinaison différents consistant en les taux de recombinaison suivants :

recombinaison spontanée ( $R_{sp}$ ), recombinaison stimulée net ( $R_{st}$ ), recombinaison non radiative ( $R_{nr}$ ) et la fuite de porteur ( $R_l$ ).

$$R = R_{sp} + R_{st} + R_{nr} + R_l$$

(II.4)

### II.2.3.1 Émission spontanée :

Un électron du niveau supérieur  $E_2$  passe spontanément au niveau inférieur  $E_1$  en émettant un photon d'énergie  $h\nu = (E_2 - E_1)$ .

### II.2.3.2. Emission stimulée :

La lumière incidente de fréquence force le passage d'un électron du niveau supérieur au niveau inférieur et l'émission d'un photon d'énergie  $h\nu = (E_2 - E_1)$ . L'absorption et l'émission stimulées sont des interactions cohérentes. En effet, pour les deux phénomènes l'échange d'énergie correspond à une onde partielle en relation de phase bien déterminée avec l'onde primaire. L'émission spontanée, par contre, est un processus incohérent car indépendant du champ de radiation environnant et statistiquement indépendant d'un atome à l'autre. Dans les sources de lumière thermique (lampes à incandescence, lampes à arc, etc.), c'est l'émission spontanée qui livre la partie prépondérante de l'émission qui est donc incohérente.

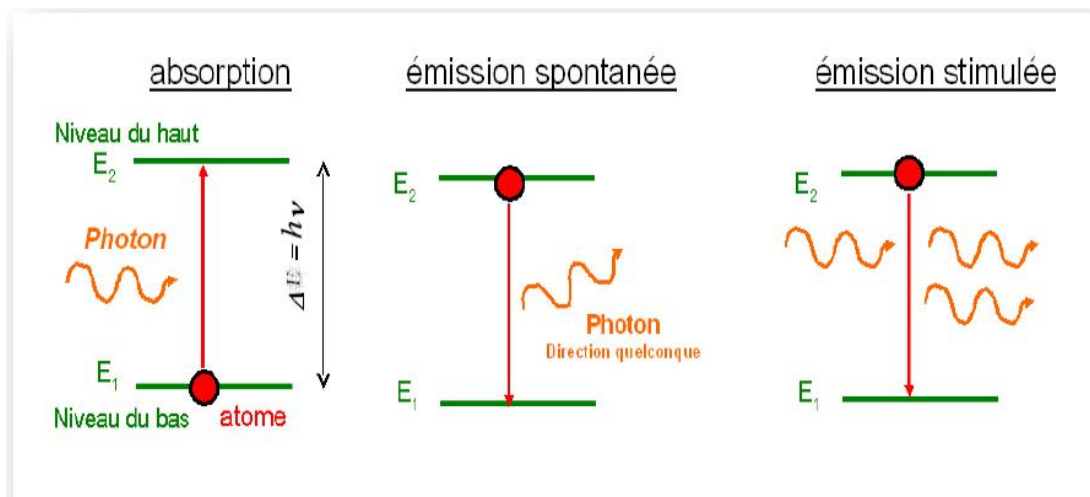


Figure II.3: Absorption, émission spontanée et émission stimulé

### L'inversion de population :

On a vu que l'émission stimulée d'un atome ou d'une molécule produit un nouveau photon qui a exactement la même fréquence, phase et direction que le photon incident ; dans un laser, cela se fait à grande échelle, sur un très grand nombre d'atomes ou molécules identiques. C'est pourquoi un laser a la particularité d'émettre une onde lumineuse intense dont la

direction, la fréquence et la phase sont très bien déterminées. Il s'agit d'une lumière dite cohérente, contrairement par exemple à celle émise par une ampoule à filament, qui émet de nombreuses ondes de fréquences et phases diverses et ce dans toutes les directions. Mais pour obtenir un effet d'émission stimulée sur un grand nombre d'atomes ou molécules, il faut fournir de l'énergie au milieu matériel afin que ses atomes ou molécules soient pour la plupart dans un niveau d'énergie excité  $E_2$ , et non dans leur niveau fondamental  $E_1$ . C'est ce qu'on appelle effectuer une inversion de population, car à l'équilibre thermodynamique la majorité des atomes se trouvent au contraire dans l'état d'énergie le plus bas (plus précisément, le rapport des populations des niveaux  $E_2$  et  $E_1$  vaut, à l'équilibre thermodynamique à la température absolue.

Le mécanisme précis aboutissant à l'inversion de population fait intervenir un ou plusieurs niveaux d'énergie intermédiaires entre  $E_1$  et  $E_2$  (ce n'est pas possible s'il n'y a que ces deux niveaux). De plus, le niveau excité  $E_2$  doit être suffisamment stable pour que l'émission spontanée ne se produise pas trop rapidement; autrement, celle-ci devancerait l'émission stimulée et l'on n'obtiendrait pas une onde lumineuse cohérente.

### **Résonateur optique :**

Le résonateur est constitué de deux miroirs parallèles entre lesquels est placé le milieu actif. Le premier miroir, le réflecteur, est totalement réfléchissant alors que le second, le coupleur, est semi-transparent. Il permet ainsi à la lumière de sortir de la cavité, le résonateur contribue en grande partie à l'amplification de la lumière dans le laser. Les photons en étant réfléchis par les miroirs, peuvent traverser plusieurs fois le milieu actif et provoquer l'émission stimulée d'un plus grand nombre de photons. Lorsque le processus d'amplification se produit dans le laser, on dit qu'il oscille.

### **Le Pompage :**

Le pompage permet d'amener une majorité des particules à l'état excité. (Il y'a ensuite accumulation d'électrons sur le niveau métastable, c'est l'inversion de population. Celle-ci favorise l'émission stimulée.

### **II.3. Mode de fonctionnement continu et impulsionnel :**

Un laser donné fonctionnera en mode continu ou par impulsions en fonction de la nature, il existe deux types:

- La possibilité offerte par lasers de fournir l'énergie lumineuse sous forme d'impulsions brèves, tout en conservant une puissance moyenne à peu près constante. Permet d'atteindre des puissances instantanées très élevées, et donc de très grands champs électriques [21].

- Les lasers peuvent fonctionner en mode continu (leur puissance est constante).

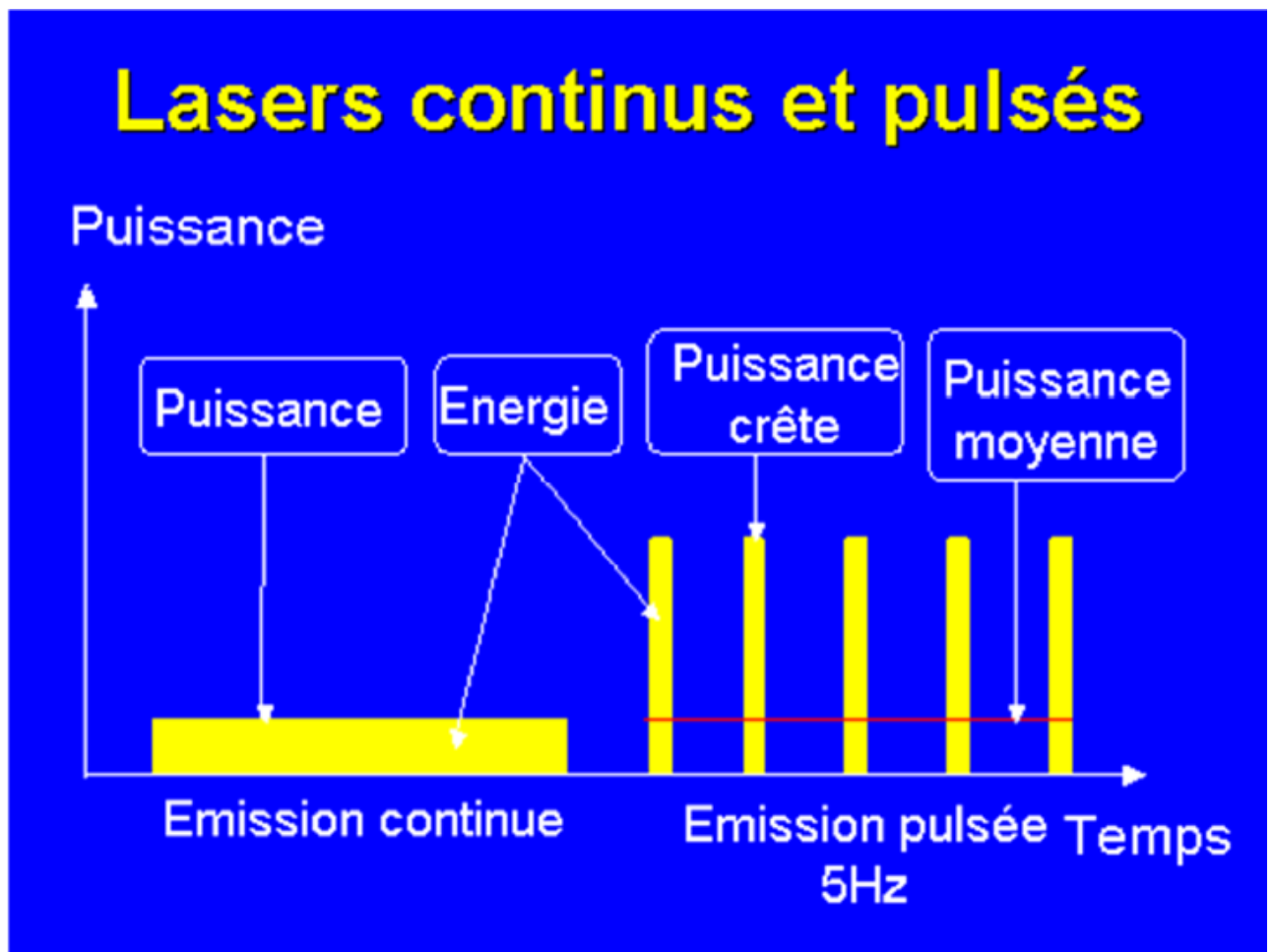


Figure II.4: Lasers continu et pulsé [21].

#### II.4. Diode laser à puits quantique :

Depuis les années 70, les progrès techniques de la microélectronique ont permis la diminution des épaisseurs de couches d'hétéro-structures pour atteindre des dimensions quantiques. Dans le cas des diodes laser, la réduction d'épaisseur de la zone active a eu certaines conséquences comme la réduction du courant de seuil. La double hétéro-structure présentée sur la Figure (I.5) peut alors être de taille si réduite que les électrons et les trous verront les discontinuités respectives de la bande de conduction et de la bande de valence se comporter comme des puits quantiques en vis-à-vis (Figure II.5).

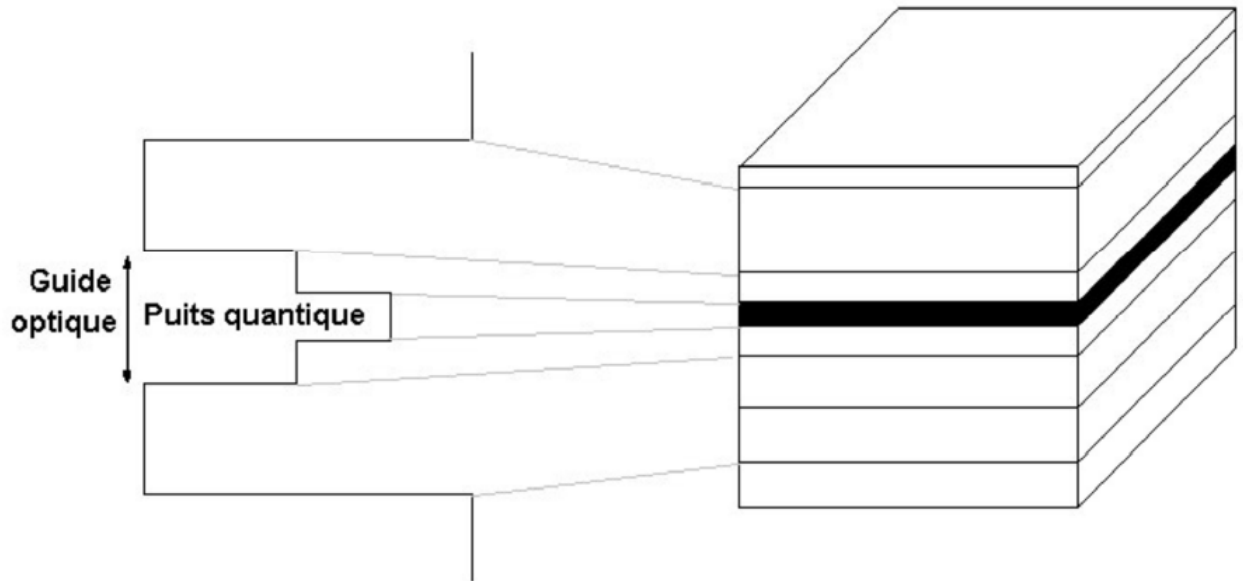


Figure II.5. Zone active d'une diode laser à puits quantique [22]



### *Chapitre III*

## *Résultats de simulation*

**III-1. Introduction :**

Dans ce travail, nous étudions numériquement l'effet de l'épaisseur de la région active sur les modèles de champ proche et lointain des structures laser InGaN. Dans la simulation, une structure typique avec une région active InGaN-QW, un guide d'onde GaN et des couches de confinement Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N sont considérées.

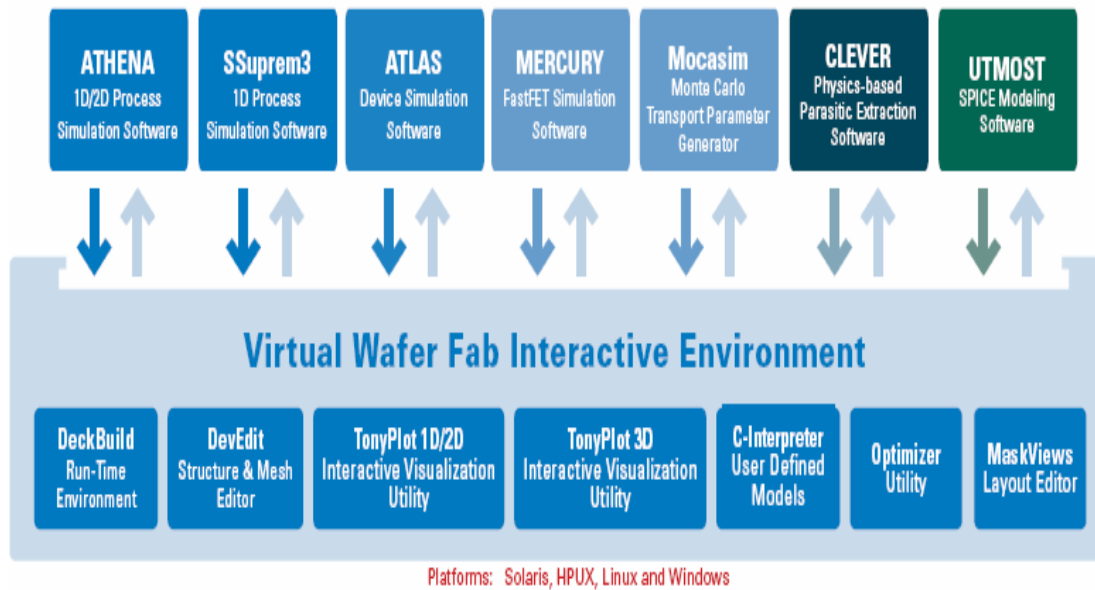
Dans ce chapitre, nous parlerons d'abord du programme de simulation Silvaco et de ses bases, puis nous présenterons les résultats obtenus après les modifications.

**III-2. Logiciel de simulation « Silvaco-Atlas »:**

Les micro-ordinateurs sont actuellement des plates formes privilégiées pour les applications de simulation, ils offrent en effet une très grande variété d'outils logiciels pour le développement des programmes de simulation et de traitement de données.

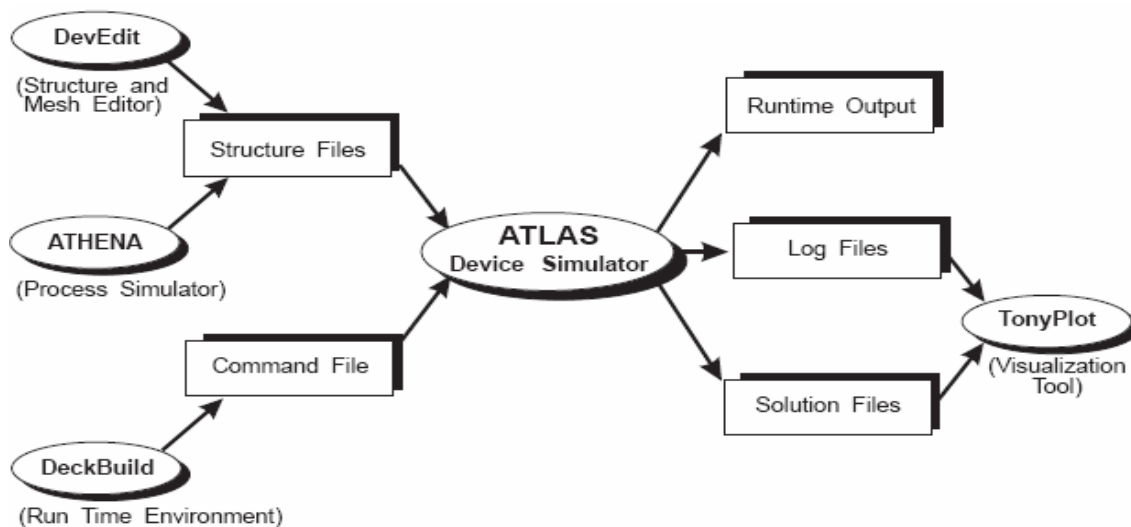
A fin de simuler les caractéristiques électriques et optiques de notre dispositif LASER objet, on a utilisé le logiciel « Silvaco » qui est un outil de fabrication virtuelle de plaquettes. Il propose une variété d'outils logiciels puissants. Dans le présent chapitre, nous allons parler du logiciel de simulation « Silvaco-Atlas », en expliquant les étapes suivies pour simuler notre structure objet.

La figure (III-1) montre l'environnement de fabrication virtuel des plaquettes du logiciel « Silvaco ». Il est constitué de '7' programmes parmi lesquelles on a utilisé le logiciel « Atlas » qui permet la simulation, en deux et trois dimensions, des dispositifs électroniques à semi-conducteurs.



**Figure III-1:** Environnement virtuel de fabrication des plaquettes de Silvaco [23]

La Figure (III-2) montre les entrées et les sorties du logiciel «Atlas » dont l’environnement d’exécution «DeckBuild» reçoit les fichiers d’entrée, dans lesquelles «Silvaco-Atlas » a été appelé à exécuter le code, et « TonyPlot » a été utilisé pour afficher et visualiser la sortie de la simulation.



**Figure III-2 :** Entrées et sorties du logiciel « Atlas » [24].

### III-2.1. Structure de fichier d'entrée:

« Silvaco-Atlas » reçoit les fichiers d'entrée à travers « DeckBuild ». Le code écrit dans le fichier d'entrée appelé « Atlas » pour fonctionner avec la commande suivante:

« Go Atlas »

Suite à cette commande, le fichier d'entrée doit suivre un modèle. Les groupes de commandes sont indiqués sur la Figure (III-3).

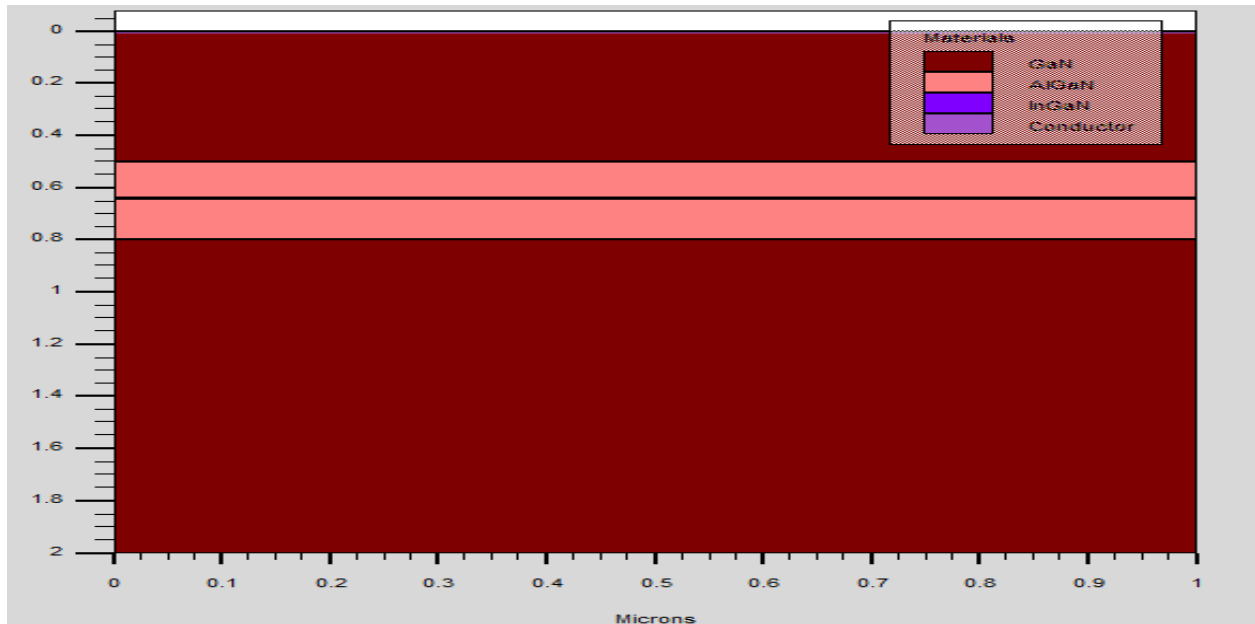
<i>Group</i>		<i>Statements</i>
<b>1. Structure Specification</b>	—————	MESH REGION ELECTRODE DOPING
<b>2. Material Models Specification</b>	—————	MATERIAL MODELS CONTACT INTERFACE
<b>3. Numerical Method Selection</b>	—————	METHOD
<b>4. Solution Specification</b>	—————	LOG SOLVE LOAD SAVE
<b>5. Results Analysis</b>	—————	EXTRACT TONYPLOT

Figure III-3 : Groupes de commandes [23].

### III-3. Structure :

Le modèle global de l'hétérostructure de confinement séparé (SCH) de la composition du matériau  $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$  peut être considéré comme consistant en un seul puits quantique d'une épaisseur de (5nm) (quantique ou région active) qui se contracte entre deux couches de barrière large bande interdite (épaisseur 140nm) de matériau  $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$  suivies d'une gaine du matériau  $\text{GaN}$ . Les compositions des barrières et la région active sont prises différemment afin d'avoir des bandes interdites et des indices de réfraction différents. La

bande interdite des barrières est maintenue plus petite que celle des gaines tandis que l'indice de réfraction est plus grand pour les barrières et plus petit pour les gaines. La nano-hétéro structure globale est supposée être cultivée sur substrat **GaN** pseudo morphique ment, comme le montre la (figure III.1).

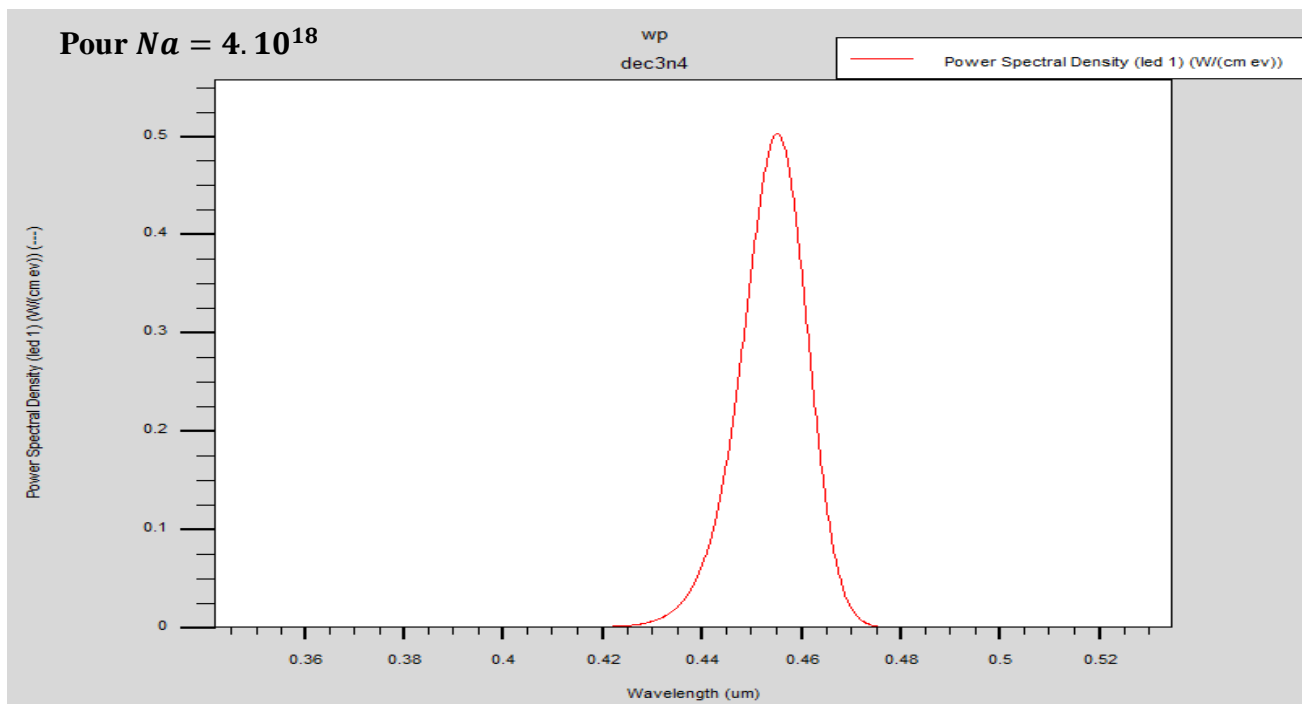
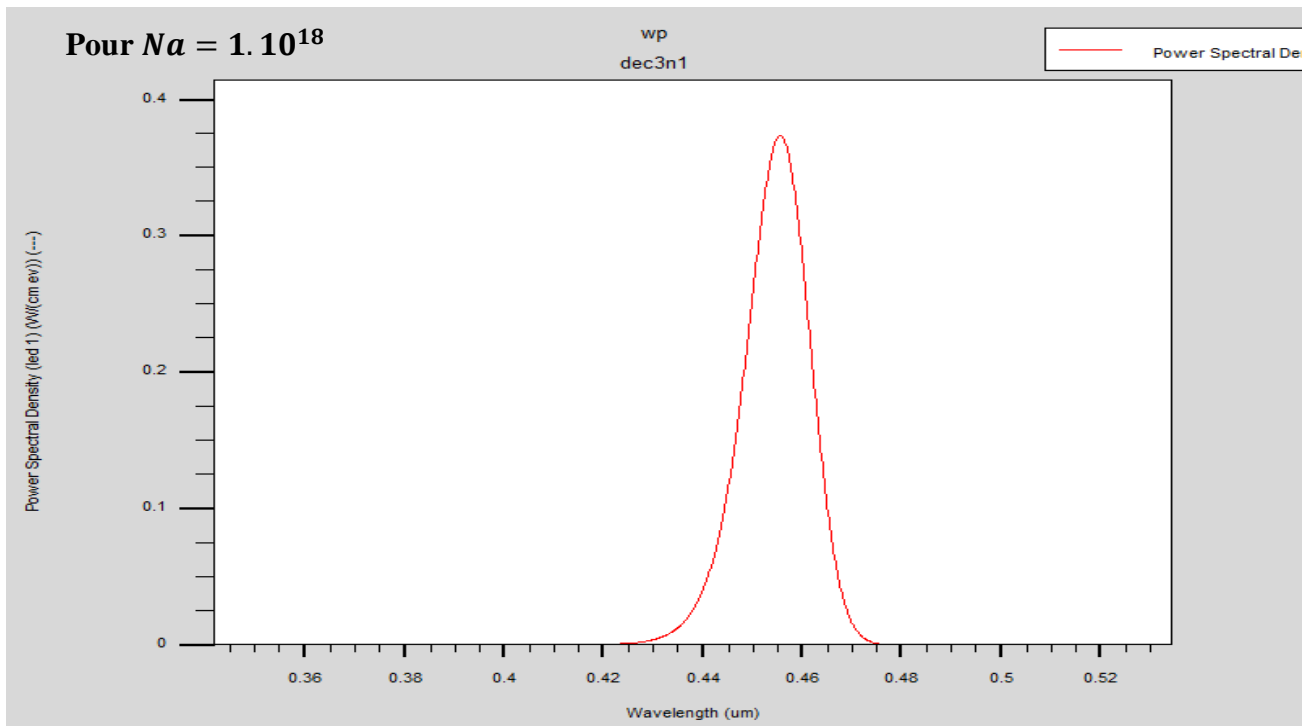


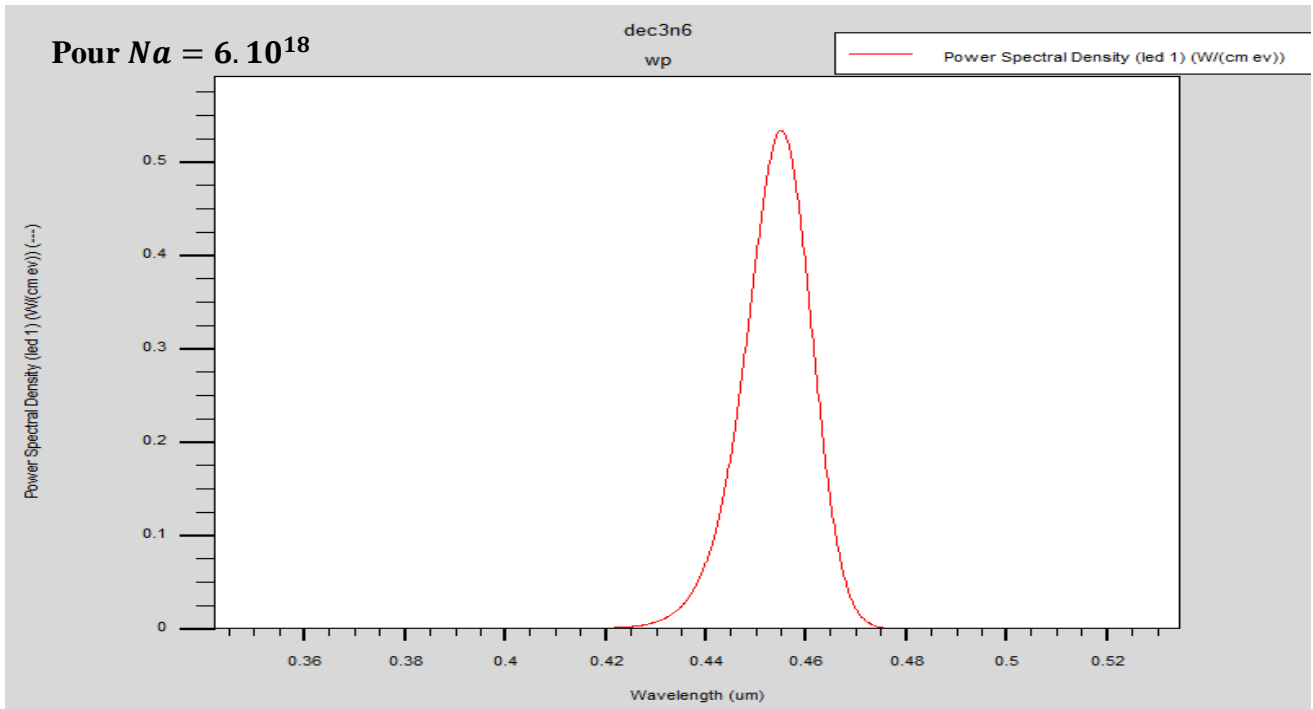
**Figure III.1.** Le model SCH pour un laser bleu hétéro structure In (1-x)Ga(x)N/GaN

#### III-4-Résultats et Discussion :

L'étude du spectre d'un puits quantique dans l'hétérostructure est essentielle à la conception et à la mise en œuvre de dispositifs nano-optoélectroniques. Dans le cas de l'hétéro structure, les différences les plus importantes entre la région active (puits quantique) et les barrières se situent généralement dans l'énergie la bande interdite et l'indice de réfraction. Les différences de bande interdite permettent un confinement spatial des porteurs injectés (électrons et trous), mais les différences d'indice de réfraction peuvent être utilisées pour former des guides d'ondes optiques, donc, dans notre travail nous supposons l'indice de réfraction pour la région active et les barrières constante et réel.

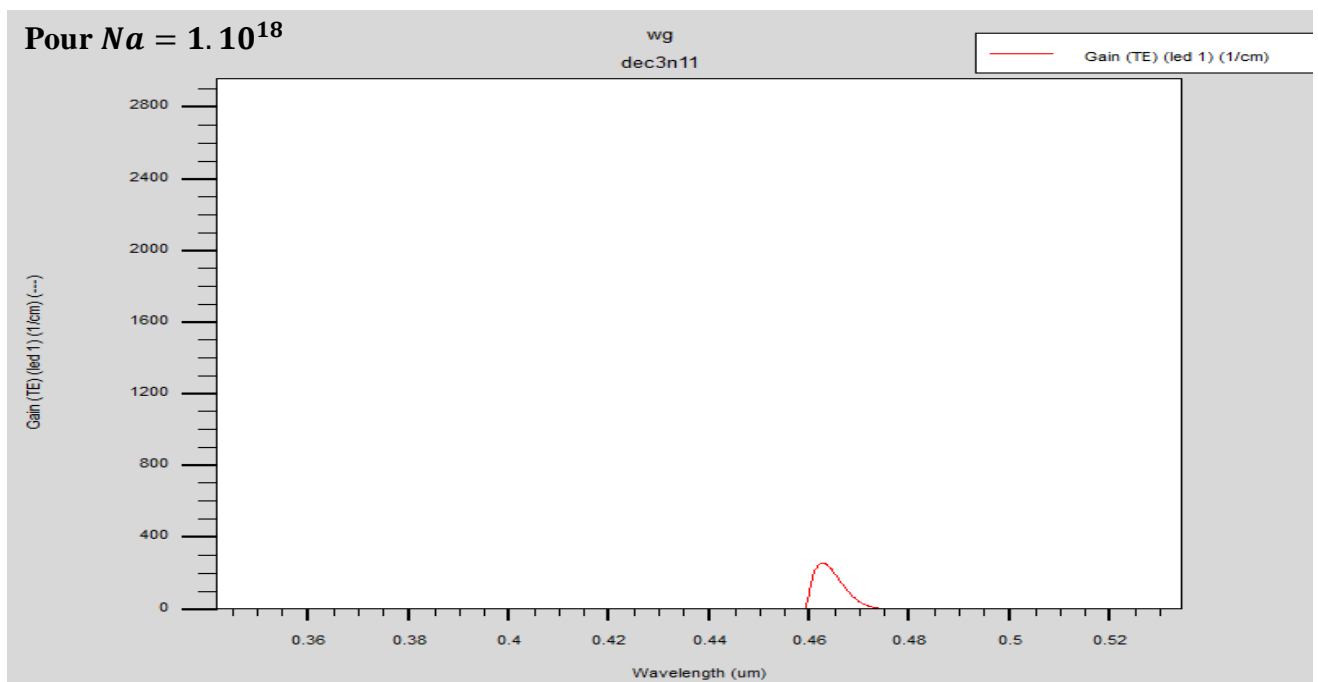
Dans cette section, nous présentons et discutons le résultat numérique obtenu pour le puits quantique  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ . Le gain optique et la puissance du laser à puits quantique examinées ici  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  calculé à température ambiante (300 K), en fonction de la longueur d'onde d'émission pour différentes largeurs de puits quantiques allant de 3nm ,4nm et 6 nm est représenté sur la Fig.(III.2).

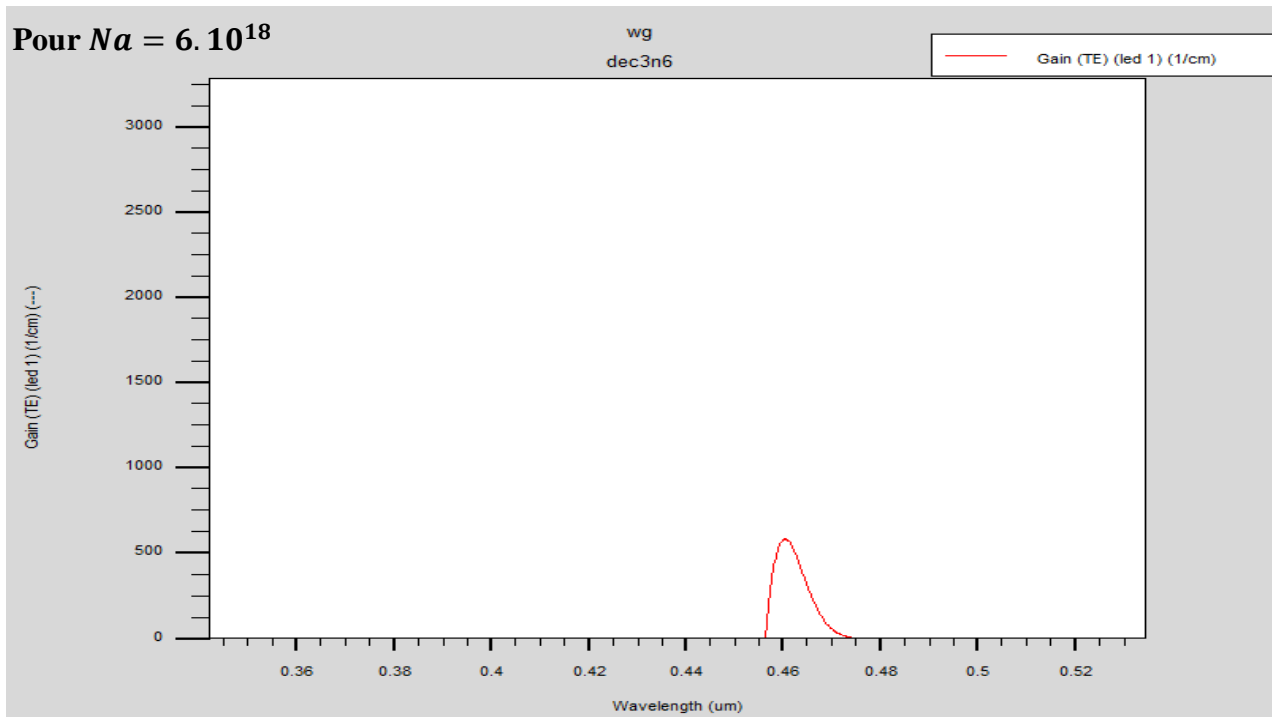
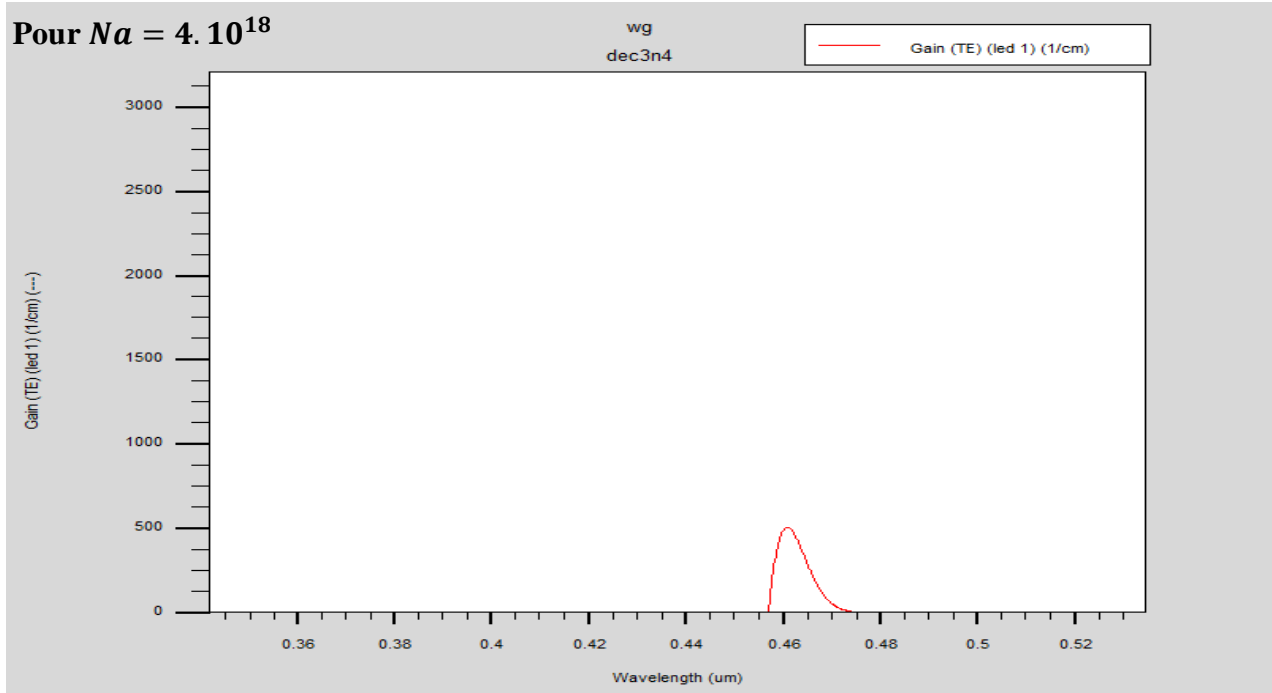
**III.4.1. pour l'épaisseur de la couche active  $n=3\text{nm}$  :**



**Figure III.2:**représente la puissance en fonction da la longueur d'onde pour (  $Na = 1.10^{18}$ ,  $Na = 4.10^{18}$ et **Pour  $Na = 6.10^{18}$** ).

Pour l'épaisseur des puits quantiques 3nm on va avoir une augmentation de la puissance d'émission lorsqu' en augmente le dopage avec des atomes accepteurs; la puissance atteint la valeur **0.55 w/cm.ev** pour  $Na = 6.10^{18}$  /cm. cette valeur de puissance se trouve pour la longueur d'onde 0.46um.





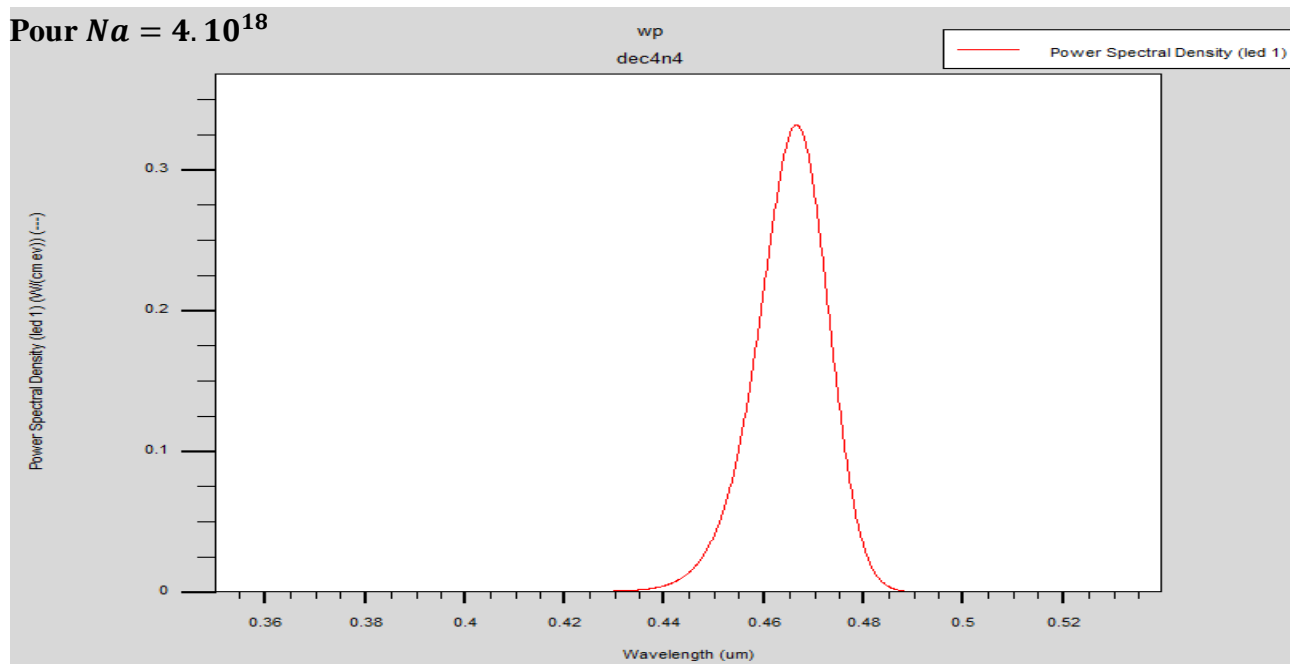
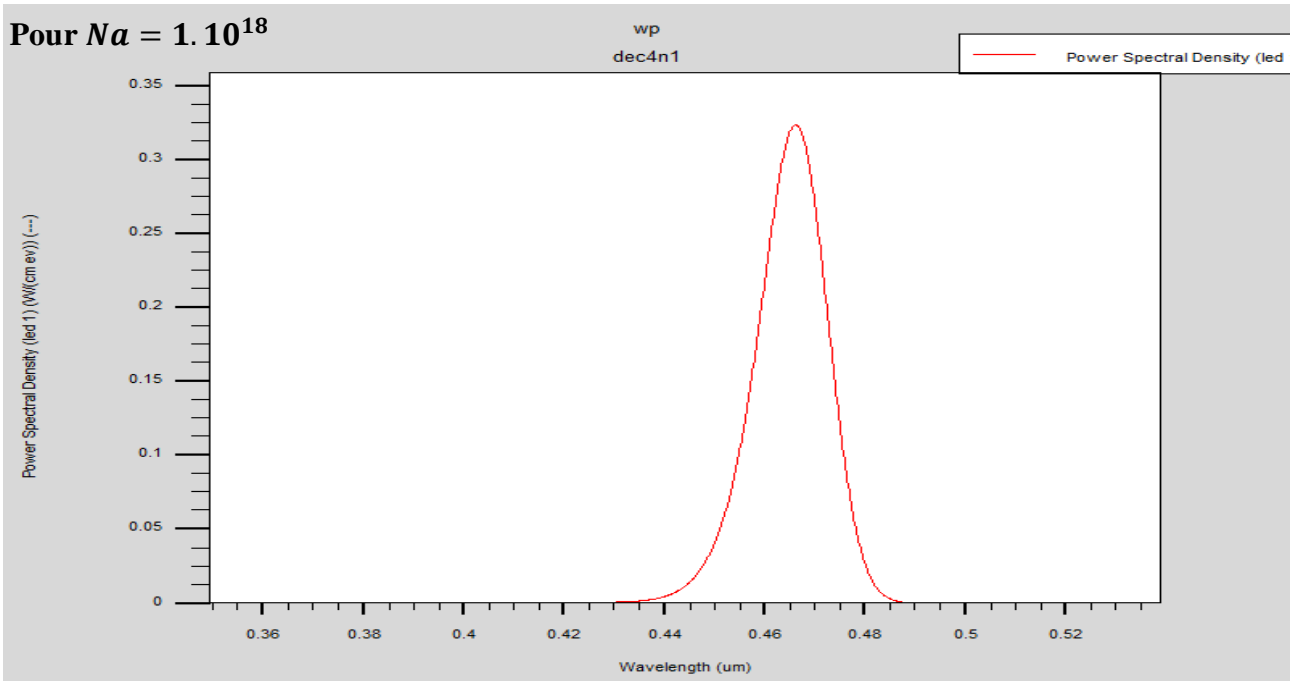
**Figure III. 3:**représente le gain en fonction de la longueur d'onde pour ( $Na = 1.10^{18}$ ,  $Na = 4.10^{18}$  et Pour  $Na = 6.10^{18}$ ).

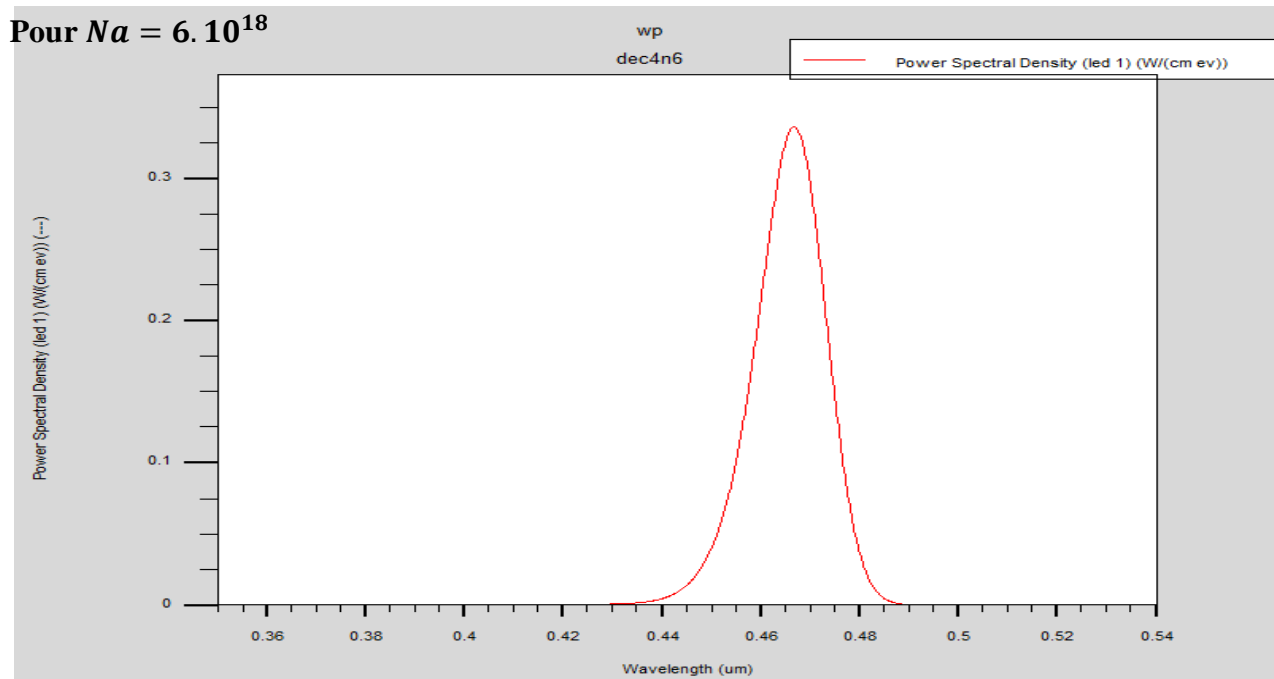
La dépendance du gain de crête  $G_{max}$  sur la densité de porteurs est illustrée à la Fig. (III.3). Notez que  $G_{max}$  a été calculé pour différentes valeurs des largeurs de puits quantiques, à savoir 3 nm et 4nm. On peut voir que pour chaque largeur de puits quantique considérée,



Gmax est augmenté lorsque la densité de porteurs est augmentée. Cela peut être compris par le fait que lorsque la densité de porteurs augmente, on s'attend à ce que davantage d'états inoccupés dans la bande de conduction ainsi que dans la bande de valence soient remplis. Plus de possibilités de recombinaison radiative existent alors et conduisent à l'amélioration du gain optique.

### III.4.2. pour l'épaisseur de la couche active $n=4\text{nm}$ :





**Figure III.4:** représente la puissance en fonction de la longueur d'onde pour ( $Na = 1.10^{18}$ ,  $Na = 4.10^{18}$  et **Pour  $Na = 6.10^{18}$** ).

Après le changement de l'épaisseur de la couche active à la valeur 4nm en va avoir le décalage de pic de puissance d'émission pour les différents valeurs de dopage vers la longueur d'onde **0.47 um** au lieu de **0.46um** pour l'épaisseur 3nm; en remarquant qu'on peut changer la longueur d'émission par le changement de l'épaisseur de couche active comme le montre sur la figure III.4.

Les courbes précédentes représentent l'ensemble des résultats obtenus après avoir modifié la valeur de la largeur quantitative du puits et la densité des porteurs.

Dans le cas d'un puits quantique spécifique, nous avons modifié la densité des porteurs, nous avons constaté une stabilité de la longueur de la modalité du pic à une certaine valeur en changeant les valeurs de longueur d'onde.

Dans le cas de la modification de la largeur du puits quantique, nous avons observé des changements significatifs de la longueur d'onde et de la valeur de crête, comme indiqué sur les courbes.

**Conclusion :**

Le gain optique d'un laser à puits quantique  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  à été étudié. L'effet de la densité de porteurs ainsi que celui de la largeur du puits quantique sur le gain optique du laser considéré ont été examinés. On montre que le gain optique augmente à mesure que la densité de porteurs augmente. Cela pourrait s'expliquer par le fait que plus d'états sont remplis à la fois dans les bandes de conduction et de valence en raison de l'augmentation de la densité de porteurs qui à son tour conduit à plus de transitions radiatives améliorant ainsi le gain optique. La longueur d'onde correspondant au pic le gain a été diminuée. Le gain maximal s'est avéré augmenter de manière non linéaire lorsque la densité de porteuses est augmentée. Il est également amélioré en augmentant la largeur du puits quantique. La longueur d'onde émise est augmentée lorsque la largeur du puits quantique est augmentée. La diode laser étudiée ici émet dans la fenêtre bleue du spectre électromagnétique.

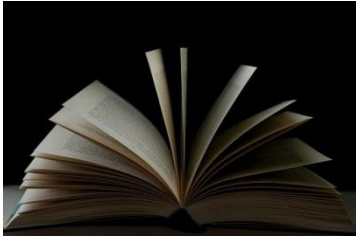
# Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons d'abord donné un aperçu des semi-conducteurs et des avantages, intérêts et applications du réseau mondial. Nous avons également parlé des caractéristiques optiques structurelles et électroniques, en particulier du coefficient de réfraction, de l'écart d'énergie interdit, de la distribution du champ et de la mobilité électronique et du coefficient d'absorption.

Immédiatement après que nous avons abordé l'effet de la température et de la fraction molaire sur les propriétés des III nitrures, nous avons parlé des changements radicaux et de l'impact évident de la température sur les matériaux III-N. Il développe l'écart d'énergie de bande interdit, des mobilités électronique et du coefficient d'absorption.

Chapitre II : Nous avons d'abord parlé des principes du fonctionnement des diodes laser, du confinement des supports et des photons, et nous avons parlé des sujets de l'injection des porteurs de charges, de la recombinaison et des transformations du rayonnement.

Chapitre III : portait particulièrement sur le programme Silvaco, dans lequel nous avons présenté nos constatations grâce à notre travail sur le programme et les changements programmés et réfléchis. Nous avons observé des changements significatifs dans la longueur d'onde et le retrait des courbes. Cela s'explique par le fait que ces changements ne sont que le remplissage ou le rejet de cas dans le cadre du processus, entraînant une recombinaison ou une séparation des rayonnements et affectant le gain visuel.



## *Bibliographies*

- [1] S. Nakamura and T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys. 31, L1457 (1992).
- [2] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, S. Nagahama, and N. Iwasa, J. Appl. Phys. 74, 3911 (1993).
- [3] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kijoku, and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. 35, L74 (1996).
- [4] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kijoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, Jpn. J. Appl. Phys. 36, L1568 (1997).
- [5] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, T. Matsushita, H. Kijoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys. 38, L226 (1999).
- [6] M. Vehse, P. Michler, O. Lange, M. Rowe, J. Gutowski, S. Bader, H. Lugauer, G. Brudl, A. Weimar, A. Lell, and V. Harle, Nature Materials 2, 735 (2003).
- [7] S. D. Lester, F. A. Ponce, M. G. Craford, and D. A. Steigerwald, Appl. Phys. Lett. 66, 1249 (1995).
- [8] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 69, 4188 (1996).
- [9] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, Appl. Phys. Lett. 72, 211 (1998).
- [10] I. Grzegory, J. Phys.: Condens. Matter 13, 6875 (2002). 136 BIBLIOGRAPHY
- [11] I.-H. Ho and G. B. Stringfellow, Appl. Phys. Lett. 69, 2701 (1996).
- [12] A. Hangleiter, F. Hitzel, C. Netzell, D. Fuhrmann, U. Russow, G. Ade, and P. Hinze, Phys. Rev. Lett. 95, 127402 (2005).
- [13] W. W. Chow and S. W. Koch, Semiconductor-Laser Fundamentals: Physics of the Gain Materials, Springer, Berlin, 1999.

## Conclusion générale

---

[14] B. Witzigmann, V. Laino, M. Luisier, U. T. Schwarz, G. Feicht, W. Wegscheider, K. Engl, M. Fritsch, A. Leber, A. Lell, and V. Harle " , Appl. Phys. Lett. 88, 021104 (2006).

[15] Y. Narukawa, Y. Kawakami, S. Fujita, S. Fujita, and S. Nakamura, Phys. Rev. B 55, R1938 (1997).

[16] W. W. Chow, A. F. Wriugh, A. Girndt, F. Jahnke, and S. W. Koch, Appl. Phys. Lett. 71, 2608 (1997).

[17] W. W. Chow and S. W. Koch, GaN and Related Materials II, Gordon xx Breach, Amsterdam, 2000.

[18] M. Kuball, E.-S. Jeon, Y.-K. Song, A. V. Nurmikko, P. Kozodoy, A. Abare, S. Keller, L. A. Coldren, U. K. Mishra, S. P. DenBaars, and D. A. Steigerwald, Appl. Phys. Lett. 70, 2580 (1997).

[19] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 70, 2822 (1997).

[20] S. Chichibu, H. Marchand, M. S. Minsky, S. Keller, P. T. Fini, J. P. Ibbetson, S. B. Fleicher, J. S. Speck, J. E. Bowers, E. Hu, U. K. Mishra, S. P. DenBaars, T. Deguchi, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 74, 1460 (1999).

[21] Gilbert G., Alain A et Claud F, Introduction aux lasers et à l'optique quantique, ellipses ,1997

[22] Angélique Rissons "caractérisation et modélisation optoélectronique de diode laser à cavité vertical " thèse doctorat, Ecole nationale supérieur de l'aéronautique et de l'espace, Octobre 2003.

[23] Silvaco International,  
[http://www.silvaco.com/products/device\\_simulation/atlas.html](http://www.silvaco.com/products/device_simulation/atlas.html).

[24] Atlas User's Manual, Silvaco International, 2010.

### خلاصة

يمثل تطوير مصابيح الليزر تحديا كبيرا على الصعيدين العلمي والصناعي مع التطورات الكبيرة في الأعوام الأخيرة.

قمنا في هذا العمل بدراسة حول ليزر أشباه الموصلات فقمنا أولا بتعريف شامل حول أشباه الموصلات وبعض الخصائص المرتبطة بها , في الفصل الثاني قمنا بتعريف الصمام الثنائي ليزر أشباه الموصلات ومبدأ عمله وأنواعه كما تطرقنا إلى كيفية بنائه .

أما الفصل الثالث والأخير الذي استخدمنا فيه برنامج سيلفاكو شمل النتائج والتغييرات التي يمكن أن تتغير أو التي يمكن أن تحدث الفارق في القوة والأداء.

### Résumé:

Le développement des lampes laser présente un grand défi à la fois scientifiquement et industriellement avec les grands développements de ces dernières années.

Dans ce travail, nous avons mené une étude sur laser à semi-conducteur, nous avons d'abord donné une définition complète des semi-conducteurs et de certaines propriétés qui leurs sont associées, dans le deuxième chapitre , nous avons défini la diode laser à semi-conducteur, son principe de fonctionnement , ses types , et nous avons également expliqué comment la construire.

Quant au troisième et dernier chapitre , dans lequel nous avons utilisé le programme silvaco , il comprenait les résultats et les changements qui peuvent changer ou qui peuvent faire une différence dans la force et la performance.

### les mots clés :

- **LASER:** Light amplification by stimulated emission of radiation.
- **Semi-conducteur:** Une substance solide dans laquelle le courant électrique est transmis. Un semi-conducteur est la résistance électrique entre les conducteurs et les isolants.
- **GAN:** Le nitrure de gallium est un composé chimique de formule GAN, sous la forme d'une poudre cristalline jaune. Le nitrure de gallium a de nombreuses applications dans les nanosciences.
- **Silvaco :** Logiciel très puissant pour simuler des dispositifs semi-conducteurs et leurs propriétés.

### **Summary:**

The development of laser lamps presents a great challenge both scientifically and industrially with the major developments of recent years.

In this work, we carried out a study on semiconductor laser, we first gave a complete definition of semiconductors and of certain properties associated with them, in the second chapter we defined the semi-conductor laser diodedriver, its operating principle, its types, and we also explained how to build it. As for the third and last chapter , in which we used the silvaco program, it included results and changes that can change or sui can make a difference in strength and performance.