



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la
nature et de la vie
Département des sciences de la matière

MÉMOIRE DE MASTER

Département des
Sciences de la matière

Filière de physique
Spécialité : Physique de matériaux

Réf.:Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

- SENEINA Khadidja

Le : 27-06-2022

Simulation des diodes électroluminescentes à puits quantiques multiples

Jury :

Dr	N. A. Abdeslam	MCB	Université de Biskra	Président
Dr	T. Tibermacine	Prof.	Université de Biskra	Rapporteur
Dr	R. Boumaraf	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui il m'a donné la force et la patience d'accomplir Ce travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur :

Mr. T. Tibermacine pour ses précieux conseils et son aide durant
Toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury,
Pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'examiner
mon travail et de s'enrichir par leurs propositions.

Comme je tiens à remercier tous les travailleurs du département du
Sciences de la Matière, université de Biskra.

Je tiens également à remercier toute personne ayant participé de près
ou de loin à la réalisation de ce travail et à tous mes Collègues de notre
promotion.

Khadija



Dédicaces

&

Ma mère

Mes sœurs

Mon frère

Mon fils



chapiter 01: Notions générales sur les semi-conducteurs

1.1. Introduction	2
1.2. Différents types de matériaux solides	2
1.2.1. Conducteurs	2
1.2.2. Isolants	2
1.2.3. Semi-conducteurs.....	3
1.3. Dopage des semi-conducteurs	3
1.3.1. Semi-conducteur type P	4
1.3.2. Semi-conducteur type N.....	4
1.4. Mécanismes de recombinaison	5
1.4.1. Recombinaison radiative.....	5
1.4.2. Recombinaison Auger.....	5
1.4.3. Recombinaison Shockley-Read-Hall	6
1.4.4. Recombinaison en surface :	7
1.5. Matériaux semi-conducteurs III-V	7
1.5.3. Composés binaires	8
1.5.4. Composés ternaires	9
1.6. Puits quantiques.....	9
1.6.1. Définition	9
1.6.2. Structure cristallographique GaN.....	10
1.6.3. Bande interdite de GaN.....	11
1.6.4. Description de AlGaN.....	12
1.6.5. Puits quantique $Al_xGa_{1-x}N$ / GaN.....	12

chapiter 2 : Notions fondamentales sur les diodes électroluminescentes

2.1. Introduction	15
2.2. Historique	15
2.3. Diodes électroluminescentes	16
2.3.1. Définition	16
2.3.2. Principe de fonctionnement.....	16
2.3.3. Structure de base	17
2.3. Diodes électroluminescentes à puits quantique	19
2.5. Classification des diodes électroluminescentes	21
2.5.1. Classement selon la structure.....	21
2.5.1.1. Diodes électroluminescentes à homojonction.....	21
2.5.1.2. Diodes électroluminescentes à hétérojonction.....	21
2.5.2. Classement selon la puissance	22
2.5.2.1. Diodes électroluminescentes de faible puissance.....	22
2.5.2.2. Diodes électroluminescentes de forte puissance	23
2.5.3. Classement selon le spectre d'émission.....	23
2.5.3.1. Diodes électroluminescentes chromatiques.....	23
2.5.3.2. Diode électroluminescente infrarouges	23

2.5.3.3. Diodes électroluminescentes blanches.....	24
2.8. Rendement lumineux des diodes électroluminescentes.....	25
2.9. Avantages et inconvénients des diodes électroluminescentes.....	25
chapiter 3 : Logiciel SILVACO-ATLAS et Résultats de simulation	
3.1 Introduction	27
3.2. Présentation du logiciel de simulation SILVACO.....	28
3.2.1. ATLAS.....	29
3.2.1.1. Deckbuild	30
3.2.1.2. Tonyplot	31
3.2.1.3. Equations de base des semi-conducteurs	32
3.2.2. Syntaxe d'un programme dans ATLAS	33
3.2.2.1. Mesh	33
3.2.2.2. Région	33
3.2.2.3. Electrode.....	34
3.2.2.4. Doping	35
3.2.3. Paramètres des matériaux et modèles physiques	35
3.2.3.1. Matériaux	36
3.2.3.2. Modèles	36
3.2.4. Méthodes numériques	36
3.2.4.1. Solution	36
3.2.4.2. Log	36
3.2.4.3. Solve	36
3.2.4.4. Save	37
3.2.5. Analyse des résultats.....	37
3.2.5.1. Extract	37
3.2.5.2. Tonyplot.....	37
3.2.6. Etapes de simulation	37
3.3. Résultats de la simulation.....	39
3.3.1. Cas de quatre puits quantiques.....	39
3.3.1.1. Représentation de la structure simulée	39
3.3.1.2. Structure de bande d'énergie.....	40
3.3.1.3. Caractéristique recombinaison	41
3.3.1.4. Caractéristique concentration des électrons et des trous	42
3.3.1.5. Caractéristique courant-tension	43
3.3.1.6. Caractéristique puissance lumineuse-courant.....	44
3.3.1.7. Caractéristique Emission spontanée	45
3.3.2. Cas d'un seul puits.....	46
3.3.2.1. Représentation de structure simulée.....	46
3.3.2.2. Structure de bande d'énergie	46
3.3.2.3. Caractéristique taux de recombinaison	47
3.3.2.4. Caractéristique concentration des électrons et des trous	48
3.3.2.5. Caractéristique courant-tension.....	49
3.3.2.6. Caractéristique puissance lumineuse-courant	49
3.3.2.7. Caractéristique émission spontanée	50
3.3.3. Comparaison des quatre cas.....	51
3.3.3.1. Caractéristique courant-tension	51
3.3.3.2. Caractéristique puissance lumineuse-courant.....	51
3.3.3.1. Caractéristique émission spontanée.....	52
CONCLUSION GENERALE.....	53

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous avons étudié et simulé une diode électroluminescente multi puits quantiques basé sur le matériau AlGaN à l'aide du logiciel SILVACO-ATLAS. Cette simulation nous a permis de tirer les caractéristiques optoélectroniques de la LED, et de déterminer l'influence du nombre de puits quantiques sur ses propriétés à savoir la caractéristique courant-tension (I-V), la caractéristique puissance lumineuse-courant (P-I), le spectre d'émission spontanée et les différents taux de recombinaisons (radiatives, Auger et Shockley-Read-Hall – SRH-).

Nous avons trouvé que chaque fois la

Mots clés: Diodes électroluminescentes, AlGaN/GaN, Puits quantiques,
Simulation, SILVACO-AT

INTRODUCTION GENERALE

La technologie d'éclairage par les diodes électroluminescentes (LED) devient la source d'éclairage dominante dans le monde moderne. Les facteurs principaux qui stimulent la croissance de la technologie d'éclairage à LED sont la consommation d'énergie électrique plus basse, durée de vie plus longue, durabilité plus élevée et non-toxicité.

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu des progrès remarquables dans le développement de diodes électroluminescentes à base d'AlGaIn/GaN. Elles sont destinées à être utilisées dans des applications d'éclairage et d'affichage à semi-conducteurs en raison de leur efficacité et à leur respect de l'environnement. [1]

Dans ce travail, nous allons étudier l'effet du nombre de puits quantiques sur les caractéristiques électriques et optiques des diodes électroluminescentes à multi-puits quantiques à l'aide d'un logiciel de simulations SILVACO-ATLAS.

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres, organisé comme suit :

Le premier chapitre présente de manière succincte des notions fondamentales sur les semi-conducteurs ainsi que les différents mécanismes de recombinaison et présente aussi quelques notions sur les puits quantiques.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des diodes électroluminescentes conventionnelles et à multi-puits quantiques à savoir leur principe de fonctionnement, leurs caractéristiques, leur classification en plus de leur avantages et inconvénients.

Le troisième chapitre contient deux parties, la première partie nous présenterons le logiciel de simulation SILVACO-ATLAS, ses modules et outils de simulation ; et dans la deuxième partie nous intéresserons à étudier par simulation l'effet du nombre de puits quantiques sur les caractéristiques électriques et optiques de LED à multi puits quantiques.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale où seront rassemblés nos principaux résultats et les perspectives du présent travail.



Chapitre 1

Notions générales sur les semi-conducteurs

1.1. Introduction

La recherche sur les matériaux semi-conducteurs a commencé au début du 19^{ème} siècle. Au fil des années de nombreux semi-conducteurs ont été étudiés. Parmi les plus célèbres, nous trouvons le silicium *Si* et le germanium *Ge* de la colonne IV du tableau périodique. Ces deux semi-conducteurs sont composés d'atomes identiques, mais d'autres, semi-conducteurs comme l'arséniure de Gallium *GaAs* (III-V) sont composés d'atome d'éléments différents : *Ga* (III) et *As* (V). La Composition de semi-conducteurs permet d'accéder à des propriétés électriques et optiques que n'ont pas les semi-conducteurs purs .[2]

Les alliages semi-conducteurs sont des matériaux qui donnent la possibilité de moduler l'amplitude du gap et d'autre paramètres physiques du matériau afin d'optimiser et d'élargir leurs applications optoélectroniques. La technologie actuelle s'intéresse beaucoup à cette famille de matériau, c'est la raison pour laquelle la théorie des alliages est devenue un sujet de recherche important. Plus récemment, des études avancées sur une nouvelle classe des alliages binaires, ternaires et quaternaires III-V ont été élaboré vu leurs propriétés structurales et électroniques importantes en vue de la fabrication des dispositifs optoélectroniques qui présentent des performances exceptionnelles. [3]

1.2. Différents types de matériaux solides

Les matériaux sont des substances naturelles, artificielles ou synthétiques. On peut distinguer plusieurs types de matériaux : solides (cristallin, amorphe), liquides (visqueux, non visqueux) ou gaz (parfait, réel). Les matériaux solides peuvent être classés en trois groupes qui sont : les conducteurs, les isolants et les semi-conducteurs. On distingue ces types de matériaux en fonction de leur conductivité électrique (résistivité électrique) [2].

1.2.1. Conducteurs

Dans les matériaux conducteurs, une partie des électrons possèdent une énergie suffisante pour se libère presque totalement des forces d'interaction avec le réseau. La présence des électrons libres dans la couche périphérique est à l'origine de la conductivité électrique. Leur niveau d'énergie est situé dans la bande conduction comme le montre la figure (1.1) [2]

1.2.2. Isolants

Dans les matériaux isolants, tous les électrons sont fortement liés aux atomes du cristal. L'énergie nécessaire pour les libérer est très élevée en particulier devant l'énergie thermique

ou électrostatique qu'on peut fournir en élevant la température ou en appliquant un champ électrique. Leur mobilité est nulle, voir la figure (1.1) [2]

1.2.3. Semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs ont une conductivité électrique intermédiaire entre les conducteurs et les isolants et ils sont isolants au zéro absolu. Les électrons libres et les trous mobiles sont les porteurs de charges responsables de la conductivité électrique. Dans ces matériaux semi-conducteurs, la distance séparant la bande de conduction de la bande de valence est beaucoup plus petite que dans le cas d'isolants. Pour transférer un électron de la bande de valence à la bande de conduction, il faut fournir une énergie supérieure à quelque électronvolt. La figure (1.1) représente les bandes d'énergies pour les matériaux isolants, semi-conducteurs et conducteurs .[2]

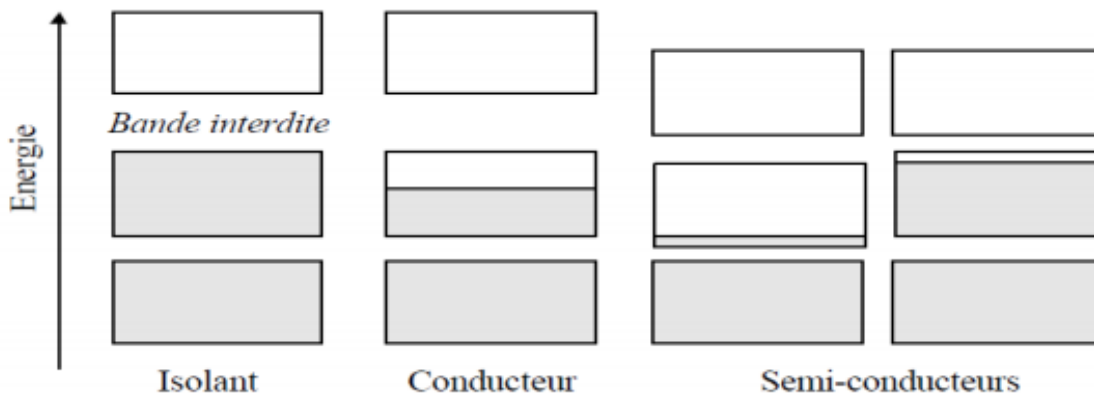


Figure 1.1: Bandes d'énergies pour les matériaux Isolants, Conducteurs et Semi-conducteurs

1.3. Dopage des semi-conducteurs

Le dopage est indispensable afin d'améliorer la conduction d'un semi-conducteur. Le dopage est défini par la substitution d'atomes du cristal semi-conducteur par des atomes contenant un nombre d'électrons de valence immédiatement supérieur ou inférieur. Il existe deux types de dopage : [4]

- Le dopage de type P, qui consiste à produire une carence en électrons, donc un excès de trous, considérés comme positivement chargés.
- Le dopage de type N, qui consiste à produire un excès d'électrons, qui sont négativement chargés.

1.3.1. Semi-conducteur type P

Si on introduit un atome d'impureté trivalent (Bore, Aluminium ou Gallium), cet atome en se plaçant dans le réseau ne peut saturer que trois liaisons sur quatre. Il manque donc une liaison par atome d'impureté auquel correspond un niveau d'énergie situé juste au-dessus de la bande de valence. Ce niveau est appelé niveau accepteur. A $T=0K$, les niveaux accepteurs sont vides figure (1.2). Lorsqu'on augmente la température, ils peuvent être occupés par des électrons provenant de la bande de valence. Les niveaux libres de cette dernière engendrent des trous et la conductivité devient de type P lorsqu'on augmente le dopage.[4]

1.3.2. Semi-conducteur type N

Le silicium ou le germanium cristallise dans une structure où chaque atome est relié à 4 atomes voisins par des liaisons covalentes impliquant deux électrons pour chaque liaison. Si on introduit un atome ayant cinq électrons de valence (Phosphore, Arsenic), cet atome prend la place d'un atome du cristal, quatre des électrons de l'impureté participeront aux quatre liaisons avec les quatre atomes voisins du cristal, le 5^{ème} électron restera célibataire. A cet atome d'impureté est associé un niveau d'énergie appelé niveau donneur qui se situe juste en dessous de la bande de conduction figure (1.2). L'écart entre ce niveau et la bande de conduction étant faible, un électron d'un niveau donneur peut facilement passer dans la bande de conduction sous l'action de l'agitation thermique et augmenter la conductivité électrique. A température ambiante, presque toutes les impuretés sont ionisées et la conductivité devient une conductivité de type N lorsqu'on augmente le dopage.[4]

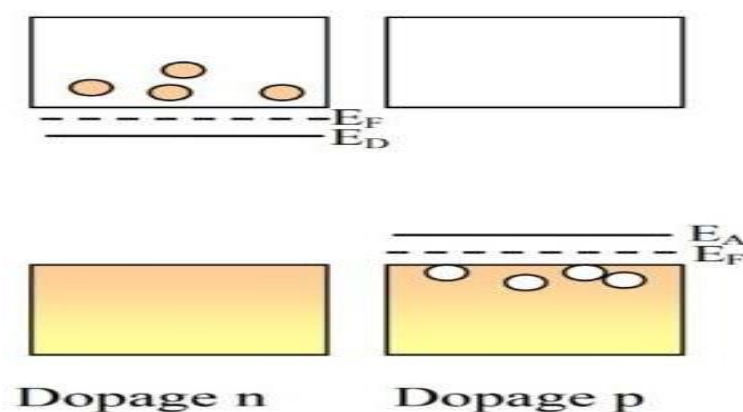


Figure 1.2: Semi-conducteurs type N et type P [4]

1.4. Mécanismes de recombinaison

Nous présentons dans ce paragraphe les trois mécanismes les plus courants pour la recombinaison de porteurs excédentaires [5] :

1.4.1 Recombinaison radiative

C'est une transition d'un électron de la bande de conduction à la bande de valence accompagnée de l'émission d'un photon figure (1.3.a). La recombinaison radiative peut aussi se produire par l'intermédiaire de niveaux profonds figure (1.3.b) [5].

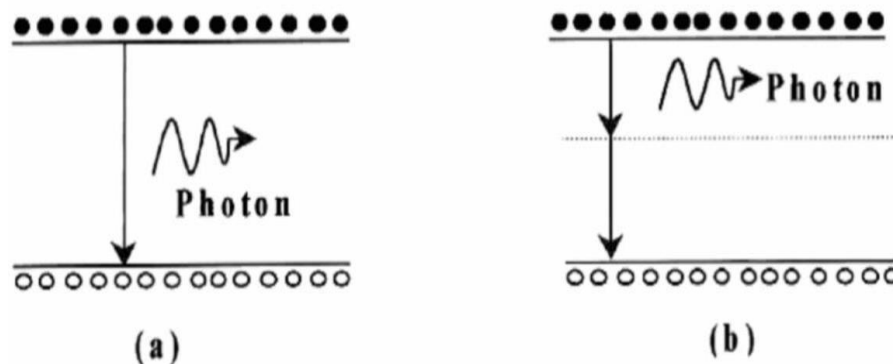


Figure 1.3: Processus de recombinaison radiative : (a) directe, (b) indirecte

Le taux de recombinaison radiative est proportionnel à la fois au nombre d'électron et au nombre de trous [6,7] :

$$R_a = B (p n - n_i^2) \quad (1.1)$$

Où B est le coefficient de recombinaison radiative.

Dans recombinaison radiative deux types : type directe et type indirecte

1.4.2. Recombinaison Auger

Dans ce mécanisme un électron se recombine avec un trou de la bande de valence et l'énergie dissipée est gagnée par un troisième porteur. La recombinaison Auger peut être directe figure (1.4.a) ou indirecte figure (1.4.b).

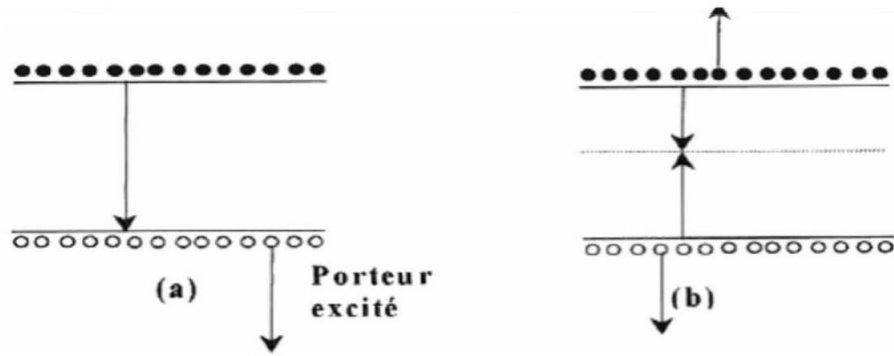


Figure 1.4: Processus de recombinaison Auger: (a) directe, (b) indirecte [5].

La recombinaison Auger indirecte peut se produire lorsque le semi-conducteur est fortement dopé [5].

Le taux de recombinaison Auger est donné par la relation [6,7] :

$$R_{Auger} = C_{Aug,n}(pn^2 - n_i^2) + C_{Aug,p}(np^2 - pn_i^2) \quad (1.2)$$

Avec : $C_{Aug,n}$ et $C_{Aug,p}$ sont les coefficients Auger pour les électrons et les trous.

1.4.3. Recombinaison Shockley-Read-Hall

Ce processus de recombinaison de Shockley-Read-Hall (SRH) est indirect (figure (1.5)). En effet, il se produit par l'intermédiaire de niveaux profonds E_t situés dans la bande interdite et s'accompagne de vibrations de réseau (émission de phonons) [6].

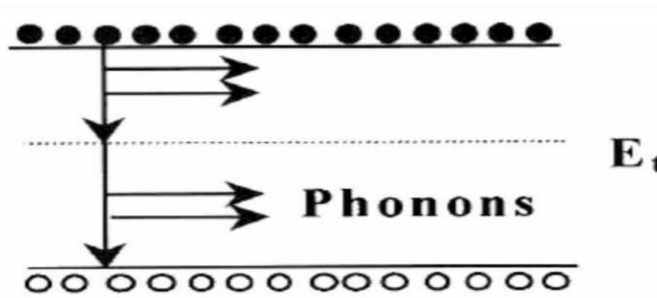


Figure 1.5: Processus de recombinaison Shockley-Read-Hall [5].

Le taux recombinaison SRH est donné par la relation suivante [6] :

$$R_{RSH} = \frac{pn - n_i^2}{\tau_n \left(p + n_{ie} e^{-\frac{E_t}{KT}} \right) + \tau_p \left(n + n_{ie} e^{\frac{E_t}{KT}} \right)} \quad (1.3)$$

Où :

E_t représente l'énergie du niveau piège proche du milieu de la bande interdite,

τ_p et τ_n sont respectivement la durée de vie pour les trous et les électrons, données par les relations suivantes :

$$\tau_p = \frac{1}{c_p \cdot N_T} \quad \text{et} \quad \tau_n = \frac{1}{c_n \cdot N_T} \quad (1.4)$$

n_{ie} est la concentration intrinsèque effective donnée par la relation suivante :

$$n_{ie}^2 = p \cdot n \cdot \exp\left(\frac{\Delta E g_n + \Delta E g_p}{kT}\right) \quad (1.5)$$

Elle est due au rétrécissement de la bande interdite pour un semi-conducteur fortement dopé. $\Delta E g_n$ et $\Delta E g_p$ présentent le rétrécissement de la bande interdite.

1.4.4. Recombinaison en surface :

L'ensemble des mécanismes précédents constitue des recombinaisons ayant lieu en volume du matériau. Il faut également considérer les recombinaisons en surface dont le mécanisme est représenté sur la figure (1.6).

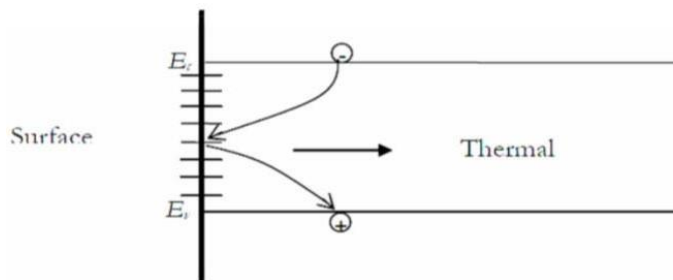


Figure 1.6: Processus de recombinaison en surface [6].

Le formalisme du mécanisme de recombinaison (SRH) peut être reformulé dans ce cas, avec des recombinaisons par unité de surface plutôt que par unité de volume [5].

Le taux recombinaison en surface est donné par la relation suivante : [8]

$$R_{\text{surf}} = \frac{n_s p_s - n_i^2}{c_n \left(p_s + n_{ie} e^{-\frac{E_t}{kT}} \right) + c_p \left(n_s + n_{ie} e^{\frac{E_t}{kT}} \right)} \quad (1.6)$$

Avec :

n_s et p_s sont les concentrations de porteurs à la surface.

1.5. Matériaux semi-conducteurs III-V

Les semi-conducteurs III-V sont des matériaux composés d'éléments de la colonne III et de la colonne V du tableau périodique de Mendeleïev. Parmi tous les composés possibles, les composés les plus légers comme le bore, l'aluminium ou l'azote présentent une structure

de bandes à large bande interdite. A l'autre extrémité, les éléments lourds comme le thallium ou le bismuth donnent des composés à caractère métallique .[3]

Le tableau (1.1) regroupe un extrait de cette classification (les chiffres en haut et bas représentent respectivement le nombre atomique et la masse atomique).

Tableau 1.1: Extrait de la classification périodique des éléments[9]

III	IV	V
$_{10.81}^{5}B$	$_{12.01}^{6}C$	$_{14.01}^{7}N$
$_{26.98}^{13}Al$	$_{28.09}^{14}Si$	$_{30.97}^{15}P$
$_{69.73}^{31}Ga$	$_{72.59}^{32}Ge$	$_{74.92}^{33}As$
$_{114.82}^{49}In$	$_{118.69}^{50}Sn$	$_{121.75}^{51}Sb$

1.5.3. Composés binaires

Les composés binaires possibles n'ont pas le même intérêt potentiel. L'étude de leurs propriétés, et en particulier de la structure de bandes montre que les éléments les plus légers donnent des composés dont lesquels la bande interdite est large et indirecte, et dans lesquels la masse effective des électrons est élevée. Les composés contenant du bore, de l'aluminium ou de l'azote entrent dans cette catégorie. Ils ont en général peu d'intérêt pour l'électronique rapide, qui demande des semi-conducteurs à forte mobilité de porteurs ou pour l'optoélectronique où une structure de bande directe est nécessaire pour que les transitions optiques soient efficaces. A l'autre extrémité, les éléments lourds donnent des composés à base de Galium (GaAs, GaSb) ou d'indium (InP, InAs, InSb) dont les propriétés sont les plus intéressantes.[4] Le tableau (1.2) résume quelques paramètres pour différents matériaux de la famille (III-V)

Tableau 1.2: Paramètres des principaux composés binaires (III-V) [2]

Binaires III-V	E_g (eV)	m^*/m_0	μ (cm ² /VS)	α (A°)
BN	7,5			3,6150
AIP	2,45			5,4510
AlAs	2,16			5,6605
AlSb	1,58	0,12	200	6,1355
BP	2,0			4,5380
GaN	3,36	0,19	380	3,189
GaP	2,26	0,82	110	5,4512
GaAs	1,42	0,067	8500	5,6533
GaSb	0,72	0,042	5000	6,0959
InP	1,35	0,077	4600	5,8686
InAs	0,36	0,023	33000	6,0584
InSb	0,17	0,0145	80000	6,4794

1.5.4. Composés ternaires

L'intérêt pratique des semi-conducteurs III-V est encore considérablement renforcé par la possibilité de réaliser des alliages par substitution partielle de l'un des éléments par un autre élément de la même colonne. On sait par exemple obtenir des alliages ternaires du type $In_{1-x}Mn_xP$. [2]

1.6. Puits quantiques

1.6.1. Définition

Un puits quantique est une zone de l'espace dans laquelle le potentiel ressenti par une particule quantique atteint un minimum. Un puits quantique désigne également une hétérostructure de semi-conducteurs qui est la plus proche réalisation pratique des puits de potentiel étudiés dans les cours de mécanique quantique. Un confinement 1D peut être obtenu avec un puits quantique, 2D avec un fil quantique, 3D avec une boîte quantique.

La figure (1.9) montre les niveaux d'énergie d'un puits quantique de profondeur U_0 et de largeur L [10].

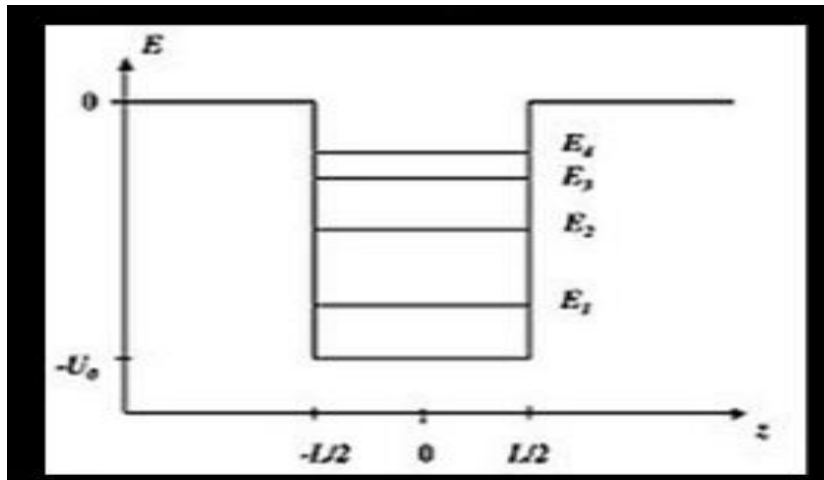


Figure 1.9: Niveaux d'énergie d'un puits quantique de profondeur U_0 et de largeur L .

1.6.2. Structure cristallographique GaN

Les nitrures d'éléments III sont formés par l'association d'un ou plusieurs éléments de la colonne III du tableau périodique (Aluminium (Al), Gallium (Ga) et Indium (In)) avec l'élément Azote (N) de la colonne V. Ces semi-conducteurs cristallisent en majorité sous la forme d'une structure de type Wurtzite (WZ ou phase- α), stable à température ambiante. D'autres formes sont également possibles, c'est le cas de la structure Sphalérite (Zinc-Blende ou phase- β) moins courante ou de la phase Halite (NaCl ou phase- β) que l'on retrouve à très haute pression.[7]

La structure Wurtzite idéale est hexagonale et comprend deux réseaux hexagonaux formés chacun d'atomes d'azote ou de métal, décalés d'une distance $u = 3/8$ dans la direction $[0001]$. L'absence de symétrie est responsable de la polarité de la structure. La figure (1.7) représente la maille unitaire du GaN type Wurtzite (WZ).

La maille élémentaire WZ est définie dans la base hexagonale (\vec{a} , \vec{b} , \vec{c}) avec $a = b \neq c$ et $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$ [7].

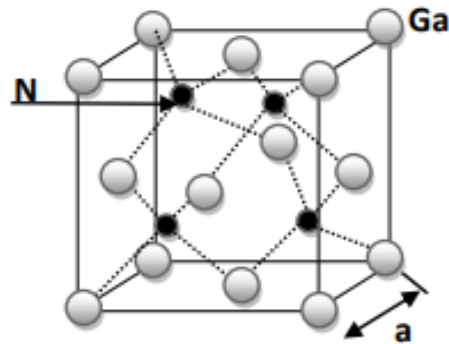


Figure 1.7: Maille unitaire Wurtzite du GaN

1.6.3. Bande interdite de GaN

L'intérêt majeur des nitrures du groupe III réside dans leur large bande interdite directe. Le minimum de la bande de conduction (BC) et le maximum de la bande de valence (BV) se trouvent aligner dans l'espace des K. En effet, le gap présenté par ces semi-conducteurs est assez grand pour que lorsqu'un électron se déplace de la bande de conduction à la bande de valence, le photon libéré possède une énergie correspondante à la valeur du gap [11].

A 300K, le gap de GaN est de 3.4eV, ce qui correspond à une longueur d'onde dans la région proche ultraviolette (UV) du spectre optique. L'ajout d'In ou Al permet de réaliser des alliages ternaires d'InGaN ou d'AlGaN. En fonction de la concentration d'Al ou In, on peut faire varier l'énergie de la bande interdite de ~0.7eV (pour l'InN) à ~6.3eV (pour l'AlN). Ceci permet de couvrir presque la totalité de la gamme spectrale allant du rouge aux UV profonds. La figure (1.8) montre la variation possible de la largeur de la bande interdite de GaN par la réalisation d'alliages ternaires InGaN et AlGaN . [12]

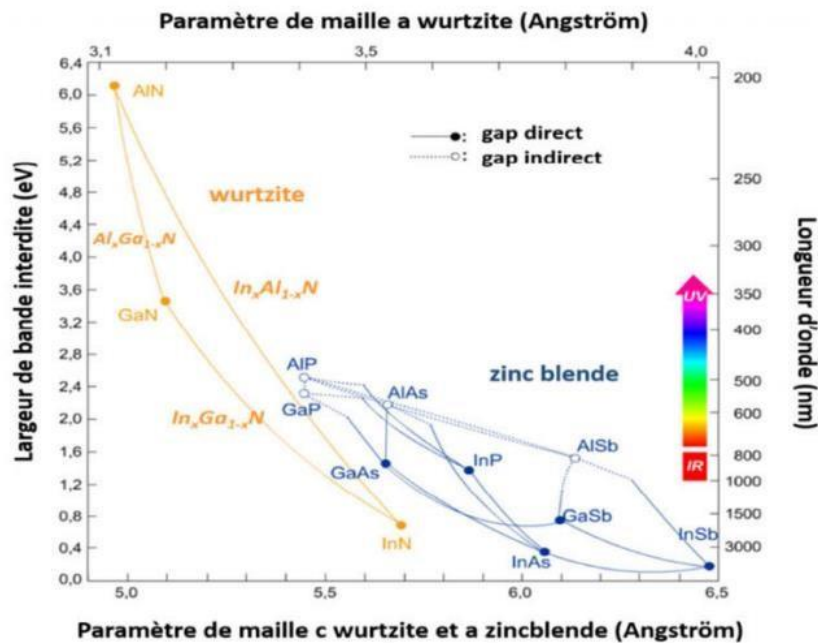


Figure 1.8: Gap énergétique et spectre visible par rapport à la constante de réseau pour divers semi-conducteurs, y compris les matériaux à large bande interdite [12].

1.6.4. Description de AlGaN

Le nitrure d'aluminium-gallium ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) est un matériau semi-conducteur ternaire, alliage de nitrure d'aluminium et de nitrure de gallium. Son gap est direct, ce qui le rend utile pour des applications en opto-électronique, variant entre 3,43 et 6,2eV à température ambiante, dépendant du ratio aluminium/gallium. L'AlGaN est souvent utilisé en association avec le nitrure de gallium ou le nitrure d'aluminium pour former des hétérojonctions. Les couches d'AlGaN peuvent être formées sur du silicium, du saphir ou encore du carbure de silicium. [11]

1.6.5. Puits quantique $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{GaN}$

L'un des intérêts du nitrure de gallium est la possibilité de former une hétérostructure avec d'autres semi-conducteurs III-N. L'hétérostructure consiste à juxtaposer (épitaxier successivement) une couche de GaN et une couche d'un alliage III-N voisin. L'hétérostructure la plus intéressante est $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{GaN}$, que nous noterons généralement AlGaN / GaN. La différence d'énergie de bande interdite des deux matériaux formant la jonction conduit à un décalage de la bande de conduction et de la bande de valence. Ce décalage au niveau de l'interface constitue un puits quantique et joue un rôle important sur les propriétés électroniques de l'hétéro-structure (figure 1.10). [12]

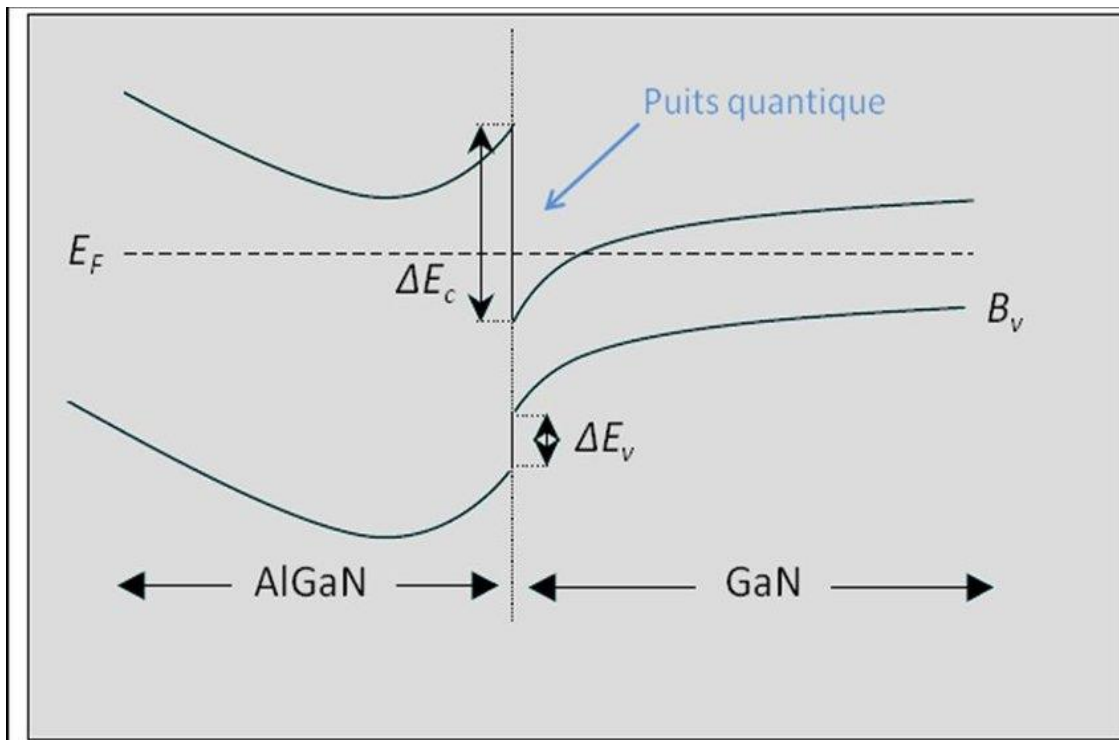
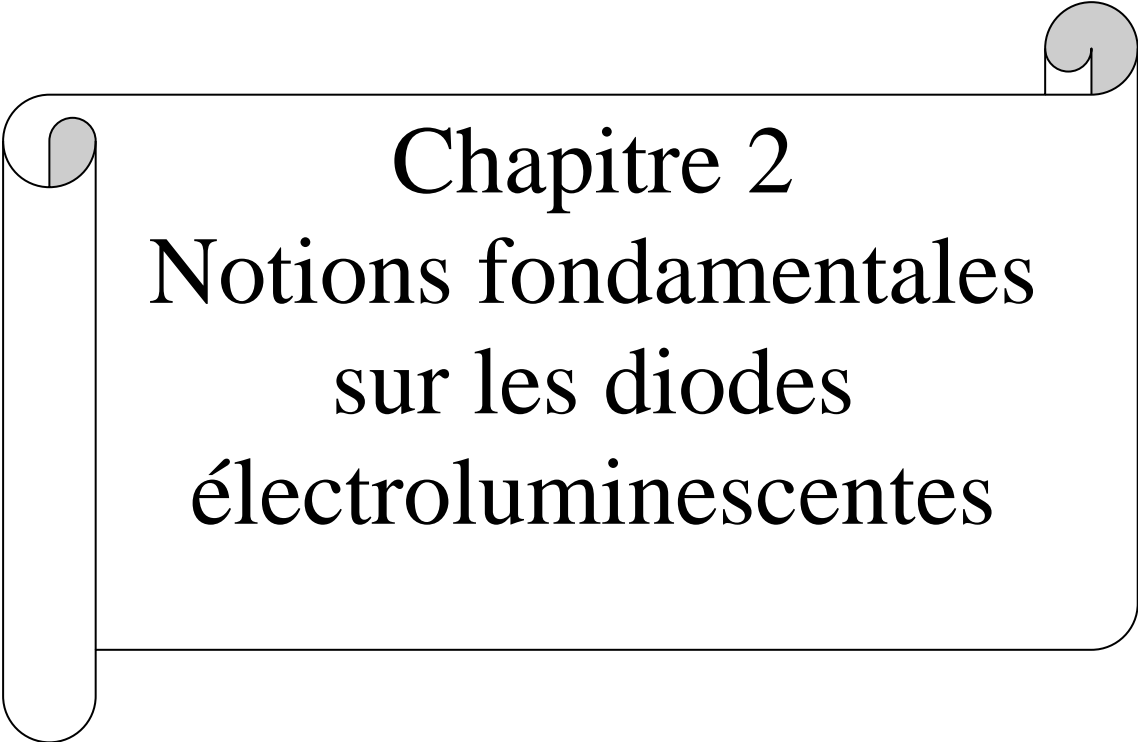


Figure 1.10 : Diagramme de bande de l'hétérostructure AlGaN-GaN.

Dans le cas des LEDs à puits quantiques, un problème majeur se pose qu'est la faible concentration en trous du type P comparée à la concentration en électrons du type N. Les électrons ont alors tendance à sortir des puits quantiques et à aller se recombiner dans le GaN de type P. Pour limiter ce problème, il a été nécessaire de co-doper la couche P afin d'augmenter le taux de recombinaison dans le puits quantique ainsi une barrière à électrons AlGaN est insérée entre les puits quantiques et le GaN de type P. [8]

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges curving inward. The text is centered within the scroll.

Chapitre 2

Notions fondamentales sur les diodes électroluminescentes

2.1. Introduction

Une diode électroluminescente est un dispositif optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse. [6]

2.2. Historique

L'émission de lumière par les semi-conducteurs est un phénomène connu depuis plus de 100 ans. Pendant l'investigation du passage asymétrique du courant au travers d'un contact de carborundum (SiC), le phénomène suivant a été observé : en appliquant une différence de potentiel de 10V entre deux points du cristal de carborundum, ce dernier a émis une lumière jaunâtre ». C'est ainsi qu'en 1907, le capitaine Henry Joseph Round rapporta la première émission de lumière par un cristal semi-conducteur.

Le premier brevet sur le sujet a été déposé en 1929 par un radiotechnicien Russe Oleg Vladimirovitch Losey. Cependant, sans explication physique du phénomène qui semblait être intermittent et changeant, cette découverte fut rapidement oubliée. Ce n'est qu'à partir des années 1954 que les chercheurs s'intéressent aux jonctions utilisant des matériaux des groupes III-V. Ainsi, en 1961, Robert Biard et Gary Pittman déposèrent le brevet de la diode électroluminescente infrarouge suite à la découverte d'émission de lumière infrarouge par un semi-conducteur (GaAs) lorsqu'il est traversé par un courant électrique.

En 1962, Nick Holonyak et S.F. Bevacqua, consultants à General Electric signent « l'acte officiel » de naissance de la diode électroluminescente émettant dans le rouge (une jonction faite d'un alliage GaAs et GaP). En 1972, George Craford invente la LED jaune qui est 10 fois plus brillante que les LEDs rouges orange existantes.

La diode bleue a été inventée en 1990 par le Dr. Shuji Nakamura. Cette innovation a été suivie par la mise au point de la diode blanche, qui a permis de nouvelles applications majeures, notamment dans le domaine de l'éclairage et des écrans de télévision et d'ordinateurs. Les premières LEDs blanches sont peu à peu apparues sur le marché et les fabricants ont proposé des diodes de plus en plus puissantes [13].

2.3. Diodes électroluminescentes

2.3.1. Définition

La LED est assez proche des diodes électroniques classiques. Ainsi elle nécessite des techniques de conception technologiques et des matériaux semi-conducteurs identiques. Son comportement, pouvant être tantôt isolant, tantôt conducteur électrique s'explique par la théorie des bandes d'énergie. Ce comportement sera influencé par la topologie employée, le taux de dopage du semi-conducteur et des dimensions mises en œuvre.

En première approche, une LED peut être définie comme un composant électronique constitué par la juxtaposition de deux matériaux semi-conducteurs. Cette association se comporte ensuite comme la jonction P-N d'une diode. Pour cela, et encore une fois comme pour une diode, l'un des matériaux doit être dopé fortement en porteurs positifs, reproduisant ainsi la zone P, et le second en porteurs négatifs, reproduisant la zone N. L'association des deux donne donc une jonction P-N telle que décrite dans les figures (2.1) suivante [14] :

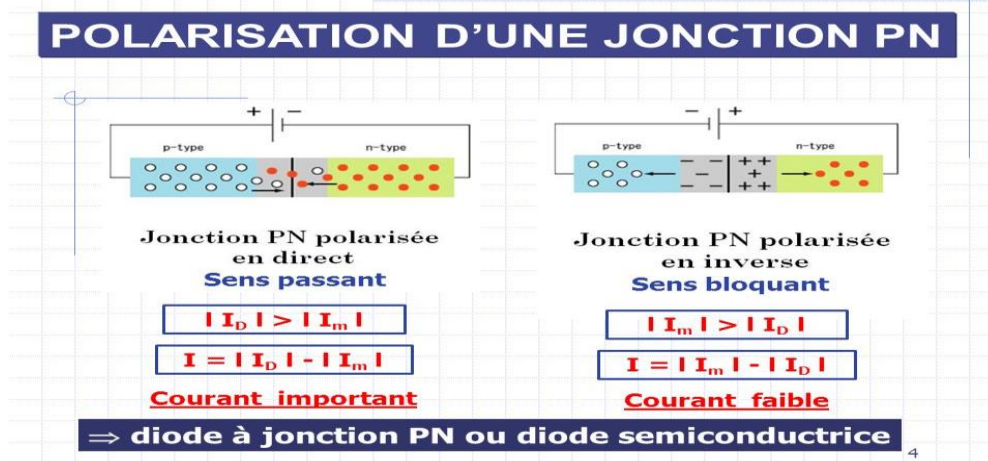


Figure 1.2: Jonction P-N d'une diode .

2.3.2. Principe de fonctionnement

Lorsqu'une jonction P-N est polarisée dans le sens direct, les électrons, qui sont majoritaires dans la région de type N, sont injectés dans la région de type P où ils se recombinent avec les trous. Inversement pour les trous. La structure de base d'une diode électroluminescente, est une jonction P-N réalisée à partir de semi-conducteurs dans lesquels les recombinaisons des porteurs excédentaires sont essentiellement radiatives. La structure type d'une diode électroluminescente et son principe de fonctionnement sont représentés sur la figure (2.2).[6]

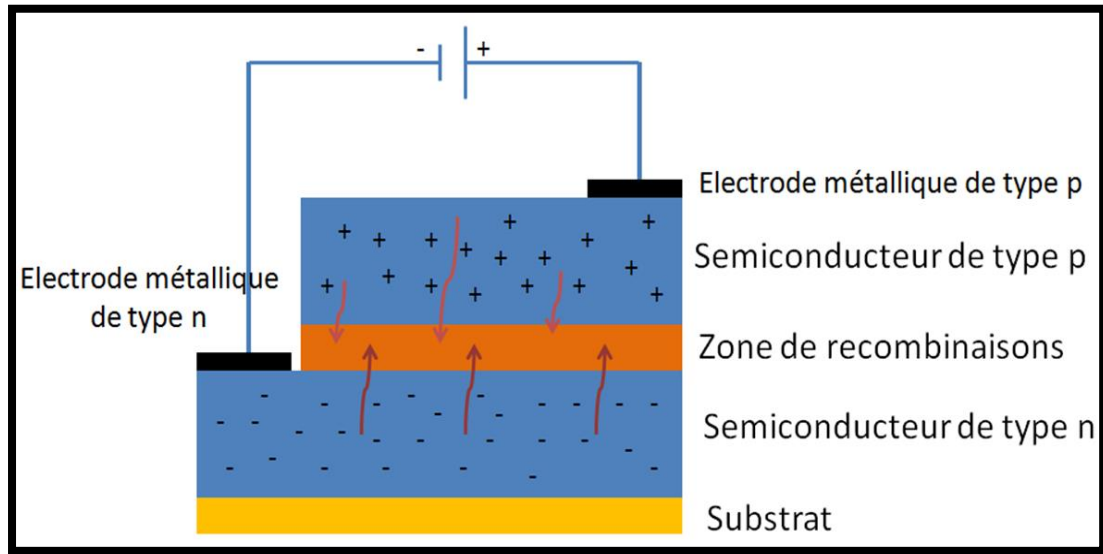


Figure 2.2: Principe de fonctionnement d'une LED.

Les recombinaisons des porteurs excédentaires se manifestent dans trois régions différentes qui sont d'une part la zone de charge d'espace, et d'autre part les régions neutres N et P. Dans chacune de ces dernières, la zone émettrice est limitée à la longueur de diffusion des porteurs minoritaires. La zone de charge d'espace joue quant à elle un rôle mineur dans la mesure où elle est pratiquement inexistante en raison du fait que la jonction est fortement polarisée dans le sens direct. C'est lors de la recombinaison d'un électron et d'un trou dans un semi-conducteur qu'il y a émission d'un photon. En effet, la transition d'un électron entre la bande de conduction et la bande de valence peut se faire avec la conservation du vecteur d'onde d'un photon. Dans une transition émissive, l'énergie du photon créé est donnée par la différence des niveaux d'énergie avant (E_i) et après (E_f) la transition. [15]

$$h\nu = E_i - E_f \text{ (eV)} \quad (2.1)$$

La face émettrice de la LED est la zone P car c'est la plus radiative du fait qu'elle contient la zone de recombinaison.

2.3.3. Structure de base

La diode électroluminescente LED est une diode à jonction P-N réalisée sur un matériau semi-conducteur, fortement dopé, à recombinaisons radiatives. Une structure type de la diode électroluminescente est illustrée sur la figure (2.3). La LED émet un rayonnement incohérent issu d'émissions spontanées de photons [10]. Les LEDs sont structurées pour assurer la plupart des recombinaisons à lieu sur la surface par deux façons.

Chapitre 2 Notions fondamentales sur les diodes électroluminescentes

- En augmentant la concentration de dopage du substrat, de sorte que plus les charges libres minoritaires porteurs d'électrons se déplacent vers le haut, se recombinent et émettent de la lumière à la surface.
- En augmentant la longueur de diffusion :

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (2.2)$$

Avec :

D est le coefficient de diffusion.

τ est la durée de vie.

Mais quand elle est augmentée au-delà d'une longueur critique il y a une chance de réabsorption des photons dans le dispositif.

La LED doit être structurée de telle sorte que les photons générés par le dispositif sont émis sans être absorbés. Une solution consiste à rendre la couche P sur la partie supérieure mince, assez pour créer une couche d'appauvrissement.[9]

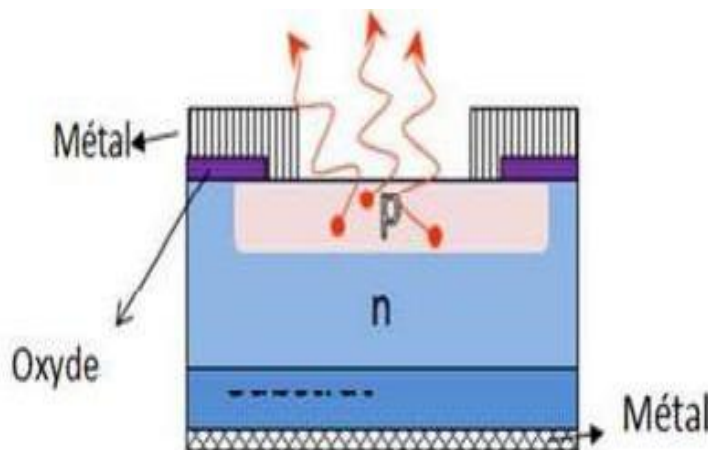


Figure 2.3: Structure de base d'une diode électroluminescente LED [10].

La diode électroluminescente fonctionne sous polarisation directe. Lorsque la tension d'alimentation est assez importante, la LED doit être protégée par une résistance pour limiter le courant qui la traverse à des valeurs inférieures à l'intensité maximale de courant tolérée. Ainsi, l'alimentation de la LED se fait plutôt en courant qu'en tension, et ceci à travers la résistance, présentée dans le circuit de la figure (2.4) ; Il permet de fixer ou limiter la valeur du courant ainsi que celle de la puissance lumineuse émise. Le courant qui traverse la jonction est donné par l'expression. [6]

$$I = I_s \left(e^{\frac{V_d}{k_B T}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Où :

I_s : est le courant de saturation de la diode.

K_B : est la constante de Boltzmann.

T : est la Température.

V_d : est la tension aux bornes de la diode.

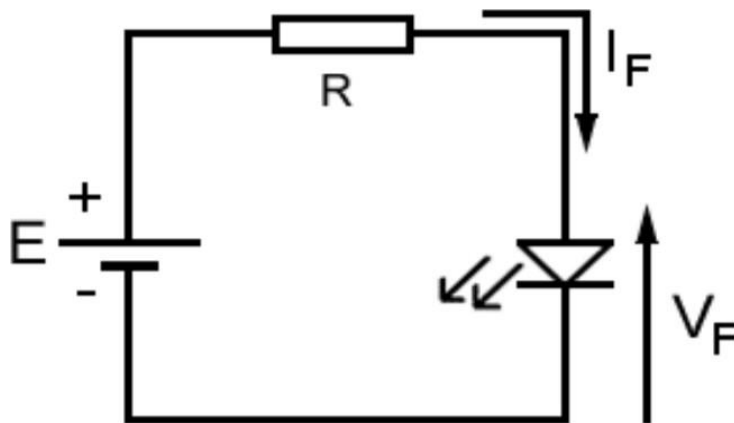


Figure 2.4 : Circuit de polarisation de la LED.

2.3. Diodes électroluminescentes à puits quantique

Elle est obtenue en faisant croître une couche d'un matériau semi-conducteur A (typiquement quelques dizaines de nanomètres) entre deux couches d'un autre matériau semi-conducteur B. ce dernier présente un gap d'énergie supérieur à celui du matériau A. la discontinuité entre les bandes d'énergie dans les deux matériaux crée une barrière de potentiel qui confine les porteurs dans le puits quantique (Figure 2.5).

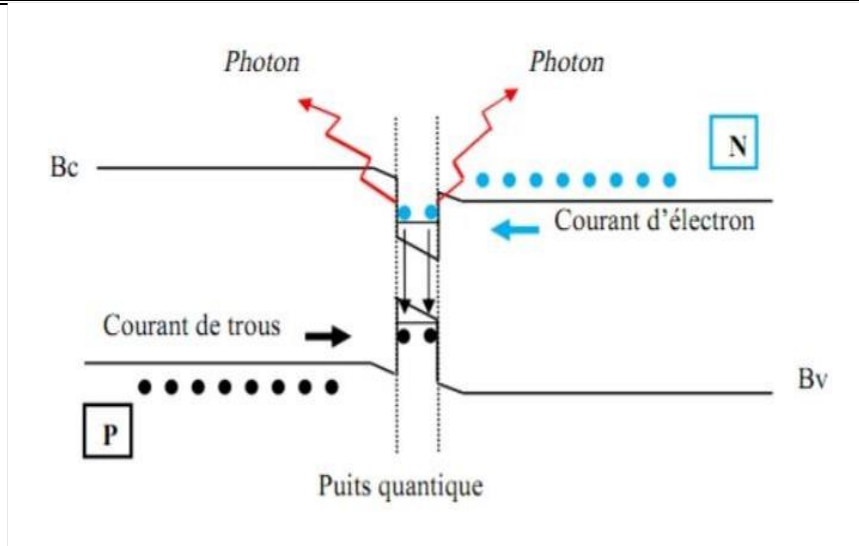


Figure 2.5 : Schéma de principe d'un puits quantique PN [12].

La figure (2.6) montre le schéma simplifié d'une diode électroluminescente à puits quantique à base de GaN.

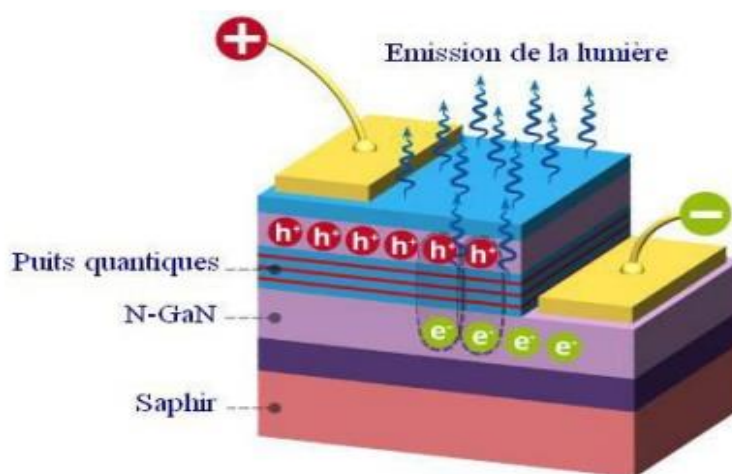


Figure 2.6: Schéma d'une diode électroluminescente à puits quantique .

Le coût d'une LED est étroitement corrélé au coût du substrat sur lequel on dépose la couche de GaN. Celui-ci est généralement en saphir ou SiC qui restent chers. Une solution alternative est apparue avec la possibilité de déposer le GaN sur du silicium, tout en conservant une qualité de couche compatible avec les exigences de fabrication de LED.[8]

2.5. Classification des diodes électroluminescentes

2.5.1. Classement selon la structure

2.5.1.1. Diodes électroluminescentes à homojonction

Elle est constituée du même semi-conducteur pour les deux régions dopées de type P et N. Elle résulte de la juxtaposition dans un même matériau semi-conducteur de deux zones : une de type P et l'autre de type N. Cette juxtaposition entraîne des courants de diffusion d'électrons et de trous au voisinage de la jonction. Une barrière de potentiel est alors créée. Elle s'oppose aux courants de diffusion des porteurs majoritaires de chaque zone. Cette barrière ne dépend que des travaux de sortie des deux régions (V_{bi} est déterminée par la différence entre les niveaux de Fermi) [9].

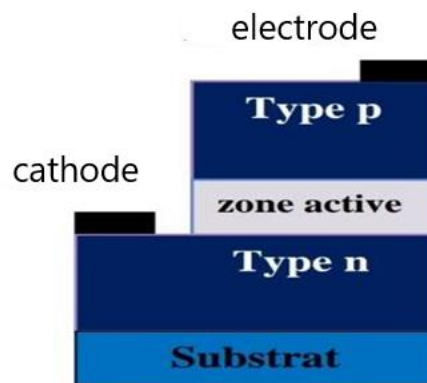


Figure 2.7: Schéma de principe d'une LED à homojonction .

2.5.1.2. Diodes électroluminescentes à hétérojonction

Elle se forme au contact de deux matériaux semi-conducteurs ayant des valeurs de gaps différentes. On remarque sur la figure (2.8), contrairement à l'homojonction, l'apparition d'un pic qui peut également apparaître dans la bande de valence selon la nature et le dopage des deux semi-conducteurs. Dans ce cas la barrière d'énergie dépend du gap, de l'affinité électronique et de la concentration des dopants des deux semi-conducteurs [14]

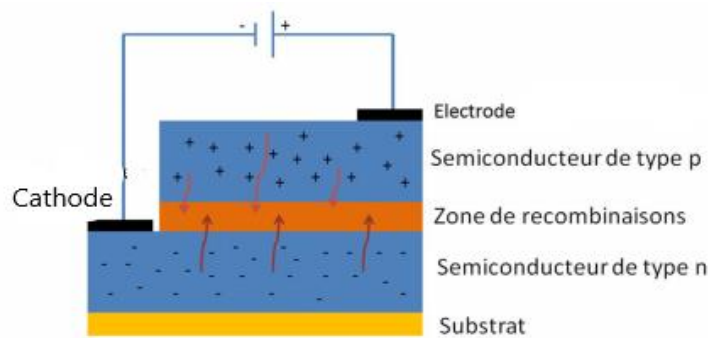


Figure 2.8: Schéma de principe d'une hétérojonction PN [9].

2.5.2. Classement selon la puissance

2.5.2.1. Diodes électroluminescentes de faible puissance

Les diodes électroluminescentes de faible puissance ce sont les plus connues du grand public car elles sont présentées dans notre quotidien depuis des années. Ce sont elles qui jouent le rôle de voyant lumineux sur les appareils électroménagers par exemple. Possède un dôme en époxy qui n'a pas de symétrie de révolution autour de son axe central, mais possède un bord plat du côté de la cathode. (Figure 2.9) Cette caractéristique permet à l'utilisateur de pouvoir distinguer l'anode de la cathode lorsque l'identification de la longueur des pattes de la LED n'est plus possible. Ce dôme a pour rôles, d'une part, de protéger la puce semi-conductrice (jonction P-N) de l'environnement extérieur, et d'autre part, de servir de lentille optique permettant l'extraction de la lumière émise. [9]

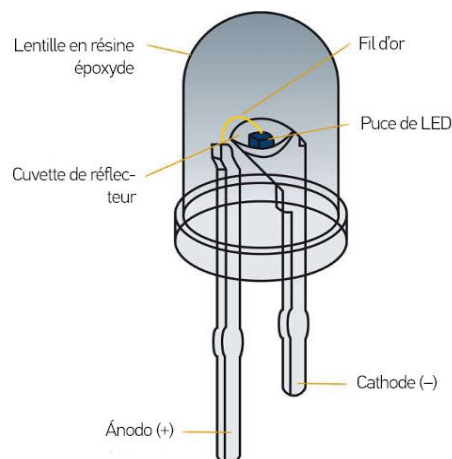


Figure 2.9: Schéma de principe d'une LED de faible puissance .

2.5.2.2. Diodes électroluminescentes de forte puissance

Le principe de base reste identique à la précédente architecture. L'alimentation de la puce semi-conductrice est assurée par deux électrodes reliées par deux fils conducteurs. Contrairement à l'architecture précédente, dans celle-ci il y a une dissociation du chemin de l'alimentation électrique et de la dissipation thermique. La dissipation thermique se faisant sous le composant (Figure 2.10).

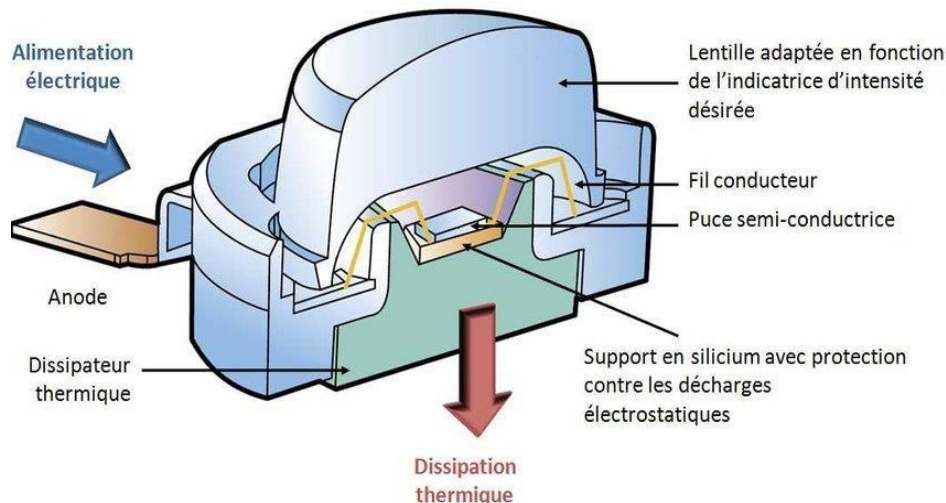


Figure 2.10: Schéma de principe d'une LED de forte puissance .[16]

2.5.3. Classement selon le spectre d'émission

Une autre manière de les classer est de considérer la répartition de l'énergie dans la gamme de longueur d'onde couvrant le visible (longueurs d'ondes de l'ordre de 380- 780nm) ou l'invisible (principalement l'infrarouge). La raison de la distinction réside dans le fait que certaines diodes peuvent servir à éclairer, ce qui est l'une des applications phares du futur.[9]

2.5.3.1. Diodes électroluminescentes chromatiques

L'énergie est concentrée sur une plage étroite de longueur d'onde (20 à 40nm). Ces sources ont un spectre quasiment monochromatique.

2.5.3.2. Diode électroluminescente infrarouges

L'énergie est émise hors du spectre de la lumière visible, au-delà de 700nm de longueur d'onde. Elles sont utilisées pour transmettre des signaux de télécommandes ou pour de la télémétrie exploitée par exemple dans la détection de position des consoles de jeux telles que la Wii, ou servir d'éclairage pour les caméras infrarouge, etc. [9].

2.5.3.3. Diodes électroluminescentes blanches

L'énergie est répartie dans le visible sur toute la gamme de longueurs d'onde (380 à 780nm) environ

2.6. Caractéristique courant-tension des diodes électroluminescentes

La caractéristique (I-V) de la LED, illustrée sur la figure (2.11), est semblable à celle d'une diode au silicium avec une tension de seuil V_{th} assez élevée, puisqu'en relation directe avec l'énergie du photon émis [6].

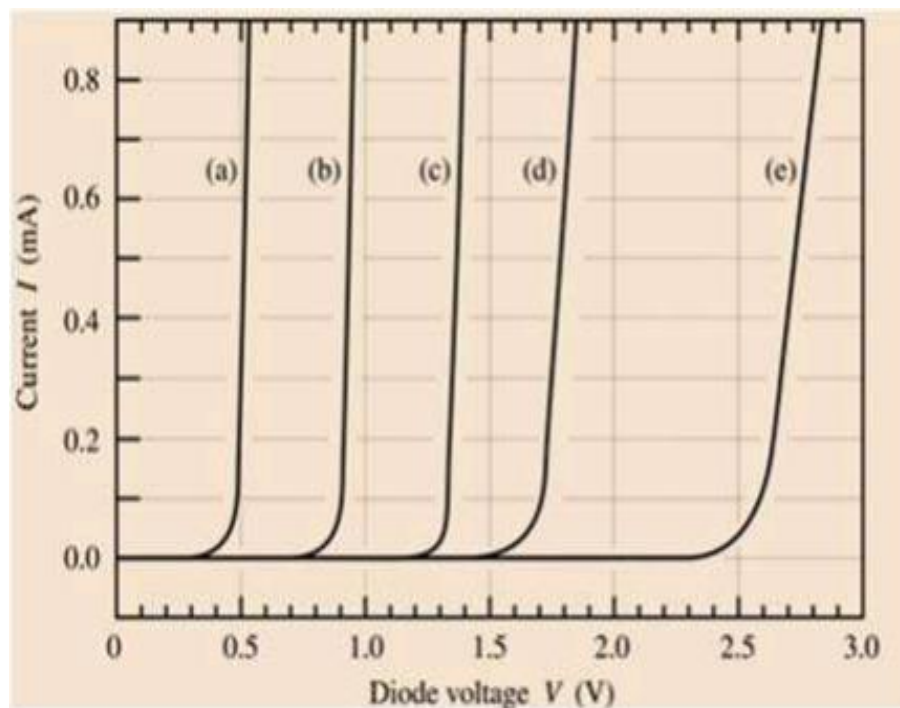


Figure 2.11 : Caractéristique courant-tension de la diode à base de: (a) Ge, (b) Si, (c) GaAs, (d) GaAsP, (e) GaInN. [6]

La tension directe appliquée à la LED :

- Est de l'ordre de 1,1V pour les diodes à émission dans l'infrarouge,
- Varie de 1,8V à 2,5V pour les LED à émission dans le rouge, le jaune et le vert,
- Supérieur à 3,5V pour l'émission dans le bleu et le violet,
- Le courant nominal d'une diode électroluminescente est de l'ordre de 10 à 50mA.

2.8. Rendement lumineux des diodes électroluminescentes

Le rendement global d'une LED est par définition le rapport de la puissance lumineuse émise sur la puissance électrique consommée. C'est donc le produit de la tension appliquée V_a par le courant traversant la jonction : le courant étant le nombre d'électrons passant la jonction par seconde multiplié par la charge de l'électron.

$$\eta = \frac{\text{puiss lumineuse}}{\text{puiss électrique}} = \frac{\hbar\omega \cdot \text{Nbredephotonsémis/sec}}{eV_a \cdot \text{Nbrede}e^- \text{ passant la jonction /sec}} \tag{2.4}$$

En introduisant le nombre de photons créés en le multipliant au numérateur et au dénominateur, nous faisons apparaître le rendement interne qui n'est autre que le rapport du nombre de photons créés sur le nombre d'électrons passant dans la jonction (ce dernier étant le nombre de paires électron-trou créées). Le quotient du nombre de photons émis sur le nombre de photons créés définit le rendement optique [6].

$$\eta = \frac{\hbar\omega \cdot \text{Nbredephotonsémis/sec}}{eV_a \cdot \underbrace{\text{Nbredephotons créés/sec}}_{\eta_{optique}}} \cdot \underbrace{\frac{\text{Nbredephotons créés/sec}}{\text{Nbrede}e^- \text{ passant/sec}}}_{\eta_{interne}} \tag{2.5}$$

L'expression du rendement d'une LED est donc la suivante :

$$\eta = \frac{\hbar\omega}{eV_a} \eta_{opt} \eta_{int} \tag{2.6}$$

2.9. Avantages et inconvénients des diodes électroluminescentes

Les avantages des diodes électroluminescentes sont nombreux à savoir :

- Excellente résistance mécanique (chocs, écrasement, vibrations) donc transportable.
- Très faible consommation électrique (quelques dizaines de milliwatts) grâce à un très bon rendement.
- Durée de vie beaucoup plus longue qu'une lampe à incandescence classique.
- Taille beaucoup plus petite que les lampes classiques. En assemblant plusieurs LED, on peut réaliser des éclairages avec des formes novatrice.

Chapitre 2 Notions fondamentales sur les diodes électroluminescentes

Malgré les avantages multiples des diodes électroluminescentes, elles souffrent de quelques inconvénients, on peut citer les inconvénients suivants :

- La LED étant un semi-conducteur, elle est affectée par la température : plus elle chauffe, plus sa tension directe de jonction décroît, et son rendement lumineux se dégrade.
- Le rendement lumineux reste faible.
- Les LED blanches contiennent un spectre bleu de forte intensité dangereux pour la rétine.[6]



Chapitre 3

Logiciel SILVACO-ATLAS et Résultats de simulation

3.1 Introduction

Le simulateur TCAD (Technology Computer-Aided Design) est un ensemble complet d'outils indépendants permettant la simulation physique de dispositifs à semi-conducteurs. Il permet d'associer l'aspect conception technologique à la simulation numérique. Ceci dans le but d'économiser le temps, de pouvoir envisager et optimiser des solutions pour améliorer les performances des dispositifs.

Dans ce chapitre, nous présenterons le logiciel de simulation SILVACO-ATLAS, la structure que nous avons simulée ainsi que les résultats obtenus.

3.2 Présentation du logiciel de simulation SILVACO [17,18]

Le SILVACO (Silicon Valley Corporation) est un logiciel qui permet de concevoir, modéliser et simuler les performances des dispositifs à semi-conducteur, avant la fabrication des prototypes d'essais. Il est très utile dans les projets de recherche développement car il optimise le temps des essais et par conséquent réduit le coût de conception et de fabrication des dispositifs électroniques.

Sous SILVACO, l'ensemble des outils de simulation et des outils interactifs permettant la conception et l'analyse de la plupart des dispositifs semi-conducteurs s'appelle VWF (Virtual Wafer Fab). Les composants de base de VWF sont illustrés sur la figure (3.1) .

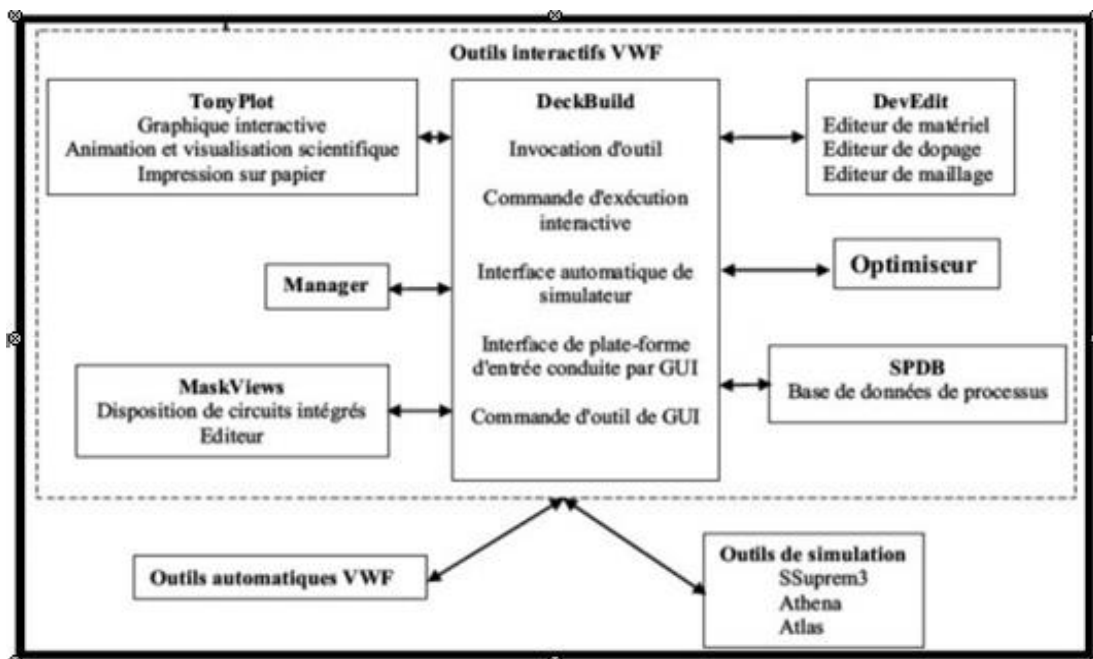


Figure 3.1: Organigramme de la structure VWF.

Le SILVACO-ATLAS inclut de nouveaux modèles physiques qui utilisent des méthodes et des algorithmes numériques efficaces, de nouvelles techniques de maillage, des solutions linéaires d'optimisation, etc., tout en permettant d'obtenir des résultats de simulation très proches de celles de la pratique. L'avantage majeur de ce type de simulateurs est de visualiser dans l'espace des phénomènes physiques difficilement accessibles et observables et de s'approprier de manière pédagogique les procédés de fabrication. Les modules de SILVACO-ATLAS peuvent être utilisés pour :

- La simulation des étapes de fabrication technologique (ATHENA.).
- La simulation électrique des dispositifs tels que, les diodes, les transistors bipolaires, les diodes électroluminescentes...etc. (ATLAS).
- Virtual Wafer Fab pour automatiser la simulation de fabrication des Wafers .

Dans notre étude, les simulations sont effectuées par le module ATLAS.

3.2.1. ATLAS

ATLAS est un simulateur 2D ou 3D des dispositifs basés sur la physique de semi-conducteurs. Il prédit le comportement électrique de dispositifs à base de semi-conducteurs et fournit des informations sur les mécanismes physiques internes associés au fonctionnement des dispositifs.

Dans le schéma de la figure (3.2) nous voyons les types d'informations qui circulent en entrée et en sortie d'ATLAS. La plupart des simulations réalisées par ATLAS utilisent deux fichiers d'entrée. Le premier fichier est un fichier script contenant les commandes pour qu'ATLAS s'exécute (représente par fichier de commande). Le second fichier est un fichier de structure qui définit la structure qui va être simulée. A la sortie d'ATLAS, nous avons trois types de fichiers. Le premier de ces fichiers est la sortie "Runtime" qui donne la progression, les erreurs et les messages d'avertissements pendant la simulation. Le deuxième type de fichier est le fichier " log " qui stocke toutes les valeurs de tensions et des courants provenant de l'analyse du dispositif simulé (c'est le fichier du comportement électrique). Le troisième fichier de sortie est le fichier de solution, ce fichier stocke les données 2D ou 3D concernant les valeurs des variables solutions dans le dispositif en un point donné (c'est le fichier physique, il contient la structure dans un état particulier). Les deux derniers fichiers sont traités par l'outil de visualisation TONYPLOT.

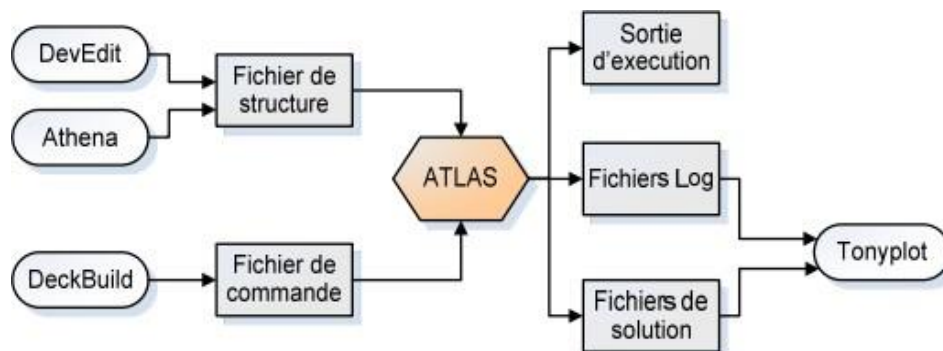


Figure 3.2 : Entrées et sorties d'ATLAS.

ATLAS calcule les distributions internes des paramètres physiques et prédit le comportement électrique des dispositifs en régime permanent ou transitoire. Il peut donc simuler la distribution des potentiels, des champs électriques, des porteurs et des courants, modéliser les courbes (I-V) et (C-V), les réponses en alternatif et les caractéristiques en régime transitoire.

La structure du dispositif à simuler peut-être complètement arbitraire. Une fois celle-ci réalisée, elle est découpée en éléments finis, formant ainsi ce qu'on appelle un maillage. Le potentiel électrostatique et les concentrations de porteurs en fonction de l'espace et du temps sont alors calculés à chaque nœud du maillage à partir de la résolution de l'équation de Poisson et des équations de continuité.

3.2.1.1. Deckbuild

Deckbuild est un outil d'environnement d'exécution puissant qui permet à l'utilisateur de manière transparente d'aller de la simulation de processus à la simulation de dispositifs à l'extraction de modèles SPICE. Il est facile d'utiliser l'environnement de l'exécution pour exécuter des simulateurs de base tels qu'ATLAS. Deckbuild contribue à créer des fichiers d'entrée à ATLAS. Plusieurs fenêtres fournissent des ponts d'entrées à base de menus ou à base de textes pour les informations saisies. Il comprend également un grand nombre d'exemples pour tous les types de technologies. Autres outils de simulation, tels que Tonyplot, DEVEDIT et MASKVIEW peuvent également être invoqué à partir de Deckbuild. Les optimiseurs de Deckbuild contribuent à l'optimisation des cibles comme les dimensions structurales et les paramètres des dispositifs après des tests électriques compliqués et des outputs intermédiaires.

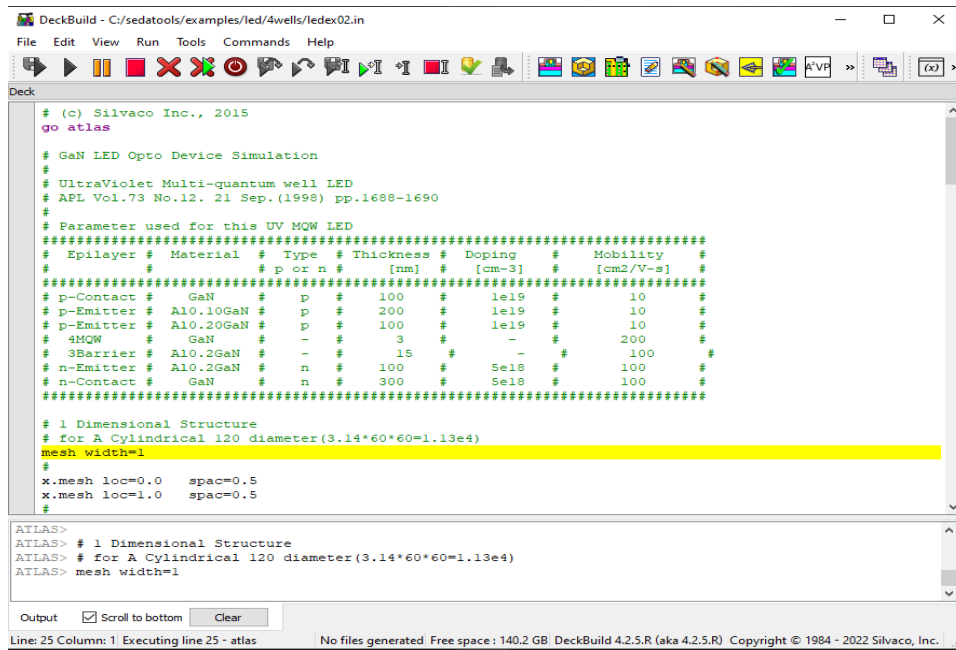


Figure 3.3: Environnement Deckbuild

3.2.1.2. Tonyplot

Tonyplot est un outil de traitement graphique utilisé avec tous les simulateurs SILVACO et fait partie intégrante des VWF (figure (3.4)). Il donne des possibilités complètes pour la visualisation et l'analyse des caractéristiques de sortie (structure du composant électronique, profil du dopage, et caractéristiques électriques). Tonyplot peut fonctionner en autonome ou avec d'autres outils interactifs de VWF, comme Deckbuild ou SPDB.

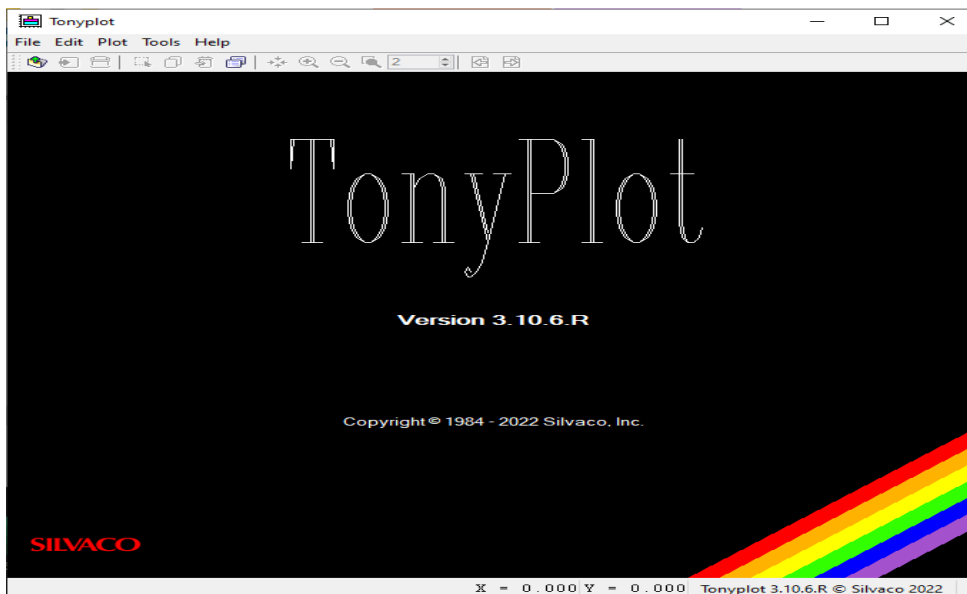


Figure 3.4: Fenêtre de Tonyplot.

- TONYPLOT peut donner des caractéristiques de sortie en une dimension (1D), deux dimensions (2D), ou trois dimensions (3D). Dans le cadre de notre travail, nous présenterons les résultats de la simulation en deux dimensions.

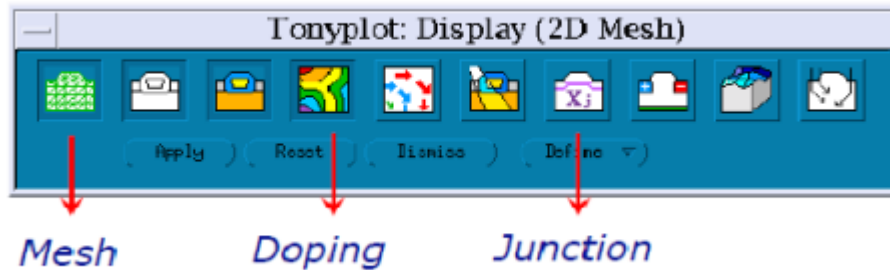


Figure 3.5: l'environnement TONYPLO

3.2.1.3. Equations de base des semi-conducteurs

De façon très succincte, nous pouvons dire que ce simulateur de dispositifs est basé sur la résolution simultanée de l'équation de Poisson et de l'équation de continuité. Il calcule à chaque instant et en tout point de l'espace en une suite d'éléments finis, la concentration des électrons et des trous et la valeur du potentiel électrostatique. L'équation de Poisson montre une relation entre le potentiel et la densité des porteurs :

$$\text{div} (\epsilon \nabla V) = q (n - p - N_d^+ + N_a^-) \quad (3.1)$$

Où :

ϵ est la constante diélectrique.

V est le potentiel.

q est la charge élémentaire d'électrons.

n et p sont les densités des électrons et des trous.

N_d^+ et N_a^- sont les densités de donneurs et d'accepteurs ionisés.

L'évolution temporelle des densités de porteurs obéit aux équations de continuité pour les électrons et les trous :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - R_n + \frac{1}{q} \text{div} \vec{J}_n \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - R_p + \frac{1}{q} \text{div} \vec{J}_p \quad (3.3)$$

Où :

G_p et R_p sont respectivement les taux de génération et de recombinaison des trous.

G_n et R_n sont respectivement les taux de génération et de recombinaison des électrons.

\vec{J}_p et \vec{J}_n sont respectivement les densités de courant des trous et des électrons.

Les dérivations basées sur la théorie de transport de Boltzmann ont prouvé que la densité des courants dans les équations de continuité peut être définie par le modèle d’entraînement diffusion. Les densités de courants sont exprimées en deux termes. Le premier correspond à l’entraînement des charges par le champ électrique, le second correspond à la diffusion des porteurs.

$$\vec{J}_n = qn\mu_n \vec{E} + qD_n \overrightarrow{\text{grad } n} \quad (3.4)$$

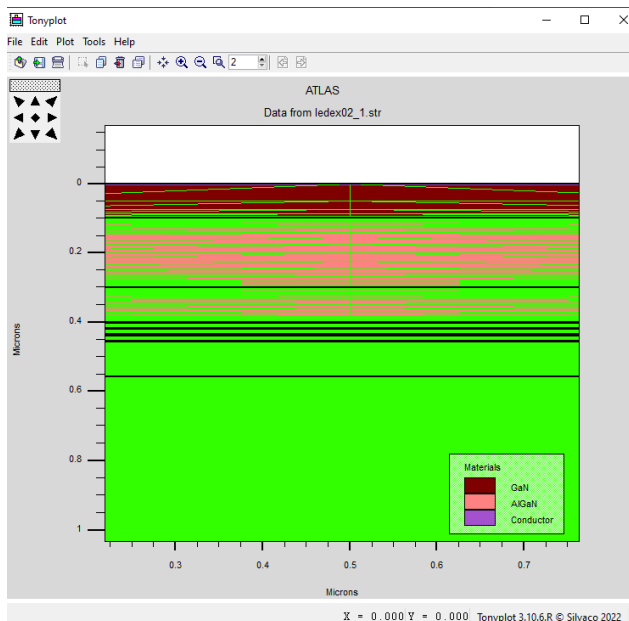
$$\vec{J}_p = qn\mu_p \vec{E} + qD_p \overrightarrow{\text{grad } p} \quad (3.5)$$

$$E = -\overrightarrow{\text{grad } V} \quad (3.6)$$

3.2.2. Syntaxe d’un programme dans ATLAS

3.2.2.1. Mesh

Le programme met une grille sur la structure, où il joue un rôle important pour obtenir une bonne simulation, qui est un ensemble de lignes horizontales et verticales. Dans notre étude, nous utilisons une grille bidimensionnelle et donc seuls les arguments x et y sont définis. Nous avons utilisé le maillage représenté sur la figure (3.6).



mesh width=100

x.mesh loc=0.0 spac=0.5

x.mesh loc=1.0 spac=0.5

y.mesh loc=0.1 spac=0.001

y.mesh loc=0.2 spac=0.025

y.mesh loc=0.3 spac=0.001

y.mesh loc=0.35 spac=0.01

y.mesh loc=0.4 spac=0.0005

y.mesh loc=0.457 spac=0.0005

y.mesh loc=0.557 spac=0.001

y.mesh loc=3.557 spac=0.01

3.2.2.2. Région *Figure 3.6 : Exemple de maillage d’une diode électroluminescente*

Après l'opération du maillage, vient l'étape de définition des régions. Ces dernières déterminent les différentes couches formant la diode électroluminescente. La figure (3.7) montre les zones avec les matériaux utilisés dans cette étude.

region number=1	y.max=0.1	material=GaN
region number=2	y.min=0.1 y.max=0.3	material=AlGaN x.comp=0.1
region number=3	y.min=0.3 y.max=0.4	material=AlGaN x.comp=0.2
region number=4	y.min=0.4 y.max=0.403	material=GaN name=well led qwell
region number=5	y.min=0.403 y.max=0.418	material=AlGaN x.comp=0.2
region number=6	y.min=0.418 y.max=0.421	material=GaN name=well led qwell
region number=7	y.min=0.421 y.max=0.436	material=AlGaN x.comp=0.2
region number=8	y.min=0.436 y.max=0.439	material=GaN name=well led qwell
region number=9	y.min=0.439 y.max=0.454	material=AlGaN x.comp=0.2
region number=10	y.min=0.454 y.max=0.457	material=GaN name=well led qwell
region number=11	y.min=0.457 y.max=0.557	material=AlGaN x.comp=0.2
region number=12	y.min=0.557 y.max=3.557	material=GaN substrate

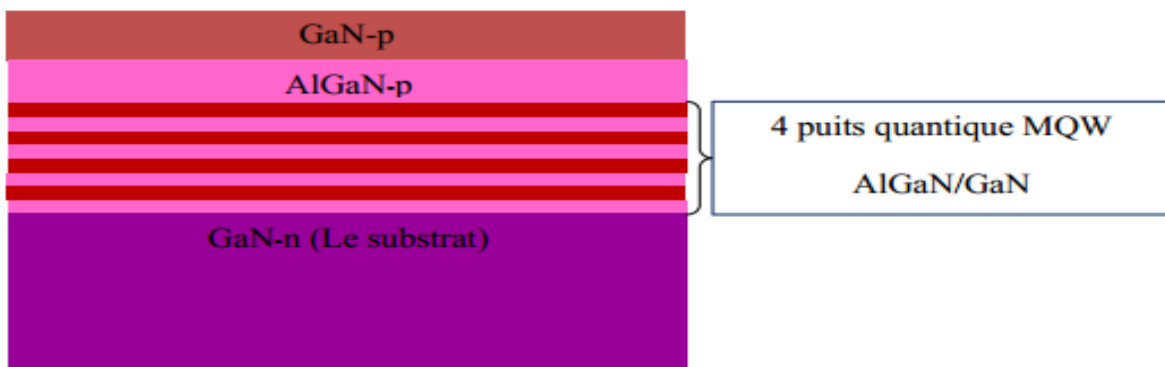


Figure 3.7 : Régions avec les matériaux définis.

3.2.2.3. Electrode

Une fois les régions et les matériaux sont précisés, l'étape suivante est la définition des électrodes. Dans cette simulation, nous n'avons utilisé que deux électrodes, une anode et une cathode. La figure (3.8) présente les électrodes utilisées dans cette étude.

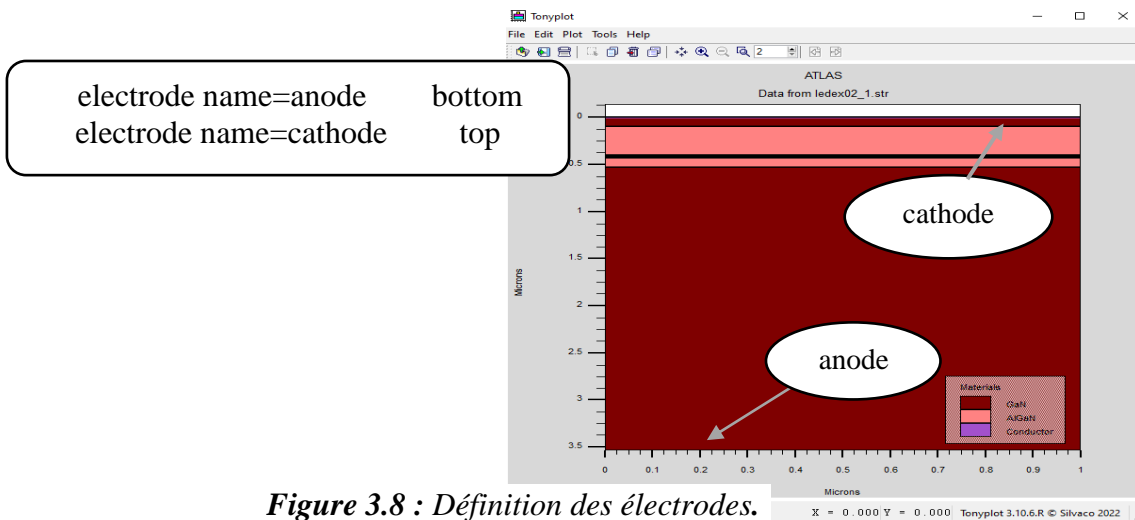


Figure 3.8 : Définition des électrodes.

3.2.2.4. Doping

C'est le dernier paramètre à définir pour la structure. Il peut être de type N, de type P ou intrinsèque. La figure (3.9) représente la distribution du dopage dans les différentes régions.

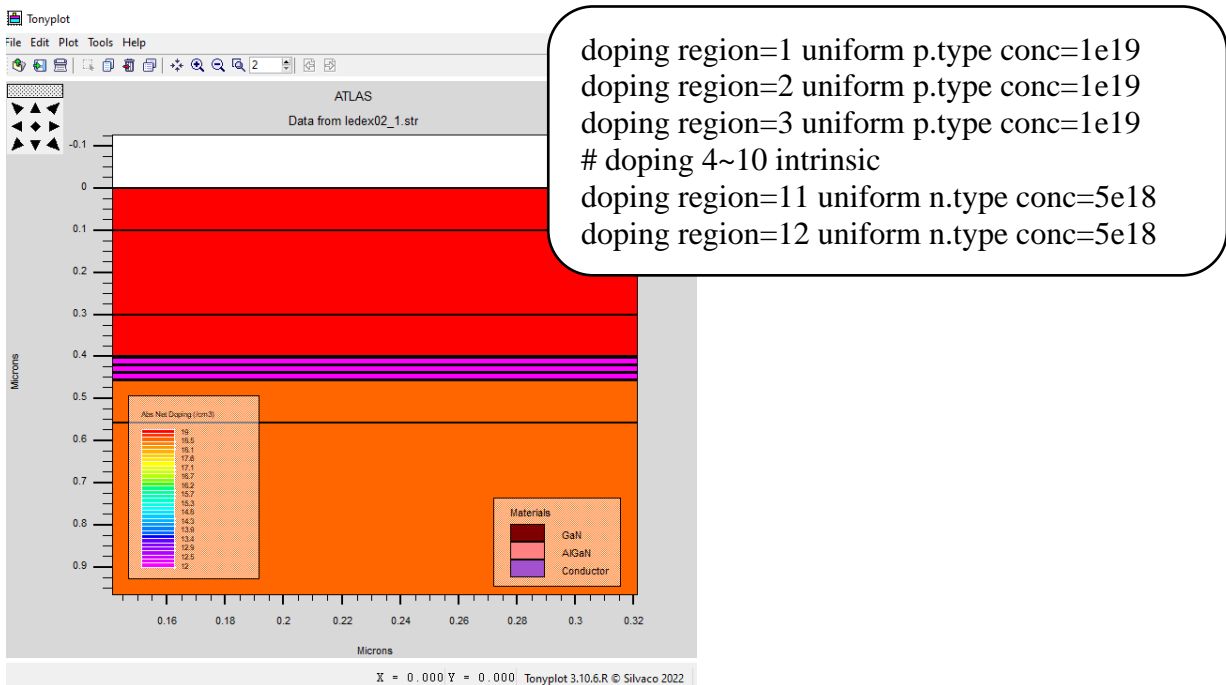


Figure 3.9 : Distribution du dopage dans les régions.

Après la définition de la structure, il faut définir les paramètres des matériaux et les modèles adaptés.

3.2.3.1. Matériaux

Le format de la déclaration d'Atlas pour les matériaux est comme suit :

```
MATERIAL <identification> <material_parameters>
```

Exemple :

```
material material=GaN taun0=2e-7 taup0=2e-7 copt=1.1e-8 augn=2.4e-30 augp=2.4e-30
```

3.2.3.2. Modèles

Les modèles physiques se répartissent en cinq catégories : la mobilité, la recombinaison, les statistiques des transporteurs, l'impact ionisation, et l'effet tunnel. La syntaxe de la déclaration des modèles est comme suit :

```
MODEL< paramètres généraux > / < paramètres du modèle >
```

Le choix du modèle dépend des matériaux choisis pour la simulation. L'exemple suivant montre les modèles étudiés dans cette simulation :

```
models k.p fermi incomplete consrh auger optr print  
models name=well k.p chuang spontaneous lorentz
```

3.2.4. Méthodes numériques

La méthode numérique doit être désignée après la définition des matériaux et la précision du modèle choisi. Parmi les différentes méthodes numériques de résolution des systèmes d'équation, trois types sont utilisées dans « SILVACO-ATLAS » : la méthode de Gumel, méthode de Newton et méthode des blocs.

3.2.4.1. Solution

Après avoir terminé la sélection de la méthode numérique, le prochain pas est la spécification de la solution. Elle se décompose en ces déclarations : Log, Solve, et Save.

3.2.4.2. Log

L'instruction Log enregistre toutes les caractéristiques terminales dans un fichier de données. Un exemple d'utilisation de l'instruction Log est :

```
log outf=ledex02.log
```

L'exemple montre l'enregistrement de données dans le fichier ledex02.log.

3.2.4.3. Solve

L'instruction Solve suit la déclaration Log. Solve effectue une solution pour un ou plusieurs points de polarisation. Cette déclaration a le format de base suivant.

SOLVE «bias_points»

Exemple : Solve vstep=0.1 vfinal=5 name =anode

3.2.4.4. Save

L'instruction Save sauvegarde toutes les informations d'un point nœud du maillage dans un fichier de sortie (les fichiers de sortie sont de type structure).

L'instruction pour Save est :

```
save outf=ledex02_5p0.str
```

3.2.5. Analyse des résultats

3.2.5.1. Extract

La commande Extract est utilisée pour extraire les valeurs bien précises des paramètres des deux types des fichiers dat ou structure .

Exemple :

```
extract init infile="ledex02_3p5.str"
```

```
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Electron Conc" material="All" \  
x.val=0.5) outfile="ledex02_3p5_Electron.dat"
```

```
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Hole Conc" material="All" \  
x.val=0.5) outfile="ledex02_3p5_Hole.dat"
```

3.2.5.2. Tonyplot

Démarre le programme «Tonyplot» permettant une représentation graphique des données .

Exemple : Tonyplot ledex02.log

3.2.6. Etapes de simulation

La figure (3.10) suivante résume les étapes à suivre pour la simulation des dispositifs à semiconducteurs.

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

Figure 3.10 : *Etapes à suivre pour la simulation des dispositifs à semiconducteurs. [19]*

3.3. Résultats de la simulation

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats de la simulation de la LED à puits quantiques multiples en particulier l'effet de nombre de puits quantiques sur les caractéristiques électriques et optiques de cette LED.

3.3.1. Cas de quatre puits quantiques

3.3.1.1. Représentation de la structure simulée

La figure (3.11) ci-dessous présente la structure simulée de la diode électroluminescente à quatre puits quantiques.

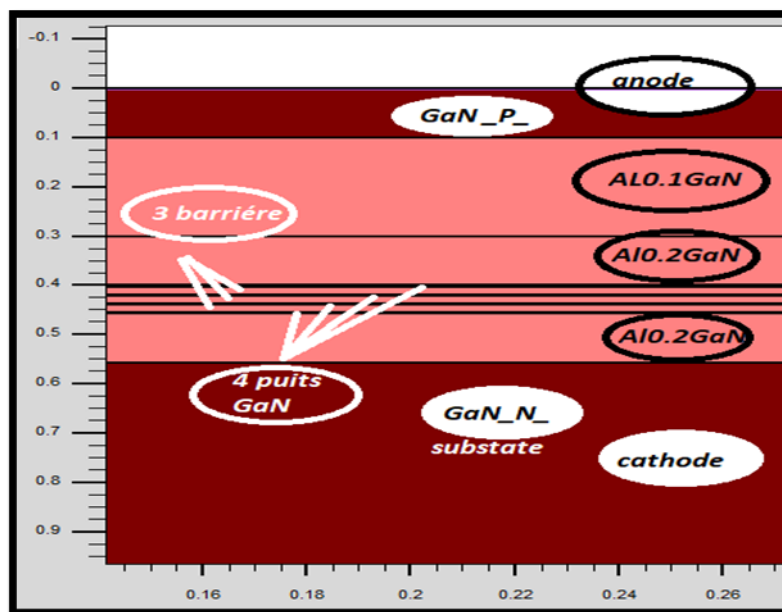


Figure 3.11 : Schéma de la structure simulée.

Le tableau suivant donne les valeurs des paramètres utilisés en simulation.

.Matériaux	Type N ou P	Epaisseur (nm)	Dopage (cm^{-3})	Mobilité ($cm^2/V.s$)
GaN	P	100	10^{19}	10
Al _{0.1} GaN	P	200	10^{19}	5
Al _{0.2} GaN	P	100	10^{19}	5
GaN	–	3	–	200
Al _{0.2} GaN	–	15	–	100
Al _{0.2} GaN	N	100	5.10^{18}	250
GaN	N	3000	5.10^{18}	400

Tableau 3.1: Paramètres de simulation pour les matériaux utilisés

3.3.1.2. Structure de bande d'énergie

Les figures (3.12) et (3.13) représente la structure de bande d'énergie à l'équilibre thermique et pour une densité de courant égale à $10A/cm^2$ respectivement d'une LED à quatre puits quantiques.

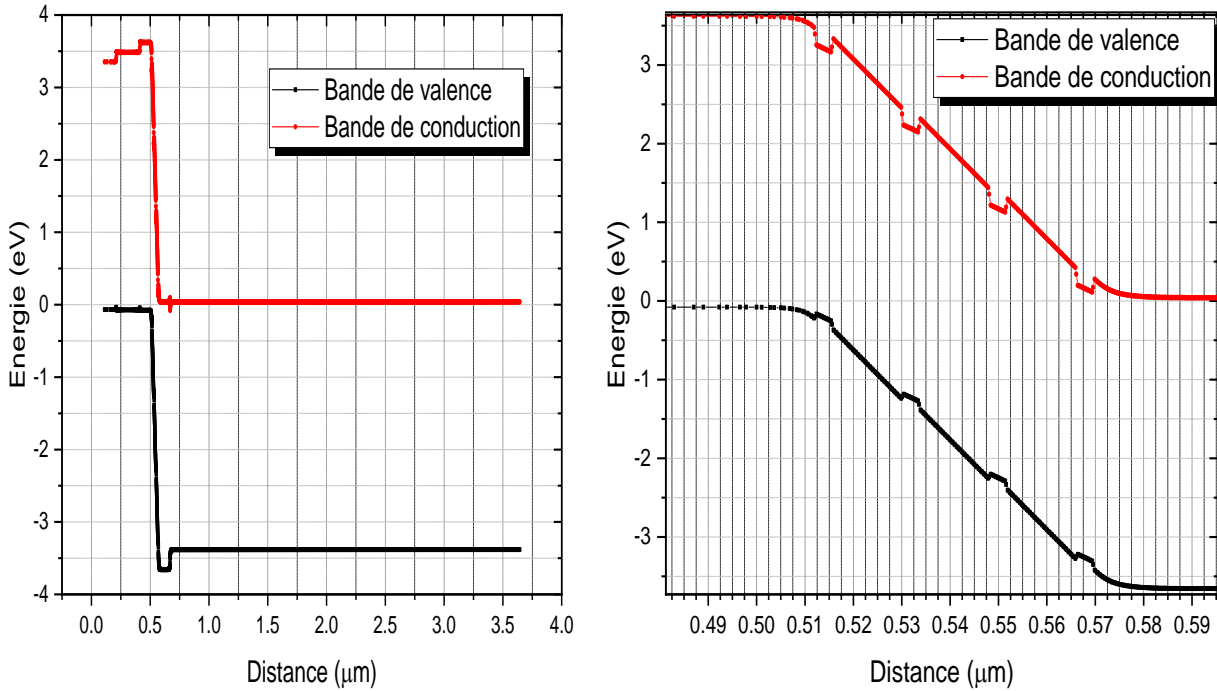


Figure 3.12 : Structure de bande d'énergie à l'équilibre thermique.

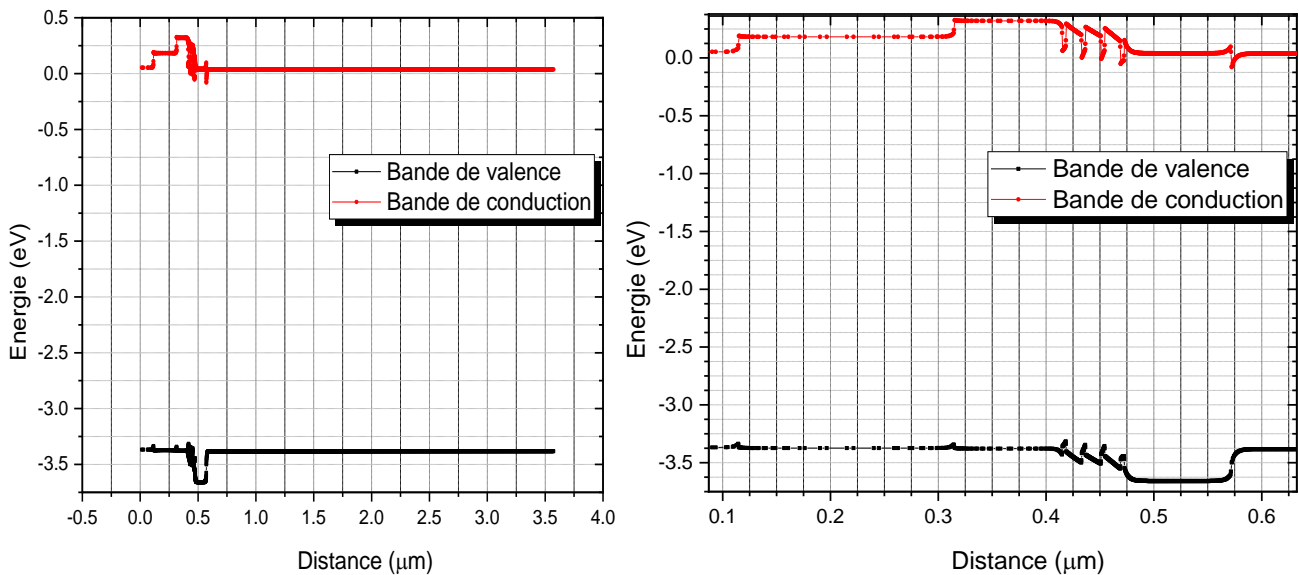


Figure 3.13 : Structure de bande d'énergie à $10A/cm^2$.

Les figures à droite représentent un agrandissement de la zone des puits quantiques. Nous pouvons remarquer que la pente des bandes de conduction et de valence est plus importante dans les puits quantiques hors équilibre thermique. Ce phénomène entraîne une séparation spatiale des fonctions d'ondes, connue sous le nom d'*effet Stark*[19], responsable de la chute d'efficacité des LED lorsque la densité de courant augmente.

3.3.1.3. Caractéristique recombinaison

La figure suivante représente le taux de recombinaison pour une densité de courant égale à $10\text{A}/\text{cm}^2$.

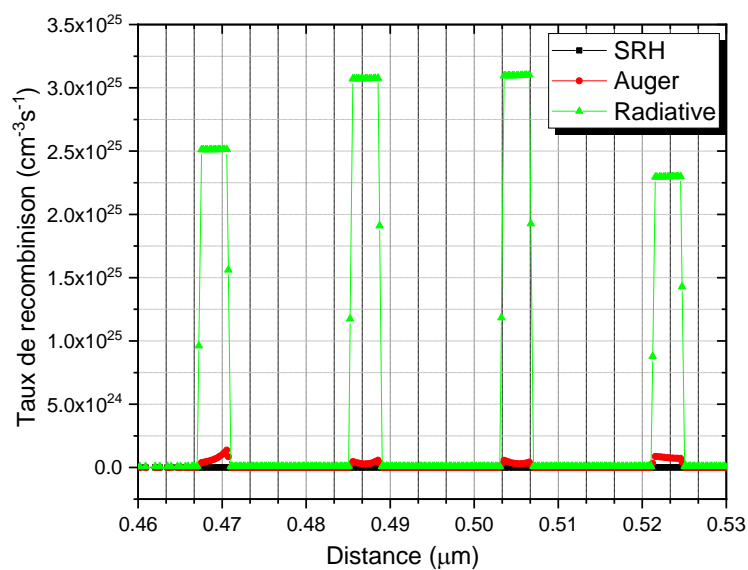


Figure 3.14 : Taux de recombinaison pour une densité de courant égale à $10\text{A}/\text{cm}^2$.

On remarque que le taux de recombinaison radiative est très supérieur par rapport aux taux de recombinaison Auger et SRH pour les quatre puits quantiques.

3.3.1.4. Caractéristique concentration des électrons et des trous

Les figures ci-dessous illustrent les concentrations des électrons et des trous à l'équilibre thermique et pour une densité de courant égale à $10A/cm^2$.

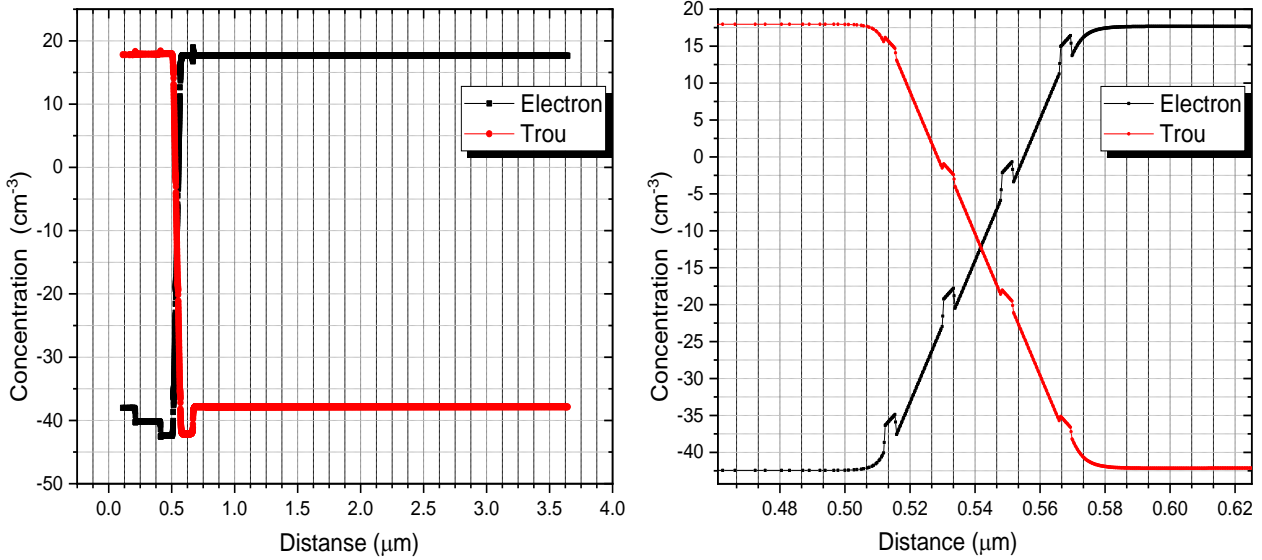


Figure 3.15 : Concentration des électrons et des trous à l'équilibre thermique

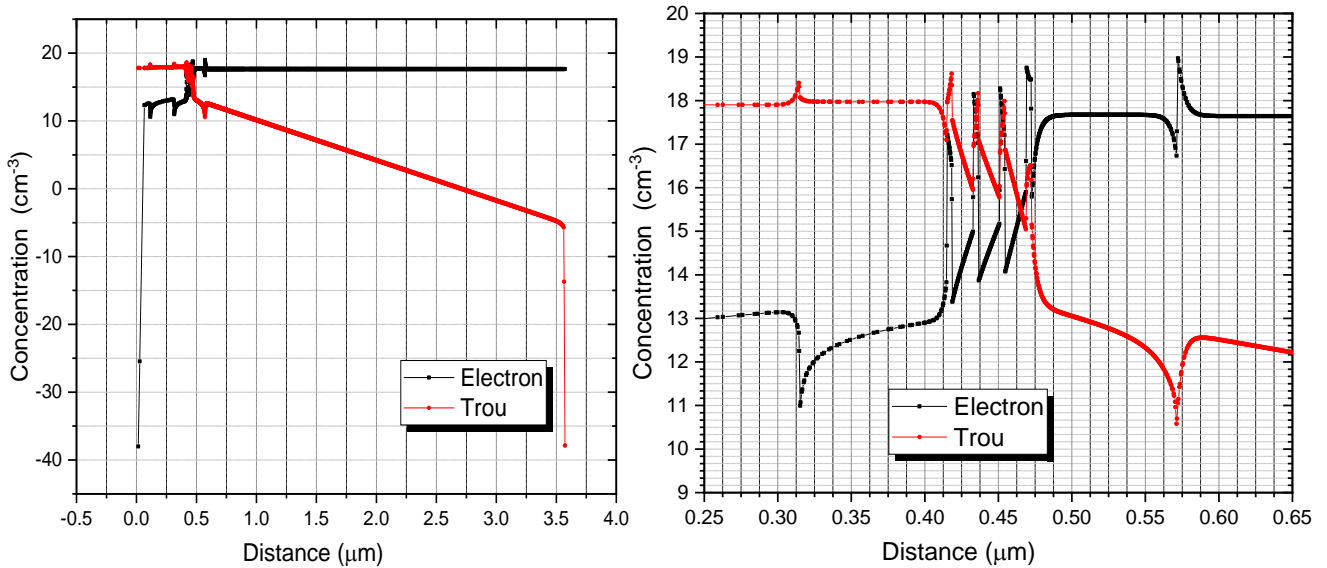


Figure 3.16 : Concentration des électrons et des trous pour une densité de courant égale à $10A/cm^2$.

Les figures (3.15) et (3.16) nous indique les valeurs de la concentration des électrons et des trous répartis sur la profondeur de la diode électroluminescente à quatre puits quantiques à l'équilibre thermique et pour une densité de courant égale à $10A/cm^2$. La

concentration des porteurs est maximale dans la zone allant de $0.4\mu\text{m}$ à $0.5\mu\text{m}$, cette zone correspond bien à la position des quatre puits quantiques que nous avons déterminé dans le programme de simulation. Cette concentration élevée est due au confinement des électrons et des trous dans la couche active (puits).

3.3.1.5. Caractéristique courant-tension

La figure (3.17) montre la caractéristique électrique courant-tension (I-V) à l'échelle linéaire et semi-logarithmique de la LED simulée à quatre puits quantiques.

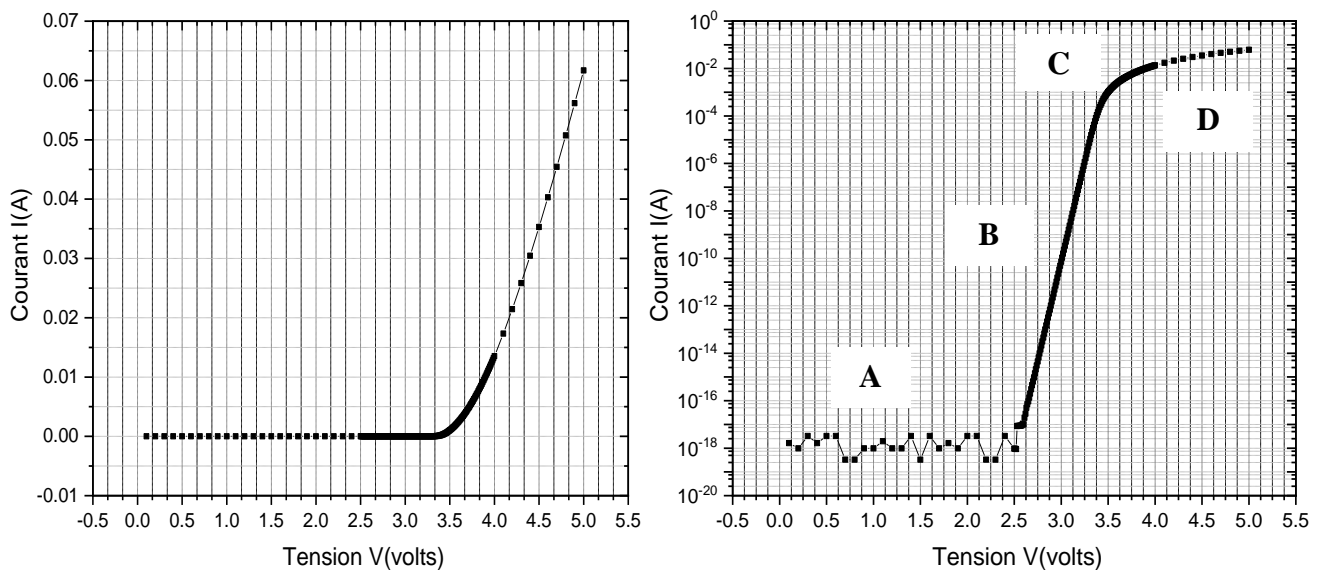


Figure 3.17: Caractéristique courant-tension de la LED simulée à quatre puits.

D'après la figure (3.17), la caractéristique (I-V) peut être divisée en quatre zones A, B, C, et D.

Zone A : Cette zone correspond à des tensions inférieures à 2.5V. Dans cette zone, les balancements de la densité de courant sont dus au bruit numérique de la simulation causé par le choix d'une précision de calcul moyenne. Accroître la précision de calcul permettrait de borner les effets de bruits mais entraîne une augmentation du temps de calcul.

Zone B : Cette zone correspond pour des tensions comprises entre 2.5 et 3.5V. Dans cette zone, la densité de courant est une fonction exponentielle de la tension. En échelle semi-logarithmique. Ce comportement indique que le courant est dominé par un courant de drift-diffusion. La caractéristique (I-V) dans cette zone, nous indique qu'il est indispensable d'alimenter une LED avec une tension minimale appelée tension seuil V_d pour que celle-ci émette de la lumière. On observe une augmentation exponentielle du courant lorsque la tension V_d est atteinte, cette tension dépend essentiellement de l'énergie de la bande interdite du semiconducteur formant la LED dans notre cas elle est de 3.3 volts.

Zone C : Cette zone correspond pour des tensions comprises entre 3.5 et 4V. Dans cette zone, le courant accroît toujours exponentiellement avec la tension mais avec une pente plus faible.

Zone D : Cette dernière zone correspond aux fortes tensions. La caractéristique aboutit à un régime de saturation. Elle n'est plus une fonction exponentielle de la tension appliquée.

3.3.1.6. Caractéristique puissance lumineuse-courant

La figure (3.18) suivante montre la caractéristique puissance lumineuse-courant en échelle linéaire et logarithmique de la LED simulée à quatre puits quantiques.

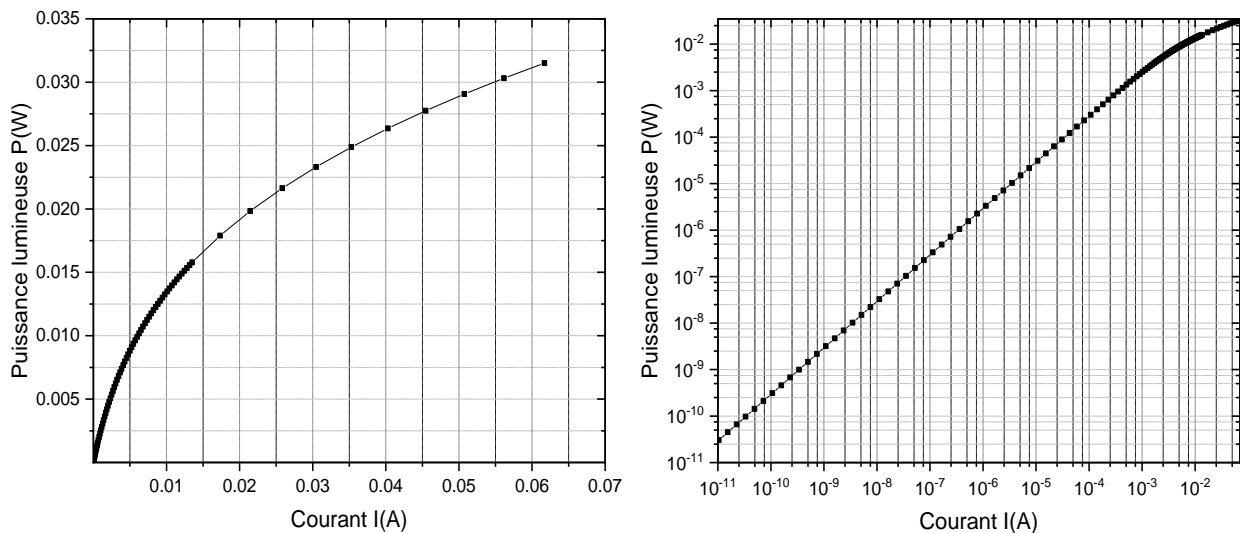


Figure 3.18 : Caractéristique puissance lumineuse courant du LED simulée à quatre puits.

On observe dans cette figure que la puissance lumineuse augmente chaque fois le courant augmente. On remarque aussi que cette augmentation est une fonction linéaire entre la puissance lumineuse et le courant électrique à l'échelle logarithmique.

3.3.1.7. Caractéristique Emission spontanée

La figure (3.19) illustre l'émission spontanée de la LED à quatre puits quantiques. On distingue que le rayonnement émis par la diode électroluminescente n'est pas monochromatique mais il possède une distribution spectrale centrée sur une longueur d'onde déterminée par la largeur de la bande interdite.

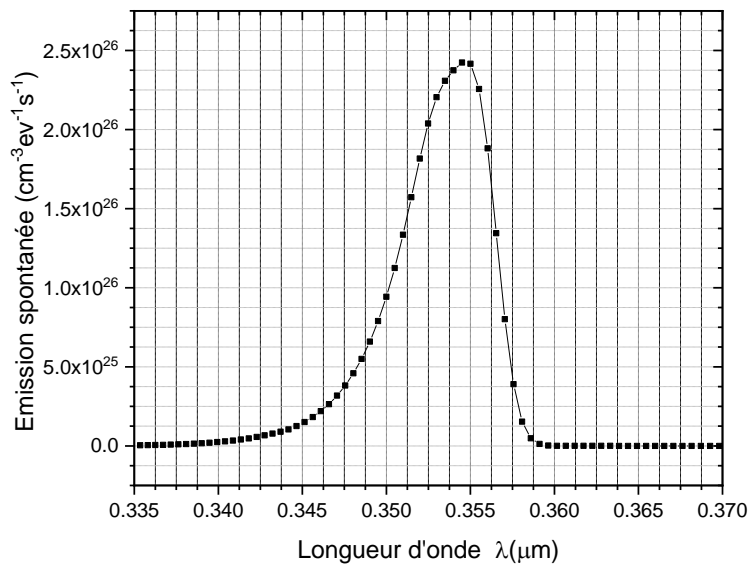


Figure 3.19 : Emission spontanée du LED simulée à quatre puits quantiques.

On observe sur le spectre montré sur la figure (3.19) que la longueur d'onde de la lumière émise est à peu près égale à 354 nm, correspondant à la lumière bleue. Elle correspond à une émission spontanée égale à $2.4 \times 10^{26} \text{ cm}^{-3}\text{eV}^{-1}\text{s}^{-1}$.

3.3.2. Cas d'un seul puits

Dans ce qui suit, nous présentons seulement les résultats obtenus de la simulation de la LED à un seul puits quantique.

3.3.2.1. Représentation de structure simulée

Le figure ci-dessous présente la structure simulée de la diode électroluminescente à un seul puits quantique.

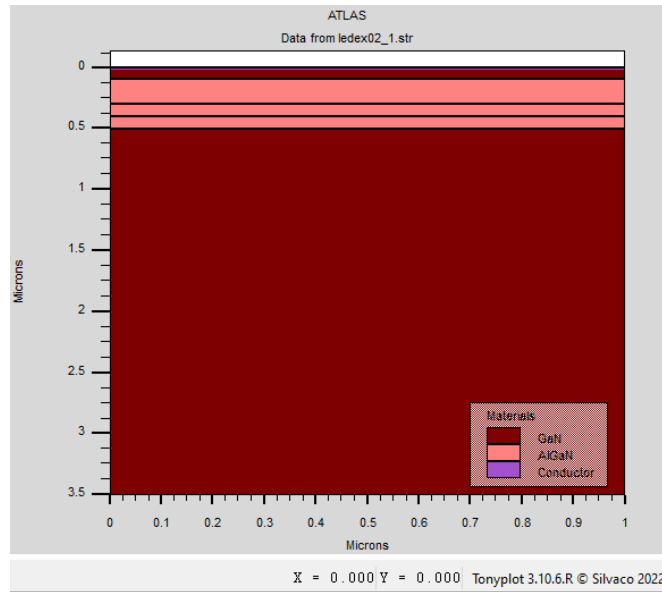


Figure 3.20 : Schéma de la structure simulée.

3.3.2.2. Structure de bande d'énergie

Les figures suivantes représentent la structure de bande d'énergie à l'équilibre thermique et pour une densité de courant égale à 10 A/cm^2 respectivement d'une LED à un puits quantique unique.

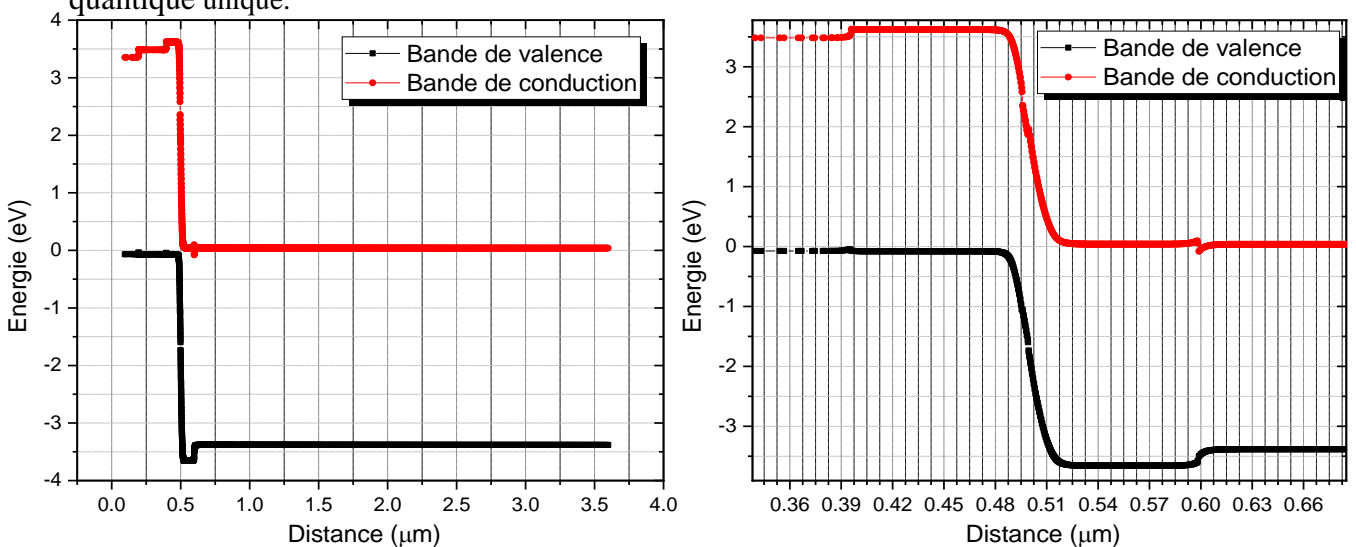


Figure 3.22 : Structure de bande d'énergie à l'équilibre thermique

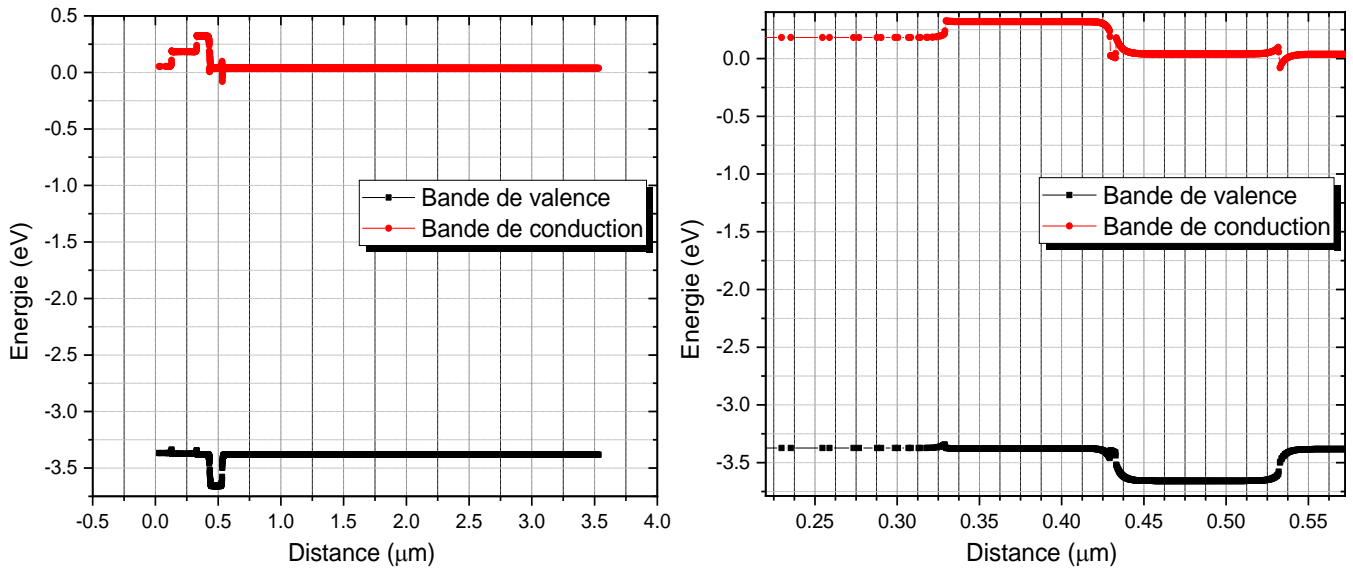


Figure 3.22 : Structure de bande d'énergie pour une densité de courant égale à 10 A/cm².

3.3.2.3. Caractéristique taux de recombinaison

La figure suivante représente le taux de recombinaison pour une densité de courant égale à 10 A/cm².

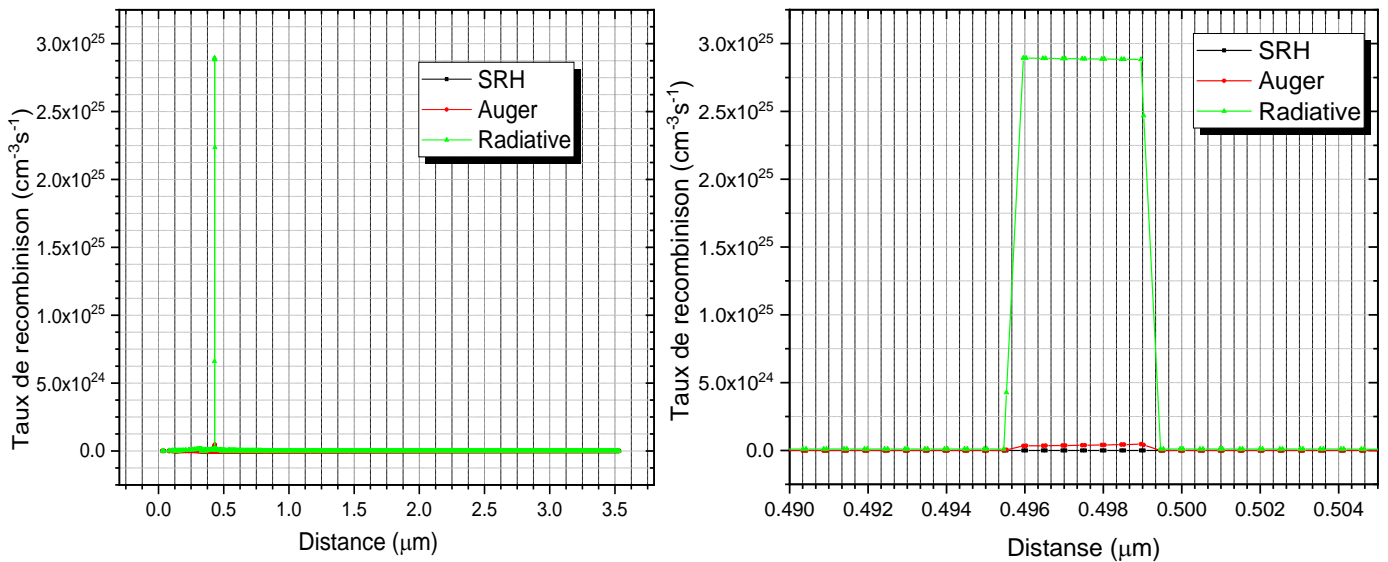


Figure 3.23 : Taux de recombinaison pour une densité de courant égale à 10 A/cm².

3.3.2.4. Caractéristique concentration des électrons et des trous

Les figures ci-dessous montrent la concentration des électrons et des trous à l'équilibre thermique et pour une densité de courant égale à 10 A/cm².

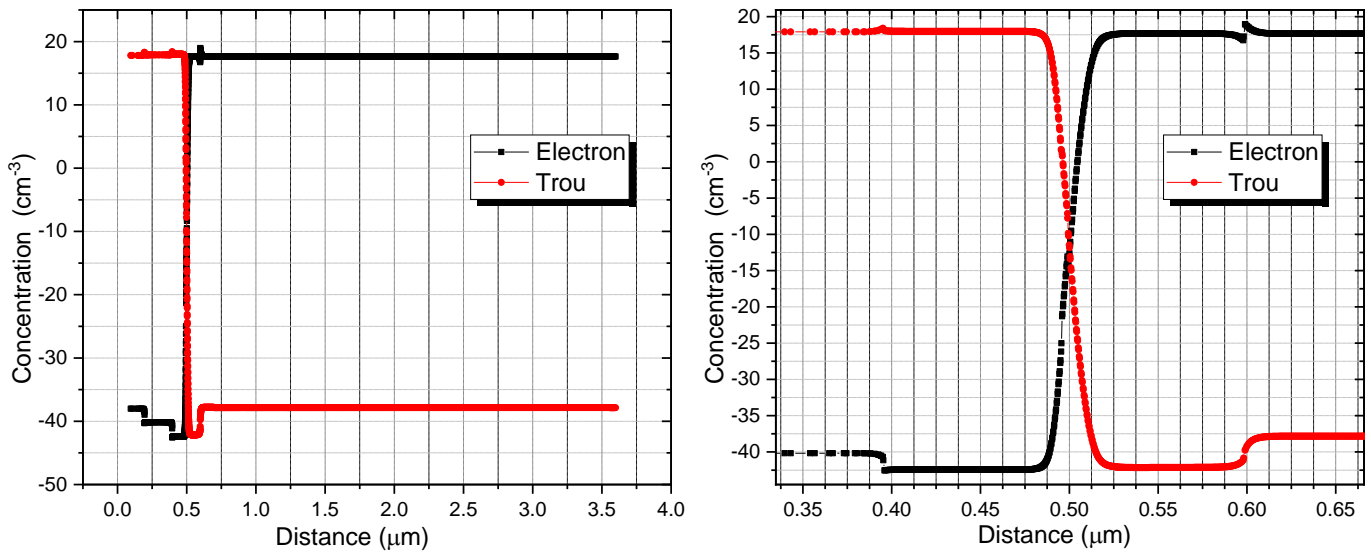


Figure 3.24 : Concentration des électrons et des trous à l'équilibre thermique.

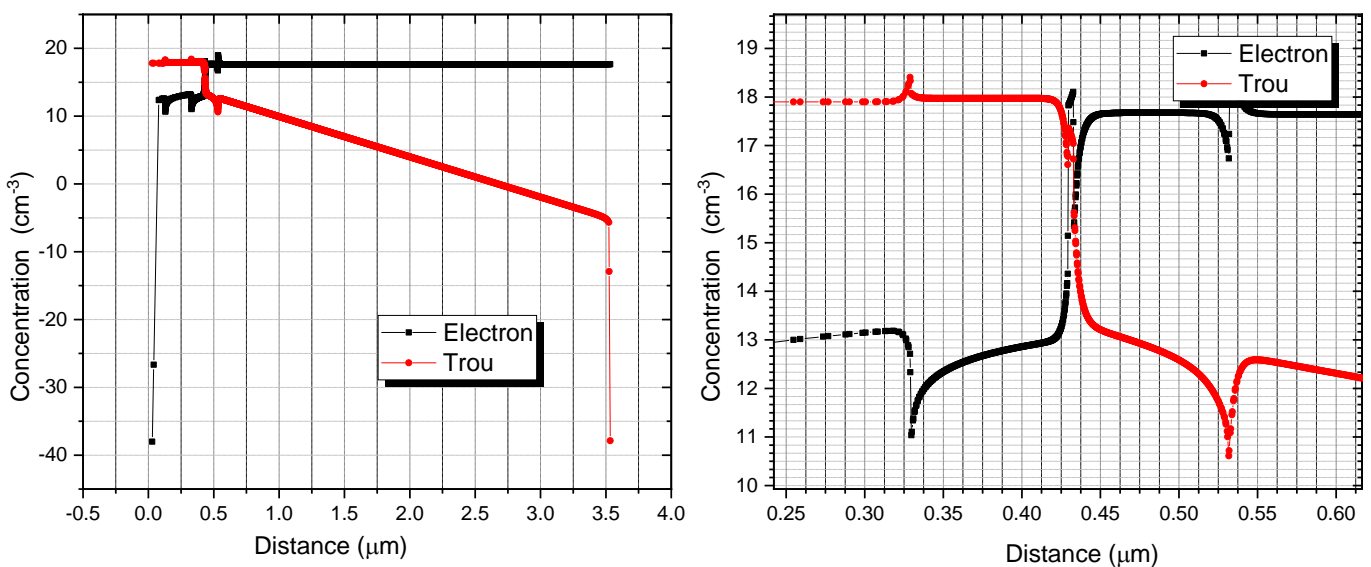


Figure 3.25: Concentration des électrons et des trous pour une densité de courant égale à 10 A/cm².

3.3.2.5. Caractéristique courant-tension

La figure (3.26) présente la caractéristique électrique courant-tension (I-V) à l'échelle lineaire et semi-logarithmique de la LED simulée à seul puits quantique.

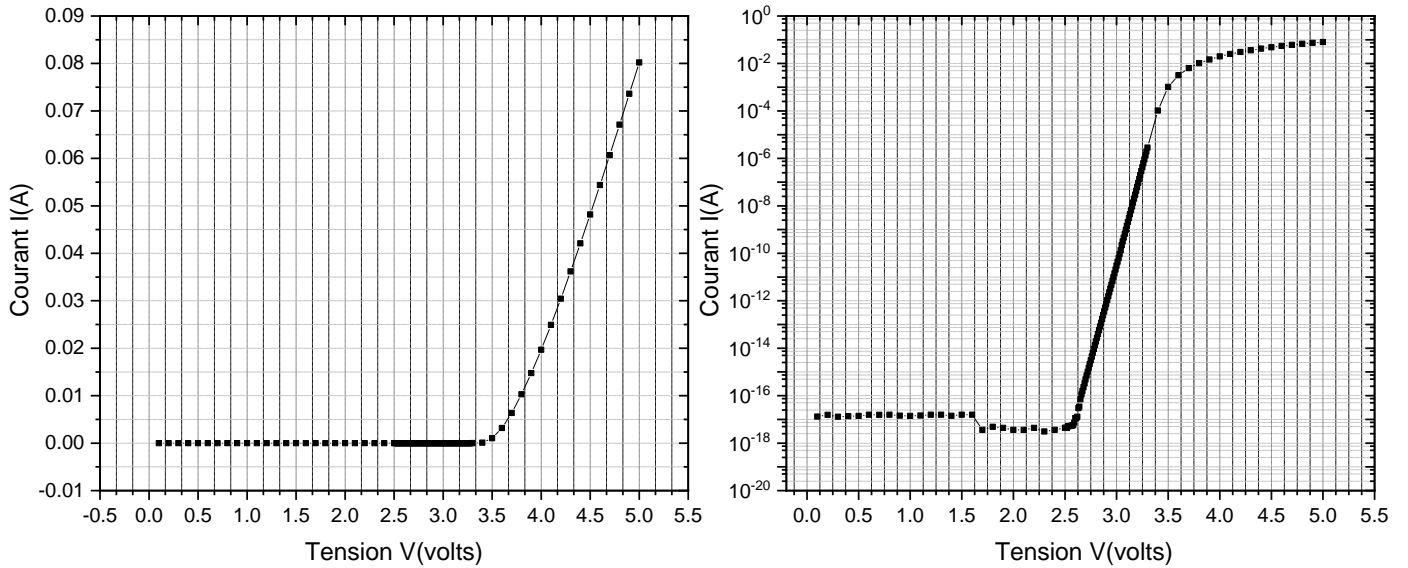


Figure 3.26: Caractéristique courant-tension de la LED simulée à un seul puits.

3.3.2.6. Caractéristique puissance lumineuse-courant

La figure (3.27) montre la caractéristique puissance lumineuse-courant à l'échelle lineaire et logarithmique de la LED simulée à un seul puits quantique.

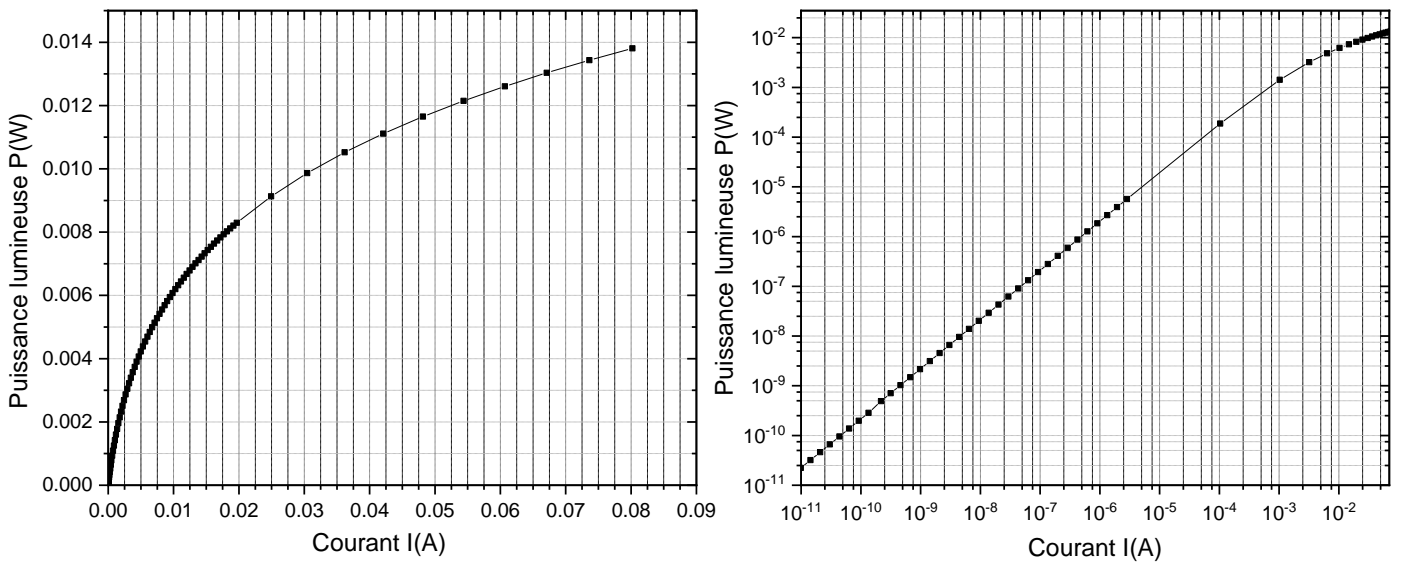


Figure 3.27 : Caractéristique puissance lumineuse courant du LED simulée à un seul puits.

3.3.2.7. Caractéristique émission spontanée

La figure (3.28) montre l'émission spontanée de la LED à un seul puits quantique.

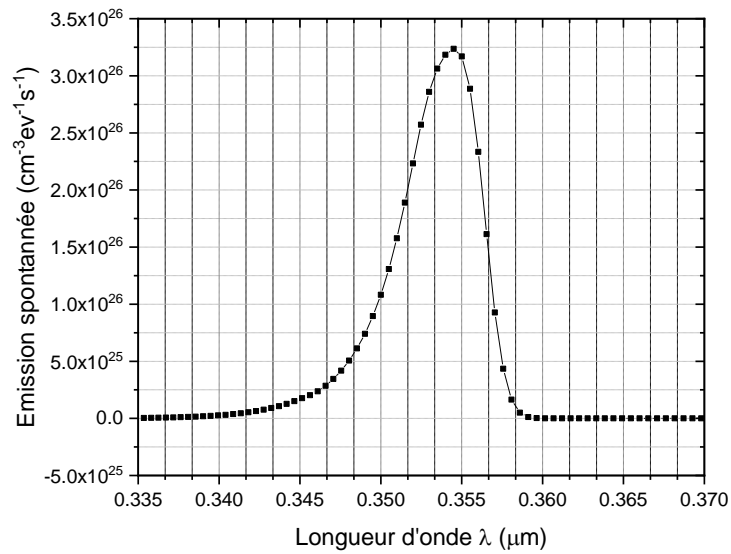


Figure 3.28 : Emission spontanée du LED simulée à un seul puits quantique.

3.3.3. Comparaison des quatre cas

3.3.3.1. Caractéristique courant-tension

Les caractéristiques (I-V) sont illustrées sur la figure (3.29).

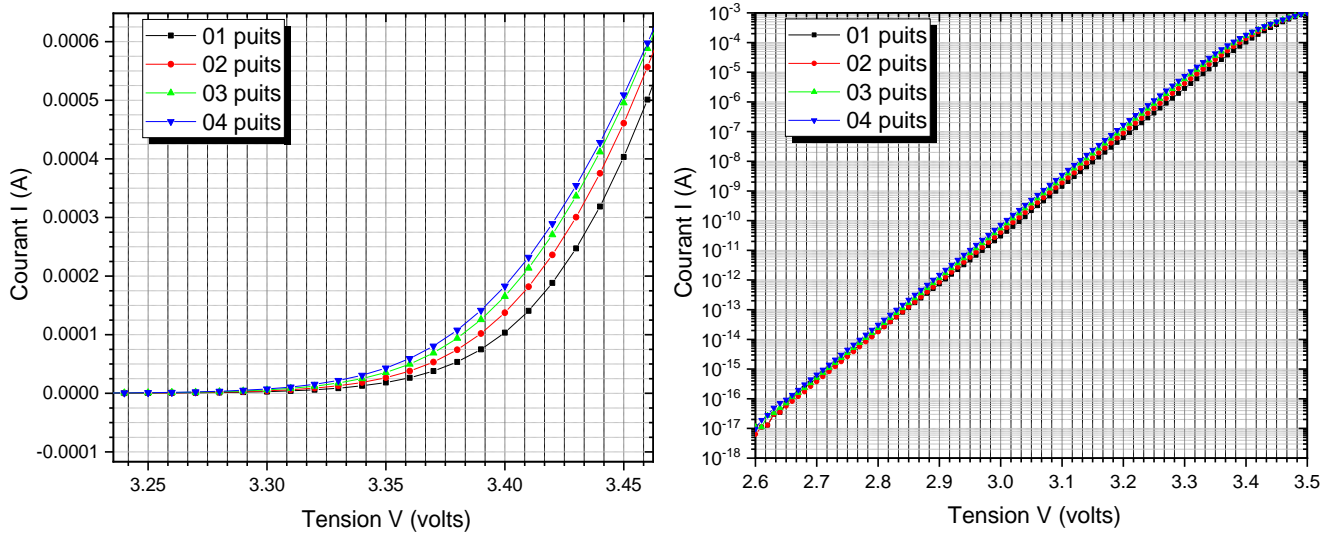


Figure 3.29 : Comparaison de la caractéristique (I-V) de la LED simulée à différents puits quantiques.

La tension de seuil a tendance à augmenter avec le nombre de puits quantiques de la LED simulée. Le décalage vers les hautes tensions avec l'augmentation du nombre de puits quantiques est un phénomène observé expérimentalement et théoriquement [19].

3.3.3.2. Caractéristique puissance lumineuse-courant

Les caractéristiques (P-I) sont illustrées sur la figure (3.30).

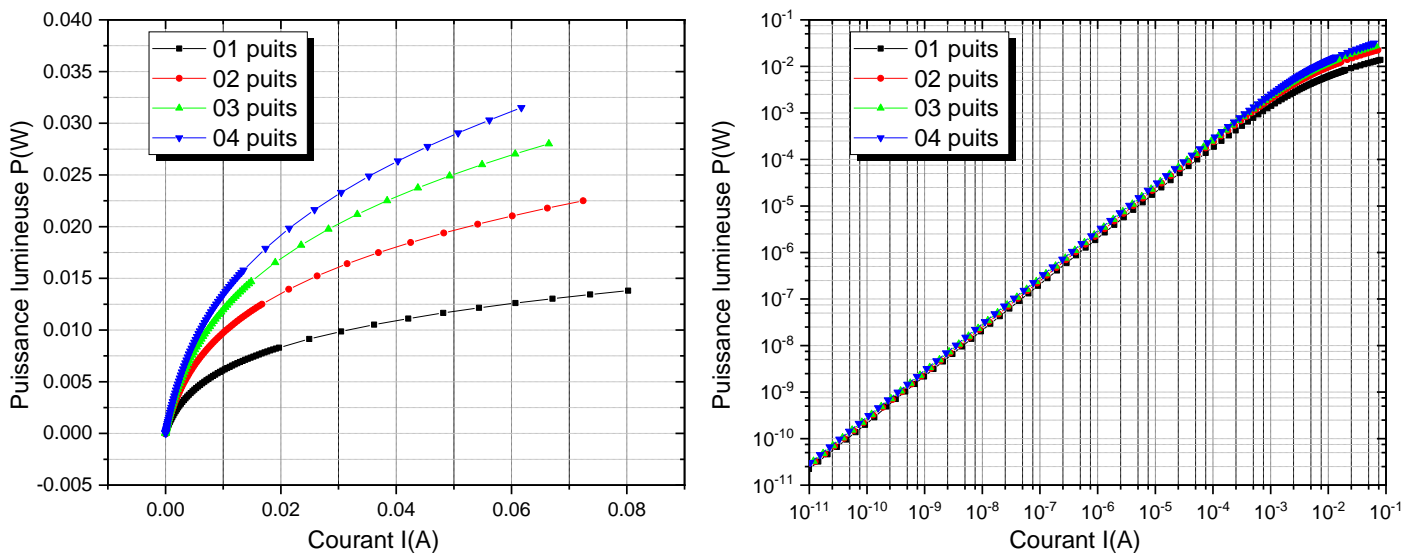


Figure 3.30 : Comparaison de la caractéristique (P-I) de la LED simulée à différents puits quantique.

La puissance lumineuse de sortie P(W) augmente avec le courant électrique appliqué et atteint 34 mW pour un courant égal à peu près 61 mA pour la LED à quatre puits quantiques. On remarque que la puissance lumineuse croît au fur et à mesure que le nombre de puits quantique de la LED simulée augmente. Ce résultat est normal puisque chaque puits contribuait en différentes proportions à la puissance lumineuse de sortie.

3.3.3.1. Caractéristique émission spontanée

Les caractéristiques de l'émission spontanée sont illustrées sur la figure (3.31).

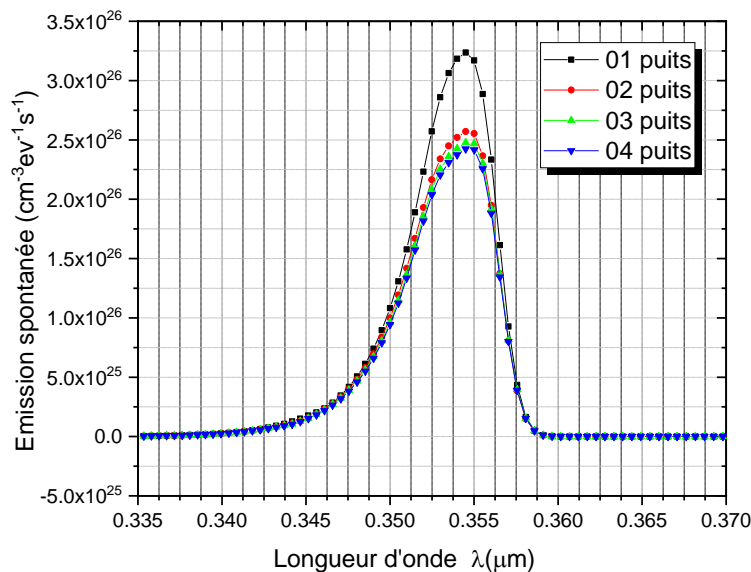


Figure 3.31 : Comparaison de l'émission spontanée de la LED simulée à différents puits quantiques.

La comparaison entre les différents spectres nous montre que l'intensité de l'émission spontanée diminue au fur et à mesure que le nombre de puits quantique croît mais le pic d'émission reste presque le même est égal à peu près 354 nm.

CONCLUSION GENERALE

Les diodes électroluminescentes représentent un potentiel important pour la lumière du futur, elles sont devenues en très peu de temps des produits incontournables grâce notamment aux systèmes LEDs optimisés, plus efficaces, plus lumineux, plus sûrs, plus faciles à utiliser et, en parallèle, avec une durée de vie plus accrue et une consommation réduite.

Dans le cadre de notre travail nous avons commencé par dresser un état de l'art des diodes électroluminescentes où nous avons représenté les points importants de cette technologie à savoir : le principe de fonctionnement des différents types de LED : homojonction, hétérojonction et puits quantique ainsi que leurs caractéristiques, toutes les étapes de fabrication des LEDs, problématique de l'extraction de lumière et les méthodes d'obtention de la lumière blanche.

Nous avons ainsi dans le cadre de notre travail, effectué une conception par simulation, sous SILVACO, d'une diode électroluminescente bleue à base d'AlGaIn. Pour définir les paramètres technologiques nécessaires à la simulation, tels que les épaisseurs des couches, dopage ainsi que certains paramètres électriques, nous nous sommes basées sur des valeurs trouvées dans la littérature, concernant l'étude de différentes structures des diodes électroluminescentes. La structure que nous avons simulée est une diode électroluminescente bleue à base de puits quantique AlGaIn dont l'épaisseur est de l'ordre de $0.003 \mu\text{m}$ prise en sandwich entre deux couches de GaN dopées respectivement n et p. Ce sandwich confine dans la région active, à la fois les électrons et les trous augmentant ainsi les recombinaisons radiatives. Nous avons ensuite décrit les procédés technologiques nécessaires à la réalisation de notre structure à l'aide du module de simulation Athéna. Enfin nous avons extrait les principales caractéristiques électriques de la LED par le logiciel de simulation Atlas. En termes de perspectives, il nous paraît important de développer une manipulation expérimentale pour étudier le comportement de la LED simulée préalablement avec le simulateur TCAD-SILVACO en faisant varier plusieurs paramètres tels que : l'épaisseur de la couche active, la température en y insérant plusieurs puits quantiques et comparer les résultats obtenus avec ceux d'une LED comprenant un seul puits quantique

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Shiladitya. Das, « Investigation and Analysis of Thermal Performance of InGaN/GaN Light Emitting Diodes », Mémoire de Master, Arizona State Université, (2017).
- [2]. Aid. Amina, « Etude de quelques propriétés physiques de L'alliage $BxIn_{1-x}Sb$ en utilisant les méthodes de premiers principes », mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf M'sila, (2019).
- [3]. Berber. Mohamed, « Etude des nanostructures lasers à base de nitrures d'antimoniures GaNSb/AlGaInNSb », thèse doctorat, Université Djillali Liabes de sidi bel Abass, (2014).
- [4]. Terkhi. Sabria, « Modélisation de L'influence de la composition chimique «x» des matériaux arsenic Sur les propriétés de transport électronique », Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, (2013).
- [5]. Z. Kamal, « Simulation des caractéristiques courant-tension à base d'une diode Schottky en Phosphure d'indium InP », mémoire de Magister, Université Mohamed Khider Biskra, (2014).
- [6]. Hamida Zineb. Hamdi Nour. « Simulation des diodes électroluminescentes : Effet de la température », mémoire de Master, Université Mohammed Khider Biskra, (2021).
- [7]. E. Fred schubert, Light-Emitting Diodes, Second Edition, (2006)
- [8]. Mélanie Rolles, « Étude théorique de la faisabilité des LED à base de $ZnGeN_2$ », Thèse de Doctorat, Université De Lorraine, (2018).
- [9]. Mansour Samah, « Etude et simulation des caractéristiques électriques de diode électroluminescente (LED) », mémoire de Master, Université Mohammed Khider Biskra, (2016).
- [10]. <https://slideplayer.fr/slide/2904931>

- [11]. Bouraba Fazia, « d'une LED à base d'InGaN pour l'émission de la lumière blanche », mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2012).
- [12]. Faycal Bouzid, « Simulation des propriétés électriques d'une jonction à base de nitru de gallium. Application au détecteur de rayonnement », thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, (2018).
- [13]. Mechai. Fazia, « Etude et simulation des structures photovoltaïques à base de chalcogénures de métaux de transition MX₂ (M = W, Mo ; X = S, Se) », mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, (2016).
- [14]. C.CATALANO, « couplage entre les lasers solides émettant dans le bleu et les luminophores jaunes pour l'obtention de la lumière blanche pour l'éclairage », thèse de Doctorat, GEET, (2020).
- [15]. H. MATHIEU, « Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques », Dunod, Paris, (2009).
- [16]. P. Nicolas, « Caractérisation du rendu des couleurs des nouvelles sources : les diodes électroluminescentes », thèse de Doctorat, (2009).
- [17]. ATLAS, Usérs Manual ,www.silvaco.com,2015.
- [18]. TonyPlot, Usérs Manual ,www.silvaco.com,2018.
- [19]. Mélanie. Rolls, « étude théorique de la faisabilité des LED à base de ZnGeN₂ », thèse de Doctorat, (26 Mar 2019)

ملخص

في هذا العمل، قمنا بدراسة ومحاكاة الصمام الثنائي الباعث للضوء متعدد الكم على أساس مادة AlGaIn باستخدام برنامج SILVACO-ATLAS. سمحت لنا هذه المحاكاة باشتقاق خصائص LED، وتحديد تأثير عدد الآبار الكمية على معدلات إعادة التركيب الإشعاعي، وخصائص التيار والجهد (I-V)، وخصائص تيار الطاقة الضوئية (P-I)، والعفوية طيف الانبعاث. وجدنا أنه في كل مرة يزداد عدد الآبار الكمية كلما ازدادت كمية حجر الالكترونات و الثقوب مما يؤدي الى ازدياد نسبة الالتحام الإشعاعية.

الكلمات المفتاحية: الثنائيات الباعثة للضوء، AlGaIn / GaN، آبار الكم، المحاكاة، SILVACO-ATLAS

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous avons étudié et simulé une diode électroluminescente multi-puits quantiques basé sur le matériau AlGaIn à l'aide du logiciel SILVACO-ATLAS. Cette simulation nous a permis de tirer les caractéristiques électriques et optiques de la LED, et de déterminer l'influence du nombre de puits quantiques sur les taux de recombinaisons radiatives, la caractéristique courant-tension (I-V), la caractéristique puissance lumineuse-courant (P-I), le spectre d'émission spontanée. Nous avons constaté que chaque fois le nombre de puits quantiques dans la région active augmente chaque fois le confinement des électrons et des trous dans ces puits quantiques augmentent ce qui favorise l'accroissement du taux de recombinaisons radiatives.

Mots clés : Diodes électroluminescentes, AlGaIn/GaN, Puits quantiques, Simulation, SILVACO-ATLAS.

ABSTRACT

In this work, we have studied and simulated a multi-quantum well light-emitting diode based on the AlGaIn material using the SILVACO-ATLAS software. This simulation allowed us to derive the electrical and optical characteristics of the LED, and to determine the influence of the number of quantum wells on the radiative recombination rates, the current-voltage characteristic (I-V), the light power-current characteristic (P-I) and the spontaneous emission spectrum. We found that each time the number of quantum wells in the active region increases each time the confinement of electrons and holes in these quantum wells increase, which favors the increase in the rate of radiative recombinations.

Keywords: Light emitting diodes, AlGaIn/GaN, Quantum wells, Simulation, SILVACO-ATLAS.

