

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلبا بليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم إلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Microélectronique

présenté par

Hamidouche Bilal

&

Ouali Lakhdar

Etude et simulation des guides optiques pour lasers

Proposé par : Nacer saïd

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir permis d'arriver à ce niveau d'étude, et aussi pour nous avoir donné beaucoup de patience et de courage sans oublier nos parents qui n'ont lésiné sur aucun problème pour nous apporter toute l'aide nécessaire pour atteindre ce niveau qui nous permettra d'assurer notre avenir.

A travers ce travail nous tenons à présenter nos sincères remerciements et notre Profonde reconnaissance à notre aimable encadreur Dr. Nacer Saïd pour son encadrement, pour sa contribution, sa patience et son aide tout au long de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements aux enseignants qui nous ont fait l'honneur de participer, aux jurys de ce mémoire.

Merci à tous ceux et celles qui ont contribués de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.

الخلاصة : يتكون عملنا من دراسة الموجات البصرية المستخدمة في الليزر لها بئر كمي GaAlAs، تم النظر في أربع موجات.

الموجات: موجة البصري التقليدي ثلاثي الطبقات, موجة SCH, موجة SCH التدريجي, موجة SCH المعدل التدريجي.

البرنامج المستعمل هو (كمصول) الذي يحل معادلة الموجة باستخدام طريقة العناصر المحددة. تمت دراسة تأثير سمك الطبقة وتركيز الألمنيوم على عامل الحبس وأظهرت النتائج أن أداء الموجات SCH قابلة للمقارنة وتوفر تحسنا ملحوظا لعامل

الحبس مقارنة بالموجة التقليدي.

الكلمات المفتاحية: موجة الضوء، طريقة الفروق المنتهية، بئر الكم.

Résumé : Notre travail consiste en l'étude des guides optiques utilisés dans les lasers à puits quantiques GaAlAs. Quatre types de guides ont été considérés : le guide optique conventionnel à trois couches, le guide SCH à saut d'indice, le guide SCH graduel et le guide SCH graduel modifié. L'outil de simulation utilisé est le logiciel COMSOL qui permet de résoudre l'équation d'onde par la méthode des éléments finis. L'influence des épaisseurs des couches et de la concentration d'aluminium sur le facteur de confinement a été étudiée et les résultats montrent que les performances des guides SCH sont comparables et apportent une amélioration appréciable du facteur de confinement par rapport au guide conventionnel.

Mots clés : Guide optique, méthode des éléments finis. Puits quantique

Abstract: Our work consists of the study of optical guides used in GaAlAs quantum well lasers. Four types of guides were considered: the conventional three-layer optical guide, the index jump SCH guide, the gradual SCH guide, and the modified gradual SCH guide. The simulation tool used is the COMSOL software that solves the wave equation using the finite element method. The influence of the layer thicknesses and the aluminum concentration on the confinement factor was studied and the results show that the performances of the SCH guides are comparable and provide an appreciable improvement of the confinement factor compared to the conventional guide.

Key words: Optical guide, Finit Element Method, quantum well.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qui m'ont donné le long de mon parcours, et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.

A tous les membres de la famille Hamidouche.

A tous mes amies.

A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mon défunt Père,

Ma chère mère,

Mes frères et mes sœurs,

Toute ma famille Ouali,

Mes amis et mes collègues.

Listes des acronymes et abréviations

TE : Transverse électrique.

TM : Transverse magnétique.

Liste des symboles :

∇ : Operateur de gradient.

E : Champ électrique.

H : Champ magnétique.

B : Induction magnétique.

ρ : Densité de charge.

μ : Perméabilité magnétique.

ε : Permittivité magnétique.

μ_0 : Perméabilité du vide.

μ_r : Perméabilité relative du milieu.

ε_0 : Permittivité du vide.

ε_r : Permittivité relative du milieu.

W : Energie du photon.

h : Constant de Planck.

f : Fréquence de la lumière.

J : Densité du courant électrique.

ω :Vitesse angulaire.

β :Rapport de la superficie d'un cercle au carré de son rayon.

E_0 : Vecteur de champ électrique.

H_0 : Vecteur de champ magnétique.

C : Vitesse de la lumière dans le vide.

v : Vitesse de l'onde.

n : Indice de réfraction du milieu.

λ : Longueur d'onde.

κ_0 : Vecteur d'onde dans le vide.

n_{eff} : Indice de réfraction.

Γ : Facteur de confinement.

N : Nombre de couche.

E_x, E_y, E_z : Composantes transverses cartésiennes du vecteur champ électrique.

H_x, H_y, H_z : Composantes transverses cartésiennes du vecteur champ magnétique.

g_{max} : gain max.

I_s : courant de seuil.

N_s : la concentration de porteur.

Table de matière :

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1

1.1 Introduction	3
1.2 Ondes électromagnétique	3
1.2.1 Théorie électromagnétique de lumière.....	3
1.2.2 Équation de maxwell.....	4
1.2.3 Équation d'onde.....	6
1.3 Théorie des guides d'onde.....	8
1.3.1 Modes des guides optiques.....	9
1.3.2 Guides d'ondes planaires	10
1.3.3 Notion d'indice effectif	10
1.3.4 Facteur de confinement	11
1.4 Rappel sur le Laser	11
1.4.1 Principe de fonctionnement.....	12
1.4.1.1 Amplification de la lumière.....	12
a- Absorption	12
b- Emission spontanée.....	13
c- Emission stimulée	13
1.4.1.2 Pompage	14
1.4.1.3 cavité résonante	14
1.4.2 Laser à semi-conducteur.....	15
a- Définition.....	15
b- Particularité	15

c-Elément fondamentaux.....	16
1.5 Courant de seuil	17
1.6 Puits quantique	18
1.6.1 Définition	18
1.6.2 La structure du puits quantique.....	19
1.6.3 Relation de l'indice de réfraction en fonction de la Composition de l'alliage....	20
1.7 Optimisation du facteur de confinement	20
1.8 Description de quelques types de guides plans	20
1.8.1 Guide de lumière plan à saut d'indice.....	20
1.8.2 Guide de lumière plan à gradient d'indice.....	22
Conclusion	23

CHAPITRE 2

2.1 Introduction.....	24
2.2 Guide optique plan à N couches.....	25
2.2.1 Définition.....	25
2.2.2 Equation d'onde.....	26
2.3 Description du logiciel utilisé.....	27
2.4 Exemples de simulation.....	28
2.4.1 Guide de lumière à trois couches.....	28
2.4.2 Guide de lumière SCH.....	30
2.4.2.1 Structure optimale	33
2.4.3 Guide de lumière SCH graduel.....	34
2.4.3.1 Structure optimale.....	38
2.4.4 Guide de lumière SCH graduel modifié.....	39

2.5 Interprétions des résultats.....	41
Conclusion.....	42
Conclusion générale.....	43
Bibliographie.....	44

Liste des figures :

Figure (1.1). Représentation graphique d'un guide d'onde planaire.....	10
Figure (1.2). Confinement optique dans un guide.....	11
Figure (1.3). Cavity résonante.....	15
Figure (1.4). Structure d'un laser à semi-conducteur	16
Figure (1.5). Graphe du gain optique en fonction de la longueur d'onde pour différents niveaux d'injection des porteurs.....	17
Figure (1.6). Structure à puits quantique.....	19
Figure (1.7). profil d'indice dans un guide de lumière plan à saut d'indice. (-a-guide à trois couche. -b-guide SCH «Separate Cladd Heterostructure».....	21
Figure (1.8). profil d'indice dans un guide de lumière plan à gradient d'indice (a- Guide SCH graduel et b- Guide SCH graduel modifié).....	22
Figure (2.1). Guide plan à N couches.....	25
Figure (2.2). Fenêtre générale du logiciel utilisé.....	27
Figure (2.3). Guide optique plan à trois couches.....	28
Figure (2.4). Distribution du champ électrique dans le guide	28
Figure (2.5). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur (d_{act}) de la zone active.....	29
Figure (2.6). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active (d_{act}) pour différents valeurs de la composition de l'alliage (x_c)	30
Figure (2.7). Guide optique SCH.....	30
Figure (2.8). Distribution du champ électrique dans le guide	31
Figure (2.9). Variation de l'indice effectif en fonction de la zone active (d_{act}).....	31

Figure (2.10). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act}	32
Figure (2.11). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche de confinement pour différentes épaisseurs de la couche active.....	32
Figure (2.12). Variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales x_c pour différentes valeurs de x_w	33
Figure (2.13). Guide optique SCH graduel.....	34
Figure (2.14). Distribution de champ électrique dans le guide.....	35
Figure (2.15). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act}	35
Figure (2.16). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act}	36
Figure (2.17). La variation de facteur de confinement en fonction de d_u pour différent valeur de x_c	36
Figure (2.18). Variation du facteur de confinement en fonction de d_g	37
Figure (2.19). Variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales (x_c) pour différent valeur de x_w	38
Figure (2.20). Guide optique SCH graduel modifié.....	39
Figure (2.21). Distribution du champ électrique dans le guide.....	39
Figure (2.22). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act}	40
Figure (2.23). Variation du facteur de confinement en fonction de d_w pour différentes compositions x_b	41

Liste des Tableaux

Tableau (2.1). Structure optimale de SCH.....34

Tableau (2.2). Structure optimale SCH graduel.....38

Introduction
Générale

Introduction générale

Dans les années 1960 l'avènement des lasers a suscité un immense espoir : il semblait enfin possible de remplacer, pour transmettre l'information, les signaux électriques par des signaux lumineux et d'augmenter ainsi formidablement les capacités des systèmes de communications. Ces avantages ont motivé la fabrication des produits révolutionnaires tels que verres ultra purs, des alliages semi-conducteurs très élaborés et des matériaux non homogènes.

La lumière monochromatique et cohérente émise par le laser éliminait un handicap majeur de la communication par onde lumineuse classique : les sources de lumière ordinaires n'étaient, en effet, pas modulables de manière suffisamment rapide pour véhiculer de grandes quantités d'information. L'énorme capacité d'informations d'une source de lumière cohérente permettait d'imaginer une nouvelle technologie la photonique, l'analogue optique de l'électronique, où l'on transmettrait, recevrait et traiterait des signaux porteurs d'informations, et constitués des photons non plus d'électrons.

Les dix dernières années ont été marquées par une très forte interaction entre les techniques de télécommunication et les possibilités offertes par les composants optoélectronique. C'est dans ce cadre que les diodes laser à semi-conducteur ont connu une spectaculaire évolution grâce à un entrelacement de progrès technologiques et de mise en œuvre de nouveaux concepts. Parallèlement au

développement des différentes techniques d'épitaxie, sont apparus les concepts de diodes laser à puits quantique et de diodes laser multi-cavités.

La technologie pour la conception des guides d'ondes optiques est très pointue et fait très largement appel à des matériaux nouveaux.

A la suite de cet effort de recherche important, les champs d'applications classiques tels que télécommunications par fibres optiques, télémétrie, spectrométrie, ont été élargis par de nouveaux domaines comme le disque compact, le vidéo-disque, les imprimantes laser et les télécommunications optiques spatiales à longue distance entre satellites.

Le développement des composants optoélectroniques nécessite que soit maîtrisé le problème de guidage de la lumière. Notre travail s'inscrit dans ce contexte et consiste à simuler les guides de lumière utilisés dans les lasers à puits quantique en utilisant la méthode des éléments finis pour la résolution de l'équation d'onde, et déterminer les caractéristiques du guide. L'étude décrite dans ce mémoire porte sur les propriétés optiques des guides de lumière utilisés dans les lasers à puits quantiques.

Ce mémoire est présenté comme suit :

Le premier chapitre est un bref rappel théorique, nous y présenterons la théorie des ondes électromagnétiques, le phénomène de la propagation dans un guide de lumière plan, ainsi qu'un rappel sur les lasers en particulier les lasers à semi-conducteur. Les paramètres caractérisant les lasers y seront définis. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des différents guides étudiés.

Le deuxième chapitre présente une simulation des guides conventionnels à trois couches, SCH à saut d'indice, SCH graduel et SCH graduel modifié. L'influence des paramètres géométriques et structuraux sur le facteur de confinement de ces guides est étudiée et les résultats sont présentés et discutés.

Enfin, nous terminerons par une conclusion.

***Chapitre 1 :
Généralités sur
Les guides optiques***

Chapitre 1 Généralités sur les guides optiques

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons la théorie électromagnétique de la lumière. Le phénomène de la propagation dans un guide de lumière plan, ainsi qu'un rappel sur les lasers à semi-conducteur y seront présentés. Les paramètres caractérisant les lasers y seront définis. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des différents guides étudiés.

1.2 Ondes électromagnétiques

1.2.1 Théorie électromagnétique de la lumière :

Vers le milieu du dix-neuvième siècle, le physicien anglais JAMES CLERK MAXWELL a réussi à exprimer les lois de l'électromagnétisme en quatre équations qui portent son nom. En combinant celles-ci, il a abouti à des équations de propagation d'onde, et a montré que cette onde électromagnétique se propage dans le vide à la vitesse de la lumière. [1]

La découverte de l'effet photoélectrique qui résulte de l'action d'une onde électromagnétique sur un métal, et de l'effet Compton, qui traduit l'interaction d'une onde et d'une particule, ont permis d'élaborer une théorie qui tient compte des aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière.

Pour expliquer ce phénomène EINSTEIN (1905) admet que l'énergie véhiculée par l'onde électromagnétique, au lieu d'être uniformément répartie sur la surface d'onde comme en mécanique, est concentrée sous forme de grains d'énergie ou « photon ».

[2]

La fréquence f de l'onde et l'énergie W du photon sont reliées par la formule :

$$W = h \cdot f \quad (1.1)$$

Où $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ est la constante de PLANCK.

Inversement, on peut associer à toute particule (électron, neutron ...) de masse m , animée d'une vitesse v suffisamment grande, une onde caractérisée par :

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (1.2)$$

Cette théorie, introduite par DE BROGLIE en 1923, a été vérifiée expérimentalement par DAVIDSON et GERMER (1927). [\[3\]](#)

1.2.2 Equation de Maxwell

Les équations de Maxwell modélisent mathématiquement les interactions entre charges électriques, courants électriques, champs électriques et champs magnétiques. Dit simplement, elles décrivent les phénomènes électriques, magnétiques et lumineux.

Ces équations sont très importantes en physique et tirent leur grande élégance de leur simplicité : juste quatre équations pour décrire le vaste monde de l'électromagnétisme.

Dans ce qui suit, le champ électrique est représenté par $\vec{E}$ et le champ magnétique par $\vec{H}$.

Equation de Maxwell-Gauss :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.3)$$

« La divergence du champ électrique est proportionnelle à la distribution de charges électriques. »

Equation de Maxwell-Thomson :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (1.4)$$

« La divergence du champ magnétique est nulle. »

Equation de Maxwell-Faraday :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.5)$$

« Le rotationnel du champ électrique est (inversement) proportionnel à la variation du champ magnétique au cours du temps. ».

Equation de Maxwell-Ampère :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \vec{J} + \varepsilon \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.6)$$

Le rotationnel du champ magnétique est la somme de sa dépendance à la variation du champ électrique au cours du temps et d'un courant électrique fixe. »

Tels que :

$\vec{E}$: Champ électrique.

$\vec{H}$: Champ magnétique.

ρ : Densité de charges.

$\vec{J}$: Densité de courant électrique.

ε : Permittivité électrique.

Où $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$ est l'Induction magnétique.

Les équations de Maxwell-Ampère et de Maxwell-Faraday montrent que deux champs électriques et magnétiques sont couplés et que la variation de l'un est proportionnelle à l'intensité du champ de l'autre. Elles traduisent de la même façon la conversion de la composante magnétique d'une onde électromagnétique en sa composante électrique et vice-versa.

Le génie mathématique de MAXWELL lui a permis ainsi de condenser une vingtaine des lois décrivant des phénomènes simples et plus ou moins indépendants dans seulement quatre équations cohérentes (par contre, l'élégance des équations de Maxwell n'enlève rien à la complexité des calculs et applications numériques qui peuvent en découler). [4]

Dans l'espace libre ou vide, où n'existe ni charge ($\rho = 0$), ni courant ($I = 0$), ces équations sont légèrement plus simple et deviennent sous leurs formes différentielles :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (1.7)$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = 0 \quad \vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.8)$$

1.2.3 Equation d'onde :

Les équations de Maxwell appliquées à un milieu connu avec des conditions initiales et aux limites données, permettent théoriquement de décrire les champs électromagnétiques sous certaines conditions. [3]

Ces équations sont utilisées pour l'étude de propagation dans des structures d'intérêts tels que les guides d'ondes. [5]

En prenant le rotationnel de l'équation (1.7) :

$$\begin{aligned}
 \vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} &= \vec{\nabla} \wedge -(\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}) \\
 &= -\mu \cdot \frac{\partial (\vec{\nabla} \wedge \vec{H})}{\partial t} \\
 &= -\varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \mu \cdot \frac{\partial \vec{J}}{\partial t}
 \end{aligned} \tag{1.9}$$

Où : μ : la perméabilité magnétique

Or :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \vec{\nabla} \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right) - \vec{\nabla}^2 \vec{E} \tag{1.10}$$

En utilisant (1.8) et (1.9), nous obtenons :

$$\varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \cdot \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = \vec{\nabla}^2 \vec{E} - \frac{1}{\varepsilon} \cdot \vec{\nabla} \rho$$

Avec : $\Delta = \vec{\nabla}^2$ laplacien.

L'équation d'onde dans un milieu matériel homogène (ε , μ) s'écrit :

$$\varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \cdot \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = \Delta \vec{E} - \frac{1}{\varepsilon} \cdot \vec{\nabla} \rho \tag{1.11}$$

En absence de charges, et de courant ($J=0$, $\rho = 0$) dans le cas d'un milieu diélectrique homogène l'équation (1.10) se réduit à :

$$\Delta \vec{E} - \varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Équation d'onde pour un champ électrique}) \tag{1.12}$$

De la même manière, nous trouvons l'équation d'onde pour un champ magnétique.

$$\Delta \vec{H} - \varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Équation d'onde pour un champ magnétique}) \quad (1.13)$$

Dans le cas où le champ électromagnétique a une variation harmonique dans le temps et suivant la direction de propagation z :

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \vec{E}_0(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1.14)$$

$$\vec{H}(x, y, z, t) = \vec{H}_0(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1.15)$$

Nous obtenons les équations d'ondes :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_0(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}_0(x, y)}{\partial y^2} + [k_0^2 n^2 - \beta^2] \vec{E}_0(x, y) = 0 \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial^2 \vec{H}_0(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}_0(x, y)}{\partial y^2} + [k_0^2 n^2 - \beta^2] \vec{H}_0(x, y) = 0 \quad (1.17)$$

Où $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ est le vecteur d'onde.

β est la constante de propagation.

n est indice de réfraction.

1.3 Théorie des guides optiques :

Les guides d'ondes optiques sont des guides qui confinent et guident la lumière. Les guides optiques sont basés sur le principe de la réflexion interne totale où la lumière est confinée optiquement dans une région de haut indice de réfraction entourée par un revêtement d'indice de réfraction inférieur. Récemment, le guide d'onde emploie généralement des géométries planaires de dimensions nanométriques et de matériaux qui permettent des fonctions de type couplage, modulation, multiplexage, amplification, etc. Ces guides sont associés aux fibres optiques de structure cylindrique dont la fonction principale est la transmission de l'information. [6]

1.3.1 Modes des guides optiques :

Les ondes électromagnétiques sont classifiées en deux modes :

- Le mode transverse électrique (TE).
- Le mode transverse magnétique (TM).

Pour le guide de mode TE, le champ électrique n'existe plus dans la direction de propagation de l'onde ($E_z=0$).

$$\vec{E} \left| \begin{array}{l} E_x=0 \\ E_y \neq 0 \\ E_z=0 \end{array} \right. \quad \vec{H} \left| \begin{array}{l} H_x \neq 0 \\ H_y=0 \\ H_z \neq 0 \end{array} \right.$$

Pour le guide de mode TM, le champ magnétique s'annule dans la direction de propagation d'onde ($H_z=0$).

$$\vec{E} \left| \begin{array}{l} E_x \neq 0 \\ E_y=0 \\ E_z \neq 0 \end{array} \right. \quad \vec{H} \left| \begin{array}{l} H_x=0 \\ H_y \neq 0 \\ H_z=0 \end{array} \right.$$

1.3.2 Guides d'ondes planaires :

La configuration la plus simple d'un guide d'onde plan est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents. La lumière se propage préférentiellement dans la zone centrale d'indice n_f si celle-ci est entourée de deux couches : une couche inférieure de substrat d'indice de réfraction n_s et une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction n_c (figure 1.1).

La lumière est confinée selon l'axe vertical (x) et se propage dans la direction (z). Du fait de l'invariance de cette structure dans la direction (y), la lumière ne peut être confinée dans cette direction. [7]

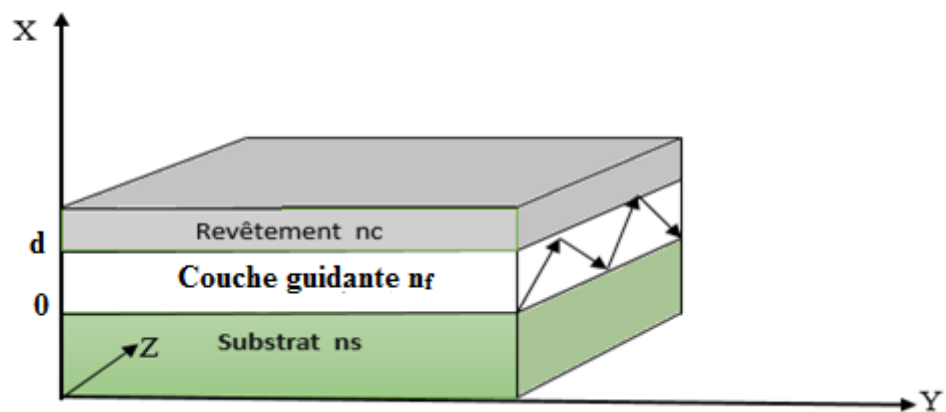


Figure 1.1. Représentation graphique d'un guide d'onde planaire.

1.3.3 Notion d'indice effectif :

L'indice effectif n_{eff} représente la valeur de l'indice de réfraction d'un matériau uniforme pour que les ondes s'y propagent avec la même vitesse de phase que dans le guide. C'est en fait un résumé du guide qui tient compte des indices des différents matériaux et de la forme du guide pour chaque longueur d'onde et chaque mode de propagation. [8]

$$n_{eff} = \frac{\beta}{k_0} \quad (1.18)$$

1.3.4 Facteur de confinement :

On peut définir le coefficient de confinement (Figure 1.2). Ce dernier est défini comme étant le rapport de la puissance optique localisée dans la couche guidante à la puissance optique totale. [9]

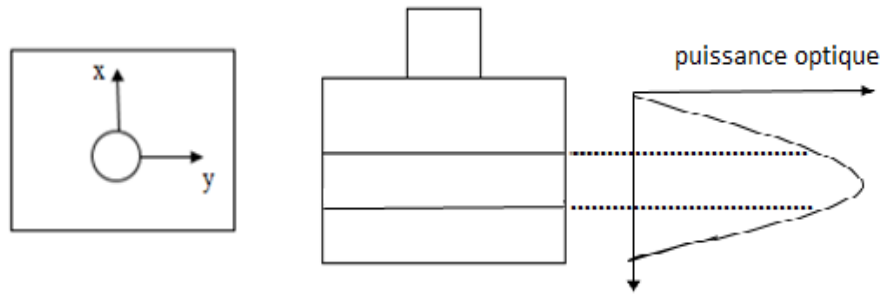


Figure 1.2. Confinement optique dans un guide.

$$\Gamma = \frac{\text{puissance optique dans le guide}}{\text{puissance optique totale}} \quad (1.19)$$

Avec :

$$\Gamma = \frac{\int_{\text{guide}} |E^2| dXdy}{\int_{\text{structure}} |E^2| dXdy} \quad (1.20)$$

Où E est la composante du champ électrique.

1.4 Rappel sur les Laser :

Dans les années soixante fut inventée la première source cohérente, nous parlons sur le laser (Light Amplification by stimulated Emission of Radiation).

Cette invention a contribué à utiliser la lumière pour transporter l'information.

L'importance du laser a en fait été immédiatement reconnue. Si les sceptiques le qualifiaient volontiers de « solution en quête d'un problème », leur incrédulité a vite été

démentie par les progrès rapides et impressionnants aussi bien du laser lui-même que de ses applications. Aujourd'hui, le laser a pris des formes extrêmement variées et est devenu un outil irremplaçable dans de nombreux domaines. [10]

1.4.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un laser nécessite l'existence de trois éléments fondamentaux :

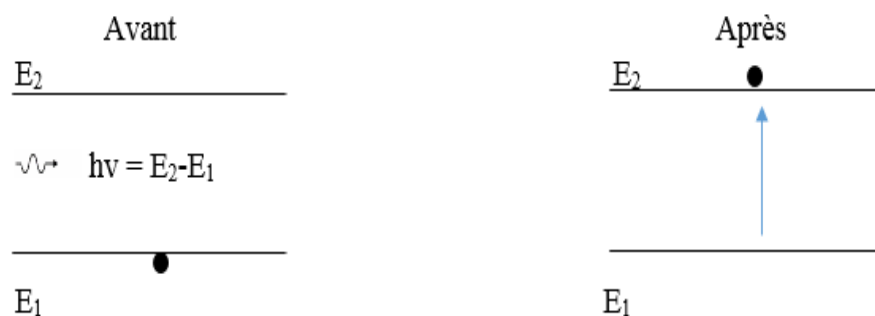
- Le milieu amplificateur
- La source de pompage
- La cavité résonante

1.4.1.1 Amplification de la lumière :

Dans chaque atome on trouve deux niveaux (état fondamental et état excité).

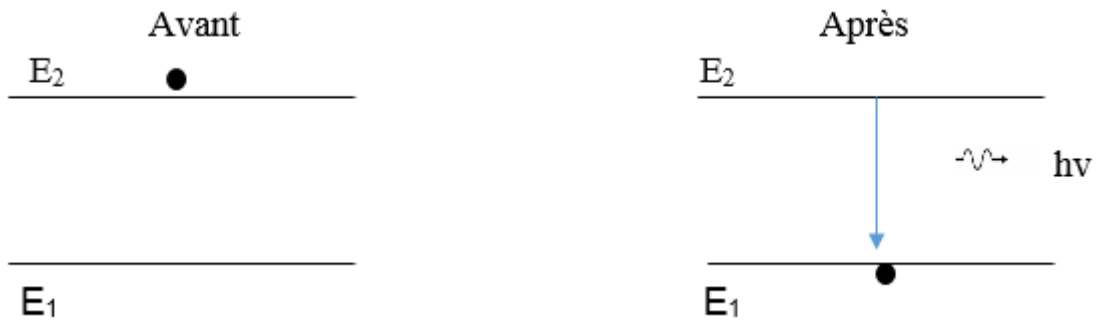
Le passage de l'atome d'un état quantique à un autre est caractérisé par trois mécanismes : L'absorption, L'émission spontanée et L'émission stimulée.

a- Absorption :



Un atome de niveau d'énergie E_1 (état fondamental) peut absorber le photon incident ce qui provoque la transition vers le Niveau E_2 (état excité).

b-Emission spontanée :



Un atome excité est dans un état instable, un électron de cet atome du niveau E_2 peut spontanément revenir dans le niveau fondamental E_1 en émettant un photon d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$.

c-Emission stimulée :

En 1917, EINSTEIN décrit le principe de l'émission stimulée. On considère que l'atome est excité et possède déjà un électron au niveau d'énergie E_2 sous l'action du rayonnement électromagnétique d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$. Un photon ayant l'énergie $h\nu$ arrive, il provoque immédiatement le retour de l'atome excité vers le niveau E_1 et donne l'émission d'un nouveau photon. Les deux photons, émis et le photon ayant provoqué la transition sont en même phase. Donc on a une amplification de la lumière.



1.4.1.2 pompage :

Une population d'atomes tous dans le même état excité serait donc un amplificateur de lumière, la difficulté étant d'amener un grand nombre d'atomes simultanément dans un même état excité. Malheureusement, à l'équilibre thermodynamique, il y a toujours plus d'atomes dans des états de basse énergie que dans des états d'énergie élevée. L'absorption causée par les premiers, très nombreux, est toujours supérieure à la faible émission stimulée des rares atomes excités. [10]

Pour la réalisation d'émission stimulée, il faut que le niveau excité soit plus peuplé que le niveau fondamental, dans ce cas on peut dire qu'on a une inversion de population. Et cette inversion de population est réalisée par l'opération de pompage par l'action d'une source d'énergie extérieure. Le pompage dans le cas du laser semi-conducteur est réalisé par l'injection d'un courant électrique.

1.4.1.3 Cavity résonante :

La cavité résonante (appelée aussi résonateur optique ou tout simplement résonateur) est constituée de deux miroirs placés en parallèle, un miroir totalement réfléchissant et l'autre est partiellement réfléchissant, ces miroirs limitant la zone active (milieu amplificateur) pour former une cavité Pérot-Fabry.

La cavité entre en oscillation lorsque le gain optique (émission stimulée et spontanée) de la cavité compense les pertes de cette dernière (absorption du milieu et transmission des miroirs). (Figure 1.3). [11]

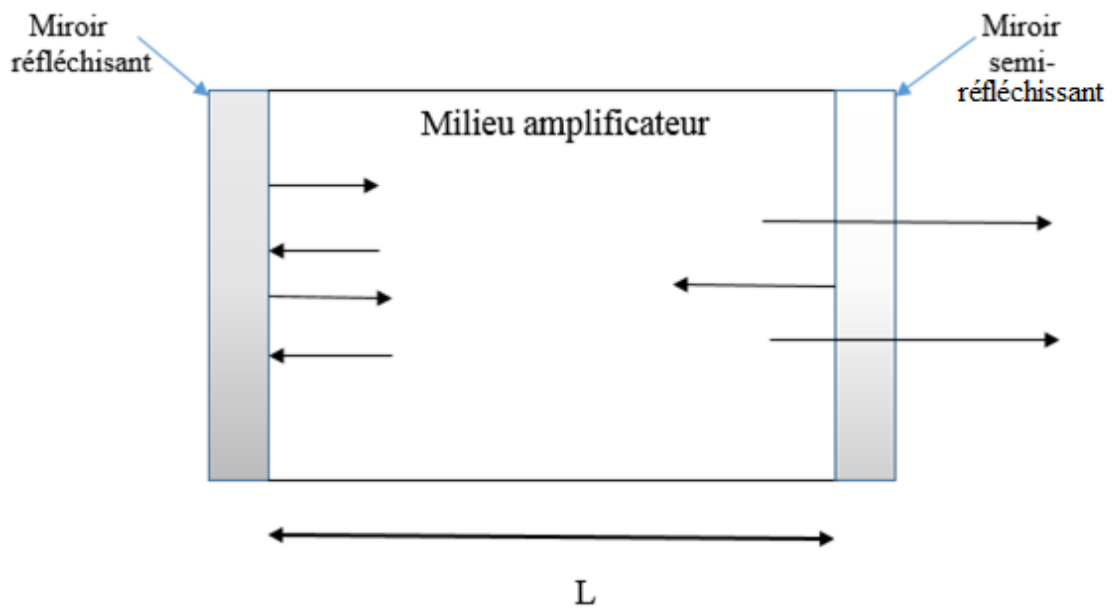


Figure (1.3). Cavité résonante.

1.4.2 Laser à semi-conducteur :

a- Définition :

Le Laser à semi-conducteur est un laser solide qui comporte un matériau actif semi-conducteur et a certaines particularités en comparaison avec les autres lasers.

b- Particularité :

- La faible dimension (forme d'un parallélépipède de $[300\mu\text{m}-100\mu\text{m}-100\mu\text{m}]$).
- La faible consommation.
- Le haut rendement.
- Le faible coût.
- Possibilité d'intégration (intégration dans une même puce du laser et du circuit de modulation [domaine de la micro-opto-électronique]).
- Considéré comme une source bien adaptée pour les systèmes de communication par fibre optique.
- Parmi ses inconvénients, la faiblesse de la puissance optique (quelque mW), ce qui limite son champ d'application.

c- Éléments fondamentaux du principe de fonctionnement :

Pour le laser à semi-conducteur :

- Le milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée) où l'inversion de population est réalisée.
- Le pompage est réalisé par l'injection de courant électrique (porteurs à travers une jonction p-n polarisée en direct).
- La cavité résonante est formée par les miroirs qui limitent la zone active (milieu amplificateur).

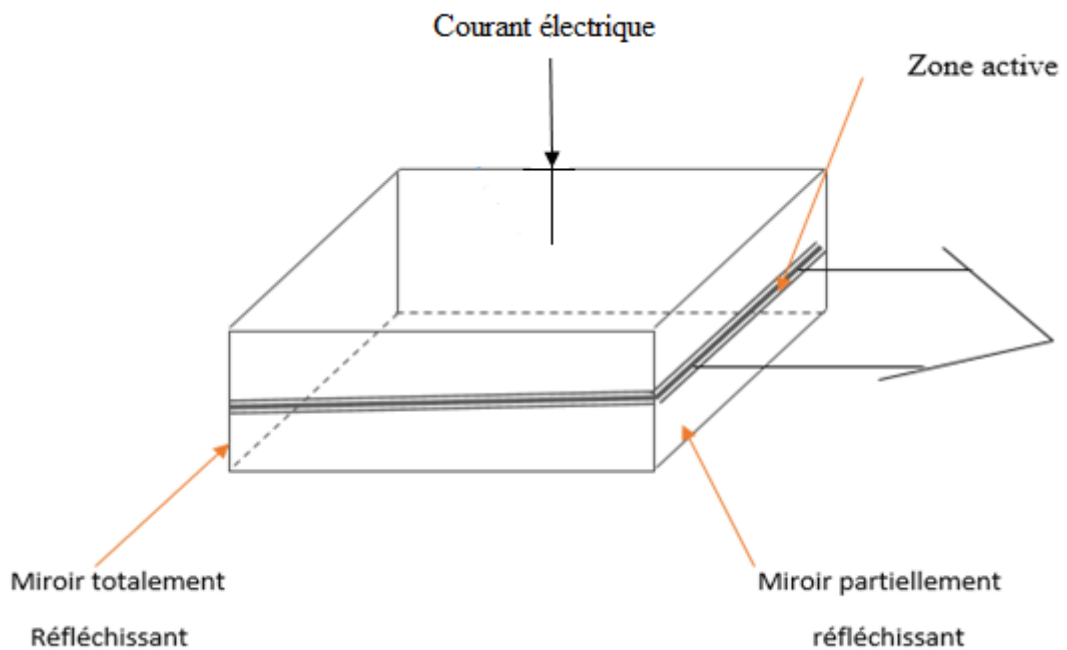


Figure (1.4). Structure d'un laser à semi-conducteur.

1.5 Courant de seuil :

Le gain optique varie avec la longueur d'onde et le niveau d'injection des porteurs.

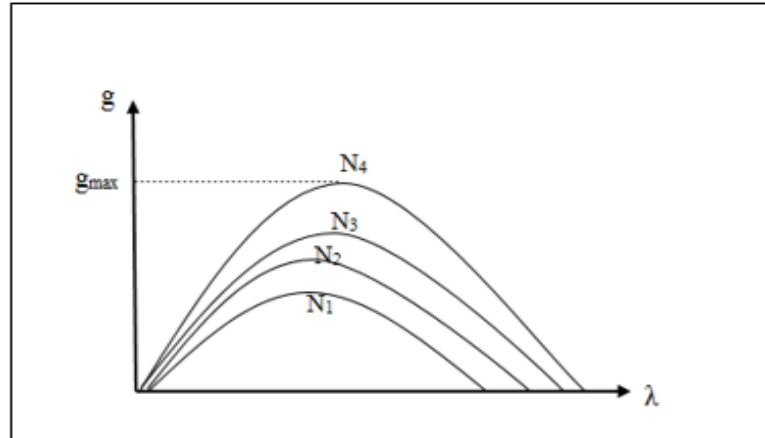


Figure (1.5). Graphe du gain optique en fonction de la longueur d'onde pour différents niveaux d'injection des porteurs

Sur la figure (1.5) sont représentés les spectres de gain. Ces courbes présentent un maximum $g_{\max}$. On peut montrer que pour des gains $> 50 \text{ cm}^{-1}$, $g_{\max}$ peut être décrit par une relation linéaire : [\[12\]](#)

$$g_{\max} = \beta \cdot [N - N_0] \quad (1.21)$$

β et N_0 : sont des constantes caractéristiques du milieu.

N : Concentration des porteurs injectés.

Le courant est donné par :

$$I = A \cdot N \quad (1.22)$$

A est une constante

Au seuil, on doit avoir : gain=pertes

$$g_{\max}(N_s) = \frac{1}{L} \cdot \left[\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \right] \quad (1.22)$$

L : longueur de la cavité

α_i : coefficient d'absorption

$R_{1,2}$: coefficient de réflexion des miroirs

Donc la concentration des porteurs injectés au seuil sera donnée par :

$$N_s = \frac{1}{\Gamma} \cdot \left[\frac{\alpha_i}{\beta} + \frac{1}{2 \cdot \beta \cdot L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \right] + N_0 \quad (1.23)$$

Et le courant seuil sera donné par :

$$I_s = A \cdot N_s = \frac{A}{\Gamma} \cdot \left[\frac{\alpha_i}{\beta} + \frac{1}{2 \cdot \beta \cdot L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \right] + A \cdot N_0 \quad (1.24)$$

Nous remarquons que le courant de seuil I_s dépend du facteur de confinement Γ . Si on veut avoir un faible courant de seuil, on doit assurer un bon confinement donc avoir un facteur de confinement le plus grand possible.

1.6 Puits quantique :

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. Il s'agit d'un puits de potentiel dont les petites dimensions entraînent une différence entre les prédictions de la mécanique classique et celles de la mécanique quantique.

1.6.2 La structure du puits quantique :

Considérons un puits quantique très simple constitué à partir des deux semi-conducteurs GaAs et $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x= 0,3-0,35$) non dopés. Cette valeur de x permet d'avoir une barrière importante pour l'hétérojonction tout en conservant un gap direct.

Ce couple de semi-conducteurs permet de créer des interfaces abruptes et donc réaliser des structures d'empilement assez complexes. Un puits quantique consiste en une structure de GaAs, de longueur a , prise en sandwich entre deux couches de AlGaAs : c'est donc un dispositif constitué de deux hétérojonctions. [13]

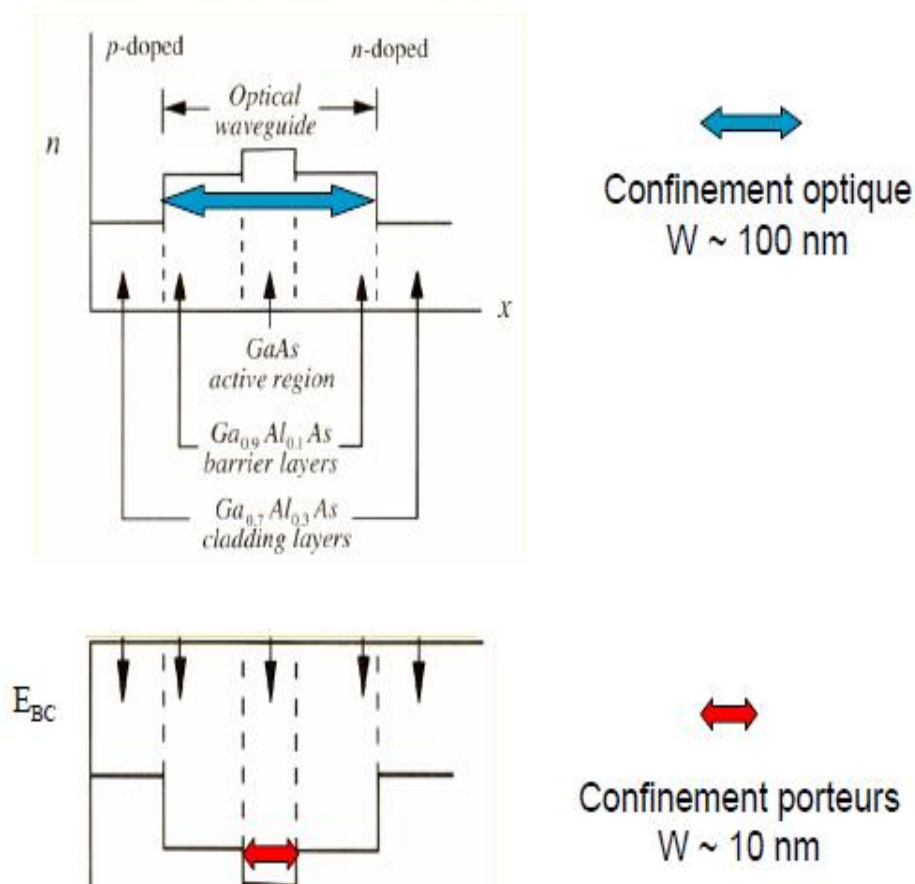


Figure (1.6). Structure à puits quantique.

1.6.3 Indice de réfraction de l'alliage GaAl_xAs :

L'indice de réfraction du GaAl_xAs dépend de la concentration d'aluminium x et est donné par :

$$n_{\text{GaAl}_x\text{As}} = 3,3 - 0,53 \cdot x + 0,09 \cdot x^2 \quad (1.25)$$

1.7 Optimisation du facteur de confinement :

Le facteur de confinement optique dépend de plusieurs paramètres, telles que l'énergie d'émission, la largeur du puits, l'indice de réfraction de la couche active et des couches de confinement.

Pour un bon fonctionnement du laser il faut un facteur de confinement élevé ce qui nous ramène à chercher une structure qui permet de renforcer le confinement optique.

Le confinement optique idéal consiste bien sûr à canaliser tous les photons générés dans la zone active pour l'émission laser.

Pour cela, du point de vue de l'optique classique, la zone active doit avoir un indice de réfraction plus élevé que celui des matériaux dans lesquels elle est insérée.

1.8 Description de quelques types de guides plans :

1.8.1 Guide de lumière plan à saut d'indice :

C'est un empilement de couches où la variation de l'indice avec la distance (profil d'indice) est en forme d'escaliers, augmentant des couches latérales vers la couche centrale.

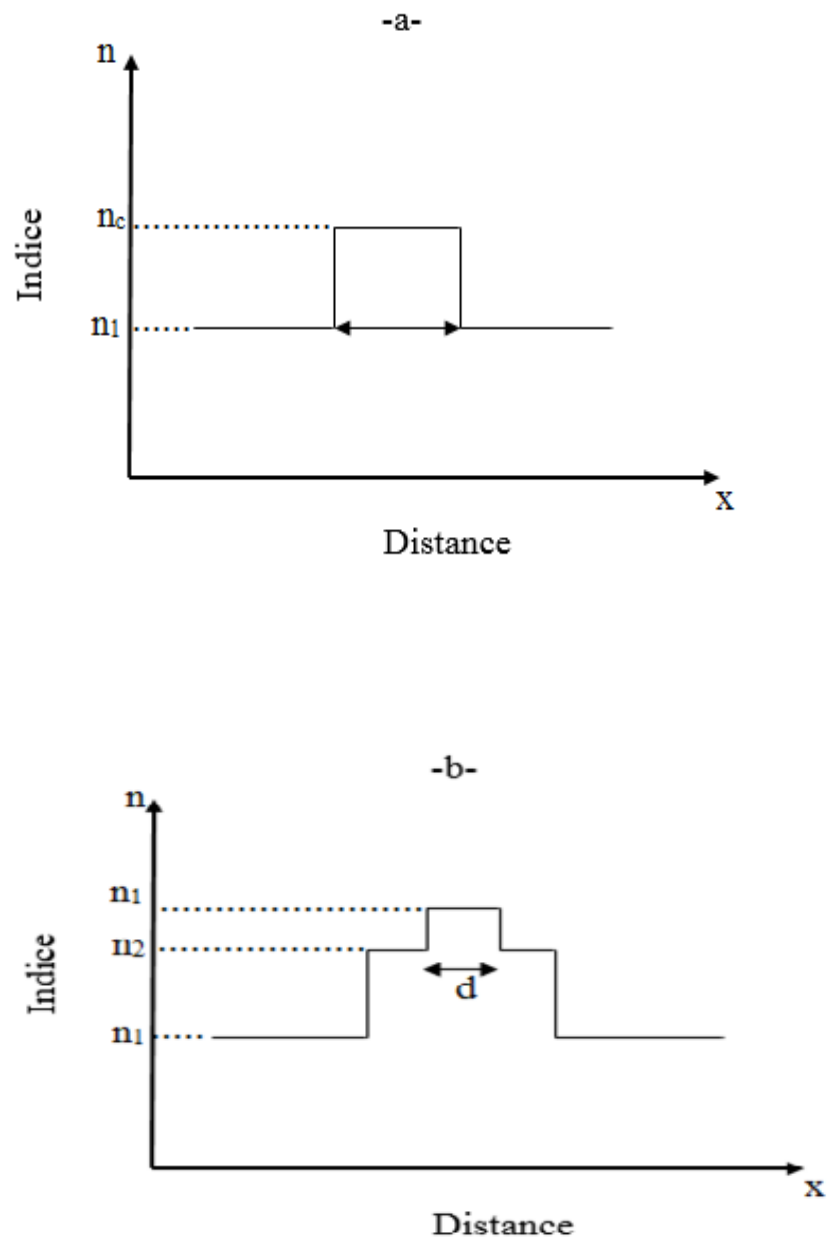


Figure (1.7). Profil d'indice dans un guide de lumière plan à saut d'indice (-a-guide à trois couche. -b-guide **SCH** «Separate Cladd Heterostructure»).

1.8.2 Guide de lumière plan à gradient d'indice :

La variation de l'indice avec la distance est de forme continue. Un tel guide est dénommé guide à gradient d'indice, l'indice augmentant graduellement des couches latérales vers la couche centrale.

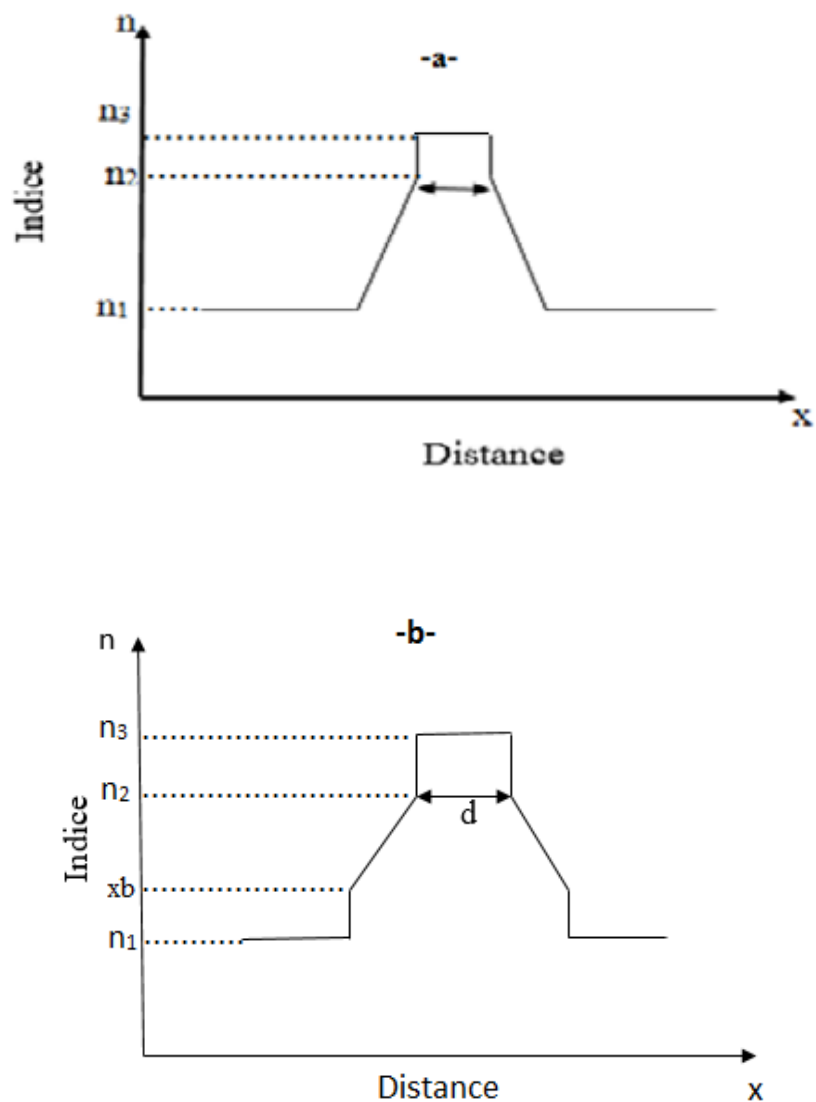


Figure (1.8). Profil d'indice dans un guide de lumière plan à gradient d'indice (a- Guide **SCH** graduel et b- Guide **SCH** graduel modifié).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait un bref rappel théorique sur :

- a- Le phénomène des ondes électromagnétiques en commençant par la théorie électromagnétique de la lumière, ensuite les fameuses équations de Maxwell qui nous donnent, dans des conditions spécifiques, l'équation d'onde appropriée. Ensuite nous avons parlé de la théorie des guides optiques et on a défini la notion d'indice effectif et du facteur de confinement.

- b- La deuxième partie a été consacrée aux Lasers. Nous avons commencé par décrire le principe de fonctionnement du laser en général, ensuite nous avons considéré les lasers à semi-conducteurs qui nous intéressent dans cette étude. La dépendance du courant de seuil sur le facteur de confinement a été montrée. Enfin les différentes structures de guides utilisées dans les lasers à puits quantiques pour améliorer le confinement ont été décrites.

Chapitre 2 :
Simulation des guides optiques à
une dimension

Chapitre 2 Simulation des guides optique à une dimension

2.1 Introduction :

L'étude des propriétés de propagation de la lumière dans un guide optique permet d'avoir accès aux caractéristiques optiques du guide, comme l'indice effectif (la constante de propagation), le facteur de confinement, etc....

Le présent chapitre traite l'étude de la propagation de la lumière dans les guides optiques plans unidimensionnels, en utilisant le logiciel COMSOL qui utilise la méthode des éléments finis pour résoudre l'équation d'onde.

Ce chapitre comporte :

- Description du logiciel COMSOL.
- Simulation du guide optique plan à trois couches.
- Simulation du guide optique **SCH** «Separate Cladd Heterostructure».
- Simulation du guide optique **SCH graduel**.
- Simulation du guide optique **SCH graduel modifié**.
- Interprétation des résultats obtenus, et conclusion.

2.2 Guide optique plan à N couches :

2.2.1 Définition :

Le guide de lumière plan multicouche, est un guide de lumière composé de plusieurs couches, avec des épaisseurs et des indices de réfraction appropriés. Figure (2.1).

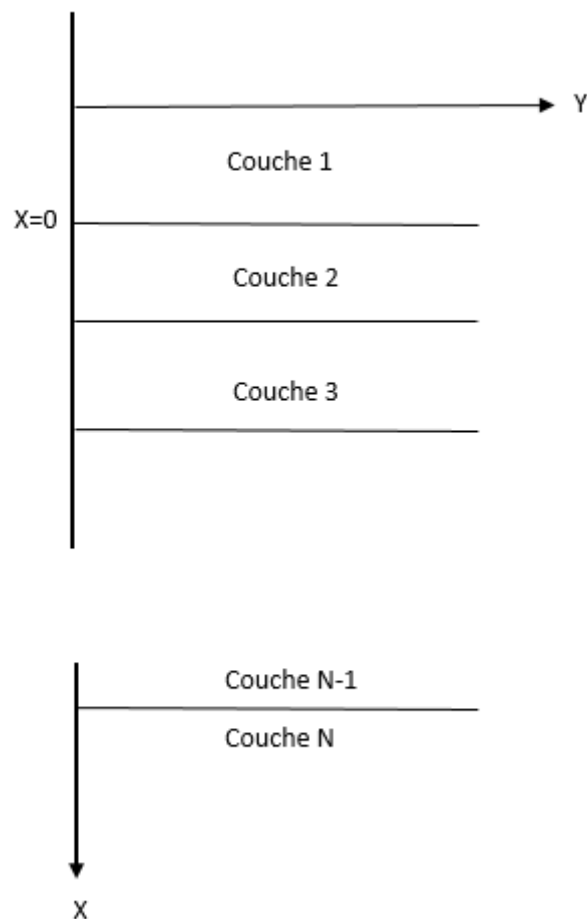


Figure (2.1). Guide plan à N couches.

2.2.2 Equation d'onde :

Les expressions générales du champ électrique et du champ magnétique dans un guide diélectrique sont de la forme :

$$E(x, y, z, t) = E(x, y) \cdot \exp [j (\omega \cdot t - \beta \cdot z)] \quad (2.1)$$

$$H(x, y, z, t) = H(x, y) \cdot \exp [j (\omega \cdot t - \beta \cdot z)] \quad (2.2)$$

Où β est la constante de propagation complexe dans la direction z .

Ces deux expressions sont les solutions des équations de Maxwell et n'admettent que certaines valeurs de β qui dépendent de la géométrie du guide.

Le guide est supposé infini dans la direction y , ce qui correspond au cas des diodes laser dites «Larges ». L'onde électromagnétique se propage sous forme d'onde transverse électrique TE et magnétique TM. Expérimentalement, le mode TE d'ordre fondamental est le plus souvent observé seul. Nous ne nous intéresserons dans toute notre étude qu'aux modes TE. Dans ces conditions les équations de Maxwell donnent :

$$E_x = 0$$

$$\frac{d^2 E_y}{dx^2} + (n^2 \cdot k_0^2 - \beta^2) \cdot E_y = 0 \quad (2.3)$$

$$E_z = 0$$

$$\text{Avec :} \quad E_y = E_y(x) \cdot \exp [j (\omega \cdot t - \beta \cdot z)] \quad (2.4)$$

2.3 Description du logiciel utilisé :

COMSOL est un logiciel qui propose des outils dédiés à la simulation de la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux optiques linéaires et non linéaires, afin de permettre une simulation précise des composants optiques et une optimisation de leurs designs. [14]

Il utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations aux dérivées partielles.

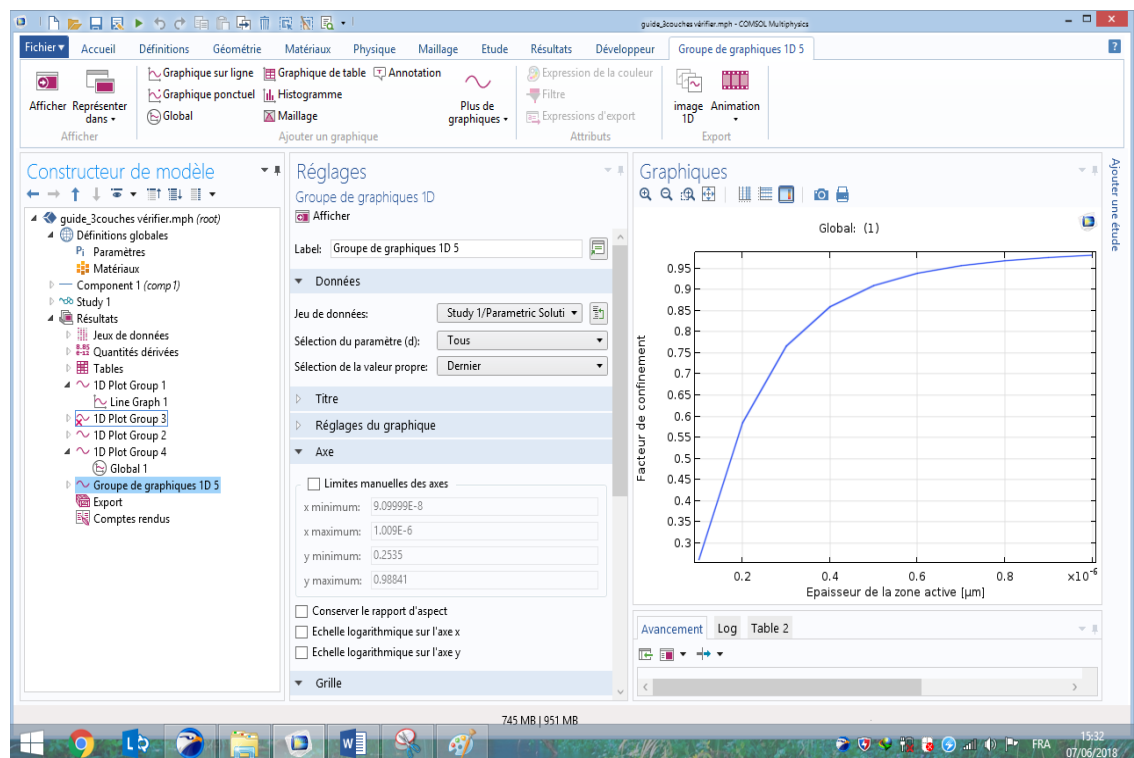


Figure (2.2). Fenêtre générale de COMSOL 5.3.

2.4 Exemples de simulation :

2.4.1 Guide de lumière à trois couches :

La Figure (2.3) représente la structure d'un guide de lumière à trois couches.

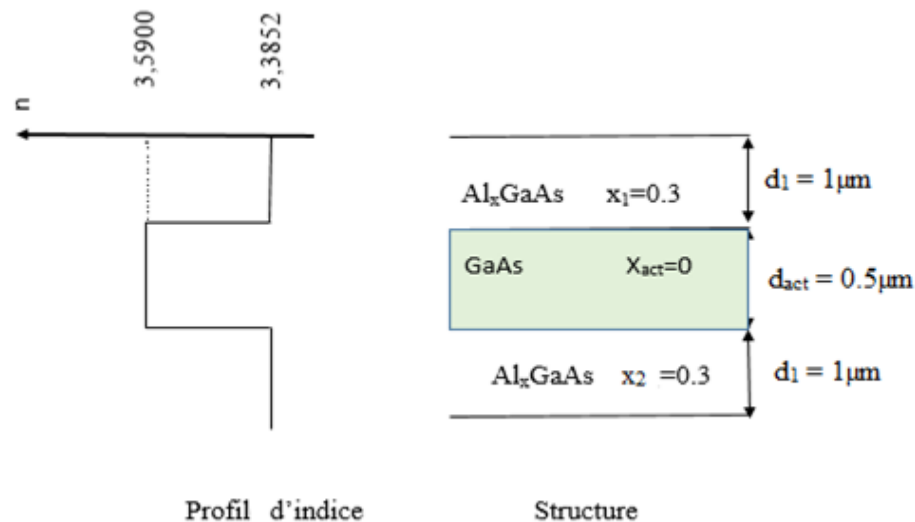


Figure (2.3). Guide optique plan à trois couches.

La Figure (2.4) représente la répartition du champ électrique dans la structure. On constate que la lumière est confinée dans la couche active.

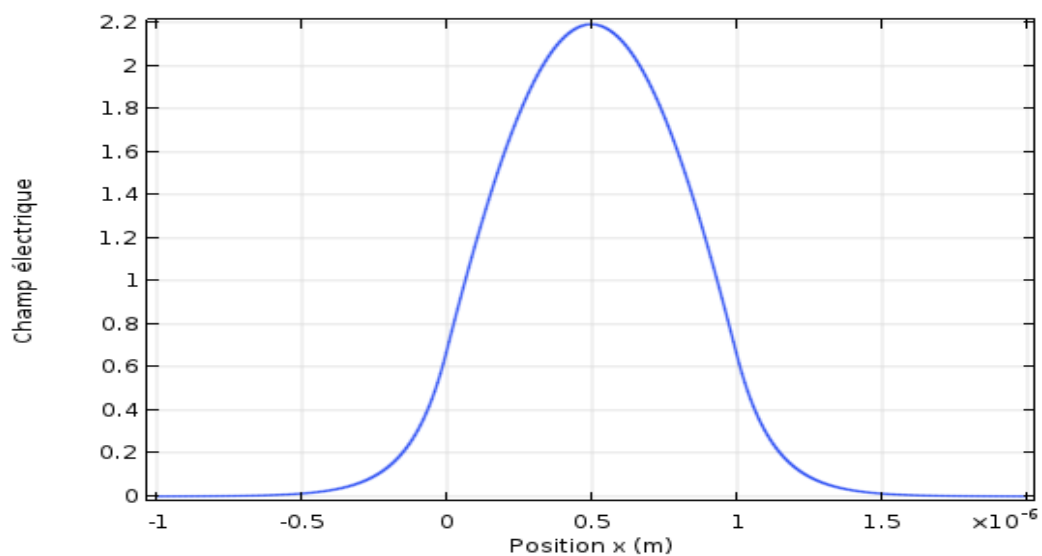


Figure (2.4). Distribution du champ électrique dans le guide ($d_{\text{act}}=1\mu\text{m}$).

La variation de l'indice effectif avec l'épaisseur de la couche active est représentée dans la Figure (2.5). L'indice effectif croît lorsque l'épaisseur de la couche active ayant le plus grand indice augmente.

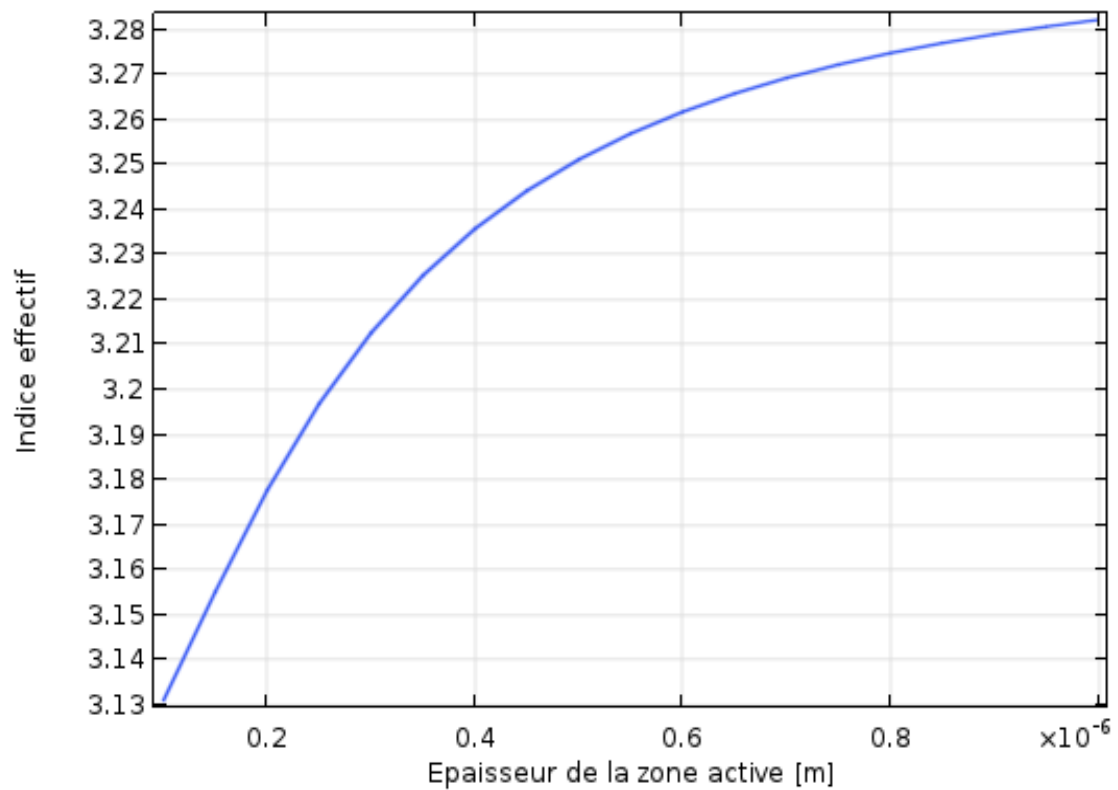


Figure (2.5). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur
(d_{act}) de la zone active ($x=0,3$).

La Figure (2.6) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche active pour différentes concentrations d'aluminium des couches latérales. Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur de la couche active et la composition x des couches latérales, cependant pour les épaisseurs des puits quantiques (quelques nm) il reste très faible ($\sim 2\%$) d'où la nécessité de l'améliorer.

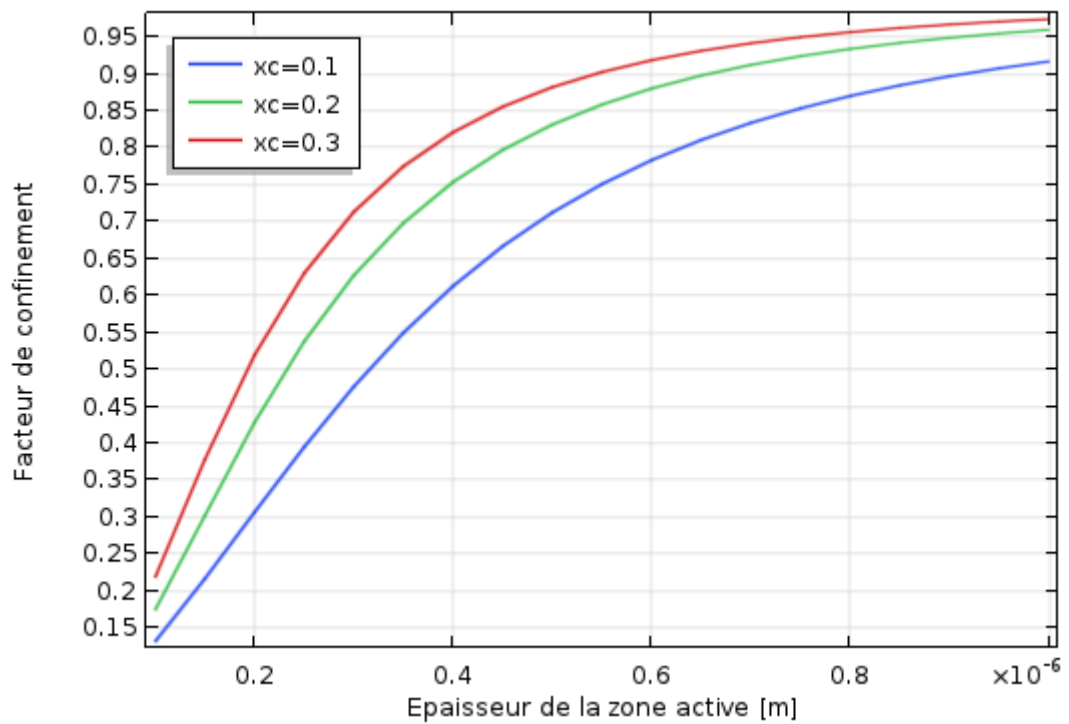


Figure (2.6). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active (d_{act}) pour différentes valeurs de la composition de l'alliage.

2.4.2 Guide de lumière SCH :

La Figure (2.7) représente la structure d'un guide de lumière SCH.

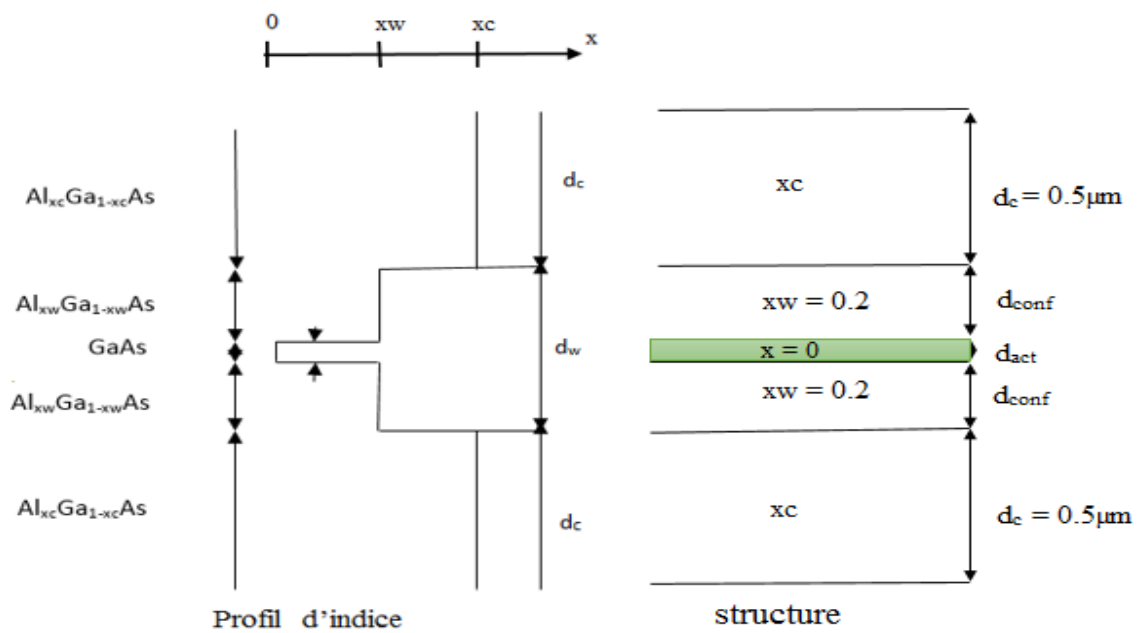


Figure (2.7). Guide optique SCH.

La Figure (2.8) représente la répartition du champ électrique dans la structure. On constate que la lumière est confinée dans la couche active.

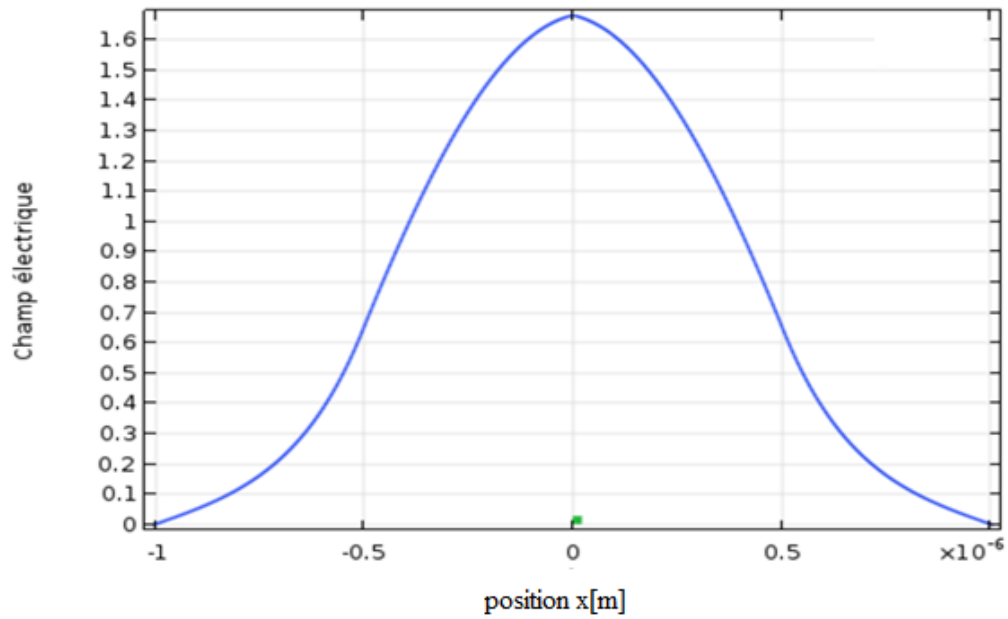


Figure (2.8). Distribution du champ électrique dans le guide ($d_{\text{act}}=10\text{nm}$, $d_{\text{conf}}=100\text{ nm}$, $x_w=0.2$, $x_c=0.4$).

La variation de l'indice effectif avec l'épaisseur de la couche active est représentée sur la Figure (2.9). L'indice effectif croît lorsque l'épaisseur de la couche active ayant le plus grand indice augmente.

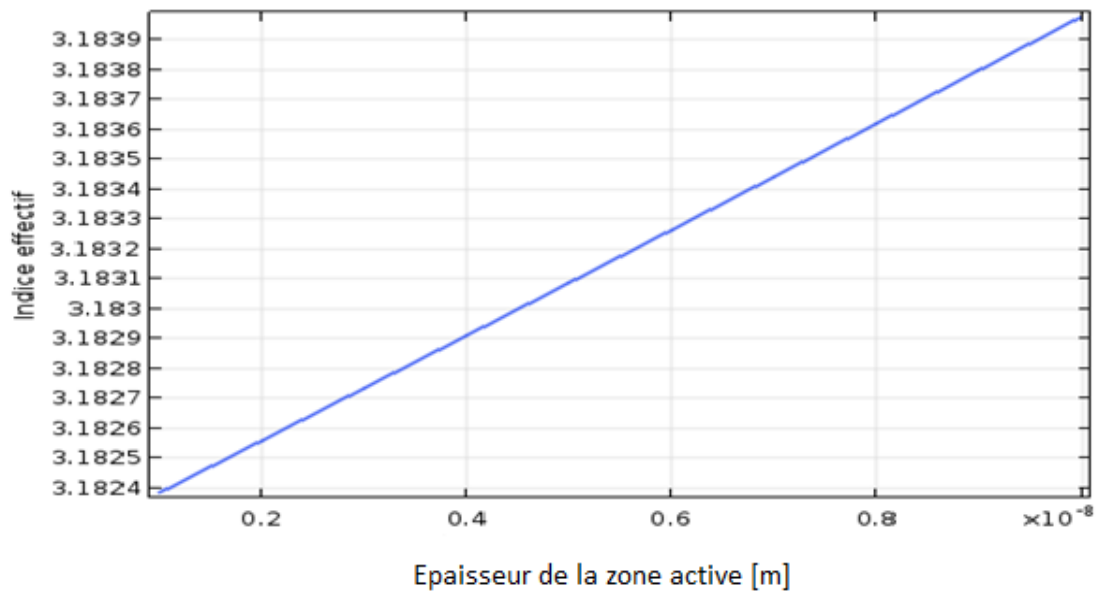


Figure (2.9). Variation de l'indice effectif en fonction de la zone active d_{act} .

La Figure (2.10) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche active. Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur de la couche active.

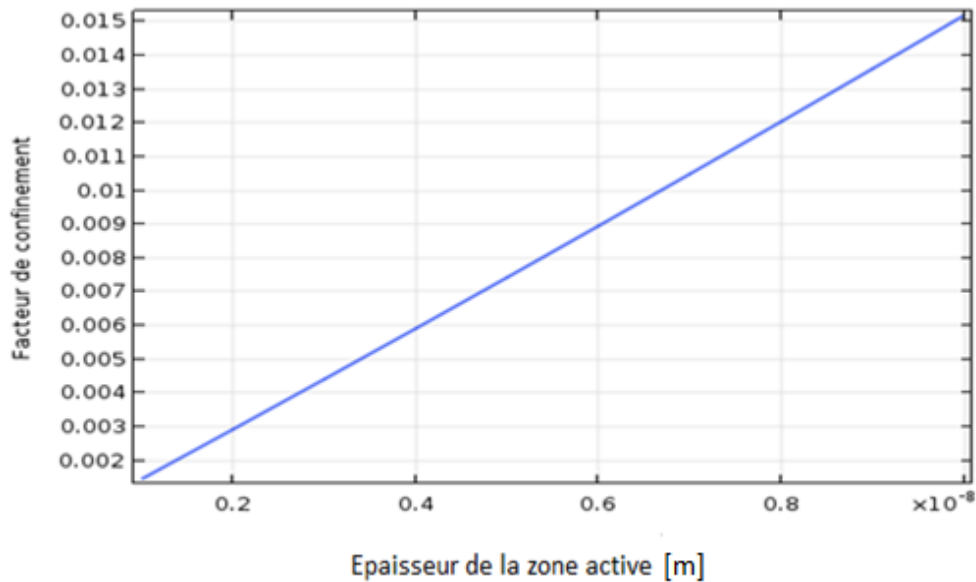


Figure (2.10). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active.

La Figure (2.11) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche de confinement. Ces courbes présentent un maximum pour une épaisseur de la couche de confinement de l'ordre de $0,1\mu\text{m}$.

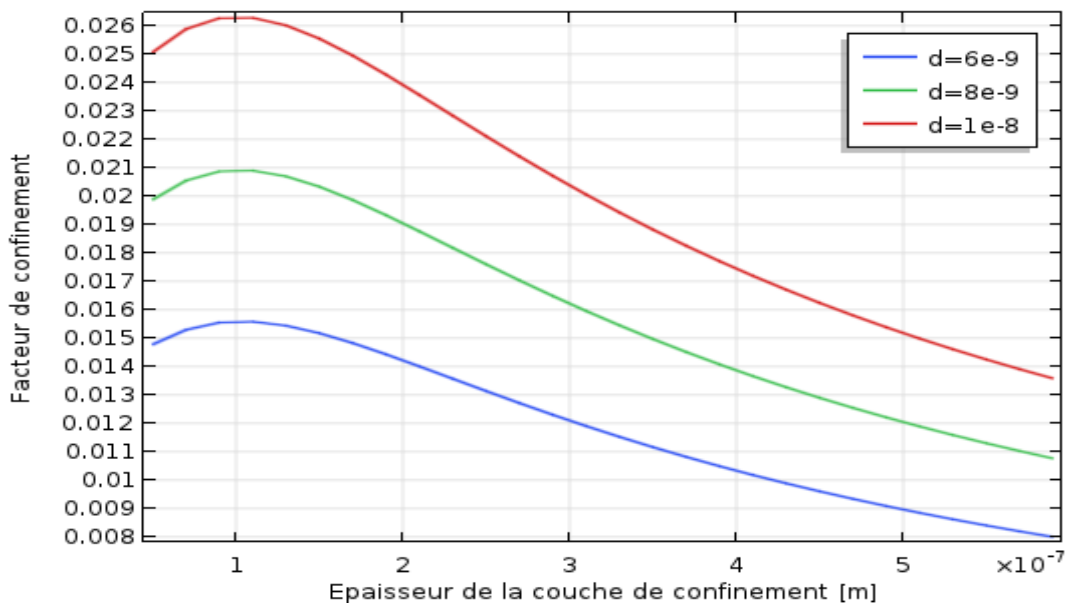


Figure (2.11). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche de confinement d_{conf} pour différentes épaisseurs de la couche active d_{act} .

La Figure (2.12) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales x_c pour différentes valeurs de x_w .

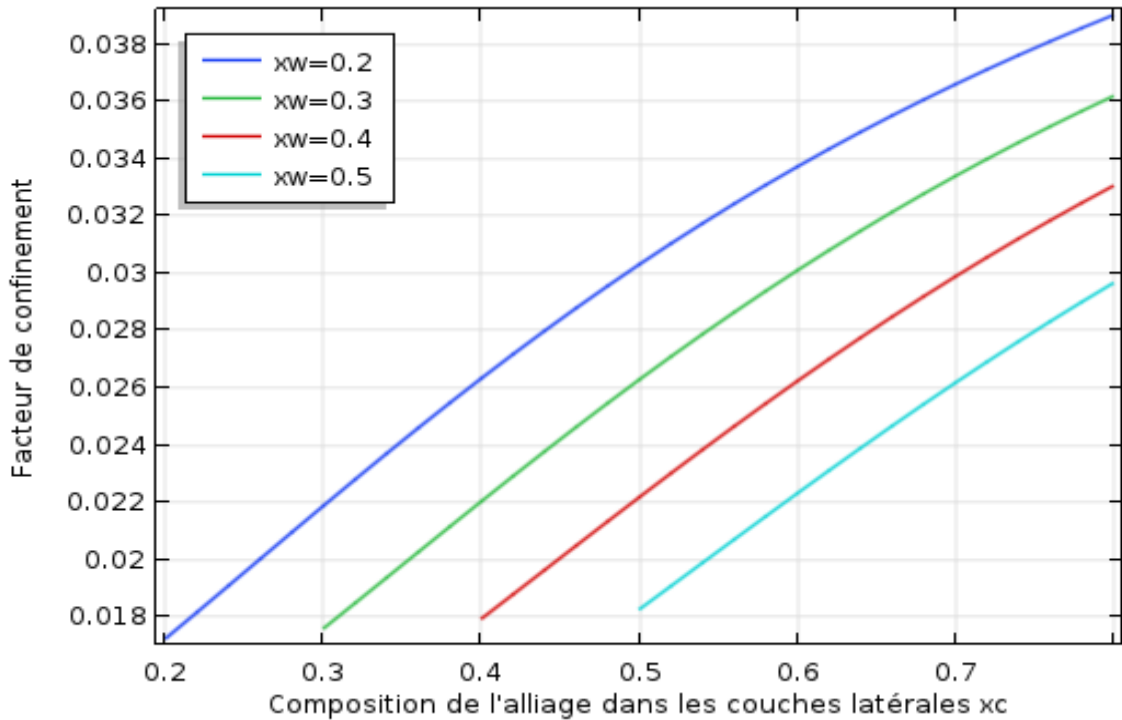


Figure (2.12). Variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales x_c pour différentes valeurs de x_w

($d_{act}= 10\text{nm}$, $d_{conf}= 100 \text{ nm}$).

On constate que le facteur de confinement augmente avec le contraste d'indices (contraste de compositions (x_c-x_w)) entre les couches de confinement et les couches latérales.

2.4.2.1 Structure optimale :

D'après les résultats de simulation, on peut définir les paramètres qui optimisent cette structure. L'épaisseur de la couche active est prise maximale pour un puits quantique $d_{act}=10\text{nm}$. L'épaisseur de la couche de confinement optimale est égale à $d_{conf}=0,1\mu\text{m}$. La concentration d'aluminium du puits quantique est fixée à $x_w=0,2$ et la concentration x_c est choisie la plus grande possible $x_c=0,8$. On obtient un facteur de confinement optimal $\Gamma=0.040$. Les paramètres qui optimisent la structure sont regroupés dans le tableau 2.1 :

Paramètre	Notation	Valeur
Epaisseur de la zone active	d_{act}	10 nm
Epaisseur de la couche de confinement	d_{conf}	0.1 μm
composition de l'alliage dans les couches latérales	X_c	0.8
composition de l'alliage dans les couches de confinement	X_w	0,2
Le facteur de confinement	Γ	4%

Tableau 2.1. Structure optimisé SCH.

2.4.3 Guide de lumière SCH graduel :

La Figure (2.13) représente la structure d'un guide de lumière SCH graduel.

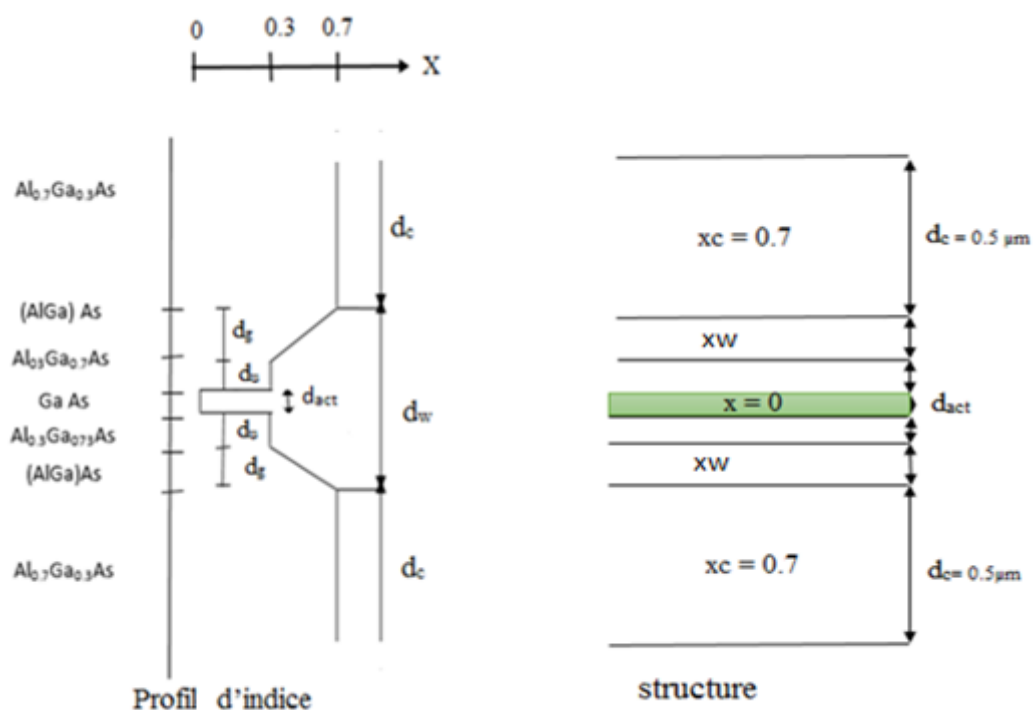


Figure (2.13). Guide optique SCH graduel.

La Figure (2.14) représente la répartition du champ électrique dans la structure. On constate que la lumière est confinée dans la couche active.

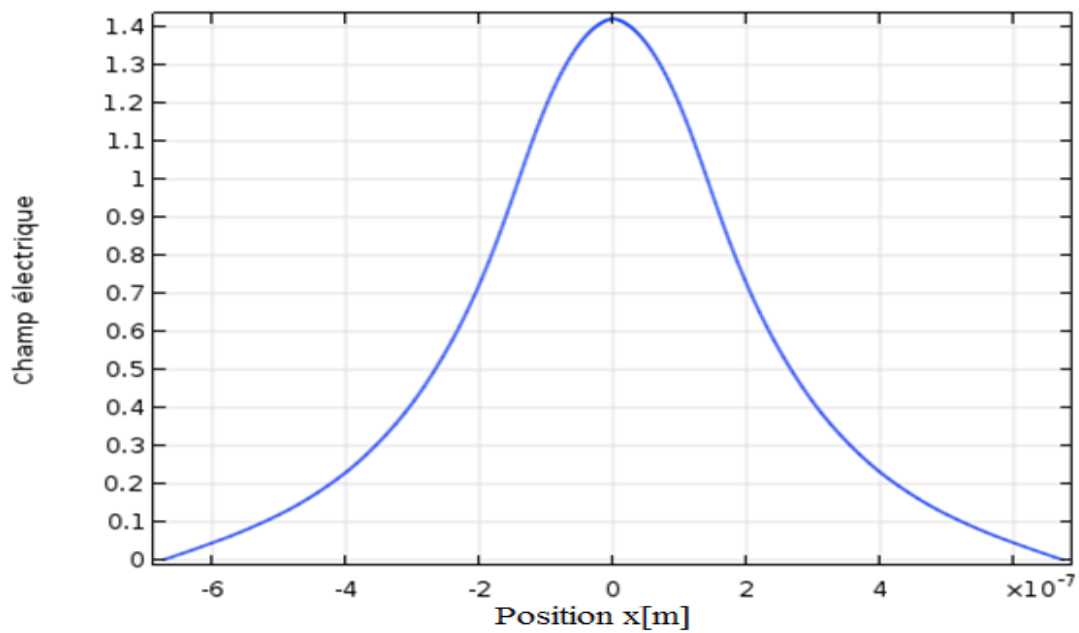


Figure (2.14). Distribution de champ électrique dans le guide.

La variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur de la couche active est représentée sur la Figure (2.15). L'indice effectif croît lorsque l'épaisseur de la couche active ayant le plus grand indice augmente.

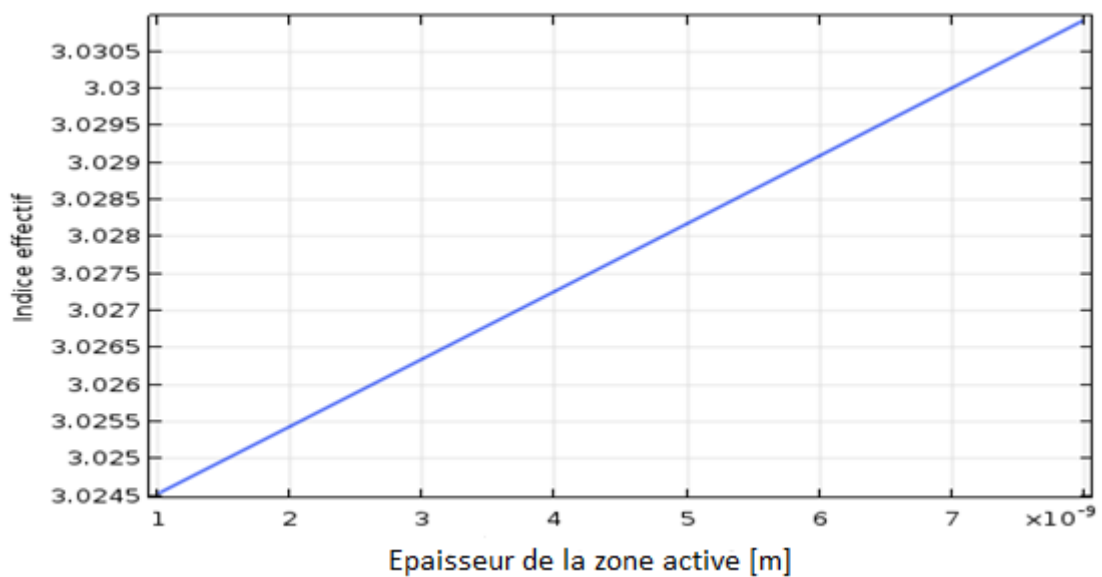


Figure (2.15). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act} .

La Figure (2.16) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche active. Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur de la couche active.

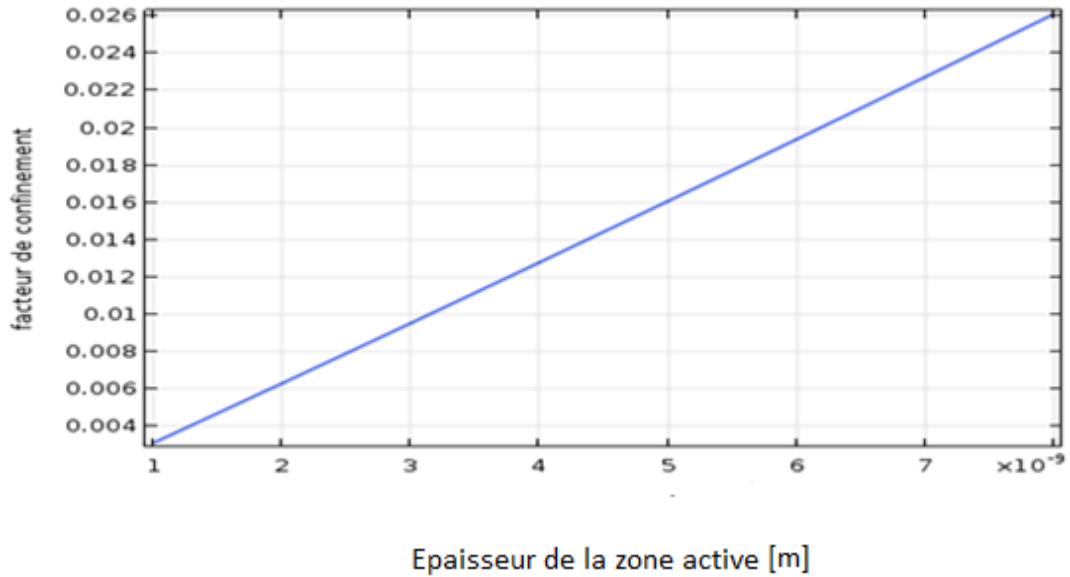


Figure (2.16). Variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act} ($d_u = 60$ nm).

La Figure (2.17) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de d_u pour différentes valeurs de x_c . Ces courbes présentent un maximum pour une épaisseur d_u de l'ordre de 90nm et ce dernier augmente avec x_c .

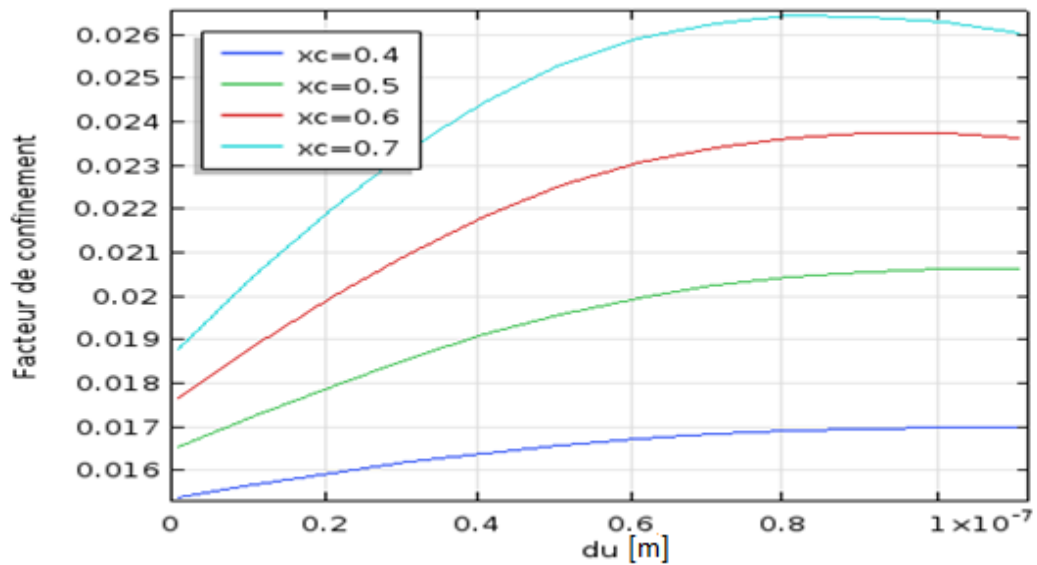


Figure (2.17). Variation du facteur de confinement en fonction de d_u pour différentes valeurs de x_c .

La Figure (2.18) montre la variation du facteur de confinement en fonction de d_g . On remarque que Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur d_g , atteint un maximum pour $d_g=55\text{nm}$ ensuite décroît.

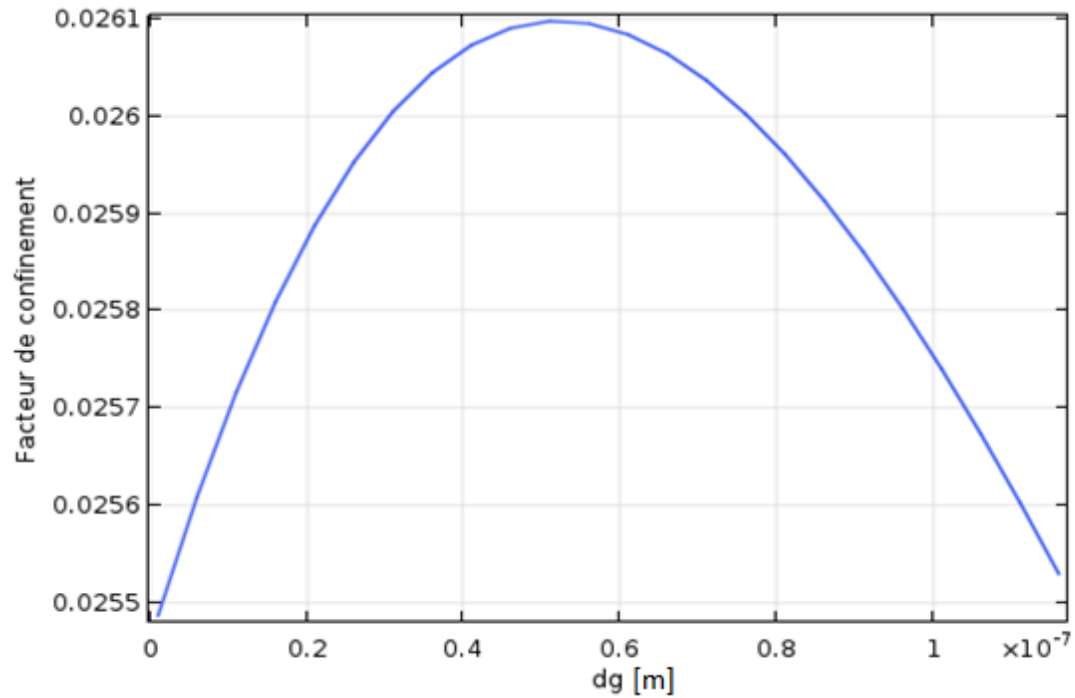


Figure (2.18). Variation du facteur de confinement en fonction de d_g
($d_u=60\text{ nm}$, $x_c=0,7$).

La Figure (2.19) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales x_c pour différentes valeurs de x_w . On constate que le facteur de confinement augmente avec le contraste d'indices (contraste de compositions (x_c-x_w)) entre les couches de confinement et les couches latérales.

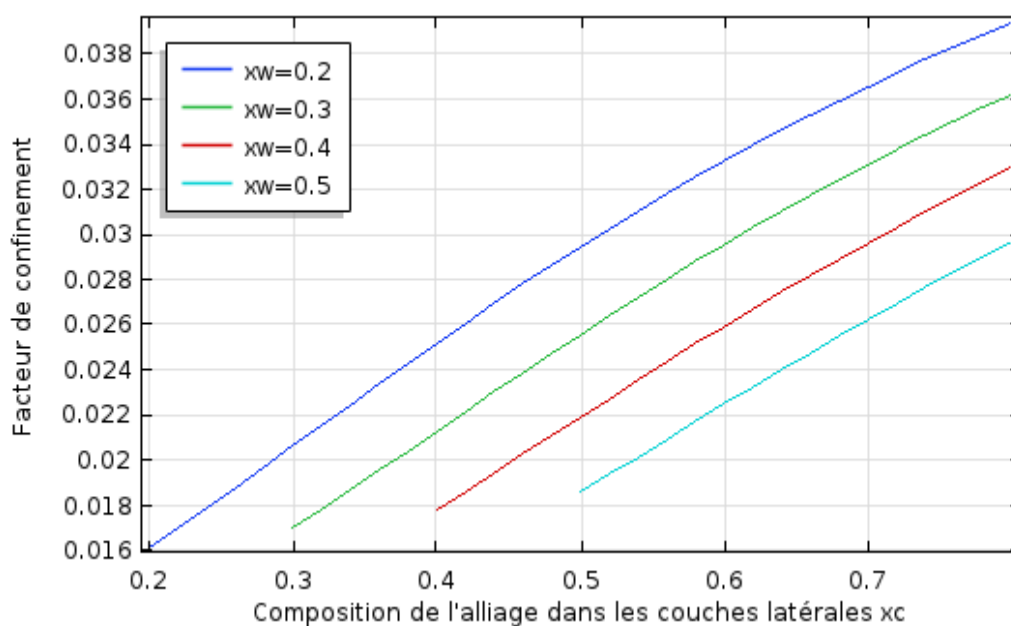


Figure (2.19). Variation du facteur de confinement en fonction de la composition de l'alliage dans les couches latérales (x_c) pour différentes valeurs de x_w .

2.4.3.1 Structure optimale :

D'après les résultats de simulation, les valeurs qui optimisent cette structure sont regroupées dans le tableau 2.2 :

paramètre	notation	valeur
L'épaisseur de la zone active	d_{act}	10 nm
Epaisseur de la couche de confinement	d_u	90 nm
Epaisseur de la couche graduelle	d_g	55 nm
Composition d'alliage dans les couches de confinement	x_w	0.2
Composition d'alliage dans les couches latérales	x_c	0.8
Facteur de confinement	Γ	0.04

Tableau 2.2. Structure optimale SCH graduel.

2.4.4 Guide de lumière SCH graduel modifié :

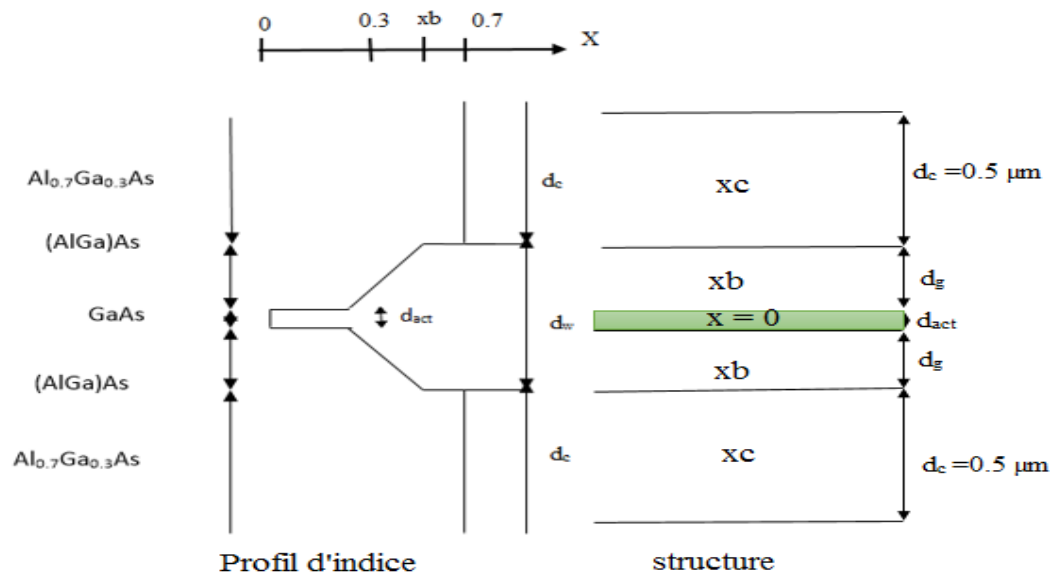


Figure (2.20). Guide optique SCH graduel modifié.

La Figure (2.21) représente la répartition du champ électrique dans la structure. On constate que la lumière est confinée dans la couche active.

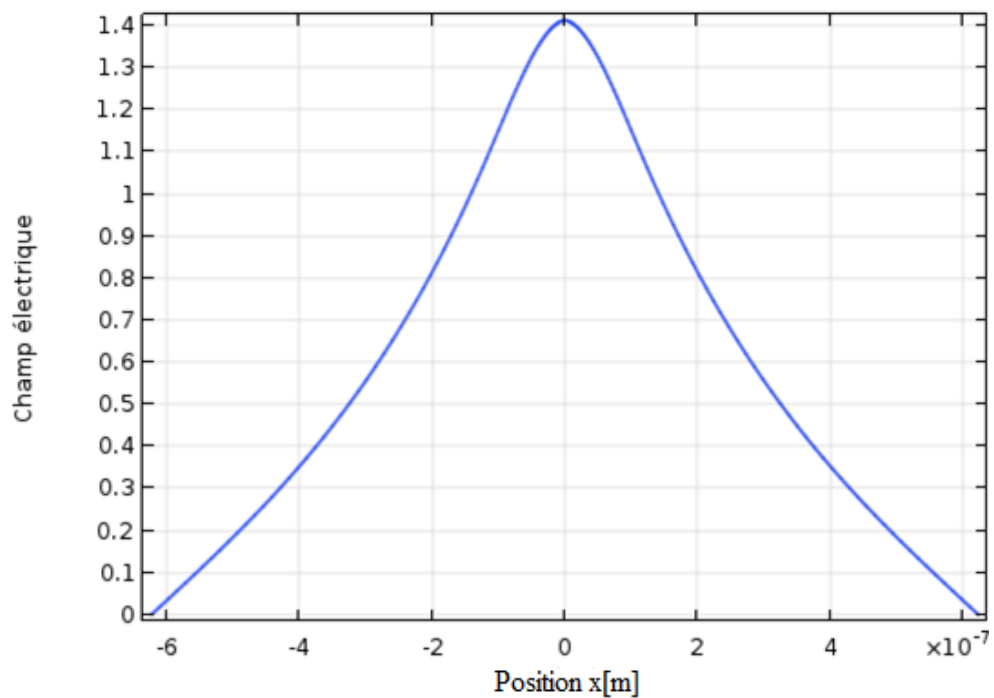


Figure (2.21). Distribution du champ électrique dans le guide.

La variation de l'indice effectif avec l'épaisseur de la couche active est représentée sur la Figure (2.22). L'indice effectif croît lorsque l'épaisseur de la couche active ayant le plus grand indice augmente.

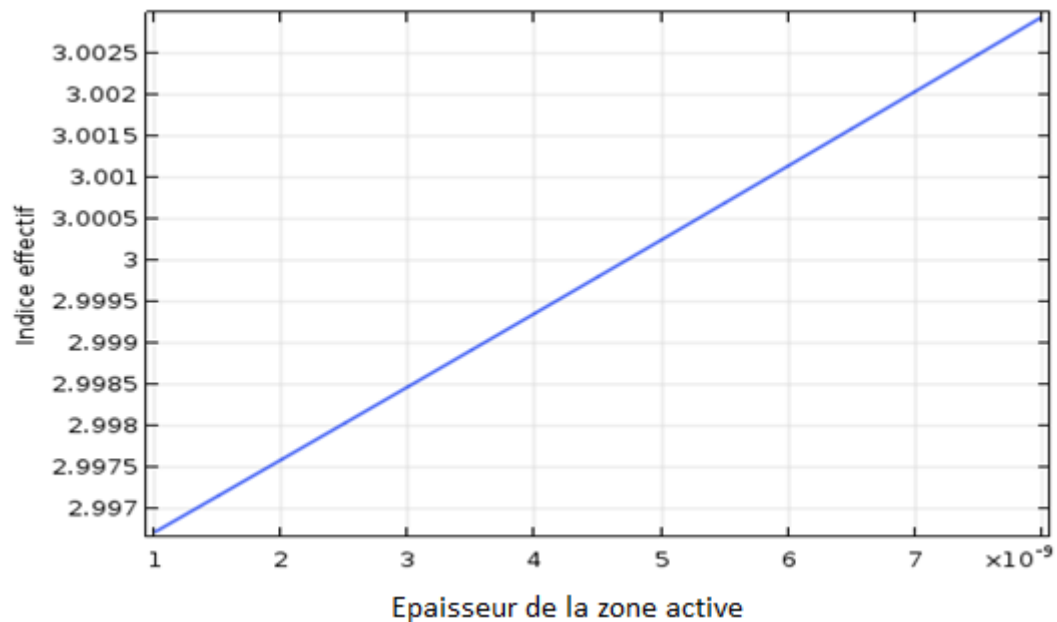


Figure (2.22). Variation de l'indice effectif en fonction de l'épaisseur de la zone active d_{act} .

La Figure (2.23) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de l'épaisseur de la couche de confinement d_w pour différentes valeurs de x_b . On remarque que Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur d_w , atteint un maximum ensuite décroît. D'autre part, on constate que le facteur de confinement décroît lorsque la concentration x_b augmente.

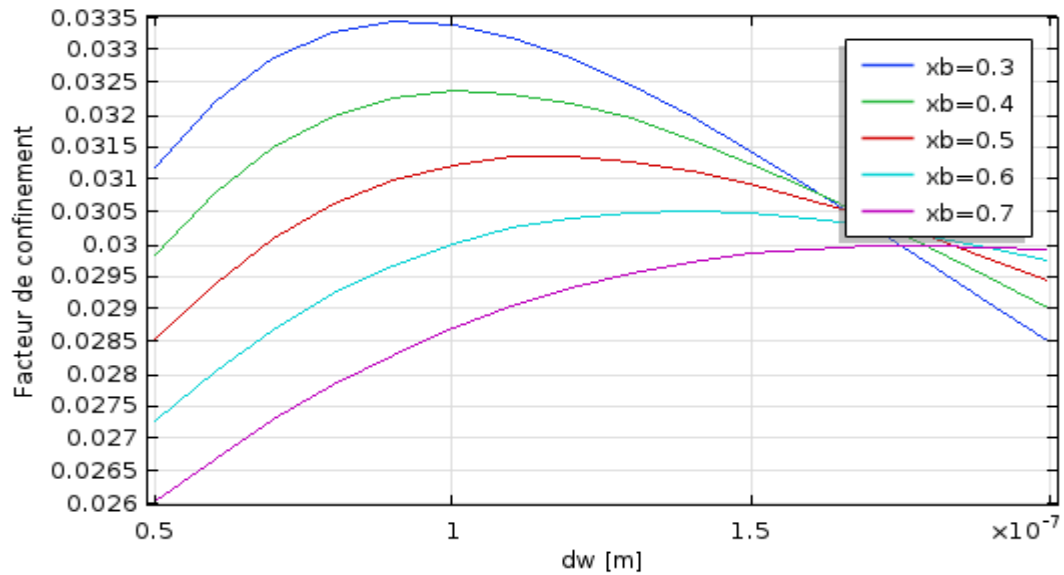


Figure (2.23). Variation du facteur de confinement en fonction de dw pour différentes compositions x_b .

2.5 Interprétions des résultats :

Les résultats obtenus dans cette étude sur les quelques types de guides plans sont rassemblés dans les figures. A ces dernières, on peut adjoindre les commentaires suivants :

Le facteur de confinement croît avec l'épaisseur de la zone active. D'autre part, on remarque que le facteur de confinement est meilleur dans les structures à saut d'indice que dans les autres structures à gradient d'indice. On constate que le facteur de confinement est maximum pour $d_{\text{conf}} = 0,1 \mu\text{m}$ ensuite décroît avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche de confinement dans les structures **SCH**, **SCH** graduel et **SCH** graduel modifié. On constate aussi que le facteur de confinement augmente avec le contraste d'indices (contraste de compositions $(x_c - x_w)$) entre les couches de confinement et les couches latérales.

- Pour l'indice effectif, il croît aussi avec l'épaisseur de la zone active.
- D'après les graphes de variation du champ électrique, on constate que le maximum de la lumière dans toutes les structures est situé dans la couche active, ensuite elle décroît jusqu'à ce qu'elle s'annule en allant vers les couches latérales.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une étude unidimensionnelle d'un guide optique comportant N couches de composition quelconque en utilisant une méthode numérique (méthode des éléments finis) pour résoudre l'équation d'onde.

Pour mettre en œuvre cette méthode, nous avons utilisé le logiciel de simulation COMSOL sur les différents types de guides plans afin de déterminer leurs caractéristiques à partir de leurs paramètres physiques et géométriques.

On peut conclure que :

- Le facteur de confinement dépend de l'épaisseur de la zone active, l'épaisseur de la couche de confinement, la composition des couches latérales, la composition des couches de confinement.
- Les structures SCH à saut d'indice et à gradient d'indice présentent des facteurs de confinement comparables, cependant la structure SCH à saut d'indice est préférable vu la simplicité de sa fabrication.

Conclusion générale

Tout au long de ce travail, nous avons présenté des généralités sur les ondes électromagnétiques et sur les guides optiques. Ensuite, nous avons effectué une étude unidimensionnelle des guides de lumière à N couches : guide de lumière à trois couches, SCH, SCH graduel et SCH graduel modifié et ceci en utilisant le logiciel de simulation COMSOL qui permet de résoudre l'équation d'onde par la méthode des éléments finis.

Le but de ce travail est donc de déterminer les différentes caractéristiques des guides comme : la répartition du champ électrique dans tout le guide, la constante de propagation (indice effectif), le facteur de confinement qui joue un rôle très important dans les lasers.

D'après les résultats obtenus dans toute cette étude nous pouvons adjoindre les commentaires suivants :

- Le facteur de confinement dépend de l'épaisseur de la zone active, de l'épaisseur de la couche de confinement, de la composition des couches latérales x_c et de la composition des couches de confinement x_w .
- Les structures SCH à saut d'indice et à gradient d'indice présentent des facteurs de confinement comparables, cependant la structure SCH à saut d'indice est préférable vu la simplicité de sa fabrication.

Bibliographie

- [1] M. Alonso, E. J. Finn, Physique Générale, « Champ et Onde », 2^{ème} édition, 1986.
- [2] J. P. PEREZ. OPTIQUE « Fondements et Application», 1996.
- [3] Encyclopédie Universalis. Edition 2000.
- [4] V. RENVOISE, E. BELLANGER, R.GIRARDI, S. PAULI, B. PORTELLI, E. SAUDRAIS, « Physique PC-PC*. Cap prépa 2ème année-Cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés », 2010.
- [5] E. ARGENCE, Th. KAHAN : « Théorie des guides et cavités électromagnétique », 1963.
- [6] F. BOUBEKRI, S. CHIKHA AMARA, « Etude et dimensionnement d'un guide d'onde en arête à base du matériau (SiO_xNy) », Mémoire de master, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2014.
- [7] R. BOUDELAL « Etude de couplage d'un guide d'onde avec une fibre optique application Intégrée pour les télécommunications optique », Mémoire de master, 2010.
- [8] « Etude et simulation des guides optique », Mémoire de master, 2012.
- [9] F. Rezzag Bara « ETUDE DES MICRO-RESONATEURS A BASE DE POLYMERES UTILISÉS DANS UN FILTRE DES LONGUEURS D'ONDES », Mémoire de master, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2014.
- [10] « https://www.techniques-ingenieur.fr/ressources-documentaires/demande-d-informations/extract/confirmation.html?ctype=Treaty&pageId=42452210&lead_id=548826&key=05c0e628d9e108000dfb053bb688a7a2 » Sources de laser.

[11] S. AMMI « Etude d'un guide lumière à deux dimensions .Applications aux réseaux de diodes laser » Mémoire de magister, Université De Blida, 2001.

[12] H.C. CASEY – M.B. PANISH « Heterostructure Laser », Academic press, 1978.

[13] Z.MAKHLOUF « Etude classique et quantique de l'hétérojonction », Mémoire de master Université Med khider biskra, 2015.

[14] <https://www.comsol.fr/wave-optics-module>. Accédé le jeudi 28avril 2016.