

Université Kasdi Merbah - Ouargla -



Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'Electronique & Télécommunications

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option : Automatique

Présenté Par :

Rabah HACINI – Boubakeur HOUNI

-THEME -

**Étude de la biréfringence d'un guide d'onde
en arête à base du matériau (SiO_xN_y)**

Soutenu publiquement

Le : 08 / 06 / 2015

Jury :

Président :	Fouad CHEBBARA	M.C.B	Univ. Ouargla
Rapporteur :	Mohammed BOULESBAA	M.C.B	Univ. Ouargla
Examineur :	Anouar Essadatte AOUF	M.A.A	Univ. Ouargla
Examineur :	Boualem MEKIMAH	M.A.B	Univ. Ouargla

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements et notre Profonde reconnaissance à notre aimable encadreur Dr. Mohammed BOULESBAA 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.

Enfin nous remercions toute personne ayant de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce modeste travail et l'ensemble des enseignants qui ont assuré notre formation durant toutes ces années d'étude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mes très chers parents qui ont beaucoup sacrifié à mon bonheur.*

- ❖ *Mes très chères sœurs.*

- ❖ *Toute la famille : **HOUNI, BERROUBA***

- ❖ *Tous mes amis : Ibrahim, Adem, Yahia, Oussama, Youcef, Abdelgani*

- ❖ *Et à tous ceux qui m'ont encouragé au cours de mon étude.*

boubakeur

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

❖ *Mes très chers parents qui ont beaucoup sacrifié à mon bonheur.*

❖ *Mes très chères sœurs.*

❖ *Toute la famille : **HACINI, BEN MERIEM***

❖ *Tous mes amis : youcef, Lotfi, oussama, Oualid , Badri*

❖ *Et à tous ceux qui m'ont encouragé au cours de mon étude.*

rabah



Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale

Introduction générale :	1
-------------------------------	---

CHAPITRE I

Guides d'onde : théorie et principes

1. Introduction :	3
2. Optique :	3
3. Réflexion totale :	4
4. Guide d'onde :	6
4.1. Équations de Maxwell :	7
4.2. Modes d'un guide d'onde :	8
5. Types du guide d'ondes optique :	10
6. Principales méthodes de fabrication des guides :	12
7. Matériaux pour l'optique guidée :	14
7.1. Diélectriques :	14
7.2. Semi-conducteurs (SOI) :	15
8. Matériau utilisé « oxynitride de silicium » :	16
9. Guides d'ondes bidirectionnelles :	17
10. Guide d'onde monomode :	18
11. Insensibilité à la polarisation :	19
12. Fonctions des dispositifs à base de guide d'onde :	20
13. Conclusion :	21

CHAPITRE II

Présentation de l'outil de simulation "BeamProp"

1. Introduction :	22
2. Définitions :	22
2.1. Simulateur RSoftCAD :	22
2.2. Simulateur BeamProp :	23

3. Présentation générale du simulateur BeamProp :	23
3.1. Procédure d'installation du simulateur BeamProp :	23
3.2. Lancement du simulateur BeamProp :	24
3.3. Fenêtre principale du simulateur BeamProp :	24
3.4. Création d'un nouveau circuit :	25
4. Processus de fonctionnement du BeamProp :	27
5. Méthode BPM (Beam Propagation Méthode) :	28
6. Exigences et conséquences :	29
7. Conclusion :	30

CHAPITRE III

Etude de la biréfringence des guides d'ondes a base du matériau SiO_xN_y

1. Introduction :	31
2. Modélisation et conception :	31
3. Résultats et discussion :	32
3.1. Répartition des champs :	32
3.2. Etude de la biréfringence, pour différentes longueurs d'ondes (λ) :	34
3.2.1. Evolution de la biréfringence en fonction du W :	34
A) Pour $\lambda = 633 \text{ nm}$:	34
B) Pour $\lambda = 830 \text{ nm}$:	36
C) Pour $\lambda = 1550 \text{ nm}$:	37
3.2.2. Evolution de la profondeur de gravure D en fonction de W:	38
3.3. Etude de la biréfringence, pour différentes hauteur (H) :	39
3.3.1. Evolution de la biréfringence en fonction du W :	39
A) Pour $H = 1.4\mu\text{m}$:	39
B) Pour $H = 1.8\mu\text{m}$:	40
C) Pour $H=2.2 \mu\text{m}$:	42
D) Pour $H= 2.6\mu\text{m}$:	43
3.3.2 Variation du D en fonction de W, pour différentes hauteurs(H) :	44
4. Conclusion :	45

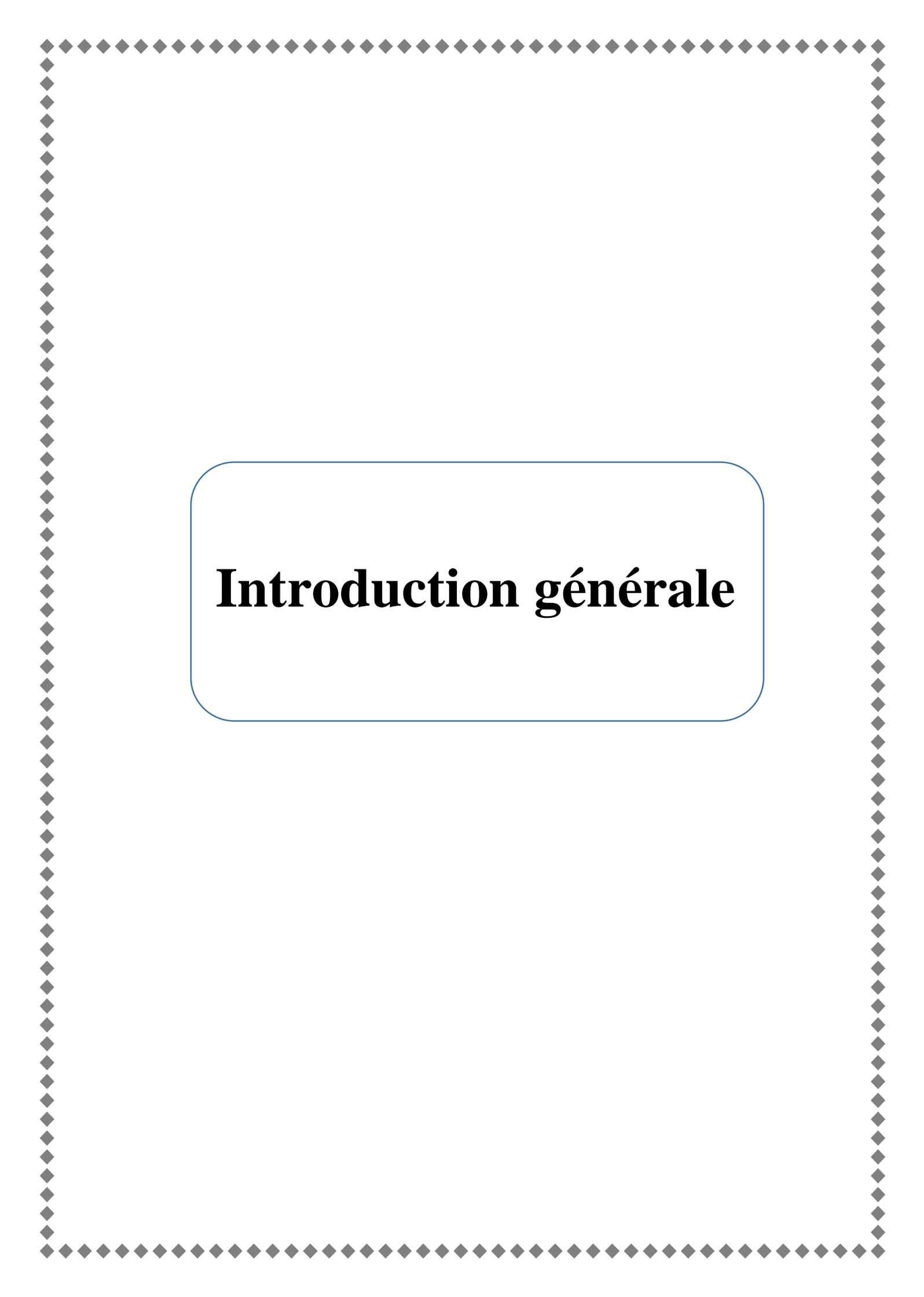
CHAPITRE IV

Etude de la condition d'un guide d'onde monomode

1. Introduction :	46
2. Dispositif de simulation :	46
3. Résultats de simulation:	48
3.1. Répartition des champs :.....	48
A) Mode fondamental (m=0) :.....	48
B) Mode 1 (m = 1) :.....	49
C) Mode 2 (m=2) :.....	50
3.2. Détermination de la dimension de coupure monomode/multimode :.....	50
A) Pour H=1.2 μm :.....	50
B) Pour H=1.6 μm :.....	51
C) Pour H=2.0 μm :.....	52
D) Pour H=2.1 μm :.....	53
4. Variation de la largeur de coupure (wc) en fonction de la hauteur (H) :.....	54
5. Conclusion :.....	55

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale :.....	56
Bibliographie :.....	57

A decorative border consisting of a grid of small, dark grey diamonds surrounds the entire page. In the center, there is a white rounded rectangle with a thin blue border.

Introduction générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, à la suite de la croissance rapide des services de l'internet et de la multimédia, la conception et le développement des nouveaux dispositifs de communication optique tels que les guides d'ondes, les filtres, les interféromètres, les miroirs et lentilles est le grand défi pour le réseau de télécommunication. L'optique intégrée est en pleine expansion, les développeurs de circuits d'optique intégrée essaient de faire coexister plusieurs fonctions de traitement optique sur une seule plateforme telles que le guidage, l'isolation et la modélisation du signal optique, en utilisant les mêmes processus que ceux exploités pour fabriquer les circuits électroniques.

Les guides d'ondes optiques peuvent être classifiés en deux grandes catégories à savoir : Les guides d'ondes à base des matériaux à faible contraste de l'indice de réfraction (par exemple : Silice dopé et LiNbO_3) et les guides à base des matériaux à fort contraste d'indice de réfraction (par exemple : InP). En général, dans chacun de ces deux catégories, il est difficile de satisfaire simultanément toutes les caractéristiques souhaitable des dispositifs optiques telles que : faible perte d'insertion, comportement de la polarisation indépendant, excellente efficacité de couplage fibre-guide d'onde et la haute densité d'intégration. Les guides à faible contraste offrent une bonne efficacité de couplage fibre-guide d'onde, cependant les dimensions de canal des guides d'ondes monomode sont généralement larges.

Donc, l'inconvénient majeur de ce type est de faible densité d'intégration. Néanmoins, les guides à fort contraste offrent un fort confinement de la lumière dans de petites dimensions.

Par conséquent, permet une densité d'intégration de ces dispositifs optiques dans une puce de très petite dimension, mais il est difficile d'obtenir une excellente efficacité de couplage fibre-guide d'onde.

Aujourd'hui, le matériau SiO_xN_y a été largement employé dans les différents dispositifs de l'optique intégrée comme dans les guides d'ondes optiques [1, 2, 3]. L'utilisation de ce matériau dans ces dispositifs a été principalement motivée par leurs excellentes propriétés optiques, tels que la haute transparence et des faibles pertes d'absorption dans la gamme de longueur d'onde du visible et proche infrarouge. De plus, l'indice de réfraction de ces films peuvent être varié facilement sur une large gamme de 1.45 (SiO_2) à 2 (Si_3N_4). Cette grande flexibilité pour choisir l'indice de réfraction est ajouté à l'attractivité de ce film pour utiliser dans

les dispositifs de la télécommunication tel que : la géométrie du guide d'onde optique en arête [4, 5].

Les guides d'ondes optiques en arête à base de silicium (SiO_2 , Si_3N_4 et SiO_xN_y) sont les éléments clef des dispositifs de l'optique intégrée. Donc, la modélisation et la simulation des différentes géométries des guides d'ondes sont devenue très importante avant la fabrication des dispositifs de l'optique intégrée. Pour cela, on s'intéresse à l'étude de l'influence des paramètres géométriques de guide d'onde optique en arête à base de matériau SiO_xN_y sur la réalisation de la condition de l'accord de phase $\Delta n=0$ (biréfringence nulle), et l'étude de la condition d'obtention de caractère monomode du guide d'onde SiO_xN_y , afin de limiter les pertes d'information.

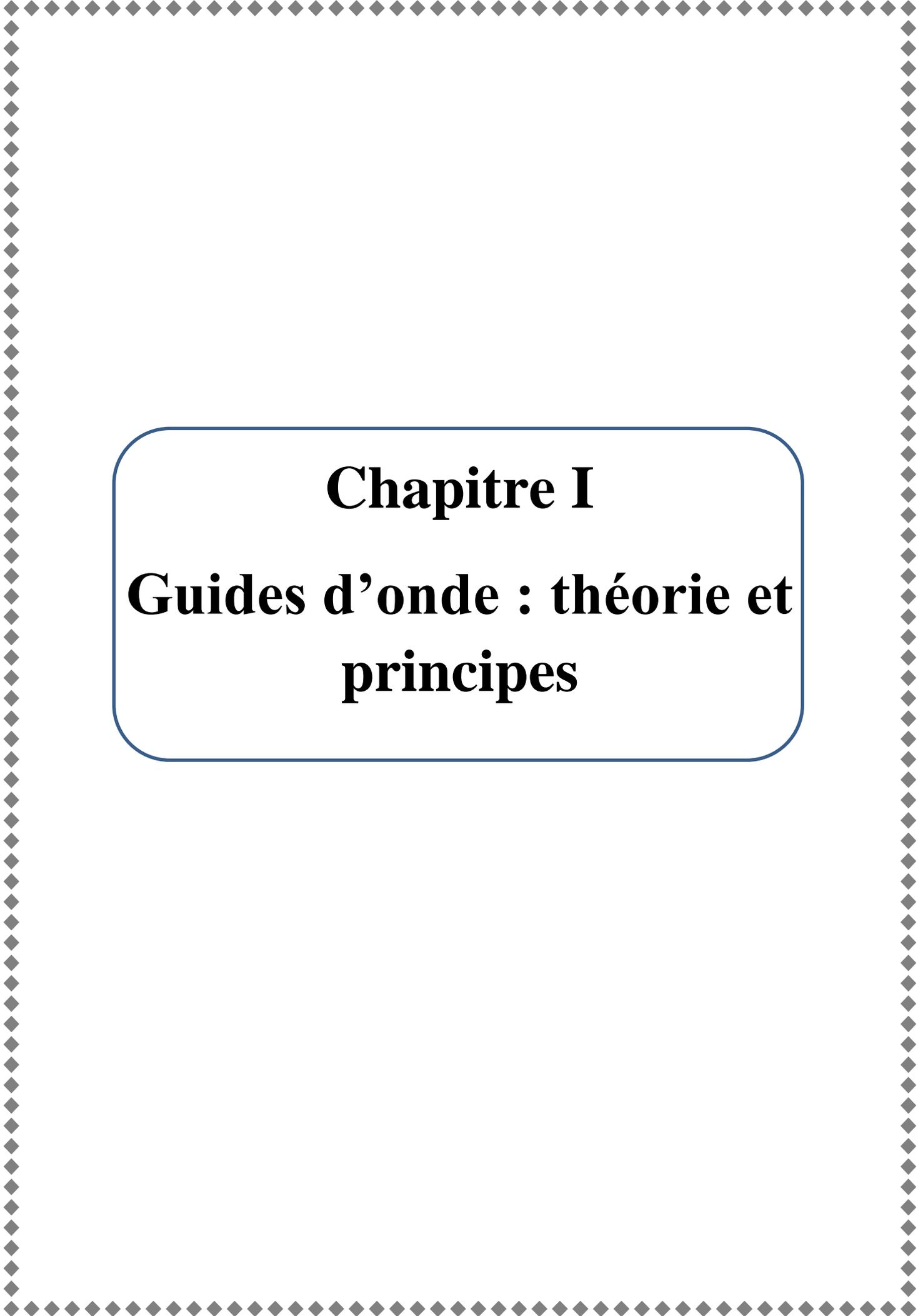
Notre travail est structuré en quatre chapitres comme suit :

Le premier chapitre présente l'optique et la théorie de la propagation de la lumière, les différents types de guide d'ondes (planaires et bidirectionnels.....), ainsi que le principe de base du guidage de la lumière et ondulatoire en mettant en évidence les équations de Maxwell et leurs solutions, et les diverses applications des guides d'ondes

Dans le deuxième chapitre, on va présenter l'outil de simulation que nous allons employer dans notre travail.

Les différents résultats de simulation que nous avons trouvés avec leurs interprétations seront exposés dans les derniers chapitres 3 et 4.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre I
Guides d'onde : théorie et principes

Guides d'onde : Théorie et Principes

1. Introduction :

Le guide d'onde optique est un des fondements du développement de l'optique intégrée dans divers domaines, comme la communication optique, le traitement du signal optique, ou l'informatique optique. Dans ce chapitre, Nous allons présenter, les différentes lois qui gouvernent le guidage de la lumière dans un milieu confinés, les diverses structures des guides d'ondes optiques utilisés dans l'optiques intégrée .Enfin, une description détaillée de l'influence de la géométrie sur les ondes guidées sera présentée.

2. Optique :

L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière et de ses propriétés, du rayonnement électromagnétique, de la vision ainsi que les systèmes utilisant ou émettant de la lumière. Du fait de ses propriétés ondulatoires, le domaine de la lumière peut couvrir le lointain UV jusqu'au lointain IR en passant par les longueurs d'onde visibles. Ces propriétés recouvrent alors le domaine des ondes radio, micro-ondes, des rayons X et des radiations électromagnétiques.

Historiquement, l'optique, apparaît dès l'Antiquité, puis est développée par les érudits musulmans dont des Perses. Elle est d'abord géométrique. *Ibn al-Haytham* (965-1039), scientifique perse, connu par les occidentaux sous le nom d'*Alhazen* est considéré comme le père de l'optique moderne, de la physique expérimentale et de la méthode scientifique [7, 8, 9,10]. Une traduction latine d'une partie de ses travaux, le traité d'optique [11], a exercé une grande influence sur la science occidentale.

L'optique géométrique propose une analyse de la propagation de la lumière basée sur des principes simples : la propagation rectiligne et le retour inverse. Elle a pu expliquer les phénomènes de la réflexion et de la réfraction. Elle s'est perfectionnée jusqu'au XVIIIe, où la découverte de nouveaux phénomènes, tels que la déformation de la lumière au voisinage d'obstacles ou le dédoublement de la lumière lors de la traversée de certains cristaux, a conduit au XIXe siècle au développement de l'optique physique ou ondulatoire. L'optique

physique considère la lumière comme une onde ; elle prend en compte les phénomènes d'interférence, de diffraction et de polarisation.

Au début du XXe siècle les théories d'Einstein sur la nature corpusculaire de la lumière donneront naissance au photon et à l'optique quantique. Les physiciens sont alors contraints d'admettre que la lumière présente à la fois les propriétés d'une onde et d'un corpuscule. À partir de là, Louis de Broglie considère, au travers de la mécanique ondulatoire, que si le photon peut se comporter comme un corpuscule, alors, à l'inverse, les corpuscules tels que les électrons ou les protons peuvent se comporter comme des ondes.

L'optique géométrique introduite par *Alhazen* s'est développée sur la base d'observations simples et repose sur deux principes et des lois empiriques :

- la propagation rectiligne dans un milieu homogène et isotrope
- le principe du retour inverse qui exprime la réciprocité du trajet lumineux entre source et destination
- les lois de *Snell-Descartes* pour la réflexion et la réfraction.

La résolution des problèmes se fait à l'aide de constructions géométriques (tracés de droites matérialisant les rayons, calculs d'angles), d'où le nom d'optique géométrique. Elle donne de bons résultats tant que l'on ne cherche pas à modéliser des phénomènes liés à la polarisation ou aux interférences et qu'aucune dimension du système n'est comparable ou inférieure à la longueur d'onde de la lumière utilisée. L'optique géométrique permet de retrouver la quasi-totalité des résultats concernant les miroirs, les dioptrés et les lentilles ou leurs combinaisons en doublet et systèmes optiques constituant notamment les instruments d'optique. De plus, dans le cadre de l'approximation de *Gauss*, l'optique géométrique donne des relations mathématiques linéaires permettant l'usage d'outils mathématiques tels que les matrices et la systématisation des calculs par ordinateur.

3. Réflexion totale :

En optique géométrique, le phénomène de réflexion totale survient lorsqu'un rayon lumineux arrive sur la surface de séparation de deux milieux d'indices optiques différents avec un angle d'incidence supérieur à une valeur critique : il n'y a alors plus de rayon réfracté transmis et seul subsiste un rayon réfléchi [12].

Ce phénomène n'intervient que lorsque le rayon lumineux incident se trouve dans un milieu d'indice de réfraction plus grand que l'éventuel rayon réfracté : réfraction de type verre/air par exemple. Ce phénomène est à la base des communications par fibre optique [12].

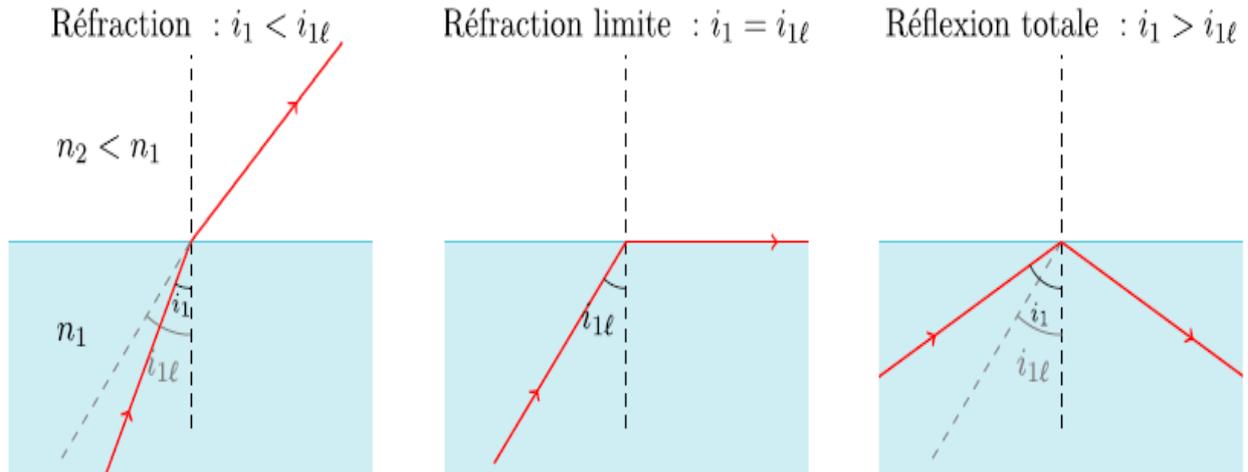


Fig. I.1 : Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux.

3.1. Principe de propagation rectiligne :

Dans un milieu transparent, isotrope et homogène, la lumière se propage en ligne droite.

3.2. Principe de retour inverse de la lumière :

Si l'on inverse son sens de propagation, un rayon lumineux suit le même chemin.

3.3. Principe d'indépendance des rayons lumineux :

Aucune interaction n'existe entre deux rayons lumineux, un rayon ne peut pas dévier un autre.

Homogène : Les propriétés physiques sont les mêmes en tout point du milieu.

Isotrope : Les propriétés physiques sont les mêmes dans toutes les directions.

Physiquement, l'indice de réfraction d'un matériau est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et sa vitesse dans le matériau (v).

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Les lois de *Snell-Descartes*, issues des conditions de passage, imposent :

$$\theta_1 = \theta_r \quad (2)$$

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (3)$$

La réflexion totale est définie pour $\theta_2 = 90^\circ$, on peut constater que la valeur critique θ_c de θ_1 est :

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (4)$$

La réflexion totale est donc obtenue pour la condition suivante :

$$\theta_c \leq \theta_1 \leq \pi/2 \quad (5)$$

4. Guide d'onde :

Le premier guide d'onde fut proposé par Joseph John Thomson en 1893 et vérifié expérimentalement par *Oliver Lodge* en 1894. L'analyse mathématique de la propagation d'ondes à l'intérieur d'un tube métallique fut menée à bien par *John Rayleigh* en 1897 (*McLachan*, 1947.)

Un guide d'onde est un système physique qui sert à guider les ondes électromagnétiques ou les ondes acoustiques, pour les maintenir confinées dans un milieu particulier, sur une certaine distance [13].

Les notions de propagation guidée et d'ondes guidées se rencontrent notamment en physique, en optique et en télécommunication, à des échelles métriques, centimétriques ou bien plus petites (dans certains circuits intégrés par exemple).

En pratique un guide d'onde est un dispositif autrefois toujours métallique, aujourd'hui éventuellement constitué de polymères, permettant la propagation d'onde par réflexions multiples à la manière d'une fibre optique [14].

Les guides d'onde optiques sont des guides diélectriques qui confinent et guident la lumière. Les guides d'onde diélectriques sont basés sur le principe de la réflexion interne totale

où le signal est confiné optiquement pour une région de haut indice de réfraction entouré par un revêtement de l'indice de réfraction inférieur. Récemment, le guide d'onde emploie généralement des géométries planaires de dimensions nanométriques et de matériau 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.

4.1. Équations de Maxwell :

La propagation de la lumière est un phénomène électromagnétique qui est gouvernée par les équations de Maxwell.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (6)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (7)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (9)$$

\vec{E} est l'intensité du champ électrique en v/m, \vec{H} l'intensité du champ magnétique en A/m, \vec{B} est l'induction magnétique en tesla, \vec{D} est le déplacement électrique, \vec{J} est la densité du courant électrique et ρ la densité de charge. \vec{D} , \vec{B} et \vec{J} sont définis par :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \vec{B} = \mu \vec{H} \quad \vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (10)$$

La permittivité ϵ du milieu est représentée par l'équation : $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ avec ϵ_0 la permittivité de l'espace libre et ϵ_r la permittivité relative du milieu. La perméabilité magnétique μ du milieu est donnée par $\mu = \mu_0 \mu_r$ avec μ_0 la perméabilité de l'espace libre et μ_r est la perméabilité relative du milieu. Dans le cas d'un guide d'onde diélectrique, μ_r est généralement considéré pour avoir une valeur d'unité, qui implique la continuité du champ magnétique à travers la limite. La conductivité σ du milieu est généralement considérée nulle d'ici J sera supposé également nulle.

4.2. Modes d'un guide d'onde :

En fonction de la polarisation, l'onde électromagnétique peut être classifiée en deux modes : le mode transverse électrique (TE) et le mode transverse magnétique (TM). Dans le cas d'un guide de mode TE, le champ électrique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($E_z=0$), de même pour le guide de mode TM, le champ magnétique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($H_z=0$).

La figure (I.2) représente le diagramme d'un matériau de trois couches avec différents indices de réfraction [15], afin de déterminer la dispersion des deux modes TE et TM. Pour guider la lumière, des conditions doivent être respectées : comme la différence entre les indices de réfraction des matériaux du film guidant et la couverture et du substrat doit être suffisamment élevée pour préserver les conditions de réflexion totale.

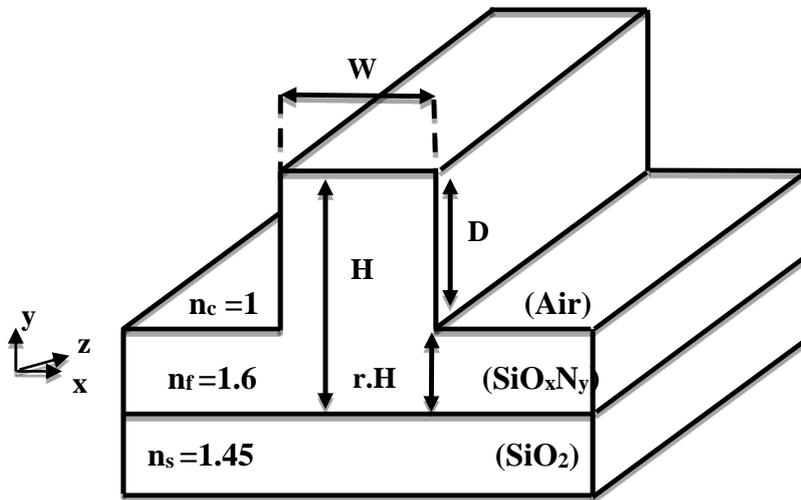


Fig. I.2 : Diagramme d'un matériau de trois couches avec différents indices de

Avec : n_c : couche de couverture, n_f : couche guidante et n_s : couche de substrat.

A partir de la résolution des équations de Maxwell, l'équation d'onde de chacun de ces modes s'écrit :

Pour le mode transverse électrique (TE) :

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (n^2 k^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (11)$$

Pour le mode transverse magnétique (TM) :

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + (n^2 k^2 - \beta^2) H_y = 0 \quad (12)$$

Les solutions de ces équations sont des ondes planes, se déplaçant à la vitesse v , déterminée par la constante diélectrique ϵ et la permittivité magnétique μ du matériau :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} = \frac{c}{n} \quad (13)$$

Où c est la vitesse de la lumière dans le vide, et n l'indice de réfraction du milieu. On peut alors réécrire les équations (11) et (12) comme suit :

La résolution de l'équation d'onde montre que le champ a une répartition transverse oscillatoire dans le film mince est évanescence ailleurs :

$$E_y(x) = A \exp\left(x\sqrt{\beta^2 - k^2 n_c^2}\right) \quad x \leq 0 \quad (14)$$

$$E_y(x) = B \cos\left(x\sqrt{k^2 n_f^2 - \beta^2}\right) \quad 0 \leq x \leq h \quad (15)$$

$$E_y(x) = C \exp\left(-(x-h)\sqrt{\beta^2 - k^2 n_s^2}\right) \quad x \geq h \quad (16)$$

A partir de ces équations, il est possible de retrouver les équations de dispersion des deux modes TE et TM :

Pour le mode TE :

$$w \sqrt{k^2 n_f^2 - \beta_{TE}^2} - \arctan\left[\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_c^2}{k^2 n_f^2 - \beta_{TE}^2}\right] - \arctan\left[\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_s^2}{k^2 n_f^2 - \beta_{TE}^2}\right] = m\pi \quad (17)$$

Pour le mode TM :

$$w \frac{n_s}{n_c} \sqrt{k^2 n_f^2 - \beta_{TM}^2} - \arctan\left[\frac{n_f^2}{n_c^2} \frac{\beta_{TM}^2 - k^2 n_c^2}{k^2 n_f^2 - \beta_{TM}^2}\right] - \arctan\left[\frac{n_f^2}{n_s^2} \frac{\beta_{TM}^2 - k^2 n_s^2}{k^2 n_f^2 - \beta_{TM}^2}\right] = m\pi \quad (18)$$

Où : w est la largeur de la couche guidante et n_f son indice de réfraction, β_{TE} et β_{TM} sont les constantes de propagation des ondes TE et TM respectivement, k est le nombre d'onde, $k=2\pi/\lambda$ (λ : longueur d'onde), n_c et n_s sont les indices de réfraction du superstrat ou couverture et du substrat et m est le numéro du mode. Ces équations peuvent être résolues par différentes méthodes analytiques ou numériques ou bien directement par des simulateurs appropriés. Les formules (11) et (12) montrent que la constante de propagation ne peut prendre que des valeurs décrites parce que m est un entier. A une valeur de m correspond une seule valeur effective de

βm , donc un seul mode TE. Tout se passe comme si l'indice de la couche guidante vu par le mode est : $n_{\text{eff}} = \beta m / k_0$ que l'on appelle l'indice effectif.

Pour chaque valeur de m , il existe une valeur minimale de w , appelée largeur de coupure est notée $w_c^m(K)$, correspond à l'apparition du mode m guidé.

Si $w < w_c^0$ (L les équations (11) et (12) n'ont pas de solution et le guide ne permet pas la propagation de la lumière.

Si $(w_c^0 < w < w_c^1)$ les équations (11) et (12) ont de solution et le guide est monomode.

Si $(w_c^1 < w < w_c^2)$ le guide est bimode.

5. Types des guides d'ondes optique :

Un guide d'ondes optique est défini comme une structure permettant de confiner et de guider de la lumière. En principe, l'effet de confinement dans un guide donne lieu à de grandes densités d'énergie pour de faibles puissances de pompe. Cela ouvre la voie par exemple à la réalisation de lasers avec un seuil d'émission très bas.

Il existe différentes types de géométries de guides optiques :

5.1. Guide d'onde planaire :

Le guide d'onde planaire est généralement représenté par un milieu diélectrique d'épaisseur h et d'indice n_f , limitée de part et d'autre par un substrat et un superstrat (en général l'air), d'indices respectifs n_s et n_c , inférieurs à n_f .

La lumière se propage préférentiellement dans la couche d'indice de réfraction n_g 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 . La lumière est confinée selon l'axe vertical (x) et se propage dans la direction (z). De fait de l'invariance de cette structure dans la direction (y), la lumière ne peut être confinée dans cette direction [16].

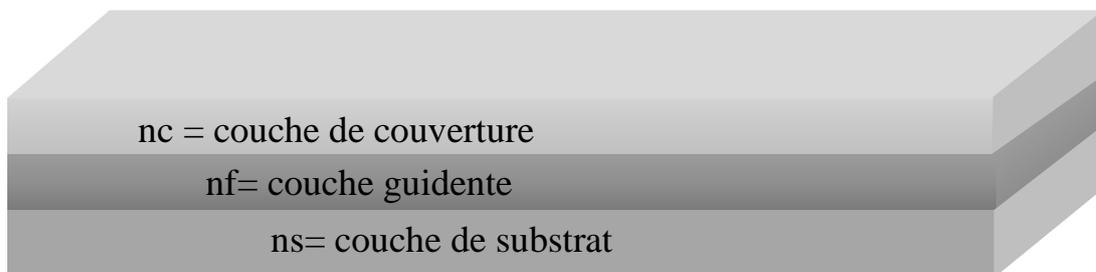


Fig.I.3 : Représentation graphique d'un guide d'onde planaire.

5.2. Guide d'onde rectangulaire :

Le guide d'onde rectangulaire est constitué de quatre parois conductrices (généralement parfaits) comme illustré sur la figure (I.4). Donc, ce type de guide d'onde possède une section conductrice fermée, donnant la forme d'un conducteur simple et creux.

Le guide d'onde rectangulaire est définie transversalement (selon x) par la largeur a et verticalement (selon y) par l'épaisseur b . Un diélectrique-souvent de l'air-remplit l'intérieur du conducteur creux. La lumière se déplace dans le diélectrique, mais il est confiné dans l'espace par les quatre parois conductrices. L'axe (z) définit toujours la direction de la propagation [17].

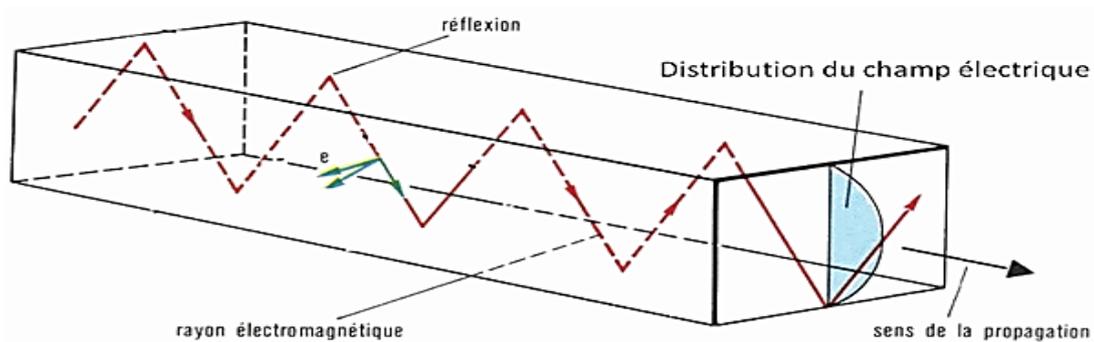


Fig I.4 : Représentation graphique d'un guide d'onde rectangulaire.

5.3. Fibre optique :

Une fibre optique est un guide d'onde optique à symétrie circulaire telle que schématisée sur la figure (I.5). Ce guide est constitué de deux ou plusieurs couches de matériaux diélectriques transparents (verre de silice ou plastique) d'indices de réfraction différents assurant le confinement de la lumière au voisinage du centre. Elle présente des meilleures qualités de transmissions et elle permet de faire passer un très grand nombre d'information (large bande passante). On peut avoir plusieurs canaux de transmission simultanément sur une fibre [18].

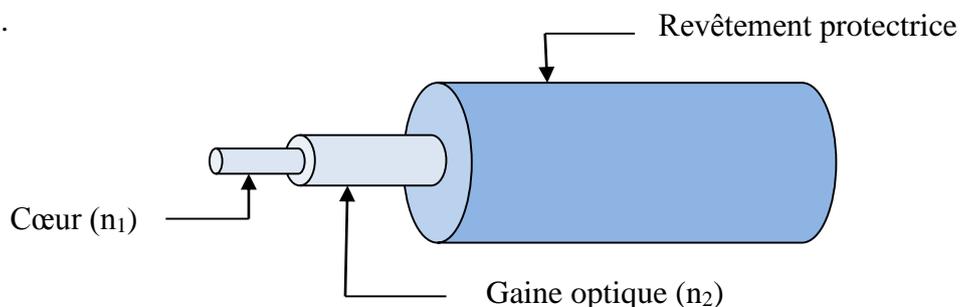


Fig. I.5 : Représentation graphique d'une fibre optique.

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine *Corning Glass Works* (actuelle *Corning Incorporated*).

5.4. Guide d'onde diffusé :

Nous représentons sur la figure (I.6) le schéma de principe d'un guide d'onde de type diffusé. Ce type de guide définit par une région de substrat semi-infinie $y < 0$ d'indice de réfraction n_0 , une petite couche enfoncée dans le substrat d'indice de réfraction $n_0 + \Delta n$ et une région supérieure de couverture semi-infinie $y > 0$ d'indice de réfraction n_c [19].

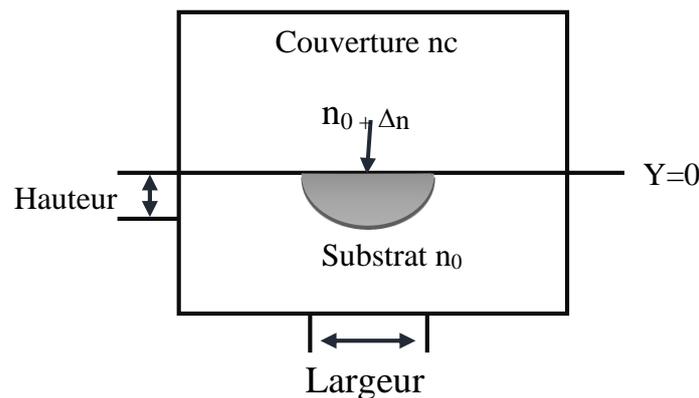


Fig.I.6 : Représentation graphique d'un guide d'onde diffusé.

6. Principales méthodes de fabrication des guides d'ondes :

Il existe plusieurs méthodes de fabrication des guides d'ondes optiques intégrées monomodes à base de verres chalcogénures pour l'infrarouge telles que la photoinscription, le photodopage à l'argent, l'implantation ionique, le thermomoulage, les fibres monomodes enterrées ou encore la méthode retenue à savoir la méthode dite « d'empilement et gravure de couches » [20].

6.1. Photoinscription :

Les changements photo-induits des propriétés optiques (changement d'indice de réfraction) des verres chalcogénures sont à la base de la réalisation de guides d'onde par photoinscription. Cette méthode consiste à illuminer, à une longueur d'onde appropriée, un

endroit spécifique de la surface de la couche ou du massif afin de changer son indice de réfraction. L'amplitude du changement de l'indice (n) dépend du temps d'exposition aux radiations mais la forme et l'épaisseur du guide ne sont pas bien définies. Cette méthode présente l'avantage de ne pas avoir besoin d'une étape préliminaire de masquage des couches (photolithographie) et a déjà fait ses preuves pour les verres à base de soufre et de sélénium [20].

6.2. Dopage à l'argent :

Cette méthode consiste à augmenter l'indice de réfraction de la couche par dopage de la couche avec de l'argent. La diffusion de l'argent peut être activée par illumination grâce à un laser. Une autre procédure consiste à activer thermiquement la diffusion de l'argent. La profondeur de diffusion de l'argent est difficilement contrôlable tout comme la différence d'indice obtenue [20].

6.3. Implantation ionique :

L'implantation ionique consiste à implanter des ions dans un matériau afin de changer ses propriétés notamment optiques (augmentation de l'indice de réfraction). La profondeur de pénétration des ions dépend de la nature du matériau implanté, de la nature de l'ion et de l'énergie d'accélération. Cette technique est surtout utilisée pour de faibles changements de propriétés car limités par l'énergie d'accélération des ions [20].

6.4. Thermomoulage :

Cette méthode consiste à réaliser un motif par pression après chauffage, sur une couche ou un substrat à partir d'un moule de géométrie appropriée [20].

6.5. Fibre enterrée monomode :

La première étape dans la fabrication d'une fibre monomode enterrée est la réalisation d'une « préforme » : c'est-à-dire d'un barreau du matériau retenu pour le cœur de la fibre d'un diamètre de plusieurs centimètres. La seconde étape consiste à placer la préforme en haut d'une tour de fibrage. L'extrémité de cette préforme est alors chauffée dans un four porté à une température jusqu'au « ramollissement » du matériau. La préforme est alors transformée en une fibre de plusieurs centaines de mètres, à une vitesse de fibrage adaptée au diamètre de fibre désiré. La dernière étape consiste à entourer la fibre de cœur d'une gaine (substrat ayant un

indice de réfraction permettant le guidage monomode de la structure) par pression dans un four [20].

6.6. Empilement de couches et gravure :

Cette technique consiste à déposer une ou plusieurs couches de verres chalcogénures sur un substrat qui peut être soit un wafer silicium soit un verre chalcogénure. La couche de cœur est ensuite gravée pour obtenir un confinement bidimensionnel de la lumière [20].

7. Matériaux pour l'optique guidée :

Divers types des matériaux peuvent être utilisée pour guider la lumière. Parmi les critères de sélection, on trouve :

A/ L'atténuation de la lumière guidée se propageant dans un matériau donné : Elle doit être la plus faible possible.

B/ Le degré de confinement exprimé par la différence Δn entre l'indice de réfraction de la couche guidante et les indices des couches de confinement : Chacun de ces guides, à faible ou à fort Δn , possède des avantages et des inconvénients en terme de pertes de propagation ou de pertes par couplage à travers les couches de confinement. Les guides monomodes à faible valeur de Δn sont bien adaptés pour le couplage guide-fibre optique. Les guides à fort Δn permettent quant à eux la réalisation de guides courbés à faible rayon de courbure, ce type de guide peut être utilisé pour établir des connexions optiques dans les circuits intégrés à haute densité d'intégration [21].

On présente rapidement dans ce paragraphe les principaux matériaux de base pour l'optique intégrée, à savoir les diélectriques et les semi-conducteurs.

7.1. Diélectriques :

Les diélectriques (SiO_2 , Si_3N_4 , SiO_xN_y) déposés sur silicium permettent de réaliser des guides optiques à faibles pertes de propagation. Selon la nature de la couche guidante, on peut avoir une faible différence d'indice et ainsi conserver des guides épais tout en conservant le caractère monomode. Par contre, on peut par exemple déposer une couche de nitrure de silicium ($n_f=2$) sur la silice ($n_s=1.5$) et assurer un fort Δn .

Cependant, les diélectriques ont le désavantage de ne conduire qu'à la réalisation de composants passifs. Il est vrai qu'une perturbation des indices de réfraction d'origine thermique

peut les rendre actifs mais en pratique les temps de réponse restent longs (de l'ordre de la ms) [21 ,22].

7.2. Semi-conducteurs (SOI) :

Dans la famille des semi-conducteurs, le silicium, qui est l'élément incontournable de la microélectronique, prend une importance croissante en optoélectronique dans la mesure où on essaye de profiter de son faible coût et de sa maîtrise technologique en microélectronique, en même temps que de ses propriétés physique et électronique [23].

Une solution envisageable pour l'optique intégrée qui constitue la base des composants étudiés dans ce mémoire, est le silicium sur isolant, communément appelé SOI (**Silicon-On-Insulator**). Le substrat SOI est constitué d'un substrat de silicium, d'une couche de silice enterrée sous une couche de silicium cristallin formant un guide d'onde naturel aux longueurs d'onde des télécommunications optiques

Le film de silicium d'indice $n_{Si} = 3.47564$ à la longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, est situé entre la couche de silice enterrée d'indice $n_{SiO_2} = 1.44404$ à la même longueur d'onde et l'air d'indice $n_{air} = 1$ ou une couche de silice de passivation (n_{SiO_2}). Le film de silicium apparaît donc comme la couche active de la structure.

La grande différence d'indice entre la silice de passivation (ou l'air) et le silicium assure un très fort confinement du champ électromagnétique dans la zone de haut indice, ce qui permet de diminuer les dimensions latérales du guide jusqu'à des dimensions submicroniques, en utilisant les technologies classiques développées en microélectronique. On peut aussi concevoir de la même façon des virages de faible rayon de courbure, c'est à dire de quelques microns.

Le SOI permet donc l'intégration monolithique de fonctions électriques et optiques sur un même substrat et avec une grande densité d'intégration. La technologie SOI a ouvert la voie à la réalisation de circuits optiques intégrés sur silicium de meilleure qualité optique et de faible coût de fabrication [23].

Le tableau (I.1) représente quelques types des matériaux utilisés dans l'optique guidée avec leurs propriétés, techniques de fabrication et domaines d'application.

Matériaux	Propriétés	Fabrication	Avantages	Application
SiO ₂ : Si		Oxydation thermique, CVD, FHD.		Dispositifs passive (Coupleurs, MUX) Capteurs, Filtres
Lithium niobate	Electro-optique Acousto-optique Non-linéaire. Biréfringence	Diffusion métallique, Proton exchange		Interrupteurs, Modulateurs
(InPGaAs)	Electro-optique	Growth Epitaxie	Haute niveau d'intégration	Détecteurs
Polymère	Electro-optique Thermo-optique		Large gamme des propriétés physiques	Capteurs

8. Matériau utilisé « oxynitrides de silicium »

Les oxynitrides de silicium (SiO_xN_y) ont été préparés en remplacement du nitrure dans le but d'obtenir des matériaux avec de plus faibles contraintes, une meilleure stabilité thermique et une meilleure résistance à la fissuration tout en conservant un haut pouvoir de diffusion aux impuretés [24].

Grâce à leur grande variation de composition entre le nitrure et l'oxyde de silicium, ces matériaux sont utilisés dans plusieurs domaines. Avec leur variation importante d'indice selon la composition, ils sont de bons candidats pour la réalisation des couches antireflet, des miroirs à haute réflectivité et des guides d'ondes. En microélectronique, ils sont utilisés comme isolants intermétalliques et isolants de passivation. On envisage aussi qu'ils puissent remplacer l'oxyde de silicium en tant que diélectrique de grille dans les structures de type MOS (MetalOxide Semi-conductor) et la réalisation de transistors à effet de champ (FET pour Field Effect Transistor). Les couches minces d'oxynitride de silicium à faibles contraintes mécaniques auront certainement un rôle important à jouer dans les technologies d'intégration tridimensionnelle dont les différentes étapes devront se faire à température modérée pour dégrader le moins possible les différents niveaux du dispositif. On peut trouver d'autres domaines d'application aux couches minces d'oxynitrides de silicium. Par exemple, Y. Cros et al. ont réalisé des capteurs chimiques (ISFET pH) dont la réponse est de 45 mV par unité de pH. L'emploi de ces matériaux est aussi envisagé pour la protection de métaux en raison de leurs hautes qualités en tant que barrière de diffusion et plus généralement en tant que revêtement en raison de leur dureté et de leur excellente tenue mécanique [24].

9. Guides d'ondes bidirectionnels :

Un guide d'onde plan présente généralement peu d'intérêt en optique intégrée car la lumière diverge transversalement lors de sa propagation. Il restreint le mode latéralement d'où la réalisation des guides à deux dimensions.

Avec la technologie actuelle, il est aisé de réaliser un confinement latéral en utilisant un guide bidirectionnel. On appelle un guide bidimensionnel un guide d'onde de section constante invariante en z et dont la permittivité varie dans la section. Les modes TE et TM n'existent pas au sens strict pour un guide d'onde bidirectionnel. Néanmoins il y a toujours deux familles de solutions qu'on désigne par les termes quasi-TE et quasi-TM. Les premières ont la composante majoritaire du champ électrique parallèle au substrat, et les secondes ont la composante majoritaire du champ magnétique parallèle au substrat.

On peut distinguer deux types de guides bidirectionnels :

A/ Un guide d'onde ruban : c'est un guide de silicium (Si) enterré dans de la silice (SiO_2). Il est obtenu par une gravure totale du film de silicium autour d'une bande définissant la dimension latérale du guide figure I-7 (a)

B/ Un guide d'onde en arête : il est obtenu par une gravure partielle du film de silicium révélant une partie du guide rectangulaire figure I-7 (b)

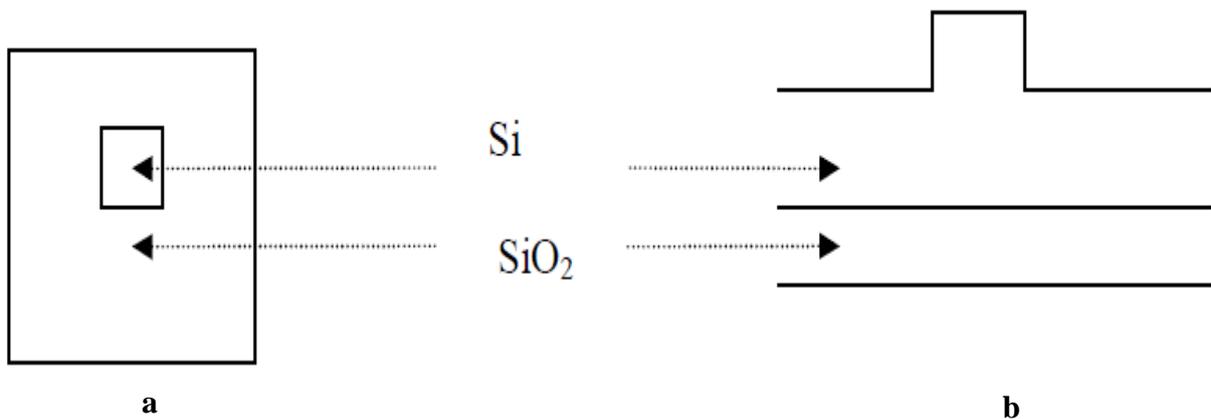


Fig.I.8 : Représentation graphique d'un guide d'onde bidirectionnel.

10. Guide d'onde monomode :

Si le guide est multi mode, il y a plusieurs groupes de rayons, appelés « modes propres du guide » qui se propagent avec des vitesses variables dans le guide, c'est pour cela qu'on cherche fabriquer un guide monomode, où un seul mode de propagation est excité par la lumière. Pour obtenir le caractère monomode, certaines conditions sont à respecter, et la différence d'indice entre les matériaux du film et ceux de couverture et de substrat doit être suffisamment élevée pour préserver les conditions de réflexion totale.

La géométrie du guide d'onde en arête est la suivante figure I-9 :

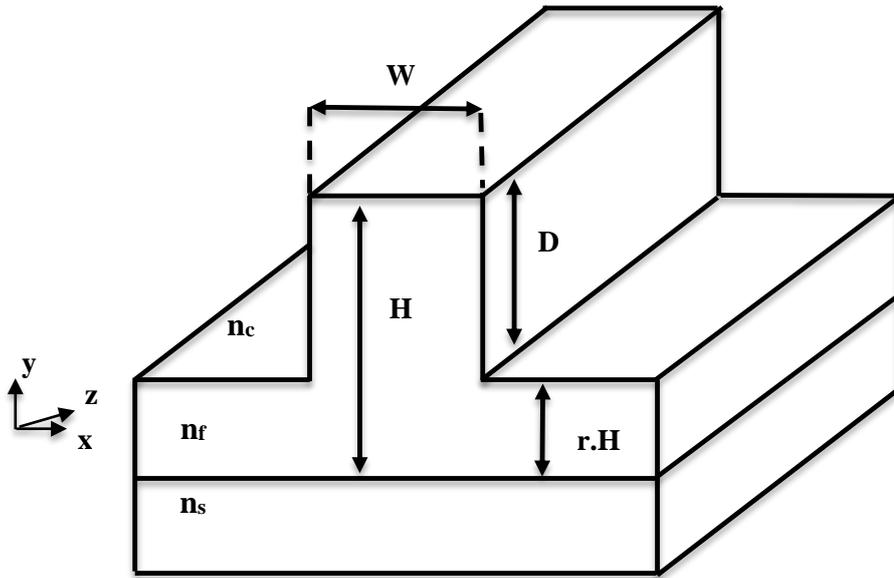


Figure (I.9) : Géométrie du guide d'onde en arête

Où :

W : est la largeur du guide.

H : est la hauteur du guide

r : Le paramètre de gravure

D'après Soref et al, les conditions concernant les dimensions physiques du guide pour qu'il soit monomode sont données par :

$$\frac{W}{H} \leq 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et} \quad 0.5 \leq r \quad (19)$$

Ce qui conduit à l'égalité :

$$\frac{W_m}{H} = 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et } 0.5 \leq r \quad (20)$$

Où W_m représente la largeur minimum de l'arête.

Cette formule a été établie pour des "grands" guides de l'ordre de plusieurs microns de hauteur et dont la seule contrainte est d'être monomode [24].

11. Insensibilité à la polarisation :

11.1. Différentes polarisations d'une onde électromagnétique

Il existe deux polarisations pour une onde se propageant dans la direction x :

- La polarisation TE (composante du champ E_z nulle), la seule composante du champ électrique non nulle se situe dans le plan transverse (E_y).

- La polarisation TM si la composante du champ axial H_z est nulle, puisque le champ magnétique a seulement une composante transverse.

11.2. Notion d'indice effectif et d'indice de groupe :

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.

L'indice de groupe n_g représente l'indice de propagation de la superposition d'ondes se propageant dans une impulsion lumineuse, non purement monochromatique, dont les longueurs d'onde sont situées autour d'une longueur d'onde centrale. Il est donné par :

$$n_g = n_{eff} - \lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial \lambda} \quad (21)$$

Où λ est la longueur d'onde à laquelle est étudié l'indice effectif n_{eff} .

11.3. Biréfringence d'indice effectif et d'indice de groupe :

S'il y a deux modes TE et TM qui se propagent dans le même guide d'onde, en générale indices effectifs de ces deux modes sont différents. Cette différence d'indice $\Delta n_{eff} = n_{eff}^{TE} - n_{eff}^{TM}$ est appelée biréfringence. Elle peut être d'indice de groupe ou d'indice effectif

suivant l'indice étudié. Si $\Delta n_{eff} = 0$ on peut conclure que la polarisation n'a pas d'influence sur la propagation, le guide est dit insensible à la polarisation [24].

Plus la valeur de la biréfringence est élevée plus les vitesses de propagation de ces modes sont différentes. Il y a alors un étalement temporel de l'impulsion lumineuse avec la distance, parcourue par le paquet d'ondes. Il y a donc une limitation du débit d'information car cette modification temporelle du signal peut entraîner une superposition de différentes impulsions et une perte totale de l'information [24].

12. Fonctions des dispositifs à base de guide d'onde :

Comme déjà mentionnés préalablement, tous les types des guides d'ondes réalisent la même tâche laquelle confinés et guidés la lumière au sien d'un processus de block ou dispositif. A part de la fonction principale de confiner et guider la lumière, ils existent plusieurs d'autres éléments tâches ou fonctions de base que peuvent réalisent par les guides d'onde somme.

12.1. Filtres/rélecteurs :

Ces dispositifs permettent également d'effectuer la tâche de réflexion de la lumière dans un guide d'onde de forme canal. Si la bande passante d'un tel réflecteur est d'une longueur d'onde particulière, cela pourrait aussi être considéré comme le rôle d'un filtre. La mise en œuvre la plus simple de cela est réalisée à l'aide d'un miroir. Cependant, une technique plus attractive et largement utilisée consiste à utiliser un réseau (grating), lequel naturellement est un élément de sélection de longueur d'onde.

12.2. Diviseurs de puissance :

Ces dispositifs utilisés pour diviser la puissance à partir d'un guide d'onde à seul canal entre deux en sortie du guide. La forme la plus simple de ces élément est communément appelé **Y-Diviseur (Y-branch)** à cause de leur forme **Y** distincte. Une extension de ce dispositif aurait plus que deux branches de sortie et comme le terme 1xN diviseur qui était adopté pour générer N nombre de branche en sortie du guide d'onde. Ils existent d'autre similaire dispositifs effectuent la même fonction tels que : les coupleurs de forme **X**.

12.3. Interconnexions optiques :

Comme l'indique son nom, ils servent à connecter optiquement deux points /éléments sur une puce optique. S'il existe un décalage nécessaire entre les deux points c'est-à-dire les deux

éléments ne sont pas alignés les uns aux autres, donc, des guides d'ondes de forme S-Bend seraient utilisés. Dans notre travail, on s'intéresse des guides d'ondes de forme canal.

13. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de comprendre ce qu'est l'optique et la Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux et la base théorique du calcul des modes de propagation à partir des équations de Maxwell en particulier dans un guide d'onde les différentes lois qui gouvernent la lumière dans les milieux confinés, nous avons présenté les différentes lois qui gouvernent la lumière dans les milieux confinés. Et la biréfringence et les conditions de coupure monomode/multi mode a été décrit en détail. Enfin, nous avons présenté quelques fonctions et tâches réalisés par les guides d'ondes.

Chapitre II

Présentation de l'outil de simulation "BeamProp"

Présentation de l'outil de simulation (BeamProp)

1. Introduction :

Dans le domaine de télécommunications et guidage de la lumière, les chercheurs ont utilisés différents logiciels de simulation tels que : FIMMWAVE, MATLAB, BEAMPROP. Dans notre travail nous allons choisir le programme BeamProp de Rsoft, alors dans ce chapitre on va présenter une description détaillée sur les composants et l'utilisation du ce programme. On va utiliser ce logiciel pour modéliser et analyser la structure du guide d'onde en arête à base de matériau SiO_xN_y .

2. Définitions :

2.1. Simulateur RSoftCAD :

Le Rsoft CAD est le programme de base dans la photonique Suite Rsoft, et agit comme un programme de contrôle des passifs modules de simulation de dispositif de (Rsoft BeamProp, FullWave, Band SOLVE, Grating MOD et Diffract MOD).

Il est utilisé pour définir l'entrée la plus importante requise par les modules de simulation : les propriétés du matériau et de la géométrie de structure d'un dispositif photonique.

Un utilisateur va typiquement première concevoir une structure dans l'interface de CAO et ensuite utiliser un ou plusieurs moteurs de simulation pour modéliser différents aspects de la performance du dispositif.

Cette modulaire approche à la conception et la simulation des dispositifs photoniques est l'un des photonique Suite plus grandes forces de Rsoft.

Chaque programme dans la suite est conçu avec les autres programmes, la création d'un environnement dans lequel les données peuvent être partagées entre les modules.

Pratiquement tous les fichiers d'entrée et de sortie sont dans un format de texte ASCII simple, qui permet encore plus de contrôle de l'utilisateur sur le fonctionnement du programme ainsi que des programmes tiers pour être intégré dans la suite.

Alors que la photonique Suite Rsoft est conçu pour être utilisé via le GUI (Graphical User Interface), opération de ligne de commande est également possible.

Ceci, couplé avec la modularité de la suite, permet une capacité de scripts complexes. La suite ne est pas limitée à un langage de script simple, mais utilise plutôt le langage de script natif de votre système d'exploitation, Par exemple, les utilisateurs Windows peuvent utiliser des fichiers de commandes DOS, tandis que les utilisateurs Unix peuvent utiliser des scripts. En outre, les utilisateurs familiers avec des langages tels que Perl, Python, C ou C ++ peuvent créer des scripts personnalisés dans ces langues. La photonique Suite Rsoft offre le meilleur des deux mondes : il permet de simulations à effectuer via l'interface graphique, et pour les simulations personnalisées compliquées à effectuer via un script.

Les nouveaux et les experts utilisateurs peuvent comprendre la puissance pleine de la suite. La photonique Suite Rsoft est conçu pour fonctionner avec la plateforme de votre choix. Actuellement, la Suite fonctionne sous Windows et plusieurs plates-formes Unix / Motif. Support pour Linux, Sun Solaris, Alpha TRU64, et les systèmes SGI IRIX est disponible [19].

II.2.2. Simulateur BeamProp :

Le simulateur BeamProp est le module de propagation intégré avec RSoft Photoniques CAD SUITE, c'est un nouvel outil pour simuler la propagation optique dans les guides d'ondes à 2D et 3D.

Au Cœur du BeamProp -3D il y a un programme de calcul extrêmement robuste capable de trouver les solutions rigoureuses des équations d'ondes de Maxwell, des solutions qui sont complètement vectorielles et entièrement bidirectionnelles, tenant compte de toutes les réflexions aux joints à l'interfaces des différents composants du dispositif, car l'algorithme bidirectionnel modélise toutes les réflexions internes [25].

3. Présentation générale du simulateur (BeamProp) :

3.1. Procédure d'installation du simulateur BeamProp :

Pourvu que vous avez acheté et installé une licence pour le logiciel Rsoft comme FullWave, Band SOLVE ou Grating MOD, il ya une quantité minimale d'installation supplémentaire requise pour utiliser BeamProp.

Ceci est parce que BeamProp part la même interface de CAD avec ces produits.

3.2. Lancement du simulateur BeamProp :

Pour lancer le programme de la simulation BeamProp Il ya deux méthodes soit par l'interface graphique d'utilisateur (GUI) ou une interface de ligne de commande, Ces deux méthodes sont tout aussi puissantes, et sont utiles selon l'expérience de l'utilisateur.

3.3. Fenêtre principale du simulateur BeamProp :

La fenêtre principale de logiciel de simulation BeamProp est comme les autres programmes simple et facile pour l'utilisation et elle est comme la figure (II.1) est montrée.

Dans cette dernière fenêtre on trouve en haut une barre de menu et une barre d'outils avec des icônes juste en dessous, en gauche de la fenêtre principale on trouve autre barre d'outils, en bas on trouve une ligne d'état du curseur.

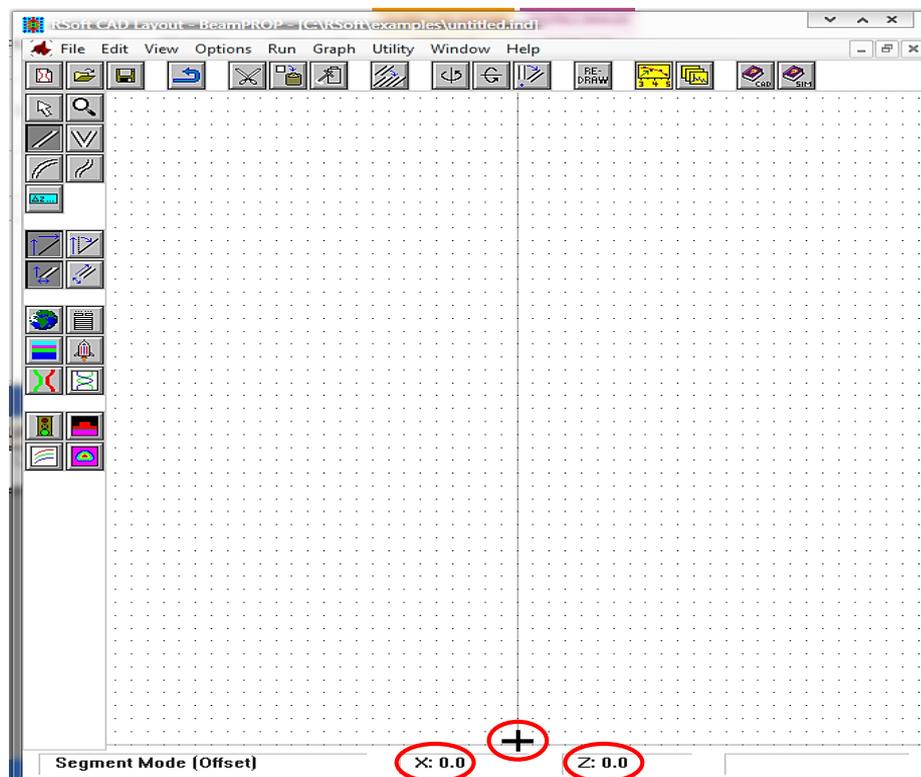


Fig II.1 : Fenêtre principale du simulateur BeamProp.

Les menus permettent d'accéder aux différentes opérations de fichiers et édition standard telles que l'ouverture et l'enregistrement des fichiers d'index et de coupe et de composants de guide d'ondes coller dans un circuit.

La barre d'outils supérieure contient des icônes pour ces opérations sur les fichiers et l'édition standard, ainsi que d'autres fonctions communes.

La barre d'outils à gauche contient des icônes pour les opérations de CAD standard tels que la sélection et le zoom, ainsi que des icônes pour choisir les différents composants de guide d'ondes qui peuvent être ajoutés au circuit.

Des icônes supplémentaires contrôlent la simulation et les aspects connexes du programme.

L'aligne d'état fournit des informations sur le mode de présentation courante, avec l'affichage des coordonnées lors de l'emboutissage.

3.4. Création d'un nouveau circuit :

Après que nous avons appris à connaître les différentes barres d'outils maintenant, nous allons apprendre comment commencer à utiliser le programme BeamPROP où on va commencer à créer un nouveau circuit.

La première chose, cliquez sur l'icône « Nouveau circuit » dans la barre d'outils l'icône la plus à gauche sur le dessus regarder la figure (II.2.a). Sinon, choisissez « Fichier> Nouveau » dans le menu, cliquez sur l'élément de menu de niveau supérieur nommé « Fichier » et sélectionnez « Nouveau » dans le sous-menu à partir du fichier regarder la figure (II.3.b).

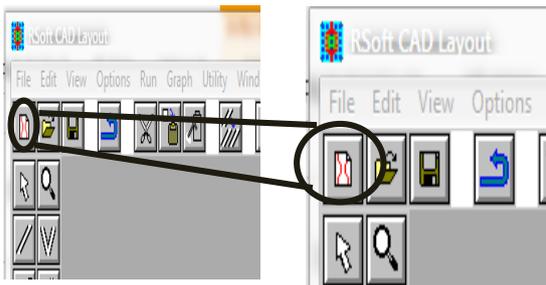


Figure (II.2.a).

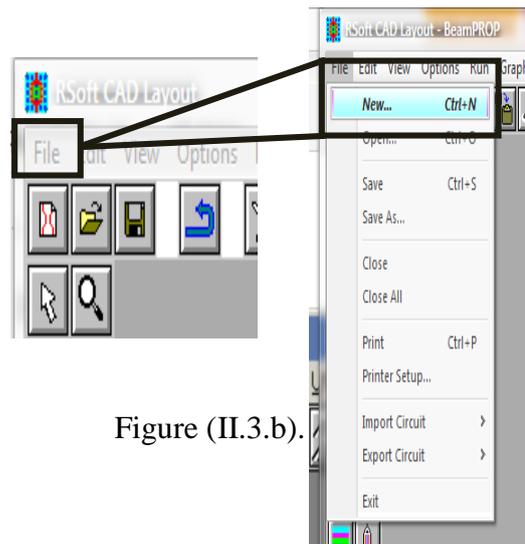


Figure (II.3.b).

Fig. II.2 : Créer un nouveau circuit

Just après que vous cliquez sur l'icône une boîte de dialogue de démarrage vas apparaître comme illustré à la figure (II.3). Cette boîte de dialogue demande des informations de base sur le circuit à modéliser, y compris la longueur d'onde de la lumière, le fond de l'indice de réfraction, la variation d'indice entre le cœur et la gaine, et les dimensions globales approximatives du dispositif.

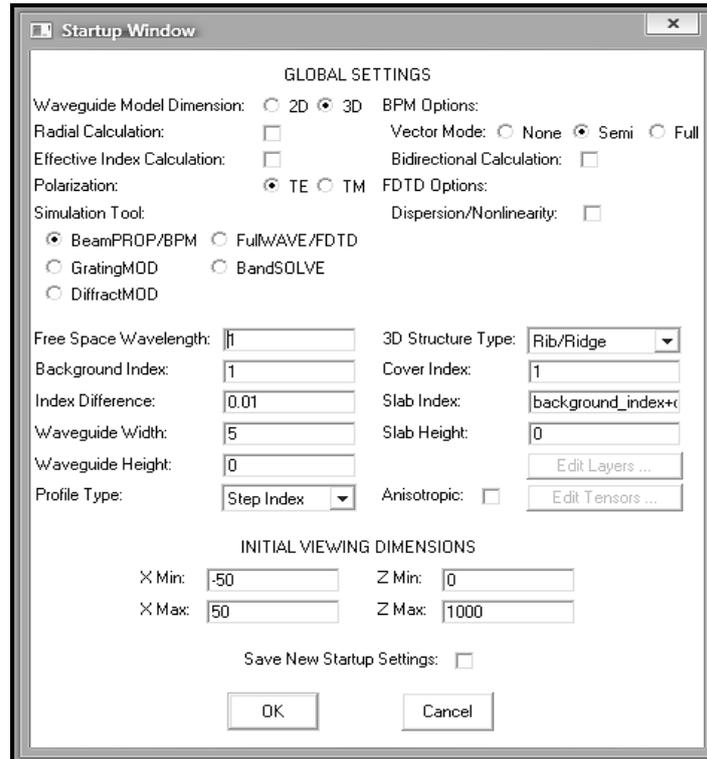


Fig. II.3 : Boîte de dialogue de démarrage pour créer un nouveau circuit.

Pour activer une simulation BeamProp Entrez les informations sélectionner l'outil BeamProp/BMP comme illustré dans la figure (II.4), puis cliquez sur OK pour continuer.

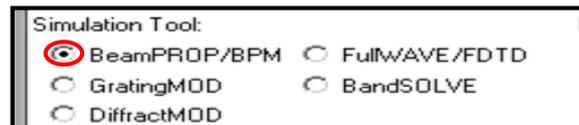


Fig. II.4 : Outil de simulation

Jusqu'ici, la fenêtre de présentation est créée à l'intérieur de la fenêtre du programme principal, comme la Figure (II.1) est montré. Une grossière de coordonnées de grille est indiquée par des points, et les axes X et Z sont indiquées par des lignes en gris clair. Notez que X représente la direction transversale et est tirée à l'horizontale, et Z représente la direction longitudinale ou de propagation et est tiré verticalement.

Le curseur devient une croix lorsque la souris est déplacée dans la fenêtre de mise en page, et l'affichage des coordonnées dans la ligne d'état indique la position de la souris réelles [μm].

4. Processus de fonctionnement du BeamProp :

Le fonctionnement de l'interface graphique de BeamProp est un processus très simple, et peut être décomposé en cinq étapes de base :

4.1. Coucher sur la structure :

On commence par en supposant qu'une fenêtre de CAD a été démarré, et que la fenêtre de mise en page a été ouvert qui contient le circuit à simuler, cela pourrait être un circuit nouvellement créé, ou un circuit préalablement sauvegardée qui a été chargé par l'Open élément Fichier / menu. Le fonctionnement général du programme de CAD est décrit dans le manuel de CAD Rsoft [19].

4.2. Choisir le moteur de simulation BeamProp :

La première étape du lancement d'une simulation BeamProp est de s'assurer que l'outil de simulation a été mis à BeamProp / BPM dans la boîte de dialogue Paramètres globaux. Cela indique au programme de CAD qu'une simulation BeamProp BPM doit être effectuée, au lieu d'une simulation FullWave/FDTD, BandSOLVE, ou Grating MOD [19].

4.3. Configuration des paramètres de simulation :

La prochaine étape dans le lancement d'une simulation est de cliquer sur Exécuter Simulation, (compute fundamental mode), dans la barre d'outils à gauche.

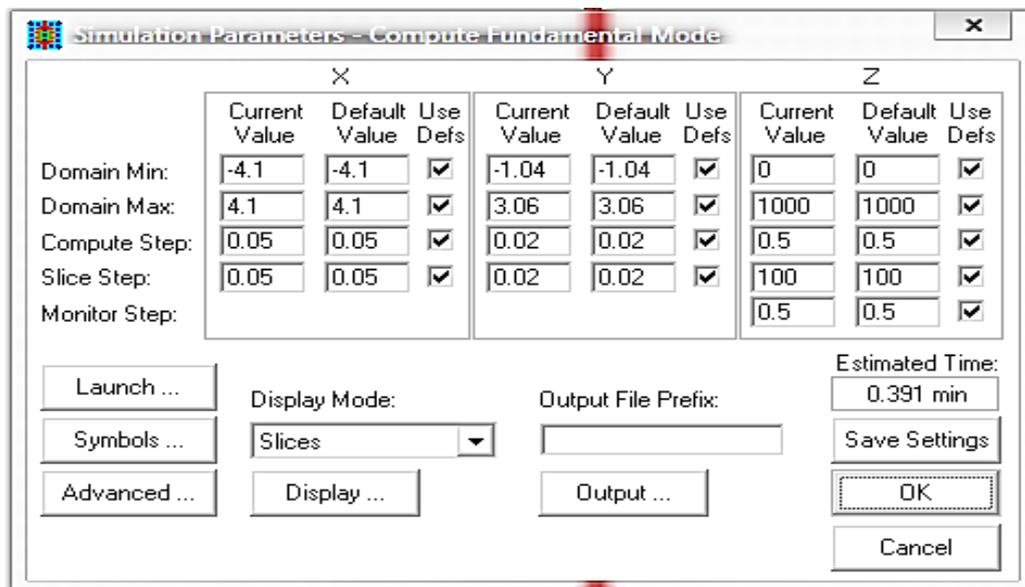


Fig. II.5 : Paramètres numériques de la simulation

Après avoir porté la boîte de dialogue des paramètres de simulation, les valeurs par défaut peuvent être acceptés tels quels, ou une valeur différente pour chaque paramètre peuvent être

saisies en modifiant la valeur actuelle. Notez que pour enregistrer les résultats de la simulation, vous pouvez indiquer un préfixe dans le champ de la boîte de dialogue des paramètres de simulation de préfixe du fichier de sortie, et sélectionnez les fichiers de données souhaités via le bouton ... de sortie. Les options de sortie de BeamProp seront discutées plus en détail dans la section.

4.4. Lancer la simulation :

Une fois les paramètres numériques et d'autres options sont acceptables, cliquez sur OK pour lancer la simulation. Une fois qu'une simulation est initiée, le calcul commence dans une nouvelle fenêtre séparée à partir du programme principal.

Dans cette fenêtre, la sortie d'amplitude de champ et tous les moniteurs s'affiche pendant le calcul.

Le programme de simulation tourne en tâche de fond, de sorte que vous pouvez passer à une distance à un autre programme, ou revenir au programme principal pour modifier un autre circuit ou commencer une autre simulation.

Lorsque la simulation est terminée, la barre de titre du programme de simulation indique "Calcul terminée", et affiche les coordonnées du curseur pour référence [19].

4.5. Résultats accès :

Pour visualiser ou imprimer sauvegardés résultats de la simulation, cliquez sur l'icône de winplot dans la barre d'outils en haut de l'interface de CAD, et sélectionnez le graphique désiré dans la boîte de dialogue qui est présenté (les types de graphiques sont répertoriés dans le champ Fichiers de type).

En plus des résultats de simulation, le programme par défaut enregistré un journal d'exécution, qui est essentiellement une copie du fichier ind.

Le journal d'exécution est stocké dans le fichier préfix.run, et peut être ouvert en cliquant sur l'icône du fichier ouvert dans la barre d'outils.

5. BPM (Beam Propagation Méthode) :

La BPM permet d'analyser les structures non uniformes suivant une direction de propagation quel que soit monomode ou Multi mode, le principe de cette technique repose sur la décomposition de la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu homogène sur une distance δz et d'une correction de phase due au milieu initial.

La propagation de l'onde est plus aisée à réaliser dans le domaine fréquentiel à l'aide de la base des modes propres de propagation dans le milieu homogène alors que la correction de phase

sera triviale dans le domaine spatial. Ainsi, pour chaque pas δz , on doit effectuer une transformation « domaine spatial /domaine spectral » pour la propagation et la transformation inverse pour la correction de phase. En conclusion, la BPM offre la possibilité d'étudier des guides sans connaître au préalable ses propriétés modales. De plus, la rapidité de calcul et le peu de capacité mémoire nécessaire, en raison de la discrétisation spatiale dans une seule des deux directions, en font une méthode prometteuse par rapport aux méthodes numériques dites « lourdes ». Cependant, les hypothèses faites lors de l'élaboration des équations de la méthode limite les chercheurs dans les topologies des structures à simuler.

6. Exigences et conséquences

- Les unités sont définies comme suit dans BeamProp:
 - Toutes les unités de longueur sont mesurées en microns [μm].
 - Toutes les unités angulaires sont en degrés.
- Annuler les modifications
- Les petites tailles de grilles (Δx et Δy) améliorent la précision des deux, BPM et la résolution des modes, mais la stabilité n'est pas affectée, sauf dans le cas de BPM pleinement vectorielle.
- Les petites tailles des grilles produisent de difficulté aux conditions aux limites transparentes (les reflets indésirables) ou avec des champs aux interfaces. Ces problèmes sont soulagés par l'utilisation de plus petite taille du pas (Δz) [25].
- Diminuer la taille du pas (Δz) améliore la précision, la stabilité n'est pas affectée.
- Diminuer la taille du pas (Δz) atténue également les problèmes de performance des conditions aux limites transparentes et de la propagation au près des interfaces à des tailles petites des grilles.
- Dans certains cas, la taille du pas (Δz) peut être échangé contre le nombre d'onde de référence k .
- Le paramètre du régime est utilisé pour les simulations à plein-vectorielle pour contrôler la stabilité, qui devient un problème pour le "Grand contraste d'indice" et / ou "petites taille de la grille".
- Pour remédier à l'instabilité ci-dessus, le paramètre du régime doit être réglé sur une valeur supérieure à sa valeur par défaut de 0.5 et moins de 1.
- Une méthode générale est commencée avec des simulations scalaires, même si votre problème nécessite plus de sophistication, et seulement après que le problème commence

à avoir un sens physique, et de continuer le processus jusqu'à semi-plein ou vecteur selon les besoins [25].

7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé une description détaillée du logiciel de simulation que nous allons employer dans notre travail, telle que : les étapes de simulation ...etc.

Nous avons démontré que le simulateur BeamProp est un programme de calcul robuste.

Donc nous allons utiliser ce simulateur pour étudier et analyser la biréfringence et le caractère monomode des guides d'ondes optiques étudiés

Chapitre III

**Etude de la biréfringence
des guides d'ondes à base
du matériau SiO_xN_y**

Etude de la biréfringence des guides d'ondes SiO_xN_y

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents résultats de simulation d'un guide d'onde (RIB) obtenus par le logiciel BEAM PROP. Dans un premier temps, nous étudions l'influence de la largeur W sur la biréfringence du guide d'onde optique, pour vérifier la condition $\Delta n=0$ (biréfringence nulle) pour différentes valeurs de la longueur d'onde (λ). Ensuite, l'influence de la hauteur (H) du film guidant sur la biréfringence des guides d'ondes sera examinée.

2. Modélisation et conception :

Les guides d'ondes optiques à base de silicium (SiO_2 , Si_3N_4 et SiO_xN_y) sont les éléments clef des dispositifs de l'optique intégrée qui effectuent plusieurs fonctions telles que : guidage, isolation et la modélisation du signal optique. Donc, la modélisation et la simulation des différentes géométries des guides d'ondes sont devenue très importante avant la fabrication des dispositifs de l'optique intégrée.

Dans notre travail, nous allons mener nos simulations sur un guide d'onde optique en arête, Ce guide est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents, notre guide est constitué d'un substrat en SiO_2 d'indice de réfraction $n_s = 1.45$, une couche intermédiaire (couche guidante) en SiO_xN_y d'indice de réfraction $n_f = 1.60$, une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction $n_c = 1$. Le guide d'onde étudié est un guide d'onde à double confinement chargé par une arête (Fig. III.1). On peut modéliser ce guide de la manière suivante, avec $n_f > n_s$.

Pour cela, on s'intéresse à l'étude de l'influence des paramètres géométriques de guide SiO_xN_y sur la réalisation de la condition $\Delta n=0$ (biréfringence nulle).

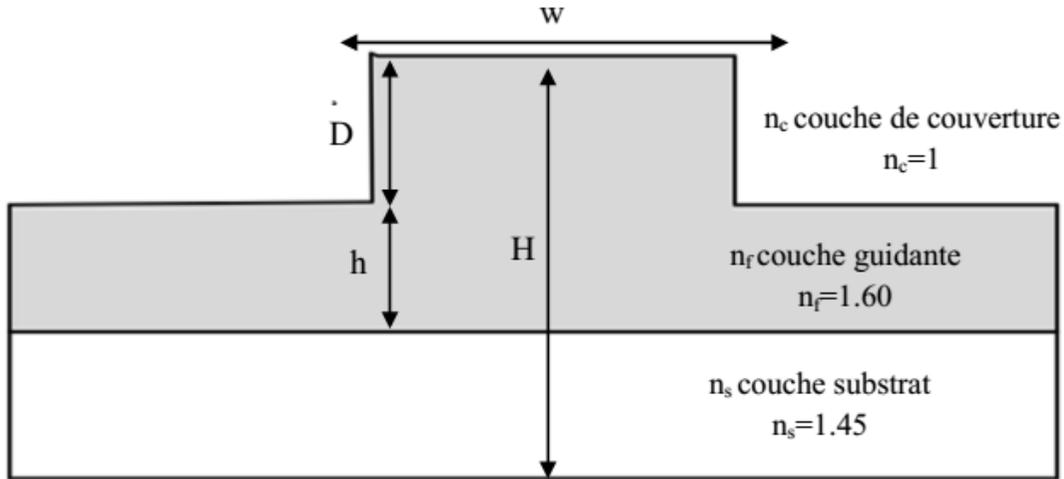


Fig. III.1 : Géométrie du guide d'onde optique en arête.

n_c et n_s et n_f sont les indices de réfraction des différentes couches du guide d'onde optique avec :

W : Largeur du guide.

D : Gravure.

H : Hauteur du guide ($h = r.H$).

r : Paramètre du gravure.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer les dimensions du guide d'ondes telle que la condition $\Delta N = N_{TE} - N_{TM} = 0$ soit vérifiée.

3. Résultats et discussion :

3.1. Répartition du champ :

Les figures (III. 2, III. 3, III. 4) illustrent les profils des composants de champ électrique (TE) d'une gaussienne injecté à l'entrée dans notre guide SiO_xN_y , avec des différentes valeurs de la largeur W . Ces figures montrent que les composantes de champ électrique E et magnétique H sont assez confinées et les pertes d'information sont faibles, puisque le guide d'onde en arête assure le confinement de la lumière dans les deux directions TE et TM.

Ces figures montrent également que l'indice effectif de la structure augmente progressivement lorsque la largeur W du film guidant SiO_xN_y croît.

Polarisation électrique (TE)

Polarisation magnétique (TM)

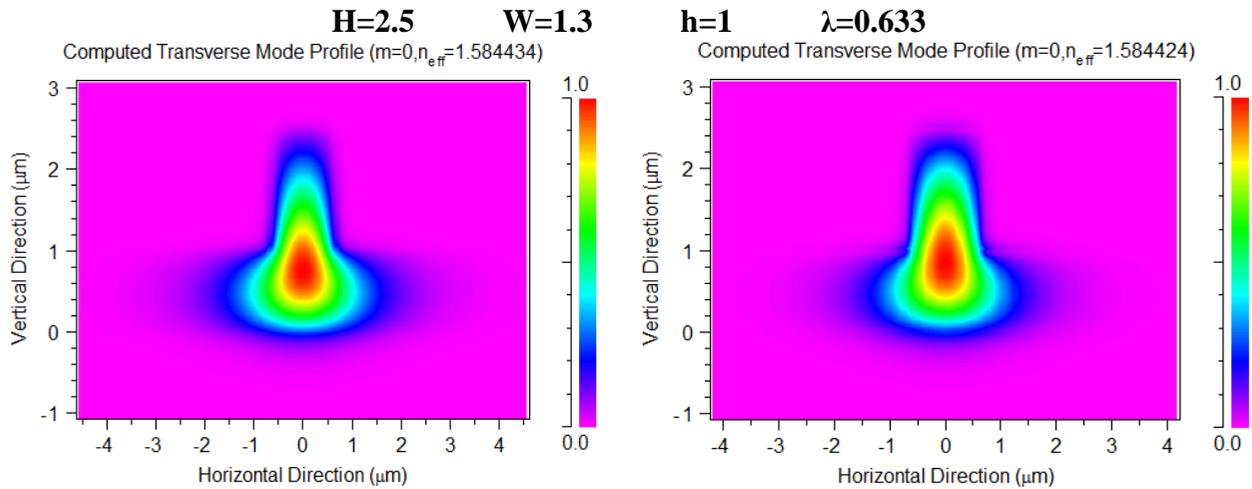


Fig. III.2 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur $W=1.3\mu\text{m}$ et longueur d'onde $\lambda=0.633\mu\text{m}$.

Polarisation électrique (TE)

Polarisation magnétique (TM)

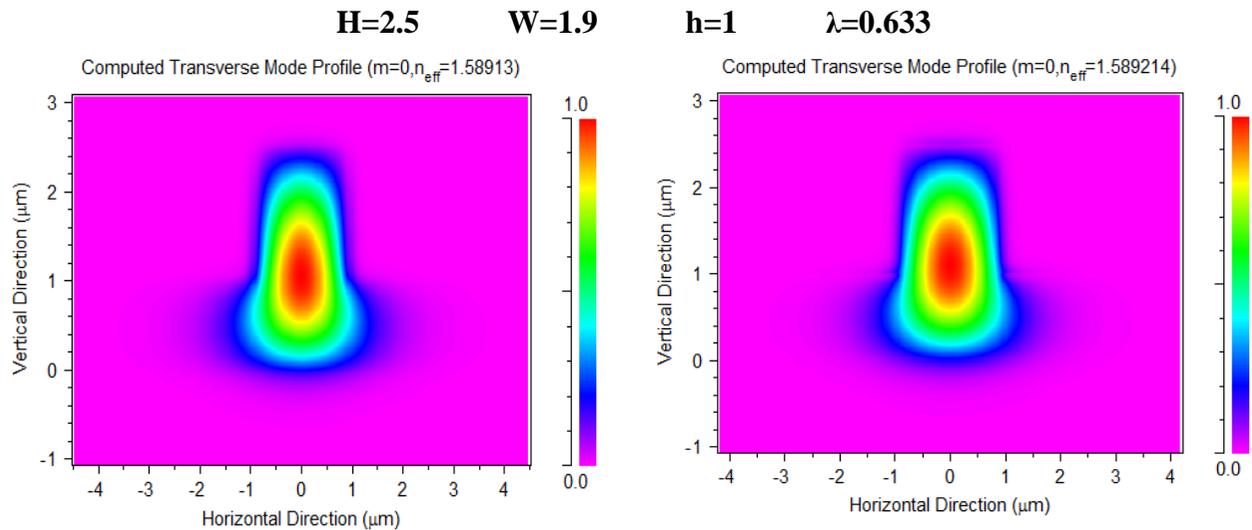


Fig. III.2 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur $W=1.9\mu\text{m}$ et longueur d'onde $\lambda=0.633\mu\text{m}$.

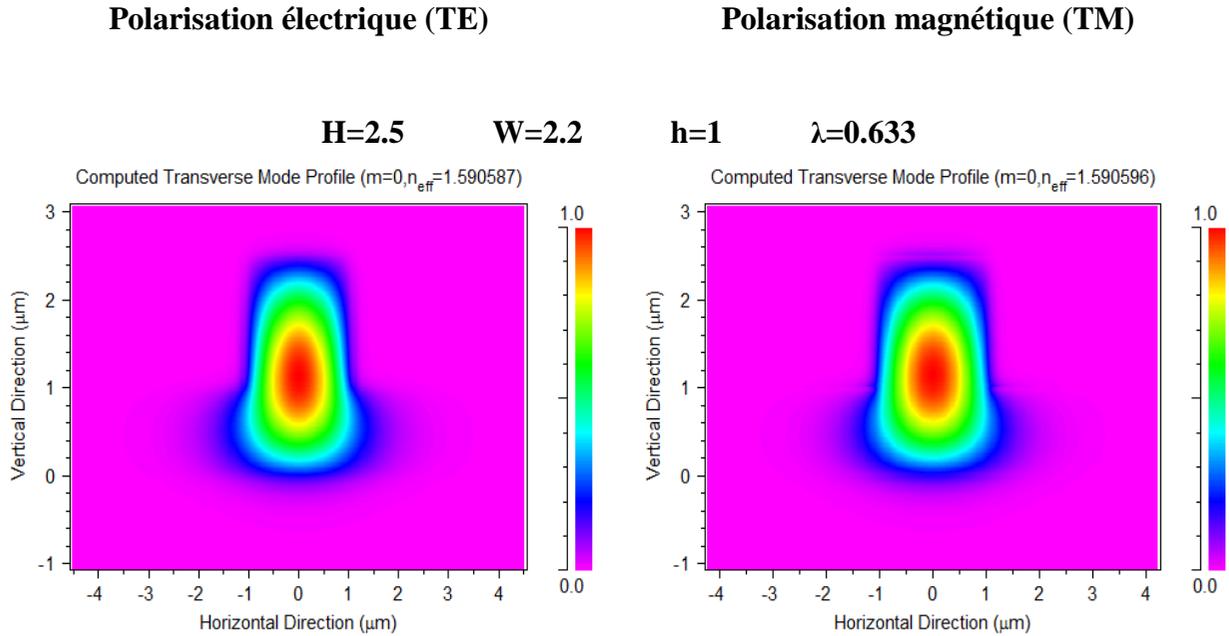


Fig. III.2 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur $W=2.2 \mu\text{m}$ et longueur d'onde $\lambda=0.633 \mu\text{m}$.

3.2. Etude de la biréfringence, pour différentes longueurs d'ondes (λ) :

Dans cette section, on va étudier l'influence de la largeur du guide (w) sur la biréfringence d'indice effectif, pour différentes longueurs d'ondes. La hauteur H du film guidant est fixée à $2.5 \mu\text{m}$, les indices effectifs des modes fondamentaux TE et TM, ont été déterminés en fonction de la variation de la largeur W , pour différentes longueurs d'ondes 633, 830 et 1550 nm .

Après avoir fixé la hauteur H du film guidant SiO_xN_y , les calculs sont effectués en faisant varier la largeur W tout en fixant la hauteur du guide H . Une série de simulation a été réalisé pour des valeurs données de la profondeur de gravure D à partir desquelles on trace la variation de la biréfringence de l'indice effectif Δn du guide en fonction de variation de la largeur du guide W .

3.2.1. Evolution de la biréfringence en fonction de W :

A) Pour $\lambda = 633 \text{ nm}$:

La figure (III.5) illustre l'évolution de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W pour différentes valeurs de gravure Det pour une longueur d'onde $= 0.633 \mu\text{m}$.

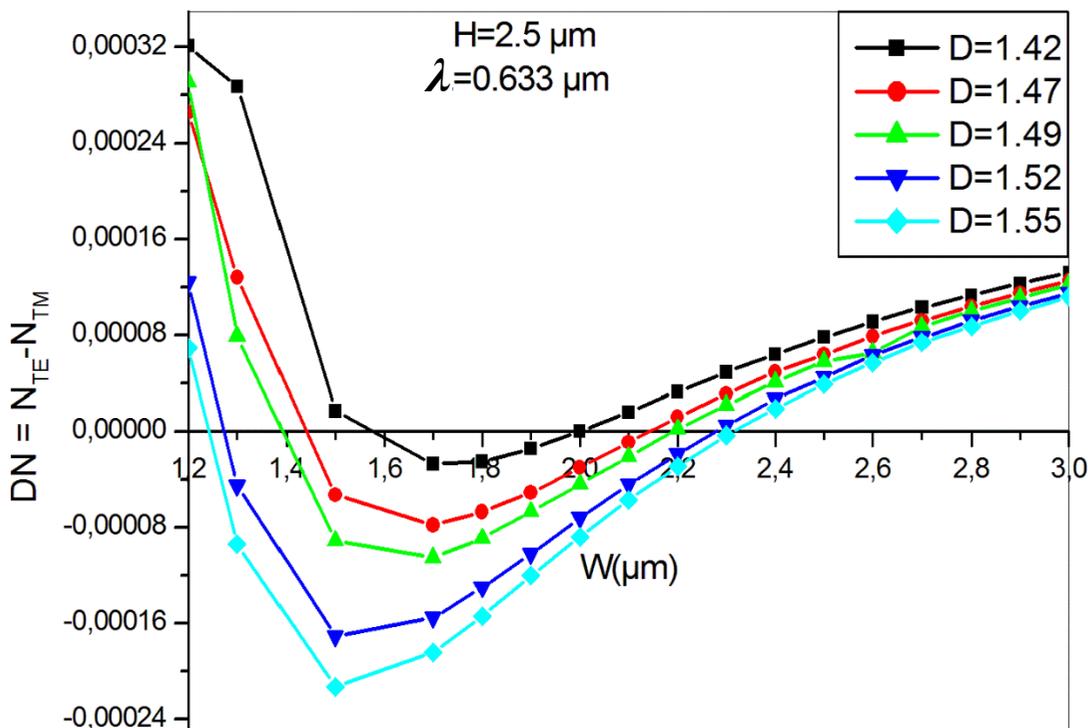


Fig. III.5 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de D , et $\lambda = 0.633 \mu m$.

Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

On remarque également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du guide SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

Tous les points d'intersection de l'axe *Biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.1).

Tab.III.1 : Différentes points qu'ils vérifiés $\Delta n (n_{TE}-n_{TM})=0$, pour les différentes valeurs de graveur D , pour $\lambda = 0.633 \mu m$.

Paramètre D (μm)	D=1.42	D=1.47	D=1.49	D=1.52	D=1.55
Largeur W1 (μm)	1.58	1.42	1.4	1.28	1.24
Largeur W2 (μm)	2	2.13	2.2	2.28	2.3

B) Pour $\lambda = 830 \text{ nm}$:

La figure (III.6) représente l'évolution de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W pour différentes valeurs de gravure D et pour une longueur d'onde $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$. Nous remarquons que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant de SiO_xN_y croit, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Cette figure montre également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du guide SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

Tous les points d'intersection de l'axe *Biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs de la gravure D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.2).

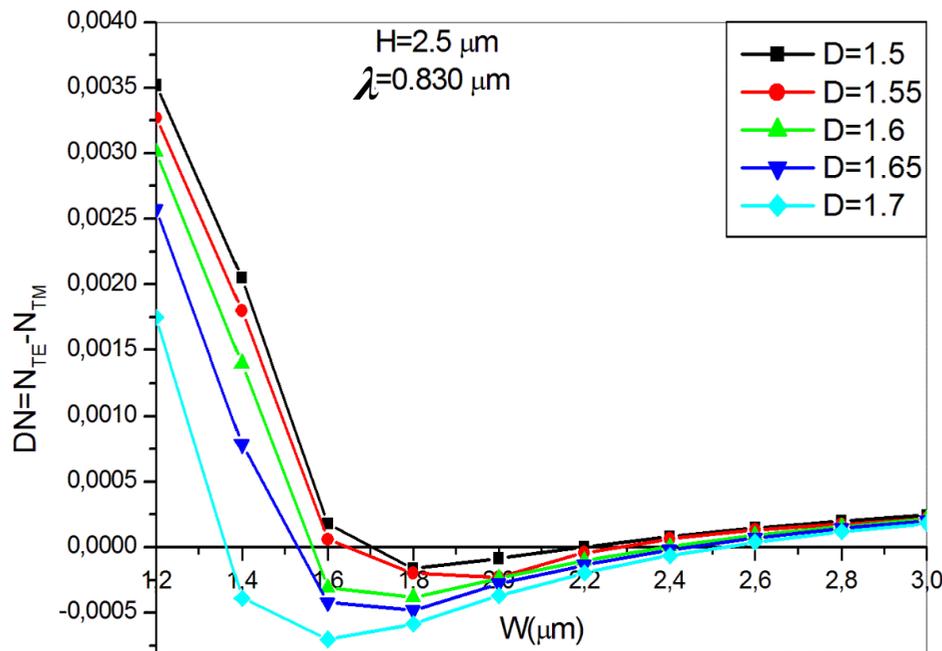


Fig. III.6 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeur de D , et $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$.

Table2 : Différents points de la largeur W qu'il vérifié la condition de l'accord de phase $\Delta n (n_{\text{TE}} - n_{\text{TM}}) = 0$, pour les différentes valeurs de graveur (D), pour une longueur d'onde $\lambda = 0.830 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	$D= 1.50$	$D=1.55$	$D=1.6$	$D=1.65$	$D=1.7$
Largeur $W1$ (μm)	1.7	1.6	1.55	1.52	1.38
Largeur $W2$ (μm)	2.1	2.2	2.3	2.37	2.48

C) Pour $\lambda = 1550 \text{ nm}$:

La variation de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W du film guidant de SiO_xN_y pour une longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ et pour différentes valeurs de gravure D est illustrée sur la figure (III.7). Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous remarquons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant de SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D [24].

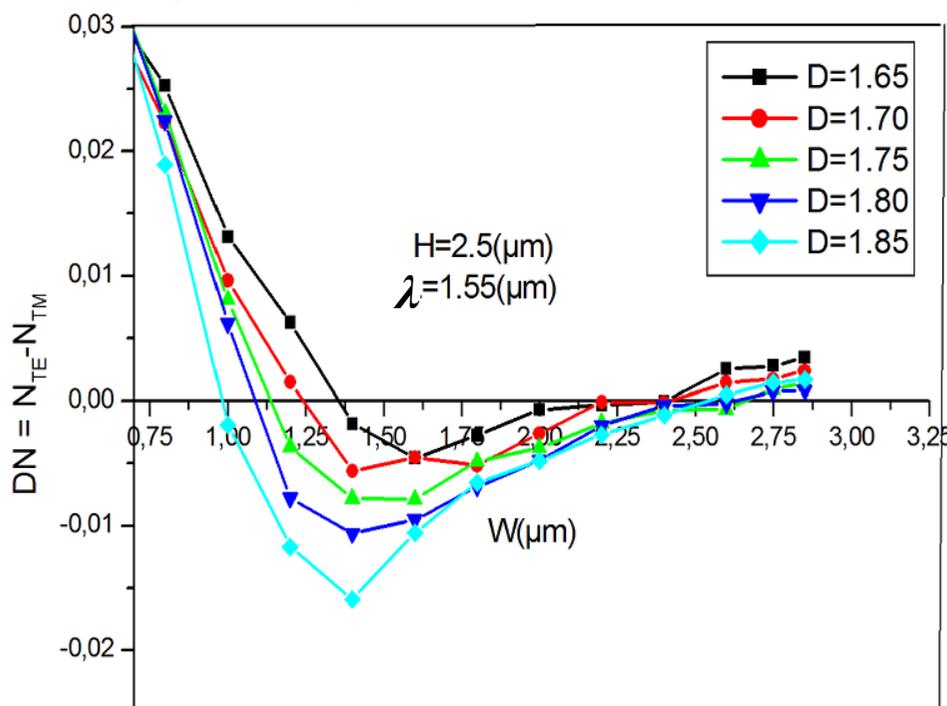


Fig. III.7 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de D , et une longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$.

A partir de ces courbes, on détermine tous les points d'intersection de l'axe Biréfringence-Zéro pour les différentes valeurs de la gravure D . Les diverses valeurs de la largeur W dans laquelle la biréfringence de l'indice effective est nulle sont regroupées dans le tableau (III.3).

Table III.3 : Différentes valeurs de la largeur W dans laquelle la biréfringence est nulle, pour les différentes valeurs de gravure D , et une longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	D= 1.70	D= 1.75	D=1.80	D=1.85
Largeur W1 (μm)	1.25	1.17	1.08	1
Largeur W2 (μm)	2.2	2.3	2.4	2.5

Les figures (III. 5), (III. 6) et (III. 7) montrent qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant pour lesquelles la biréfringence est nulle. On observe également qu'il existe une relation indirecte entre le paramètre géométrique D et la biréfringence pour une valeur de la largeur W du film guidant SiO_xN_y .

Les tableaux (III.1), (III.2) et (III.3) montrent que si la biréfringence de l'indice effectif est nul, la profondeur de gravure est minimum, c'est un paramètre important car technologiquement il est facile à fabriquer un guide d'onde peu gravé [24].

3.2.2. Evolution de la profondeur de gravure D en fonction de W :

L'évolution de la profondeur de gravure D en fonction de la largeur du film guidant W , pour les différentes longueurs d'ondes, est représentée sur la figure (III. 8).

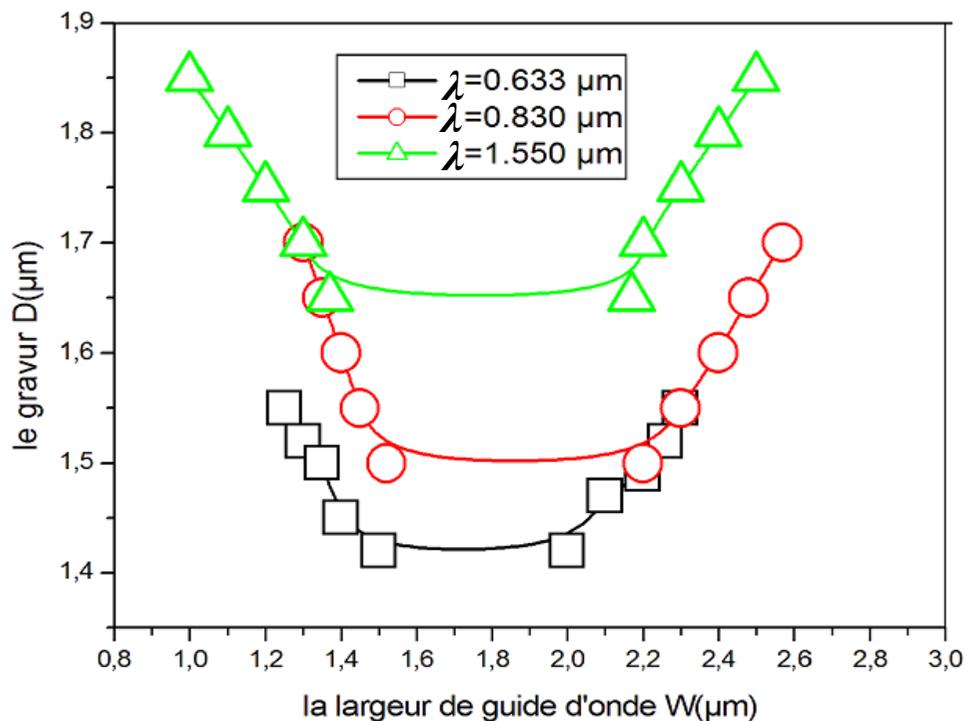


Fig. III.8 : Evolution du paramètre D en fonction de la largeur W , pour les différentes longueurs d'ondes.

Cette figure montre clairement que la profondeur de la gravure D , correspondant à la biréfringence nulle diminue lorsque la longueur d'onde décroît. Le minimum de la profondeur de gravure D est respecté dans chaque courbe.

3.3. Etude de la biréfringence, pour différentes hauteurs (H) :

Dans cette partie, similairement au calcul précédent, à une hauteur $H = 2.5\mu\text{m}$, d'autres valeurs de la hauteur H sont aussi employés pour étudier et analyser l'influence de ce paramètre géométrique sur la biréfringence des guides d'ondes en arête à base du matériau SiO_xN_y . Dans ce cas, on fixe la longueur d'onde à $\lambda = 0.83\mu\text{m}$ et on choisisse les valeurs de la hauteur H suivante : $1.4\mu\text{m}$, $1.8\mu\text{m}$, $2.2\mu\text{m}$ et $2.6\mu\text{m}$.

3.3.1. Evolution de la biréfringence en fonction du W :

A) Pour $H = 1.4\mu\text{m}$:

Nous présentons sur la figure (III.9) l'évolution de la biréfringence en fonction de la largeur W du film guidant SiO_xN_y d'une hauteur $H=1.4\mu\text{m}$ pour différentes valeurs de gravure D . Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous constatons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D [24].

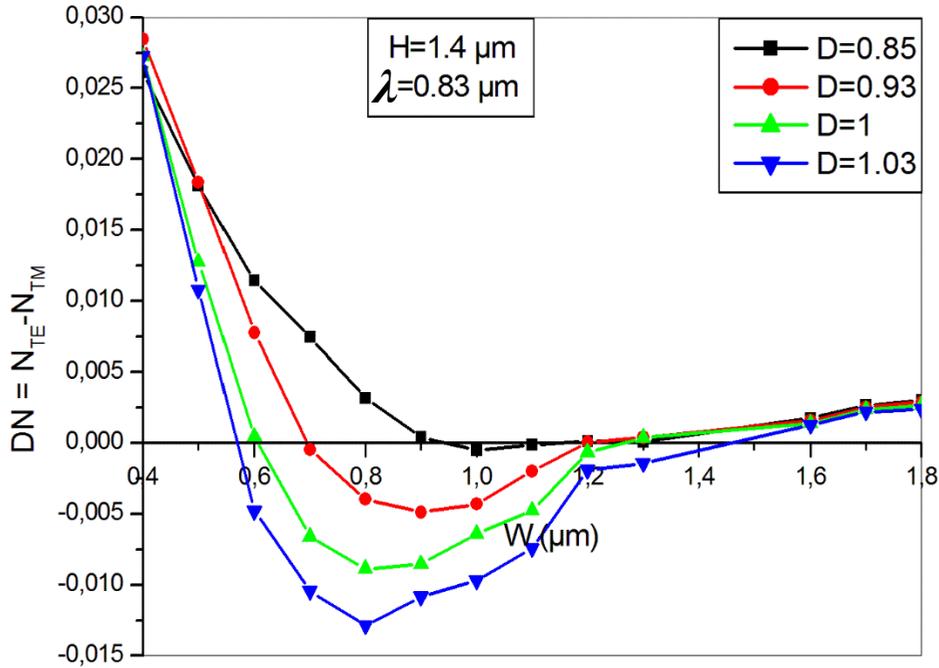


Fig. III.9 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de la profondeur de gravure D , et de la hauteur $H = 1.4 \mu\text{m}$.

Nous regroupons sur le tableau (III.4), tous les points de la largeur W du film guidant d'intersection de l'axe biréfringence-zéro pour les différentes valeurs du paramètre géométrique D .

Table III.4 : Différentes points de W qu'ils vérifiés la condition $\Delta n=0$, pour les différentes valeurs de graveur D , pour une hauteur $H = 1.4 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	$D= 0.85$	$D= 0.93$	$D=1$	$D=1.03$
Largeur $W1$ (μm)	0.95	0.7	0.61	0.57
Largeur $W2$ (μm)	1.18	1.21	1.28	1.43

B) Pour $H = 1.8 \mu\text{m}$:

La figure (III.10) illustre l'évolution de la biréfringence Δn d'indice effectif en fonction de la largeur W du film guidant SiO_xN_y , d'une hauteur $H=1.8 \mu\text{m}$, pour différentes valeurs de gravure D . Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

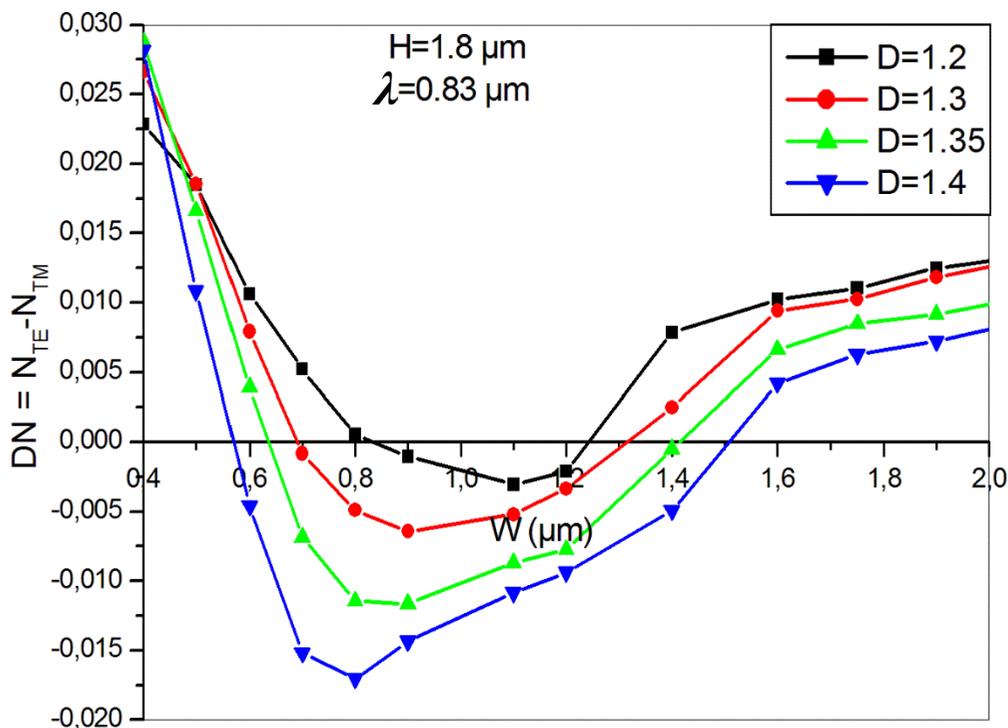


Fig. III.10 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de la profondeur de gravure D , et une hauteur $H = 1.8 \mu\text{m}$.

On constate aussi qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre géométrique D [24].

Nous regroupons sur le tableau (III.5), tous les points de la largeur W du film guidant d'intersection de l'axe *biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre géométrique D .

Table III.5 : Différentes points de la largeur W qu'il vérifié la condition $\Delta n = 0$, pour les différentes valeurs de graveur D , pour une hauteur $H = 1.8 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	$D = 1.2$	$D = 1.3$	$D = 1.35$	$D = 1.4$
Largeur $W1$ (μm)	0.82	0.69	0.64	0.57
Largeur $W2$ (μm)	1.23	1.31	1.4	1.5

C) Pour $H=2.2 \mu\text{m}$:

L'évolution de la biréfringence d'indice effectif Δn avec la variation de la largeur W du film guidant SiO_xN_y , et d'une hauteur $H=2.2 \mu\text{m}$, pour différentes valeurs de gravure D est illustré sur la figure (III.11).

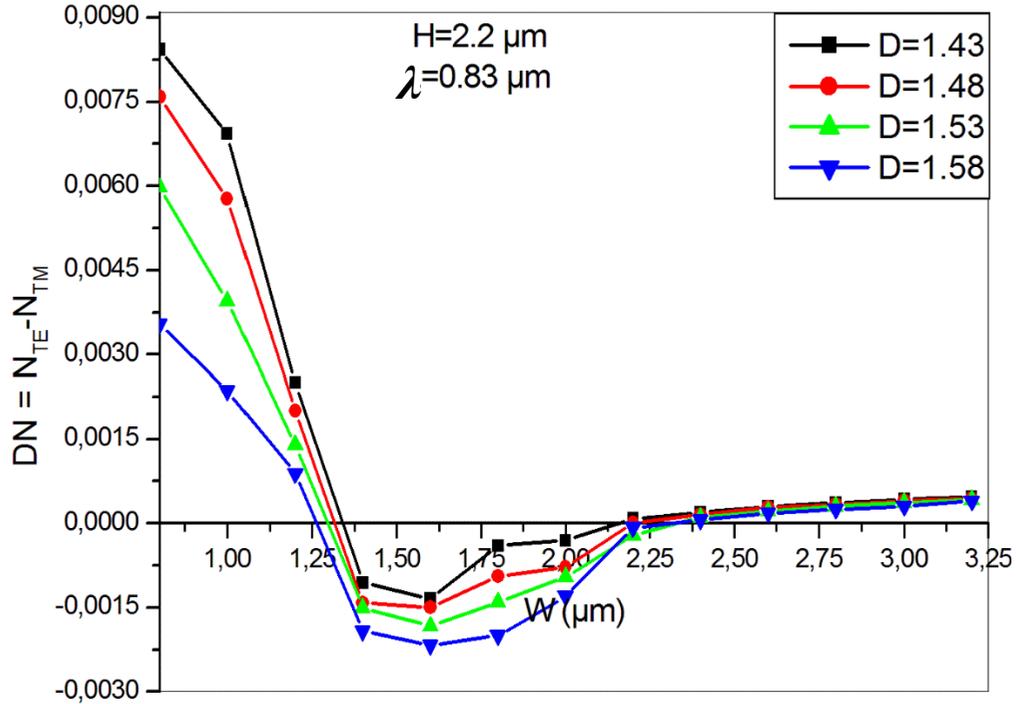


Fig. III.11 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de la profondeur de gravure D , et une hauteur $H = 2.2 \mu\text{m}$.

La figure (III.11) montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant SiO_xN_y , augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative. Cette figure indique également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D [24].

Le tableau (III.6) regroupe tous les points de la largeur W du film guidant d'intersection de l'axe *biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre géométrique D .

Table III.6 : Différents points de la largeur W du film guidant qu'il vérifié la condition $\Delta n=0$, pour les différentes valeurs de graveur D , pour une hauteur $H = 2.4 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	D= 1.43	D= 1.48	D=1.53	D=1.58
Largeur W1 (μm)	1.35	1.3	1.25	1.2
Largeur W2 (μm)	2.2	2.25	2.35	2.4

D) Pour $H= 2.8\mu\text{m}$:

Nous illustrons sur la figure (III.12) l'évolution de la biréfringence d'indice effectif Δn avec la variation de la largeur W du film guidant SiO_xN_y , et d'une hauteur $H=2.8\mu\text{m}$, pour différentes valeurs de gravure D .

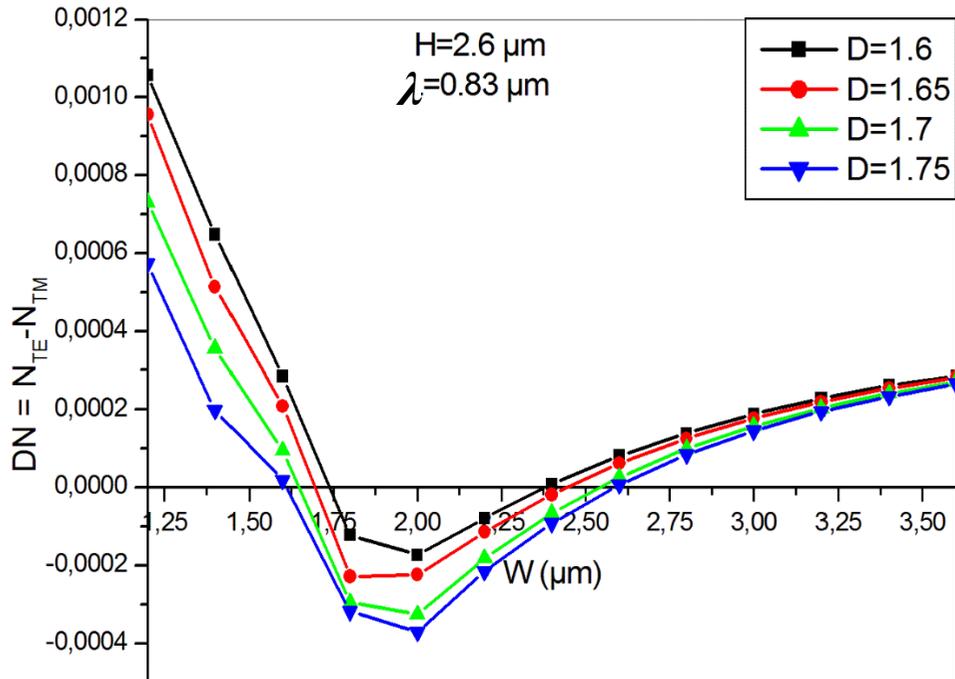


Fig. III.12 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de la profondeur de gravure D , et une hauteur $H = 2.8\mu\text{m}$.

La figure (III.12) indique que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W du film guidant SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Après cette figure, on observe également qu'il existe deux valeurs de la largeur W du film guidant SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler pour les diverses valeurs du paramètre géométrique D (1.6, 1.65, 1.70 et 1.75 μm).

Tous les points d'intersection de l'axe *Biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre géométrique D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.7).

Table III.7 : Différentes points de la largeur W qu'il vérifié la condition $\Delta n=0$, pour les différentes valeurs de graveur D , pour une hauteur $H = 2.8 \mu\text{m}$.

Paramètre D (μm)	$D= 1.58$	$D= 1.6$	$D=1.62$	$D=1.64$
Largeur $W1$ (μm)	1.7	1.67	1.64	1.6
Largeur $W2$ (μm)	2.25	2.32	2.39	2.45

3.3.2. Evolution du paramètre D en fonction de W , pour différentes valeurs de H :

La figure (III.13) représente l'évolution de la profondeur de gravure D en fonction de la largeur W dans laquelle la biréfringence de l'indice effectif est nulle, pour différentes hauteurs H . Nous observons la même allure pour les quatre guides d'ondes étudiés. Cette figure montre également qu'il existe un minimum de la profondeur de gravure D_{\min} pour les tous guides d'ondes étudiés dans notre travail.

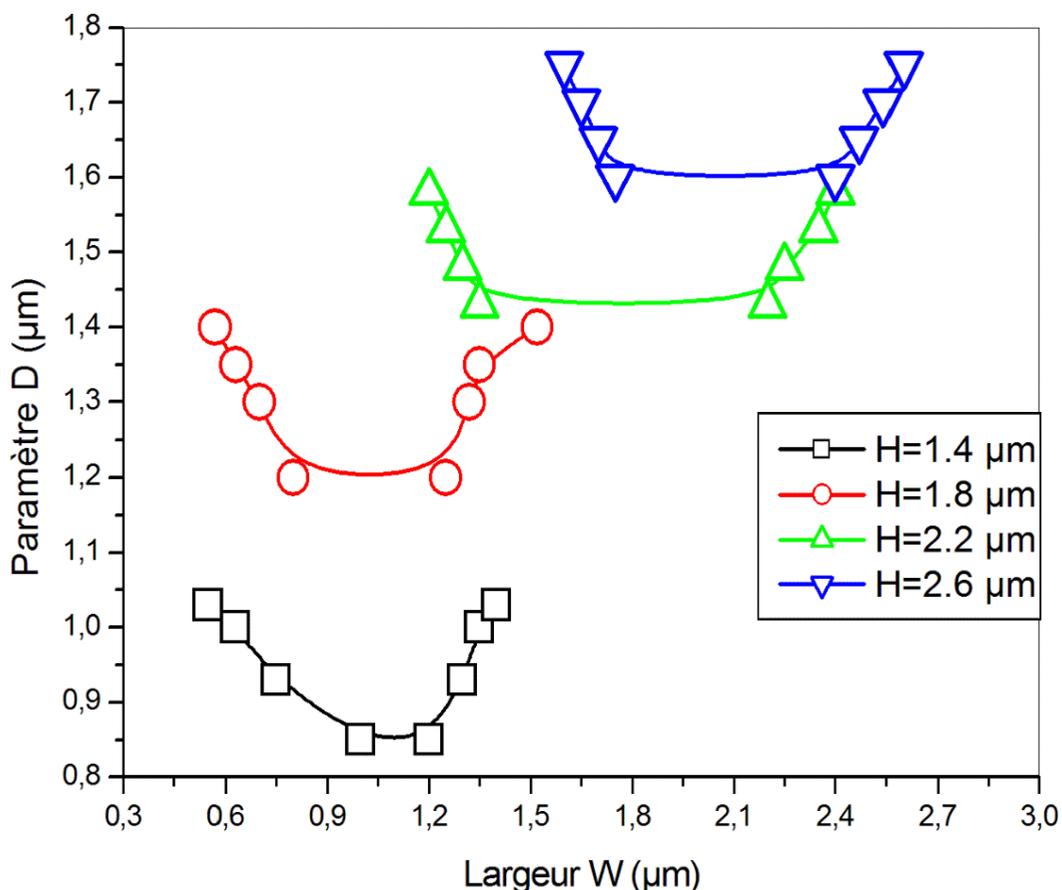


Fig. III.13 : variation du paramètre de gravure D en fonction de la largeur W , pour les différentes hauteurs de guide.

A partir cette figure, on peut tirer plusieurs remarques :

- Quand la hauteur H du film guidant augmente la profondeur de gravure D diminue, c'est un paramètre important puisque technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé. Cela peut être vu pour l'ensemble des points de données.

- On remarque également qu'il y a plus de choix pour les dimensions des guides d'ondes pour remplir les deux conditions simultanément, l'accord de phase (biréfringence nulle) et le caractère monomode.

- Enfin, pour tous les quatre courbes, on note que le dernier point à droite les limites de la largeur W pour obtenir un guide d'onde optique en arête monomode pour $\lambda = 830$ nm. La profondeur de gravure D et la largeur W du film guidant sont regroupées dans le tableau (III.8).

Table III.8 : Dimensions des guides d'ondes en arête pour réaliser l'accord de phase et le caractère monomode à $\lambda = 830$ nm, largeur W et la profondeur de gravure D sont donnés pour différentes valeurs de la hauteur du guide d'onde.

H (μm)	1.4	1.8	2.2	2.8
W (μm)	1.4	1.52	2.4	2.6
D (μm)	1.03	1.4	1.6	1.75

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié et analysé la biréfringence de l'indice effectif entre les deux modes guidés TE et TM dans des guides d'ondes en arête à base du matériau SiO_xN_y à l'aide d'un simulateur (BeamProp), pour fournir des géométries de guide d'onde pour aboutir à des guides d'ondes à zéro-biréfringence. La largeur, la profondeur de gravure, et la hauteur ont été déterminées pour concevoir des guides d'ondes qui remplissent la condition zéro-biréfringence aux longueurs d'onde $0.633\mu\text{m}$, $0.830\mu\text{m}$ et $1.55\mu\text{m}$.

Nous avons démontré également que, dans les guides d'ondes en arête, il ya plus de choix pour les dimensions de guide d'ondes qui remplissent les deux conditions zéro-biréfringence et le caractère monomode simultanément à la longueur d'onde $\lambda = 830$ nm.

Chapitre IV

Etude de condition d'un guide d'onde monomode

Etude de la condition d'obtention d'un guide monomode

1. Introduction :

Depuis 1894, et, après le premier guide d'onde a été proposé par Joseph John Thomson mené de nombreuses études et expériences pour déterminer les conditions de coupure pour obtenir un guide d'ondes monomode .Dans ce chapitre, nous mènerons une étude visant à déterminer les conditions de conception de guide d'ondes monomode.

2. Dispositif de simulation :

Dans notre travail, nous nous intéressons à l'étude d'un guide d'onde optique en arête représenté par une couche diélectrique guidante (SiO_xN_y) d'indice de réfraction $n_f=1.60$ de largeur W , d'une hauteur H et d'un paramètre de gravure D , limité par un substrat de SiO_2 d'indice de réfraction ($n_s = 1.45$) et un superstrat (revêtement) d'air d'indice de réfraction ($n_c = 1$) (Fig. IV.1). Les indices de réfraction de trois couches sont valables pour une longueur d'onde de $\lambda=830$ nm. Le guide d'onde étudié est un guide d'onde à double confinement chargé par une arête (Fig. IV.1).

On peut modéliser ce guide de la manière suivante, avec $n_f > n_s$

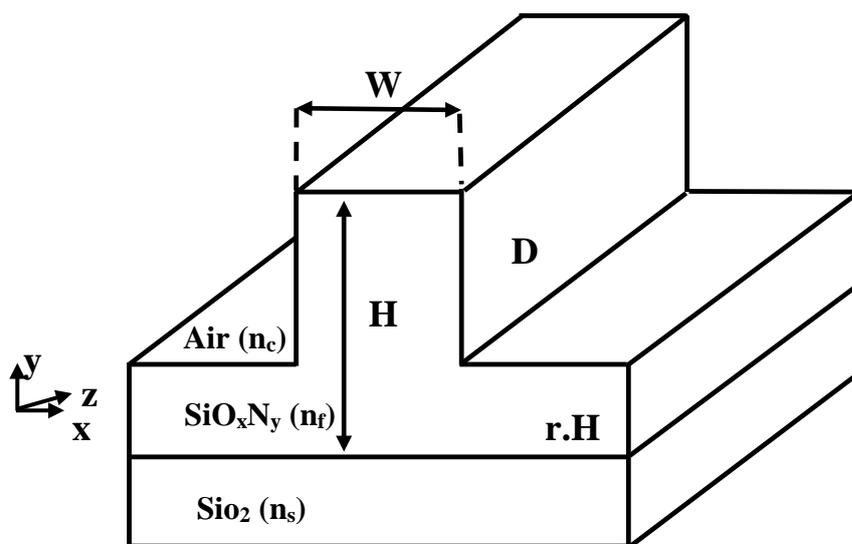


Fig. IV.1 : Géométrie du guide d'onde en arête à base du matériau SiO_xN_y .

Dans cette étude, nous varions la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y , et nous fixons son indice de réfraction, et nous effectuons une série de simulation. Afin de définir le dimensionnement d'un guide en arête monomode TE et TM, pour ne pas avoir de modes TE et TM se propageant à des vitesses différentes.

Il Ya plusieurs études ont été menées pour déterminer les conditions pour obtenir un guide d'onde monomode, Soref et Pogossian [24] ont proposé une opération simple entre les paramètres géométriques du guide d'onde pour assurer son caractère monomode.

A partir de formule (1) de Soref et Pogossian, nous allons étudier les conditions pour obtenir un guide d'onde monomode pour différentes valeurs r de 0 jusqu'à 1.

$$\frac{W}{H} \leq \alpha + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et} \quad r \geq 0,5 \quad (1)$$

Où

W : est largeur du guide.

H : sa hauteur.

r : le paramètre de gravure.

$\alpha = 0,3$ ou $\alpha = 0$.

Dans cette étude, on va choisir $\alpha = 0,3$

Si nous considérons :

$$\frac{W}{H} = 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et} \quad r \geq 0,5 \quad (2)$$

La figure (2) représente la variation du ratio W/H du guide d'onde étudié en fonction du paramètre de la gravure r . Cette figure montre la présence de deux régions, l'une monomode et l'autre multi mode. On remarque également qu'il y a une relation directe entre le ratio W/H et le paramètre de la gravure r .

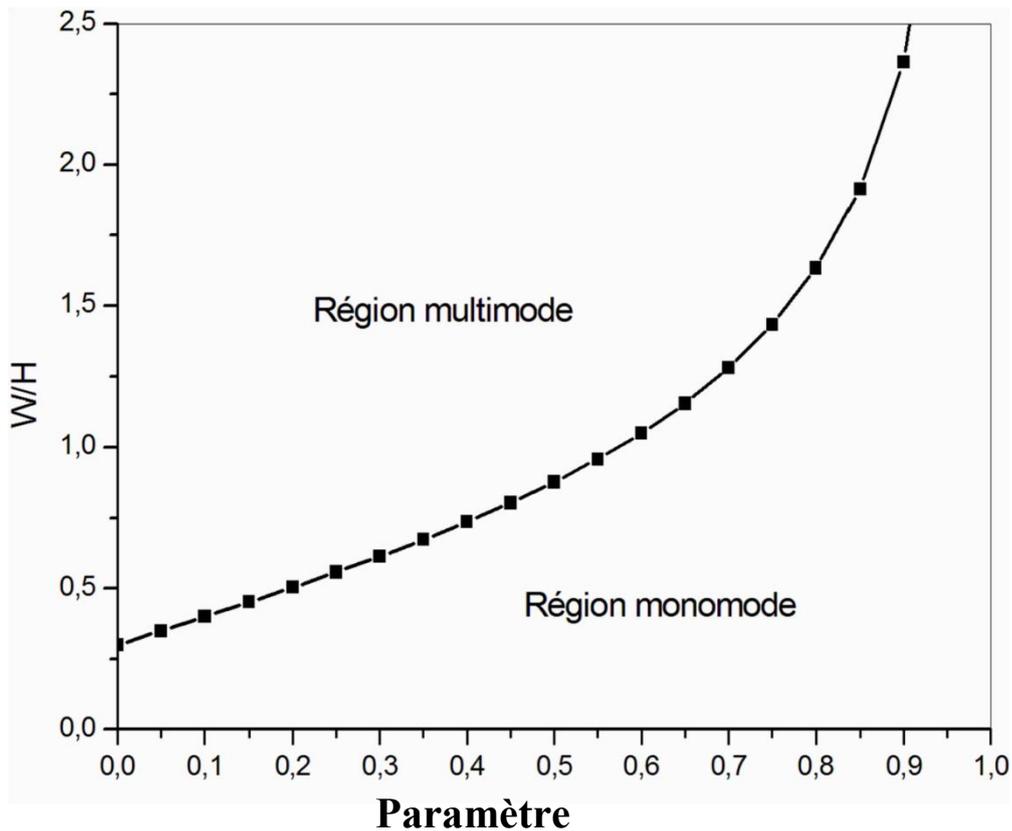


Fig. IV.2 : Variation du ratio W/H en fonction du paramètre de la gravure r .

3. Résultats de simulation :

3.1. Répartition des champs :

A) Mode fondamental ($m=0$) :

La figure (IV.3) représente le profil transversal du mode fondamental $m=0$ à l'entrée du guide d'onde en arête à base du matériau SiO_xN_y . Ce mode est obtenu par l'injection d'une onde gaussienne TE et/ou TM d'une longueur d'onde de $\lambda = 830$ nm dans le guide d'onde.

L'indice effectif du mode fondamental pour une polarisation TE est $n_{\text{eff}}(\text{TE})=1.575115$ et $n_{\text{eff}}(\text{TM})=1.553334$ pour une polarisation TM.

Polarisation électrique (TE)**Polarisation magnétique (TM)**

$$H = 1.2 \quad W = 4.01 \quad h = 1.14 \quad \lambda = 830 \text{ nm}$$

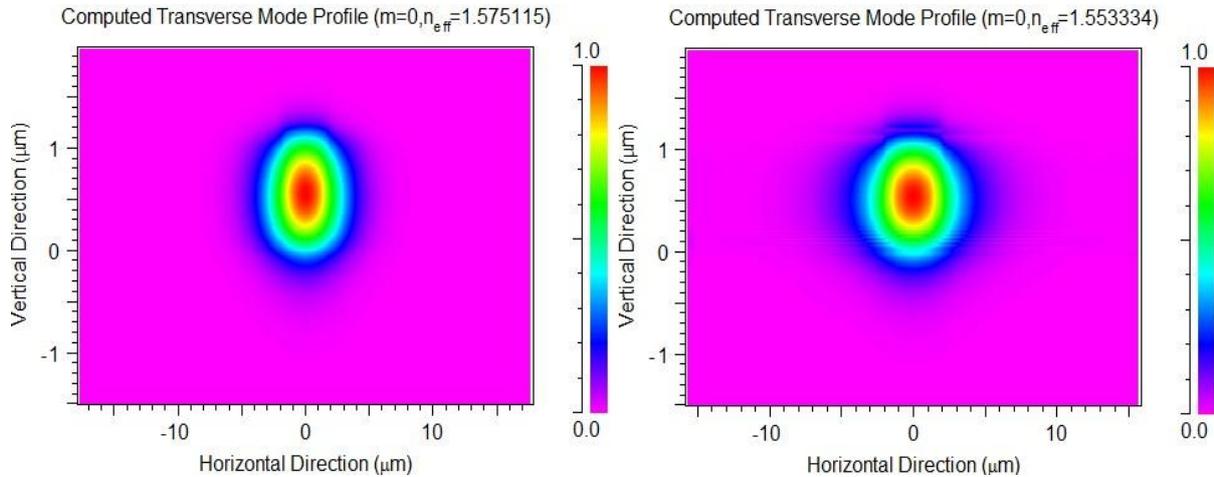


Fig. IV.3 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode fondamental $m=0$.

B) Mode 1 ($m = 1$) :

La figure (IV.3) illustre le profil transversal du mode 1 à l'entrée d'un guide d'onde en arête à base d'un film guidant de SiO_xN_y pour les deux polarisations TE et TM. L'indice effectif de ce mode est $n_{\text{eff}} = 1.581078$ pour une polarisation transverse électrique (TE) et $n_{\text{eff}} = 1.570075$ pour une polarisation transverse magnétique (TM). Cette figure montre l'apparition de deux ondes confinées dans le film guidant SiO_xN_y .

$$H = 1.6 \quad W = 3.78 \quad h = 1.44 \quad \lambda = 830 \text{ nm}$$

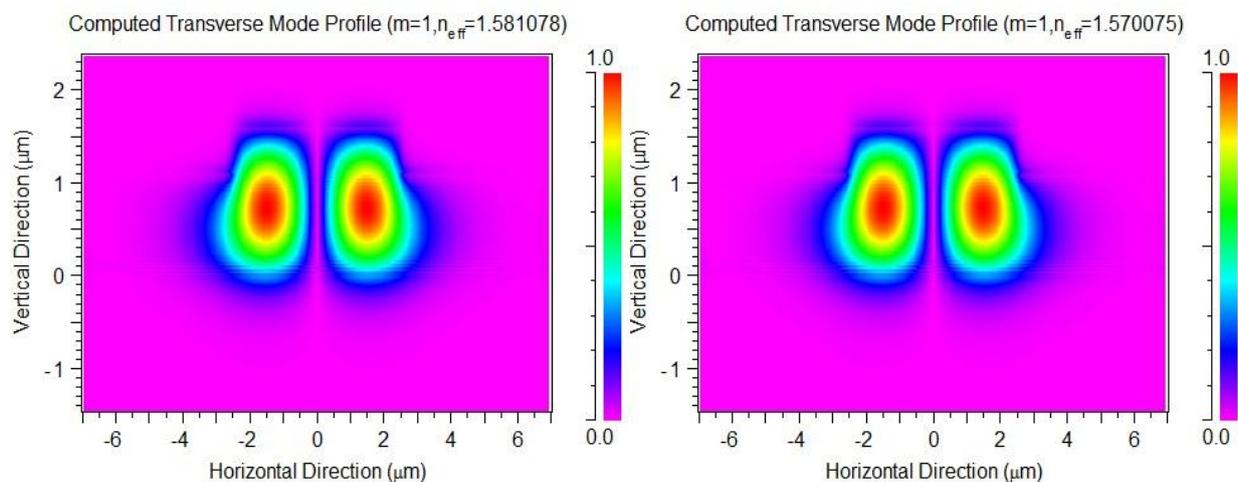
Polarisation électrique (TE)**Polarisation magnétique (TM)**

Fig. IV.4 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode 1.

C) Mode 2 ($m=2$) :

Le profil transversal de deux ondes TE et TM du mode 2 ($m=2$) à l'entrée du guide en arête à base du film guidant SiO_xN_y est illustré sur la figure (IV. 5). Cette figure montre l'apparition de trois ondes à l'entrée de notre guide. L'indice effectif de ce mode est $n_{\text{eff}} = 1.576083$ et $n_{\text{eff}} = 1.556919$ pour les deux polarisations TE et TM respectivement.

Polarisation électrique (TE)

Polarisation magnétique (TM)

$$H = 2 \quad W = 5 \quad h = 1 \quad \lambda = 830 \text{ nm}$$

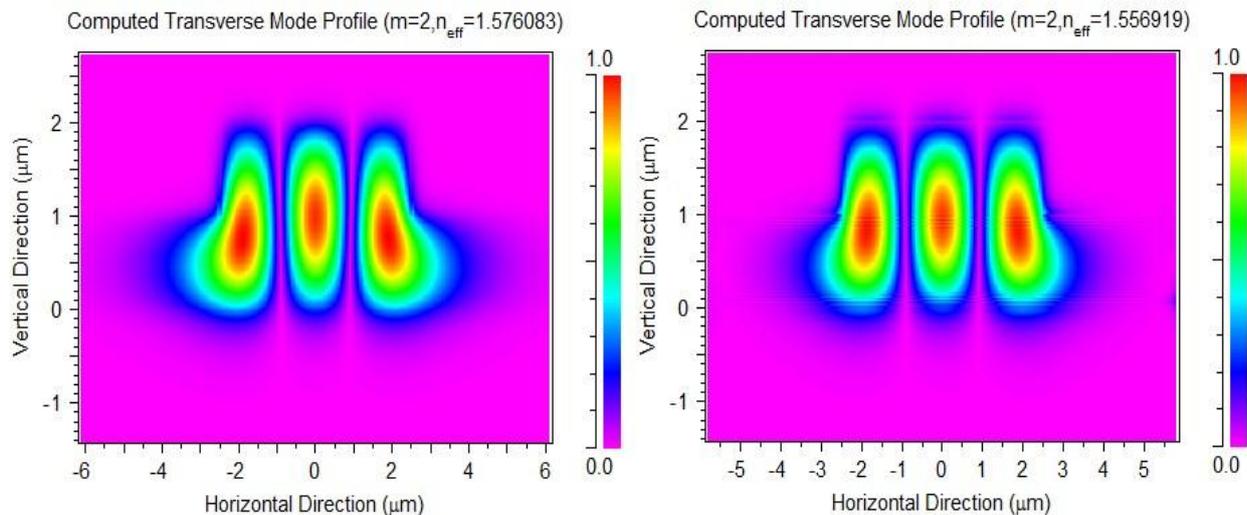


Fig. IV.5 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode 2.

3.2. Détermination de la dimension de coupure monomode/multi mode :

Dans cette section, on étudie l'influence des paramètres géométriques du guide d'onde en arête (W , H , ...) sur la condition d'obtention d'un guide d'onde de caractère monomode. Pour cela, dans un premier temps, on fixe la hauteur du film guidant H à une valeur choisie ($H = 1.2 / 1.6 / 2 / 2.4 \mu\text{m}$) en augmentant le ratio W/H pour trouver la dimension de coupure monomode/multi mode, l'itération de la simulation est répétée avec différentes valeurs de la hauteur h des guides d'ondes et le rapport r ($r = h / H$), on augmente progressivement la largeur du guide d'onde jusqu'à l'apparition du second mode de propagation et on détermine la largeur maximale W_{max} des guides monomode pour les deux polarisation TE et TM.

A) Pour une géométrie de la hauteur $H = 1.2 \mu\text{m}$:

La figure (IV.6) illustre la variation de l'indice effectif de la structure en fonction de la largeur W du film guidant SiO_xN_y .

Nous remarquons que l'indice effectif des deux modes TE et TM croit progressivement lorsque la largeur W de la guide d'onde SiO_xN_y augmente. Il s'approche de la valeur 1.60 qui correspond à l'indice de réfraction du film guidant (SiO_xN_y). Nous remarquons également que la structure du guide d'onde supporte de plus en plus des modes guidés lorsqu'on augmente la largeur W du film guidant.

A partir de ces courbes, nous pouvons déterminer l'épaisseur de coupure associée à chaque mode. Pour que notre structure soit monomode, il faut que la largeur W du guide SiO_xN_y soit inférieure à $1.12 \mu m$ dans le cas de polarisation TE et inférieure à $1.26 \mu m$ dans le cas d'une polarisation TM , au-delà de ces deux largeurs la structure devient multi mode.

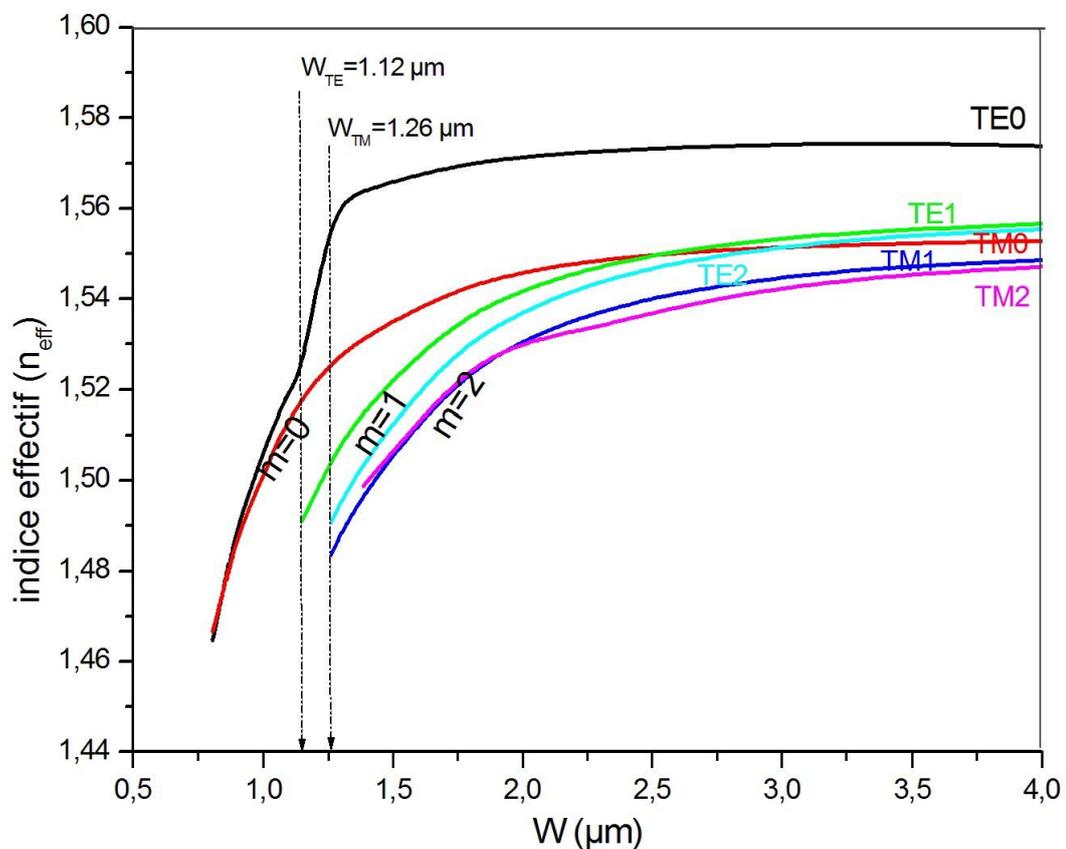


Fig. IV.6 : Evolution de l'indice effectif en fonction de la largeur W , pour $H=1.2 \mu m$.

B) Pour une géométrie de la hauteur $H=1.6 \mu m$:

La figure (IV.7), illustre l'évolution de l'indice effectif de la structure en fonction de la variation de la largeur W du film guidant SiO_xN_y , pour une géométrie de la hauteur $H=1.6 \mu m$.

La figure (IV.7) montre, que le dispositif du guide d'onde supporte de plus en plus les modes guidés lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y de notre guide d'onde augmente, et la structure devient multi modes.

Le caractère monomode de notre modèle a été obtenu avec une largeur de SiO_xN_y inférieure à $1.07 \mu\text{m}$ pour une mode transverse électrique et inférieure à $1.17 \mu\text{m}$ lorsque la polarisation est magnétique, au-delà de ces largeurs la structure du guide d'onde devient multi mode.

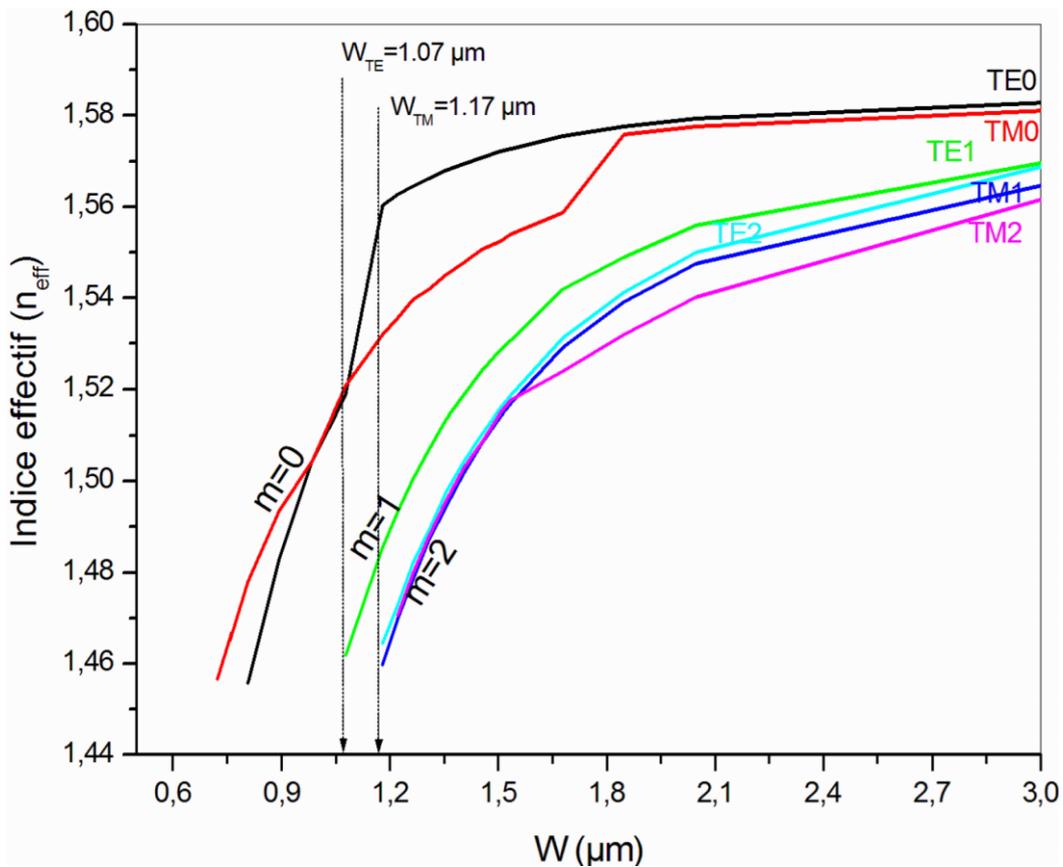


Fig. IV.7 : Evolution de l'indice effective de la géométrie étudiée en fonction de la largeur W , pour une hauteur $H=1.6\mu\text{m}$.

C) Pour une géométrie de la hauteur $H=2 \mu\text{m}$:

La figure (IV.8), illustre l'évolution de l'indice effectif de la structure en fonction de la variation de la largeur W du film guidant SiO_xN_y , pour une hauteur de $H=2\mu\text{m}$. Cette figure montre, que le dispositif du guide d'onde supporte de plus en plus les modes guidés lorsque la largeur de la couche guidante de SiO_xN_y de notre guide d'onde augmente, et la structure devient multi modes.

Le caractère monomode de notre modèle a été obtenu avec une largeur W de SiO_xN_y inférieur à $1\mu\text{m}$ pour les deux modes transverse électrique (TE) et magnétique (TM), au-delà de ces largeurs la structure devient multi mode.

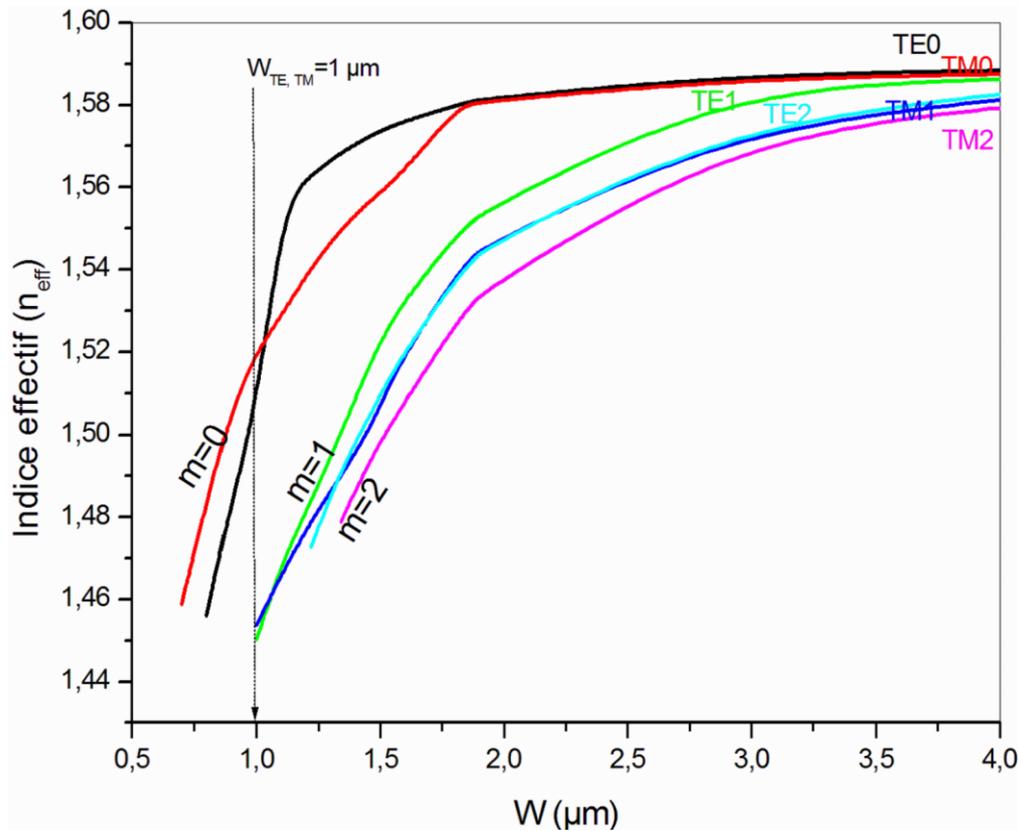


Fig. IV.8 : Evolution de l'indice effective en fonction de la largeur W , pour $H=2\mu\text{m}$.

D) Pour une géométrie de la largeur $W=2.4\ \mu\text{m}$:

Nous représentons sur la figure (IV. 9) la variation de l'indice effectif des modes TE et TM d'un guide d'onde en arête en fonction de la largeur W du film guidant d'une hauteur de $2.4\ \mu\text{m}$.

Cette figure montre que l'indice effectif des deux modes TE et TM croit progressivement lorsque la largeur W de la guide d'onde SiO_xN_y augmente. Il s'approche de la valeur 1.60 qui correspondant à l'indice de réfraction du film guidant (SiO_xN_y). Nous remarquons également que la structure du guide d'onde supporte de plus en plus des modes guidés lorsqu'on augmente la largeur W du film guidant.

Les limites de coupure monomode/multi mode de notre structure sont : $0.96\mu\text{m}$ pour les deux polarisations transverse électrique (TE) et transverse magnétique (TM).

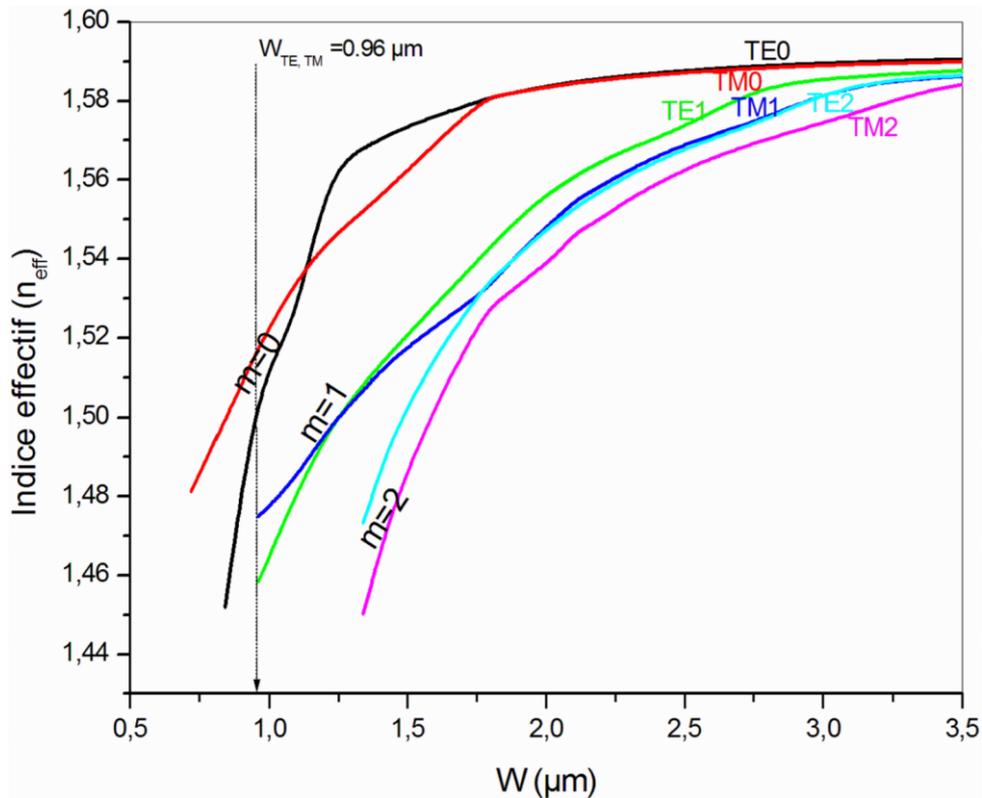


Fig. IV.9 : Evolution de l'indice effectif en fonction de la largeur W , pour $H=2.4\mu m$.

3.3. Variation de la largeur de coupure (w_c) en fonction de (H) :

Nous représentons sur la figure (IV. 10) la variation de la largeur de coupure W_c du film guidant en fonction de la hauteur de guide.

Cette figure montre que la largeur de coupure diminue progressivement lorsque la hauteur de guide augmente.

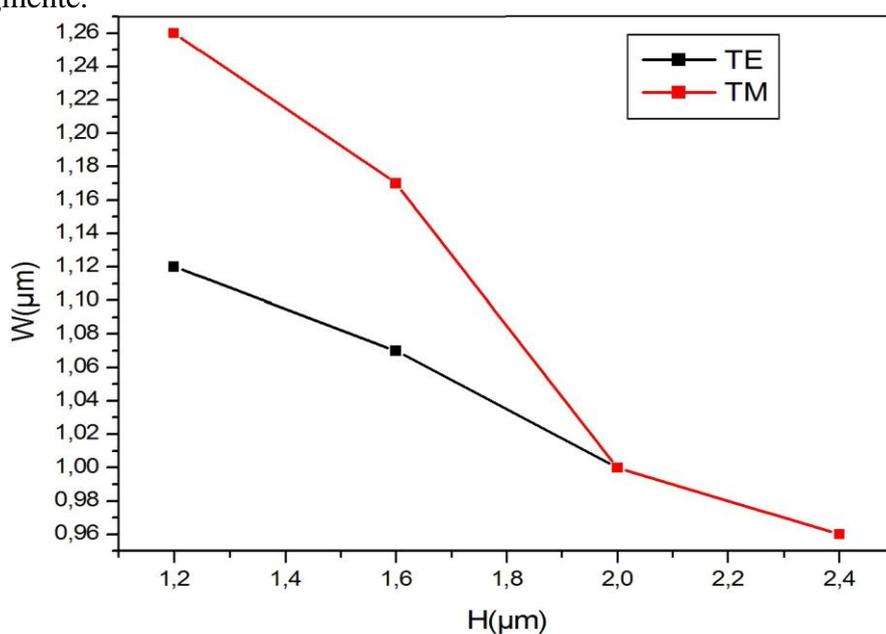


Fig. IV.10 : Variation de la largeur de coupure W_c en fonction de H .

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons optimisé les paramètres géométriques (Largeur W , Hauteur H) des guides d'onde en arête pour avoir un guide d'onde optique de caractère monomode pour les deux modes de propagation électrique (TE) et magnétique (TM), afin de limiter les pertes de propagation due au chevauchement des impulsions dans le guide, et donc provoquer une perte d'information.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire porte sur l'étude et l'analyse de l'influence des paramètres géométriques de guide d'onde optique à base du matériau SiO_xN_y tels que : la largeur W , la hauteur H et la gravure D sur l'obtention des deux conditions à savoir : la biréfringence nulle et le caractère monomode du guide d'ondes, afin de limiter les pertes de propagation dû aux pulsations chevauchantes dans le guide d'onde, et par conséquent causé une perte d'information.

Les grandes dimensions de guide d'onde en arête à zéro-biréfringence et à caractère monomode restent un vrai problème dans les dispositifs de l'optique intégrée, à cause de la faible densité d'intégration. La solution envisageable est la conception des géométries avec des dimensions optimisées, compatible avec la technologie existée.

La modélisation et la simulation de nouvelles géométries des guides d'ondes optiques sont devenues très importante avant la fabrication de ces dispositifs. Pour cela, cette étude vise à modéliser et simuler un guide d'onde optique en arête à base du matériau SiO_xN_y , pour différents paramètres géométriques.

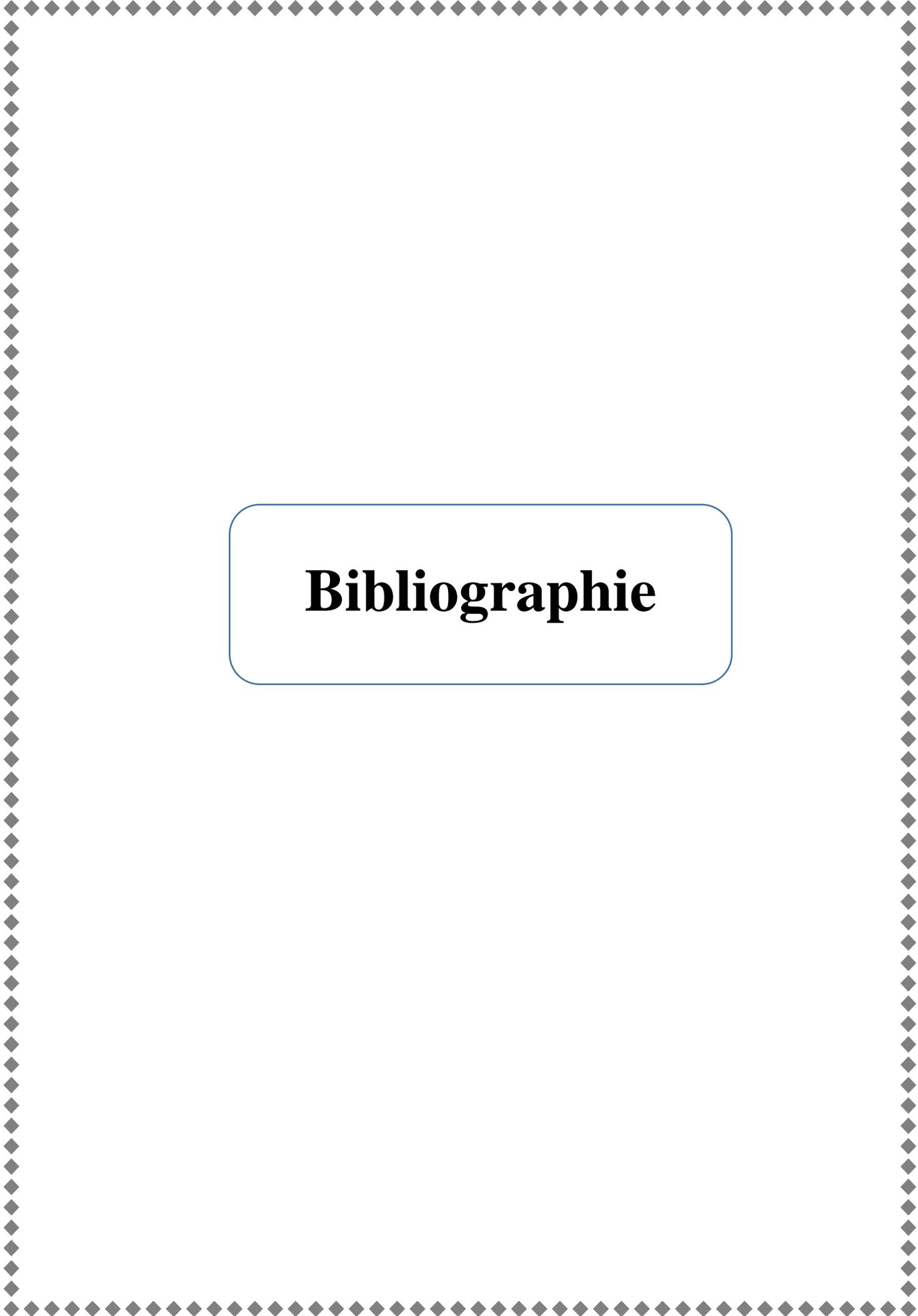
L'étude de la biréfringence de guide d'onde SiO_xN_y a montré que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse avec la croissance de la largeur W . Nous avons démontré également que la biréfringence s'annule de deux largeurs W du film guidant. Dans ce cas, on dit que le guide d'onde est insensible à la polarisation soit TE ou TM. Les résultats obtenus ont indiqués également que la profondeur de gravure minimum a diminué avec l'augmentation de la longueur d'onde. Nous avons trouvés aussi que la profondeur de gravure D a diminué lorsque la hauteur H du film guidant augmente, c'est un paramètre important puisque technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé.

L'étude du caractère monomode de guide d'onde a montré que le guide supporte de plus en plus des modes guidés lorsque la largeur W du film guidant de SiO_xN_y croit. Nous avons aussi déterminé les conditions de coupure Monomode-Multimode pour les deux polarisations TE et TM. Enfin, nous avons défini la relation entre la largeur W_c et la hauteur H .

Nous pouvons améliorer ce travail en tenant compte les perspectives suivantes :

- Etudier la biréfringence et le caractère monomode avec d'autres géométries des guides d'ondes à base du matériau SiO_xN_y .

- Etudier l'influence de l'indice de réfraction du film guidant SiO_xN_y sur la biréfringence et le caractère monomode des guides d'ondes en arête.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] **C-T. Lin**, "*Athermal metal-free planar waveguide concave grating demultiplexer*", Optics Communications, Vol. 284, pp. 195–200, 2011.
- [2] **C-T Lin**, Y-T Huang, J-Y Huang, *A planar waveguide concave grating employing dielectric mirrors* " Optics Communications, Vol. 281, pp. 1072-1076, 2008
- [3] **C.K. Wong, Hei Wong, C.W. Kok, M. Chan**, "*Silicon oxynitride prepared by chemical vapor deposition as optical waveguide materials*", Journal of Crystal Growth, Vol. 288, pp. 171-175, 2006.
- [4] **Ch. Gorecki**, "*Optimization of plasma-deposited silicon oxynitride films for optical channel waveguides*", Optics and Lasers in Engineering, Vol. 33, pp. 15-20, 2000.
- [5] **M. Fadel, R-B. Gentemann**, "*Coupling tolerances of high-index silicon-oxynitride waveguides with small bending radii*", *Int. J. Electron. Commun. (AE)*, Vol. 61, pp. 168-171, 2007.
- [6] **R. Mahamdi, M. Boulesbaa, L. Saci, F. Mansour, C. Molliet, M. Collet and P. Temple-Boyer**, "*Ellipsometric and Rutherford back scattering spectroscopy studies of SiOxNy films elaborated by plasma-enhanced chemical vapour deposition*", Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.11, no.10, pp. 9118-9122(5), 2011.
- [7] **Abhandlung über das Licht**, J. Baarmann (ed. 1882) *Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft Vol 36*
- [8] **The 'first true scientist' [archive]**, sur le site news.bbc.co.uk
- [9] **Thiele, Rüdiger (2005)**, "*In Memoriam: Matthias Schramm*", Arabic Sciences and Philosophy (Cambridge University Press) 15: 329–331, doi:10.1017/S0957423905000214
- [10] **Thiele, Rüdiger (August 2005)**, "*In Memoriam: Matthias Schramm, 1928–2005*", Historia Mathematica 32 (3): 271–274, doi:10.1016/j.hm.2005.05.002
- [11] **Grant 1974 p. 392** notes the Book of « *Optics has also been denoted as Opticae*» Thesaurus Alhazen Arabis, as De Aspectibus, and also as Perspectiva
- [12] http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flexion_totale
- [13] <http://paristech.institutoptique.fr/site.php?id=95&fileid=72> [archive]

- [14] http://fr.wikipedia.org/wiki/Guide_d%27onde
- [15] **S. Naskar**, “*Deposition and characterization of silicon oxynitride material for the fabrication of optical waveguides*”, Thesis of doctorat, Case Western Reserve University, 200
- [16] **F. Meriche**, « *Structuration 1D et 2D de matériaux diélectriques par ablation laser nanoseconde : Applications aux couches minces et monocristaux de LiNbO₃ et couches minces de TiO₂* » Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2008.
- [17] **F. Choueikani**, « *Structuration 1D et 2D de matériaux diélectriques par ablation laser nanoseconde : Applications aux couches minces et monocristaux de LiNbO₃ et couches minces de TiO₂* », thèse de doctorat, université de Saint-Etienne, 2008.
- [18] **D. Grenier**, « *Electromagnétique et transmission des ondes* » Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Laval, Québec, 2012.
- [19] **RSoft CAD 5.1.9**, « *User guide* » RSoft Design Group, 200 Executive Blvd. Ossining, NY 10562
- [20] **Éléonore BARTHÉLÉMY** « *Développement de guides d’onde IR à base de couches épaisses de verres tellurures pour l’interférométrie spatiale* », université Montpellier II sciences et techniques de la langue doc ,2010
- [21] **A. LAYADI** “ *Etude et caractérisation de composants d’optique intégrée sur SOI de type SIMOX* ” Thèse en sciences de l’université Paris XI, Orsay (1998).
- [22] **N. LANDRU** “ *Etude de modulateurs de lumière à $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ à commande électrique en optique intégrée silicium sur isolant* ” Thèse en sciences de l’université de VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES (30juin 2000).
- [23] **E. POUGOIESE** “ *Microguides d’ondes substrat sur silicium sur isolant* ”, “ *Applications aux télécommunications optiques* ”, “ *insensibilité à la polarisation et couplage guide/fibre* ” rapport de stage D E A OOM ORSAY (mars/août 2002).
- [24] **BOUBEKRI et CHIKHA AMARA** ” *Etude et dimensionnement d’un guide d’onde en arête à base du matériau (SiO_xNy)* ” Université Kasdi Merbah Ouargla, Département de Génie Electrique, Faculté des Sciences Appliquées, 2014
- [25] **Boudelal Riad** « *Etude de couplage d’un guide d’ondes avec une fibre optique* » UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE, 2010

Résumé:

Dans notre travail, nous avons consacré à l'étude de l'influence des paramètres géométriques (W , D , H ,...) de guide d'onde SiOxNy sur la réalisation de la condition $\Delta n=0$ (biréfringence nulle) que le zéro-biréfringence est une condition importante pour les dispositifs magnéto-optiques de guide d'ondes. Cette étude montre que la biréfringence de l'indice effectif s'annule en deux points en fonction de la largeur W du film guidant. Il a été analysé au moyen de méthode assortie de mode de film guidant. La modélisation est basée sur des ajustements géométriques du guide d'ondes (Rib waveguide) et particulièrement de la profondeur de gravure, qui est un paramètre critique dans la conception du guide d'ondes. Nous avons déterminé les dimensions de guide d'ondes qui permettraient les mêmes constantes de propagation pour les deux polarisations TE et TM, et nous avons trouvé qu'il y a plusieurs choix pour que les dimensions de guide d'ondes produisent les différents modes de guides d'ondes simultanément. Donc, le guide d'onde est insensible à la polarisation quel que soit TE ou TM donc nous avons atteint à notre but pour limiter les pertes de propagation.

Abstract:

In our work, we have consecrate to study the influence of the geometrical parameters (W , D , H ...) of waveguide of SiOxNy on the realization of the condition $\Delta n = 0$ (birefringence null) the zero-birefringence condition is an important requirement for magneto-optical waveguide devices. This study shows that the birefringence of the effective index is equal zero between two points according to the width W of guiding film. It has been analyzed by means of Film Mode Matching method. The modelling is based on geometrical adjustments of the rib waveguide and especially the etch depth, which is a critical parameter in the design of rib waveguide. We determine the Rib waveguide dimensions that would allow the same propagation constants for both polarizations TE and TM and we have found that there are more choices for waveguide dimensions to produce the various modes of waveguides simultaneously. Therefore, the rib waveguide is insensitive with polarization whatever the TE or TM, so we reached with our goal to limit the losses of propagation.

الملخص:

لقد كرسنا عملنا في دراسة تأثير العوامل الهندسية (W , D , H ,...) لموجه الموجات الضوئي SiOxNy مع الأخذ بعين الاعتبار تحقيق شرط (biréfringence nulle) $\Delta n=0$ حيث أن (zéro-biréfringence) هو شرط مهم من اجل الحصول على موجبات أمواج ضوئية مغناطيسية مثالية. هذه الدراسة تبرهن أن — (biréfringence) للدليل الفعال يزعم بين نقطتين بدلالة عرض الفيلم الموجه للأمواج الضوئية. حيث أن هذه الدراسة تم تحقيقها عن طريق آذاه محاكيه لوضع الفيلم الموجه للأمواج. تستند هذه المنهجية على التعديلات الهندسية للموجه الموجي (Rib waveguide) وخصوصا عمق الـ (gravure) وهو بعد جد حساس في تصميم موجه الأمواج الضوئي. ولقد توصلنا الى ايجاد الابعاد المثالية للموجه الأمواج الضوئية التي تسمح بالحصول على نفس الانتشارية في كلتا حالتى الاستقطاب TE و TM، كما اننا قد وجدنا أن هناك العديد من الاحتمالات للابعاد موجه الامواج الضوئي للوصول الى مختلف الأوضاع للموجه معا. وبالتالي فان موجه الأمواج الضوئي لا يتأثر بالمؤثرات الاستقطابية مهما كانت TE و TM وهكذا نكون قد توصلنا الحد من الضياع في الانتشارية.