

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR-EL OUED
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



Mémoire

**Présenté par : Redouane youcef , Lalmi abd errahmane , Saker
mohamed Lamine et Zodir Sami**

**Pour l'obtention du Diplôme de Master en Systèmes de
télécommunication**

Spécialité : Systèmes de télécommunication

Mémoire

**Etude et simulation de guide d'ondes à basse
cristal photonique**

Devant le jury composé de :

- | | | |
|---------------------------|------------------|-----------|
| - Mr. HIMA ABDELKADER | Dr UNV (EL OUED) | Président |
| - Mr. SADOUN ALI | Dr UNV (EL OUED) | Encadreur |
| - Mr. MEDJOURI ABDELKADER | Dr UNV (EL OUED) | Examineur |

Année universitaire : 2021/2022

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	1
1 Cristal photonique	3
1.1 Introduction	4
1.2 Définition des cristaux photoniques :	4
1.3 Différents types de cristaux photoniques :	4
1.3.1 Cristaux photoniques unidimensionnels (1D) :	4
1.3.2 Les cristaux photoniques bidimensionnels (2D) :	5
1.3.3 Le réseau carré	6
1.3.4 Le réseau triangulaire	6
1.3.5 Le réseau hexagonal	6
1.3.6 Les cristaux photoniques tridimensionnels (3D) :	7
1.3.7 Structures "tas de bois"	7
1.3.8 Structure Opales :	8
1.4 Les matériaux utilisés dans la fabrication de cristaux photoniques :	8
1.4.1 Les semi-conducteurs III-V :	8
1.4.2 Les semi-conducteurs de la colonne IV :	9
1.5 Les applications des cristaux photoniques	9
1.5.1 les cavités	9
1.5.2 Guides d'onde à cristaux photoniques	10
1.5.3 Filtres et multiplexeurs	11
1.5.4 Fibres optiques	11
1.6 Conclusion	13
2 Fibre optique	15
2.1 Introduction	16
2.2 Le guide d'onde	16
2.3 Description des guides d'ondes	16
2.4 les avantages des guides d'ondes	17
2.4.1 Guide parallèle plan	17
2.4.2 Les guides d'ondes rectangulaires	18
2.4.3 Fréquence de coupure	19

2.4.4	Les guides d'ondes circulaires	19
2.5	La fibre optique	19
2.6	Présentation générale des fibres	20
2.7	Caractère monomode/ multimode	20
2.8	Atténuation	21
2.9	Applications de la fibre optique :	22
2.10	Les avantages de la fibre optique	22
2.11	Conclusion	23
3	Les ondes électromagnétiques et méthode FDTD	25
3.1	Introduction	26
3.2	La lumière : propriétés fondamentales	26
3.2.1	La nature de la lumière est elle ondulatoire ou corpusculaire ?	26
3.3	Les ondes électromagnétiques	26
3.3.1	La longueur d'onde	27
3.3.2	Les ondes monochromatiques et polychromatiques	27
3.3.3	Le spectre des ondes électromagnétiques	28
3.3.4	La lumière que nous voyons : le visible	28
3.4	Équations de maxwell et équation aux valeurs propres :	28
3.4.1	La méthode des réseaux de diffraction	29
3.4.2	La méthode de développement sur des modes propres	29
3.4.3	La méthode des ondes planes	29
3.4.4	Méthode des éléments finis FEM	30
3.4.5	Mode TE et mode TM	30
3.4.6	Modes TE	31
3.4.7	Modes TM	31
3.5	Modélisation FDTD :	31
3.5.1	Principes de base :	32
3.6	Avantages et inconvénients de la méthode FDTD :	33
3.6.1	Avantages :[9]	33
3.6.2	Inconvénients :[9]	33
3.7	Les différents matériaux utilisés pour la réalisation des guides d'onde	33
3.8	Conclusion	34
4	Résultats et Interprétations	37
4.1	Introduction	38
4.2	Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde	38
4.3	Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés.	40
4.4	Etude comparative	42
4.5	Conclusion	44
	Conclusion générale	45

TABLE DES FIGURES

1.1	<i>les types de cristaux photoniques unidimensionnel (1D), bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D).</i>	4
1.2	<i>Structure périodique unidimensionnel.</i>	5
1.3	<i>Le réseau carré [4].</i>	6
1.4	<i>Le réseau triangulaire [4].</i>	7
1.5	<i>Le réseau hexagonal.</i>	7
1.6	<i>(a) La Yablonivite : les trous de ce cristal ont été percés dans un bloc de plexiglas et forment un réseau FCC (b) Image MEB (Microscopie Electronique à Balayage) d'un cristal photonique du type tas de bois fabriquée par lithographie UV dans du silicium.</i>	7
1.7	<i>Fabrication des opales inversées sur substrat par auto organisation : (a) Les sphères de SiO₂ sont forcées de s'ordonner à la surface d'un substrat de silicium lorsque le ménisque se déplace vers le bas lors de l'évaporation du solvant. Un gradient de température appliqué empêche une sédimentation non désirée de particules. (b) Les sphères sont assemblées directement sur le substrat de Si pour former l'opale. (c) La structure opale est infiltrée avec du silicium puis les sphères de SiO₂ sont enlevées par gravure humide.</i>	8
1.8	<i>Signatures spectrales de cavités hexagonales obtenues par photoluminescence [41].</i>	9
1.9	<i>Différents composants à base de défauts linéaires a) guide droit, b) virage à 120 et c) jonction Y.</i>	10
1.10	<i>Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (Insertion ou extraction d'une certaine longueur d'onde).</i>	11
1.11	<i>Image par microscopie électronique d'un prototype de fibre optique conçu sur la base d'un cristal photonique [46].</i>	12
2.1	<i>Les trois types de guides d'ondes .</i>	17
2.2	<i>Guide parallèle plan .</i>	18
2.3	<i>Les guides d'ondes rectangulaires .</i>	18
2.4	<i>Les guides d'ondes circulaires .</i>	19
2.5	<i>Structure d'une fibre optique .</i>	20
2.6	<i>Différents types de fibre optique.</i>	21
3.1	<i>Les ondes électromagnétiques.</i>	27
3.2	<i>Spectre électromagnétique.</i>	28
3.3	<i>Récapitulatif des propriétés des modes d'un CP 2D.</i>	30

TABLE DES FIGURES

4.1	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 2fs.</i>	38
4.2	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 6fs.</i>	39
4.3	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 10fs.</i>	39
4.4	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 14fs.</i>	39
4.5	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 18fs.</i>	40
4.6	<i>Le temps nécessaire pour parcourir la distance (x) de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein.</i>	40
4.7	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 1fs.</i>	41
4.8	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 5fs.</i>	41
4.9	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 10fs.</i>	41
4.10	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 14fs.</i>	41
4.11	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 18fs.</i>	42
4.12	<i>la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 20fs.</i>	42
4.13	<i>Le temps nécessaire pour parcourir la distance (x) de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein en d'angle 90 degrés</i>	42

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La technologie des composants optiques et électroniques repose sur l'étude des composants électroniques qui émettent ou interagissent avec la lumière . Grâce à la microélectronique elle peut concerner aussi la conception de composants optique, tels que les guides optiques (domaine optique intégrée) et on peut citer comme exemple la fibre optique.

La notion de "cristaux photoniques" a été proposée pour la première fois en 1987. Le premier cristal photonique a été réalisé en 1991. Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice de réfraction varie périodiquement à l'échelle de la longueur d'onde dans une, deux ou trois dimensions.

Les cristaux à deux dimensions (2D) ont en effet atteint le niveau de maturité nécessaire quant à d'éventuelles applications. La fabrication de cristaux photoniques à trois dimensions (3D) est encore au stade de la recherche, alors que ces cristaux existent déjà dans la nature (les opales, les ailes des papillons,...).

Notre objectif à travers ce modeste travail, nous avons étudié et simulé la propagation des ondes électromagnétiques dans un guide d'ondes à base des cristaux photoniques.

La réalisation du présent travail est répartie en quatre chapitres, dans le premier chapitre nous passerons de quelque notion de base sur cristaux photoniques et Différents types et les propriétés de cristaux photoniques à savoir leurs Les matériaux utilisés dans la fabrication de cristaux photoniques.

Le deuxième chapitre, sera consacré à l'étude théorique des sur les fibres et la fibre optique conventionnelle à la fibre optique microstructurée et enfin à savoir Applications des fibres à cristaux photoniques.

Dans le troisième chapitre nous présenterons l'étude théorique sur Les ondes électromagnétiques et Théorie ondulatoire et les équations de Maxwell .

Dans le quatrième chapitre, nous avons étudié la propagation des OEM dans une fibre optique a base de cristal photonique bidimensionnel (structure carré). Ensuite nous avons étudié les taux de transmission(la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) presque égal de temps que (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite).

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale où seront rassemblés nos principaux résultats et présentées quelques perspectives de ce travail.

CHAPITRE 1

CRISTAL PHOTONIQUE

1.1 Introduction

Dans le premier chapitre, nous commençons par des rappels généraux sur les cristaux photoniques. Après un bref rappel sur la notion de bande interdite et les différents types de cristaux photoniques, nous présenterons les propriétés optiques des cristaux photoniques planaires. Par la suite, le principe de guidage et les différents types de guides. Enfin, nous parlerons des matériaux et des technologies qui sont actuellement utilisés pour la fabrication de ces cristaux photoniques.

1.2 Définition des cristaux photoniques :

Les cristaux photoniques sont des microstructures de matériaux photoniques possédant une distribution spatiale périodique de leurs permittivités relative ; par conséquent de leurs indices de réfraction. ces l'indice de réfraction varie de manière périodique à l'échelle de la longueur d'onde dans une, deux ou trois directions de l'espace (figure 1.1).[1]

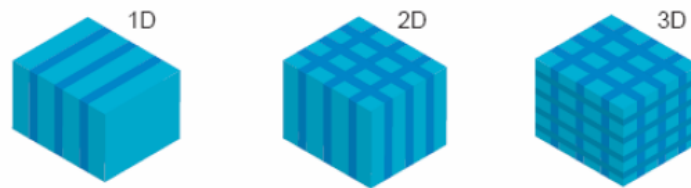


FIGURE 1.1 – les types de cristaux photoniques unidimensionnel (1D), bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D).

1.3 Différents types de cristaux photoniques :

Il existe différents types de cristaux photoniques qui sont classé selon leur dimensionnalité :[1]

à une dimension ,

à deux dimensions

à trois dimensions .

1.3.1 Cristaux photoniques unidimensionnels (1D) :

Ces structures sont couramment utilisées sous le nom de réseau de Bragg [2]. Elles sont généralement réalisées par un empilement de couches d'indice de réfraction différent et d'épaisseur optique (voir figure 1.2). Les cristaux photoniques

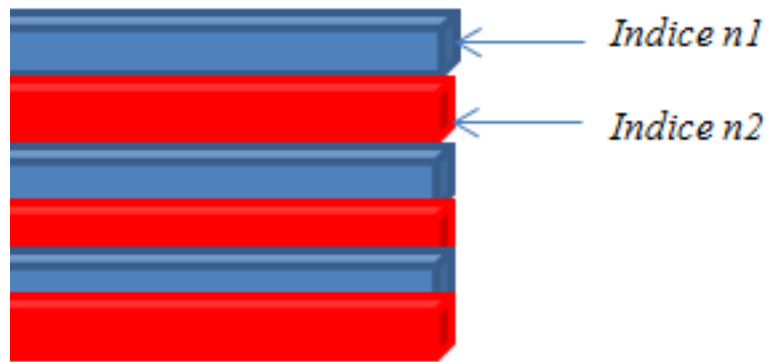


FIGURE 1.2 – Structure périodique unidimensionnel.

unidimensionnels sont obtenus par un empilement de couches d'indices diélectriques différents. Ces structures sont composées de l'alternance périodique dans une seule direction de l'espace de deux milieux diélectriques de constantes diélectriques respectives .

les applications de Cristaux photoniques unidimensionnels

convertisseurs démodés pour fibres optiques,
 filtres sélectifs de longueur d'onde,
 multiplexeurs

1.3.2 Les cristaux photoniques bidimensionnels (2D) :

Les cristaux photoniques tridimensionnels souffrent encore de nombreux problèmes de fabrication. Pour cette raison, nous nous intéressons aux cristaux photoniques bidimensionnels qui peuvent être facilement fabriqués. Les cristaux photoniques bidimensionnels sont constitués de réseaux périodiques de trous d'air percés dans un diélectrique (structures connectées) ou de tiges diélectriques (piliers) dans l'air (structures déconnectées).

La structure dite « connexe » : l'indice n_1 du motif de base est inférieur à l'indice n_2 de la matrice diélectrique.

Une structure dite « brisée » : l'indice n_1 du motif de base est supérieur à l'indice n_2 de l'espace inter-motifs. Ils sont constitués de tiges diélectriques ou métalliques disposées périodiquement dans l'air ou la mousse [3].

De nombreux théoriciens ont tenté d'optimiser les dimensions des structures pour obtenir des bandes interdites complètes, même si celles-ci ont peu d'application. Selon la forme du réseau, il existe 3 grandes familles de matériaux BIP 2D :

1.3.3 Le réseau carré

Les nœuds du réseau sont situés sur les carrés de côté "a" (Figure 1.3). il est montre que ce type de réseau est très sensible à l'angle d'incidence La polarisation des ondes électromagnétiques [4]. si difficile à obtenir bande interdite totale, c'est-à-dire la bande interdite qui empêche la propagation quelle que soit la polarisation

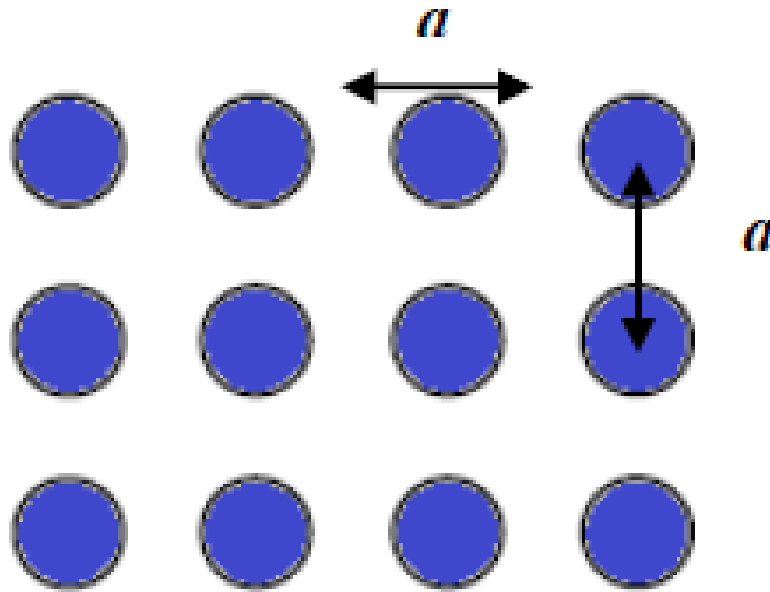


FIGURE 1.3 – Le réseau carré [4].

1.3.4 Le réseau triangulaire

La figure (1.4) montre que le réseau triangulaire est le réseau bidimensionnel le plus élevé Symétrie quand on se limite à un seul "atome" par cellule par nœud La distance d'un réseau est la même que celle de son voisin le plus proche. Cette structure est moins sensible à l'angle d'incidence qu'un réseau carré, mais La bande interdite complète est encore difficile à obtenir.

1.3.5 Le réseau hexagonal

Sur un réseau hexagonal, si tous les nœuds sont identiques et espacés "a », on appelle alors cette structure "graphite" car elle ressemble à la structure Cristaux de graphite (Figure I.5). Contrairement aux réseaux triangulaires, il est Chaque cellule a un réseau de deux "atomes".]. possibilité de bande interdite Première prédiction effectuée en cas de réseau de tiges Diélectrique cylindrique [4].

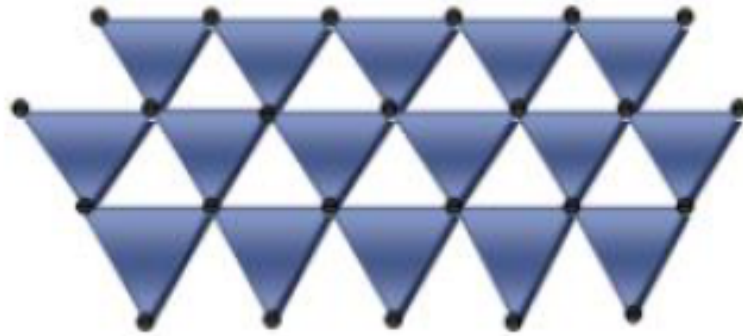


FIGURE 1.4 – Le réseau triangulaire [4].

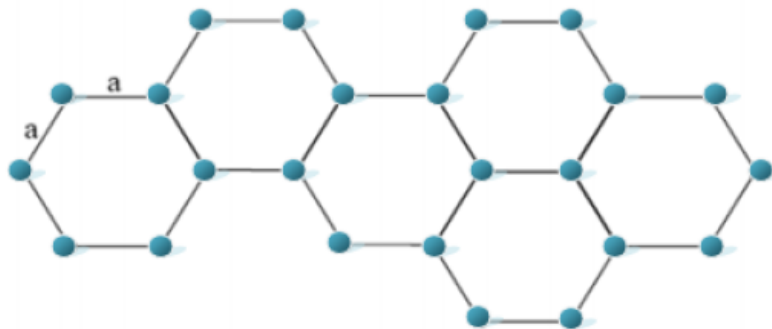


FIGURE 1.5 – Le réseau hexagonal.

1.3.6 Les cristaux photoniques tridimensionnels (3D) :

1.3.7 Structures "tas de bois"

Les structures périodiques de ces cristaux photoniques 3D sont construites par dépôt À travers la couche continue de ruban de polysilicium dans la tranchée de dioxyde de silicium. Cette production de longue durée est dans les délais. Après la construction de la structure, Élimination de la silice pour obtenir des cristaux photoniques 3D Si/air avec contraste Suffisamment exponentiel pour ouvrir une bande interdite omnidirectionnelle (Fig.1.6).

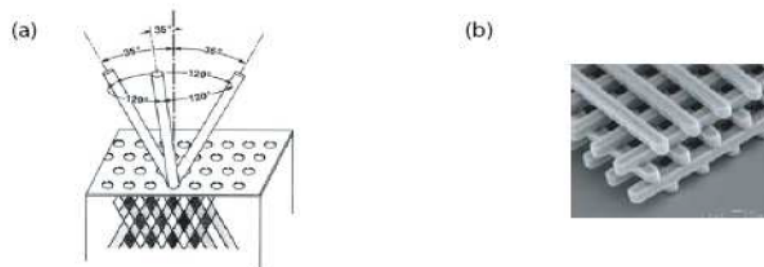


FIGURE 1.6 – (a) La Yablonicite : les trous de ce cristal ont été percés dans un bloc de plexiglas et forment un réseau FCC (b) Image MEB (Microscopie Electronique à Balayage) d'un cristal photonique du type tas de bois fabriquée par lithographie UV dans du silicium.

1.3.8 Structure Opales :

Ce type de cristaux photoniques tridimensionnels est obtenu chimiquement par autoorganisation. La première opale a été obtenue par sédimentation de sphères de silice (SiO_2) en solution. Ces sphères sont auto arrangé selon un réseau cubique à faces centrées par gravitation [5]. Il est à noter qu'un réseau cubique à face centrées de sphères ne présente pas de bandes d'énergies interdites photonique contrairement à l'opale inverse.

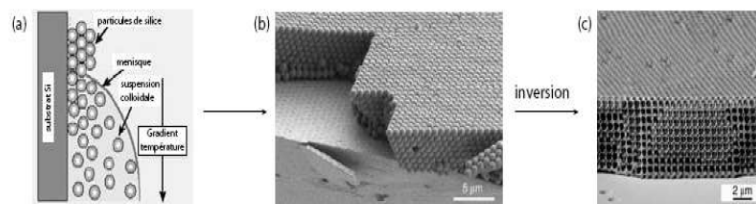


FIGURE 1.7 – Fabrication des opales inversées sur substrat par auto organisation : (a) Les sphères de SiO_2 sont forcées de s'ordonner à la surface d'un substrat de silicium lorsque le ménisque se déplace vers le bas lors de l'évaporation du solvant. Un gradient de température appliqué empêche une sédimentation non désirée de particules. (b) Les sphères sont assemblées directement sur le substrat de Si pour former l'opale. (c) La structure opale est infiltrée avec du silicium puis les sphères de SiO_2 sont enlevées par gravure humide..

1.4 Les matériaux utilisés dans la fabrication de cristaux photoniques :

Les cristaux photoniques utilisent principalement des matériaux transparents dans les domaines du visible ou du proche infrarouge et de permittivité diélectrique élevée. Les semi-conducteurs sont donc très bien adaptés pour cet usage [6]. Dans la pratique on trouve :

1.4.1 Les semi-conducteurs III-V :

Les semi-conducteurs III-V (GaAs , InP , GaN), sont les plus utilisés parce qu'ils possèdent des bandes interdites électronique direct, ce qui leurs fournis de bonnes propriétés optiques. Les puits quantiques ont un très bon rendement dans ces matériaux, même à température ambiante et ils sont presque exclusivement utilisés dans les composants électroniques émetteurs de lumière. Reste que leurs principal inconvénient est leurs coût élevé [7].

1.4.2 Les semi-conducteurs de la colonne IV :

Les semi-conducteurs les plus connus sont ceux de la colonne IV de la table de Mendeleïev. Ils sont bien moins coûteux et technologiquement sont extrêmement bien contrôlée et compatible avec des applications intégrées CMOS pour l'électronique. Cependant, leur bande interdite indirect rend ces matériaux peu favorables pour la fabrication de dispositifs actifs émetteurs de lumière (propriétés optiques médiocres). Toutefois, les alliages SiGe sont prometteurs et les progrès récents sur l'émission du silicium (le silicium possède un indice de réfraction élevé) à température ambiante [7] rendent les semiconducteurs de la colonne IV de plus en plus attractifs.

1.5 Les applications des cristaux photoniques

La plupart des applications des cristaux photoniques sont basées sur leurs bandes interdites photoniques. En plus des guides d'ondes et des cavités, les défauts peuvent être exploités pour produire divers composants tels que :

1.5.1 les cavités

Les premières cavités à cristaux photoniques bidimensionnels ont été fabriquées en 1996, et ces cavités ont été développées en incluant un seul défaut sur le réseau photonique. Les résultats montrent que ces dispositifs ont des facteurs de qualité élevés pour les modes résonnants en raison des excellentes propriétés de réflexion du cristal, qui conviennent toutes aux grandes cavités à modes multiples.

la figure 1.8 , une cavité triangulaire et une autre hexagonale plongées dans un cristal photonique triangulaire.

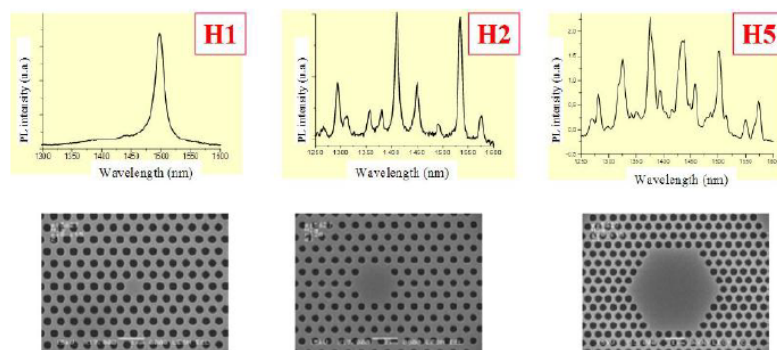


FIGURE 1.8 – Signatures spectrales de cavités hexagonales obtenues par photoluminescence [41].

1.5.2 Guides d'onde à cristaux photoniques

En introduisant des défauts linéaires (en omettant une ou plusieurs rangées de trous) dans les cristaux photoniques, on peut choisir la direction. Si l'énergie du photon est à l'intérieur, le photon sera confiné dans la zone restreinte. Divers composants peuvent être obtenus à partir de défauts linéaires (Figure 1.9). La transmission à travers ces dispositifs peut être optimisée en modifiant la taille ou la forme du trou au niveau du coude, ou jonction pour minimiser le couplage entre les modes guidés et rayonnants en courbure [8].

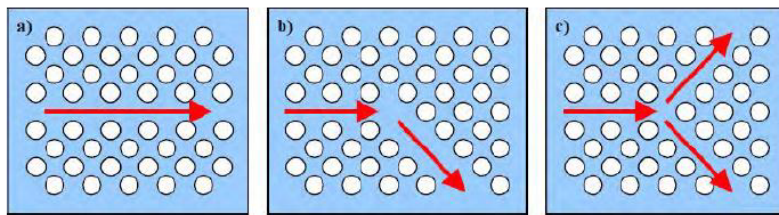


FIGURE 1.9 – Différents composants à base de défauts linéaires a) guide droit, b) virage à 120 et c) jonction Y.

1.5.3 Filtres et multiplexeurs

Une fonction particulièrement importante d'optique intégrée pourrait être réalisée avec des cristaux photoniques : le multiplexage en longueur d'onde (WDM, Wavelength Division Multiplexing). Le but est d'insérer ou d'extraire des longueurs d'onde bien précises dans un flux de données. Ce dispositif peut être réalisé en utilisant la sélectivité d'une cavité résonante couplée à des guides d'ondes (figure 1.10) [8].

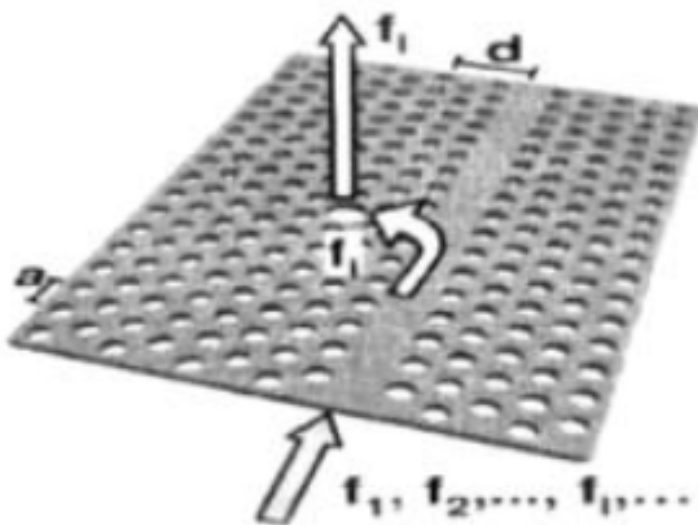


FIGURE 1.10 – Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (Insertion ou extraction d'une certaine longueur d'onde).

1.5.4 Fibres optiques

C'est en 1996 [8] que les fibres optiques à cristaux photoniques sont apparues, elles ne sont plus constituées d'un cœur et d'une gaine, ou encore d'une structure à gradient d'indice, mais d'un cristal photonique doté d'un défaut permettant de canaliser la propagation lumineuse (voir figure 1.11). Les fibres à cristal photonique sont de conception radicalement différente. On les désigne aussi couramment sous les termes de «fibre à trous» ou de «fibres microstructures». La différence de conception se situe d'abord au niveau de l'élaboration. Les fibres sont obtenues en empilant soigneusement des tubes de silice qui forment une «pré-forme» avec la structure désirée : on peut placer des tubes pleins, creux, omettre des tubes...selon tel ou tel motif final recherché. L'assemblage est réalisé à une échelle macroscopique, avec des tubes de diamètre de l'ordre du millimètre, aisément manipulable à la main. On porte ensuite l'ensemble à haute température (

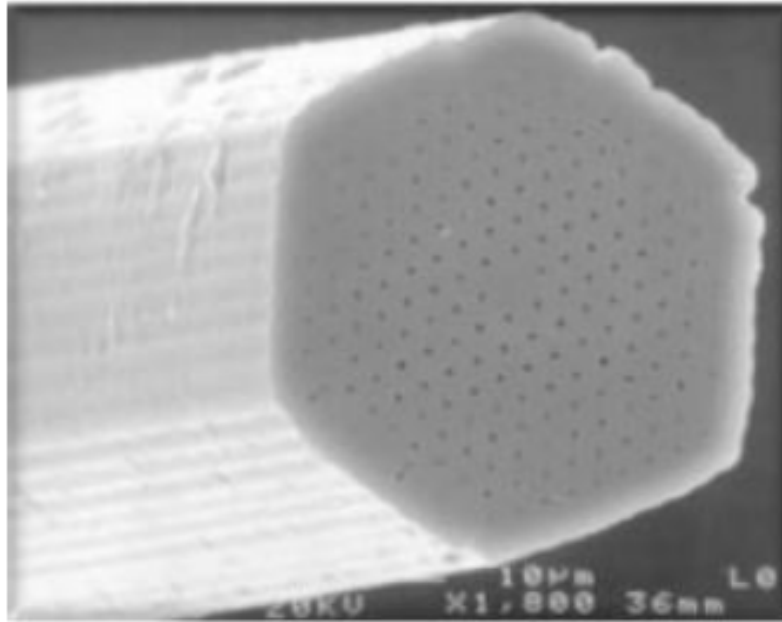


FIGURE 1.11 – Image par microscopie électronique d'un prototype de fibre optique conçu sur la base d'un cristal photonique [46].

1800 C) de sorte que les tubes de silice se ramollissent et l'on procède à un étirement qui permet d'obtenir une version miniaturisée dans l'ensemble de départ. On peut donc ainsi réaliser une extraordinaire variété de fibres avec des motifs à la demande [9].

1.6 Conclusion

Dans cette partie nous allons présenter les notions de bases associées aux cristaux photoniques, ce sont des matériaux dont le constant diélectrique varie de façon périodique, à l'échelle de la longueur d'onde, sur une ou plusieurs directions. Cette périodicité est à l'origine de plusieurs propriétés intéressantes comme par exemple l'ouverture d'une bande photonique interdite interdisant la propagation de la lumière dans la structure.

Références

[1] E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures," *JOSA B*, vol. 10, pp. 283-295, 1993.

[2] W. Suh, M. Yanik, O. Solgaard, and S. Fan, "Displacement-sensitive photonic crystal structures based on guided resonance in photonic crystal slabs," *Applied physics letters*, vol. 82, pp. 1999-2001, 2003.

[4] J. Joannopoulos, S. Johnson, J. Winn, and R. Meade, "Photonic Crystals : Molding the Flow of Light 2nd edn Princeton Univ," ed : Press, 2008.

[5] : Birks, T. A., Knight, J.C., Russel, P. St. J., 2003 : Endlessly single-mode photonic crystal fiber. *Optics letters*, 22(13), 1537-1539.

[6] C. Blin, "Développement de cristaux photoniques en diamant : modélisation, technologie et application à la biodétection," Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2015.

[7] M. Lončar, A. Scherer, and Y. Qiu, "Photonic crystal laser sources for chemical detection," *Applied Physics Letters*, vol. 82, pp. 4648-4650, 2003.

[8] : Cassan, E., Cassan, S., 2005 : Construction pas à pas d'une liaison par fibre optique longue distance. *Cetsis*.

[9] H. Kurt and D. Citrin, "Photonic crystals for biochemical sensing in the terahertz region," *Applied Physics Letters*, vol. 87, p. 041108, 2005.

[10] N. Skivesen, A. Têtù, M. Kristensen, J. Kjems, L. H. Frandsen, and P. I. Borel, "Photonic-crystal waveguide biosensor," *Optics Express*, vol. 15, pp. 3169-3176, 2007.

CHAPITRE 2

FIBRE OPTIQUE

2.1 Introduction

La fibre optique est un guide d'onde qui permet de transporter de l'information grâce à la lumière. Elle est très utilisée dans les réseaux de télécommunications. Nous allons dans ce chapitre, présenter la présentation générale des fibres, les différents types des fibres, Les avantages et les applications de la fibre optique.

2.2 Le guide d'onde

Le guide d'onde fait partie d'un espace vide ou rempli d'un diélectrique (diélectrique isolation) et est limité par le soi-disant conducteur parfait, qui est utilisé pour guider les équipements dans cette partie de l'espace sans dissiper son énergie. La translation du guide d'onde dans une direction est constante, cette direction sera Propagation OEM. Il y a des tonnes de guides d'ondes, certains métalliques, d'autres métalliques Diélectrique. Dans tous les cas, ils sont dans la même structure que nous gardons Translater le long de l'axe qui forme la direction de propagation de la puissance positif. Le milieu 1 à travers lequel se propage l'onde est toujours un diélectrique. à l'intérieur Guides d'ondes métalliques, un milieu délimité par une interface diélectrique-conducteur (Diélectrique 2, métal), qui est fini dans les guides d'ondes diélectriques Par l'interface diélectrique-diélectrique (Diélectrique 2, Diélectrique).

Les guides diélectriques sont très peu utilisés dans les circuits passifs micro-ondes. En effet : a) le guide diélectrique à section circulaire est surtout utilisé pour les télécommunications.

b) les guides diélectriques à structure planaire sont utilisés pour les circuits intégrés.

2.3 Description des guides d'ondes

Applications pratiques des ondes électromagnétiques Les communications ou le radar nécessitent souvent des guides d'ondes pour empêcher interfèrent et dirigent l'énergie de manière à minimiser l'atténuation des ondes. cette guide est constitué de structures conductrices ou diélectriques (ou Une combinaison des deux) permet un mode privilégié qui se propage dans une direction. Nous supposons que cette structure a une symétrie de translation dans une direction; Nous choisissons comme axe z. Par exemple, un cylindre infini, entièrement formé par Conducteur (par exemple fil), diélectrique (par exemple fibre optique) ou diélectrique Un objet apparemment banal tel qu'un fil ou un groupe de fils entourés de conducteurs, etc. La formation d'une ligne de transmission constitue en fait

un guide d'onde, tout comme un câble coaxial. Le guide onde est invariant par translation dans une direction qui sera la direction de propagation de l'OEM. Par exemple :



FIGURE 2.1 – Les trois types de guides d'ondes .

2.4 les avantages des guides d'ondes

les avantages des guides d'ondes ; grande réduction de surface des rails de cuivre Perte de métal, la ligne de transmission en cuivre à deux fils a une surface Les pertes significatives actuelles relativement faibles sont également des transmissions coaxiales Les hautes puissances sont moins efficaces que leurs guides d'ondes. Les pertes diélectriques sont également plus faibles dans les rails vides (de transmission) que les lignes de transmission parce que dans les lignes à deux fils et coaxial, ces pertes sont causées par l'échauffement du matériau isolant entre chauffeur. Il se comporte comme le diélectrique d'un condensateur, cette application provoquer une panne de courant. Le diélectrique dans un guide d'onde vide est l'air Perte de puissance plus faible que les matériaux isolants.

2.4.1 Guide parallele plan

La figure 2.1 montre un exemple de plaques paralleles (Guide parallele plan) Les plaques paralleles forment le guide d'onde le plus simple ; elles peuvent supporter ' des modes de propagation . Pour le mode TEM, donnee par :

$$Z_0 = \frac{\eta d}{W} \quad (2.1)$$

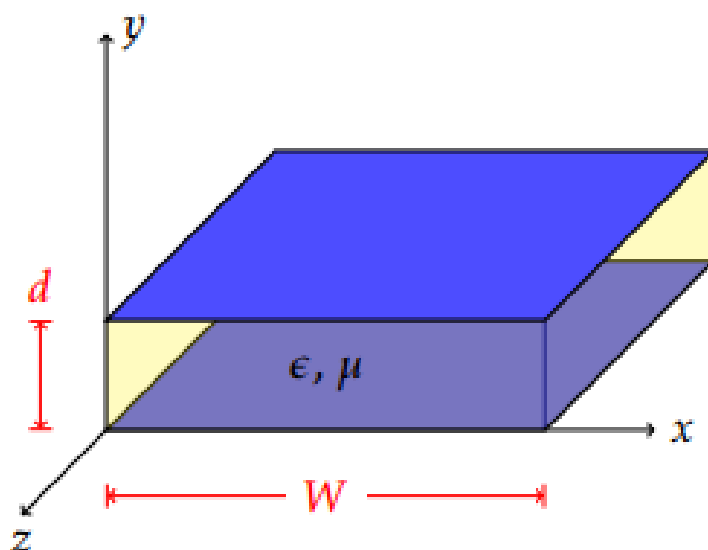


FIGURE 2.2 – Guide parallele plan .

2.4.2 Les guides d'ondes rectangulaires

Les guides d'ondes rectangulaires ont été l'un des premiers types de lignes de transmission utilisées transporter des signaux micro-ondes. plusieurs composants, tels que des coupleurs, Détecteur ou atténuateur disponible pour des fréquences jusqu'à 1GHz plus de 220 GHz. Bien que les circuits micro-ondes deviennent de plus en plus petits ; Les rails rectangulaires sont encore utilisés car ils sont capables de transporter Grande puissance [2]. Un rail rectangulaire est un rail avec un seul conducteur, il ne peut donc pas Le mode TEM est pris en charge. Comme les modes TE et TM ont des fréquences de coupure, ce type de Les guides ont la fréquence de fonctionnement la plus faible.

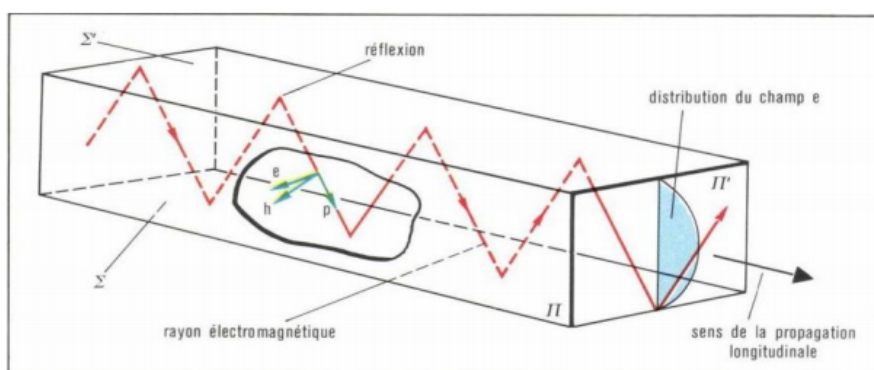


FIGURE 2.3 – Les guides d'ondes rectangulaires .

2.4.3 Fréquence de coupure

la fréquence de coupure, donnée par la relation suivante :

$$f_{cmm} = \frac{c}{2\sqrt{\mu r \epsilon r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (2.2)$$

2.4.4 Les guides d'ondes circulaires

Les guides d'ondes circulaires ont été utilisés avec succès dans les téléviseurs à haute luminosité Puissance de transmission (UHF) Elle est également utilisée par ATT (le plus grand fournisseur de services téléphoniques) comme norme pour le trafic téléphonique longue distance depuis 1984, avec plus de 15 000 installations aux États-Unis. Il est populaire car il possède des propriétés électriques très intéressantes. il fournit A une atténuation inférieure à celle des autres guides d'ondes et est capable d'un double fonctionnement polarisation. Étant donné que les guides d'ondes circulaires sont généralement Coupant au moins un mode d'ordre supérieur, ces propriétés ne sont utiles que lorsque les guides d'ondes circulaires sont fabriqués de manière très précise [11].

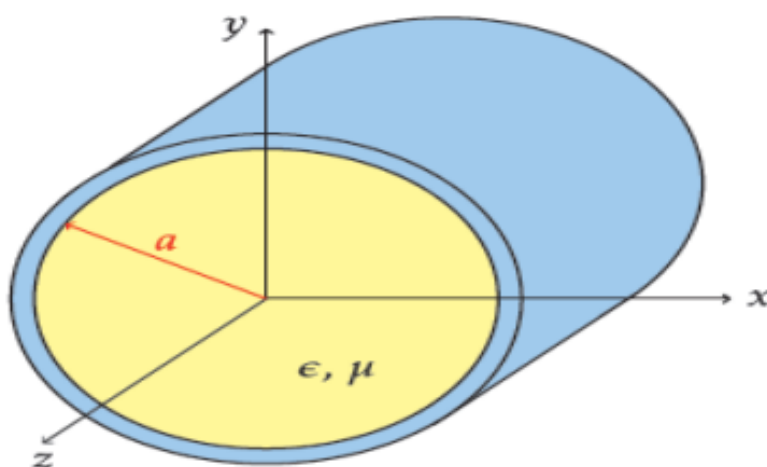


FIGURE 2.4 – Les guides d'ondes circulaires .

2.5 La fibre optique

La fibre optique est vite apparue très intéressante pour le domaine des télécommunications. Elle représente un support de transmission dont les nombreux avantages justifiant son introduction dans les systèmes de transmission sont donnés ci-après :[1]

- ▷ Performances de transmission : Très faible atténuation, très grande bande utilisable, multiplexage possible.
- ▷ Avantage économique : Moindre coût, en comparaison des autres supports.
- ▷ Avantages de mise en oeuvre : Très petite taille, grande souplesse, faible poids.
- ▷ Sécurité électromagnétique : Insensible aux parasites et n'en crée pas, inviolabilité presque totale.
- ▷ Sécurité électrique : Isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous de fortes tensions.

2.6 Présentation générale des fibres

Une fibre est constituée par deux couches de matériaux transparents à base de silice appelées le cœur, et la gaine optique qui entoure le cœur, (Figure 2.1). Une fibre a des dimensions de l'ordre de la centaine de micromètre. Le diamètre de la gaine est en général de $125\mu m$ mais peut aussi être de $140\mu m$ (cas de certaines fibres multimodes). Le rayon du cœur, quant à lui varie entre est de 10 à $100\mu m$. [2]

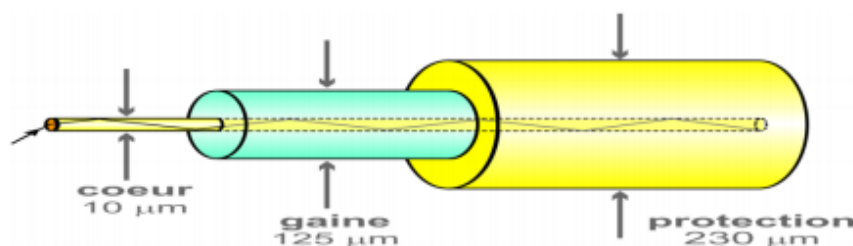


FIGURE 2.5 – Structure d'une fibre optique .

2.7 Caractère monomode/ multimode

Une fibre est dite multimode lorsque plusieurs modes peuvent se propager le long de son axe, par contre, lorsqu'un seul mode peut se propager elle est dite monomode. Introduisons la fréquence normalisée (V), nombre sans dimension, qui devra bien évidemment tenir compte du rayon du cœur (a) :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.3)$$

Avec n_1 et n_2 indices de réfraction du cœur et de la gaine respectivement.

si $V \leq 2.405$ la fibre est monomode.

si $V > 2.405$ la fibre est multimode. Le nombre de modes se propageant dans le cœur est égale approximativement à $V^2/2$. Chaque mode possède également une fréquence de coupure en dessous de laquelle il n'est plus guidé.

Les fibres monomodes dénommées SMF (Single Mode Fiber) ont un paramètre très important appelé longueur d'onde de coupure λ_c (cutoff wavelength). Elle spécifie la longueur d'onde en dessous de laquelle la fibre n'est plus monomode.[3]

$$V = \frac{2\pi}{2.405} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

la figure ci-dessous presents les types de fibres multimodes : à saut d'indice et à gradient d'indice et pour chaque catégorie, différents profils d'indice de réfraction sont possibles

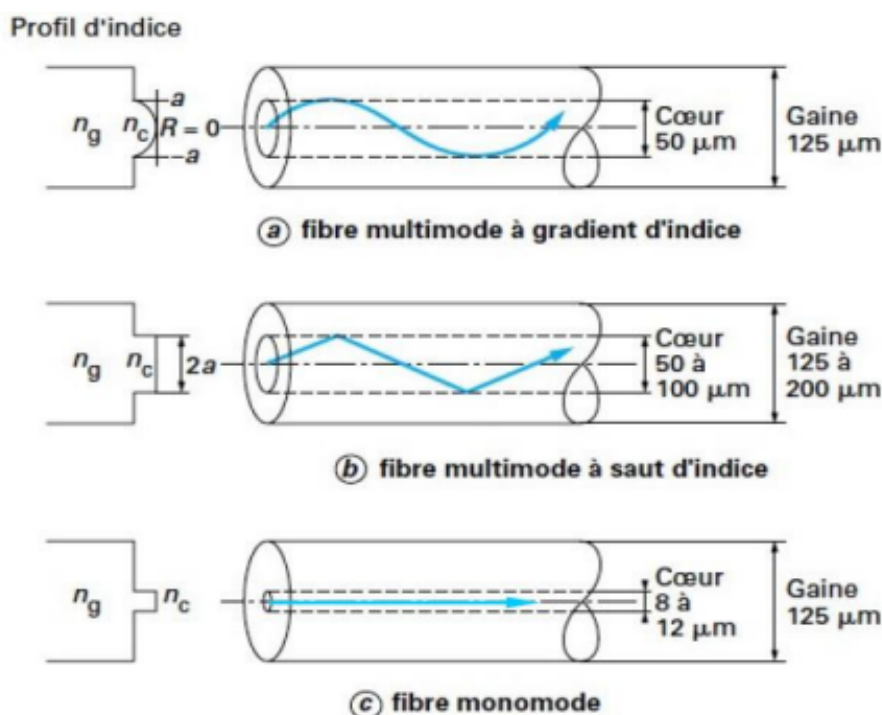


FIGURE 2.6 – Différents types de fibre optique.

2.8 Atténuation

L'atténuation est un facteur qui, à partir de la puissance d'enter dans la fibre, permet de déterminer la puissance de sortie.

L'atténuation est souvent exprimée en dB par la relation

$$\alpha(dB/km) = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_s}{P_e} \right] \quad (2.5)$$

Elles sont caractérisées par le coefficient d'atténuation α , déterminé à partir des puissances d'entrée et de sortie de la lumière se propageant dans une fibre de longueur .

2.9 Applications de la fibre optique :

Aujourd'hui, la fibre est un système très largement utilisé dans de très nombreux domaines :[4]

- ▷ Domaine de télécommunication.
- ▷ Transmission numérique à haute débit.
- ▷ Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.
- ▷ Réseaux locaux en environnement bruité.
- ▷ Détection.
- ▷ Domaine médicale.
- ▷ Domaine routier

2.10 Les avantages de la fibre optique

Faibles pertes par rapport au cuivre pour les hautes fréquences de modulation.[4][5]

- ▷ Nécessite moins de répéteurs pour communication longue distance
- ▷ Possibilité de mettre un très grand nombre de fibres dans un même câble.
- ▷ Pertes indépendantes de la fréquence de la porteuse.
- ▷ Capacité de transport de l'information plus importante.
- ▷ Pas d'interférences entre les signaux contenus dans deux fibres différentes.
- ▷ Faible dimension par rapport à un cloacale.

2.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini quelques rappels théoriques générale des fibres ,Applications de la fibre optique , Les avantages de la fibre optique et la fibre optique conventionnelle à la fibre optique microstructurée enfin Applications des fibres à cristaux photoniques.

Références

[1]. Wassila Berrouane 'Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur Thèse de Doctorat 2018 Université Djilali Liabes, Sidi bel Abbès.

A. Daoui « Fibres optiques microstructurées : Modélisation et optimisation des propriétés optiques » Magistère. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2009.

[3] Cherouana Abdelbaki ' Modélisation des structures de transmission en optique cas des matériaux isotropes et chiral bianisotropes' Mémoire de Magister en Electronique année 2009 ; Université de Constantine.

[4] C. Amari, « Optimisation des paramètres d'une liaison optique » Master, Université Abderrahmane Mira – Bejaia 2013.

[5] Mohammad Mozaffari et Shahidi M (Simulation of a transmission system to compensate dispersion in an optical fiber) 2011.

[6] K.D.Kungwa «Etude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau » Initelematique–Ingenieur Industriel 2016.

[7]Zeno Toffano : Optoélectronique-Composants photoniques et fibres optiques année 2001

[8]Zaabab Sofia Contribution à l'étude des éléments d'une liaison optique et des modes de propagation dans les fibres optiques.Simulation des paramètres de la liaison.Soutenu le : .24/06/2021

[9] F. FARHAOUI et F.ZAIDI « Etude et Simulation d'une Chaîne de Transmission Numérique sur Fibre Optique Haut Débit » MASTER UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY - SAIDA .2017

CHAPITRE 3

LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET MÉTHODE FDTD

3.1 Introduction

De nombreux outils de modélisation des phénomènes de propagation et de diffraction des ondes électromagnétiques ont été développés depuis la fin des années 60 grâce aux performances croissantes des moyens de calcul. Les différentes méthodes utilisées pour décrire la propagation des ondes électromagnétiques dans les cristaux photoniques dérivent de méthodes standards utilisées couramment en électromagnétisme ou en physique de l'état solide.[1]

3.2 La lumière : propriétés fondamentales

3.2.1 La nature de la lumière est elle ondulatoire ou corpusculaire ?

A propos de la nature de la lumière on entend tout et son contraire. Ce sujet a toujours été une préoccupation essentielle des scientifiques et philosophes.

Deux points de vue existent pour décrire le comportement de la lumière :

- ▷ Le point de vue ondulatoire qui décrit la lumière comme une onde électromagnétique.
- ▷ Le point de vue corpusculaire qui décrit la lumière comme des grains : les photons.

En réalité ces deux points de vue se complètent pour avoir une vision globale cohérente de la lumière.[1]

3.3 Les ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont des phénomènes périodiques qui, contrairement au son, se propagent aussi bien dans le vide que dans l'air. Dans le vide, leur vitesse est la plus grande qui puisse exister dans l'Univers. On parle de la célérité ou de la vitesse de la lumière et elle est représentée par le symbole c .

Sa valeur est connue avec une très grande précision : $c = 299\,792,458$ km/s ; la coutume, dans les applications numériques, est de considérer sa valeur approchée par excès, $c = 3 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$.

Le 10 octobre 1983, la vitesse de la lumière est devenue une constante fondamentale de la physique. Dans les milieux matériels isotropes, les ondes électromagnétiques se propagent à une vitesse plus lente notée v . Si n est l'indice du milieu traversé, on peut écrire $v = c/n$. [1][2]

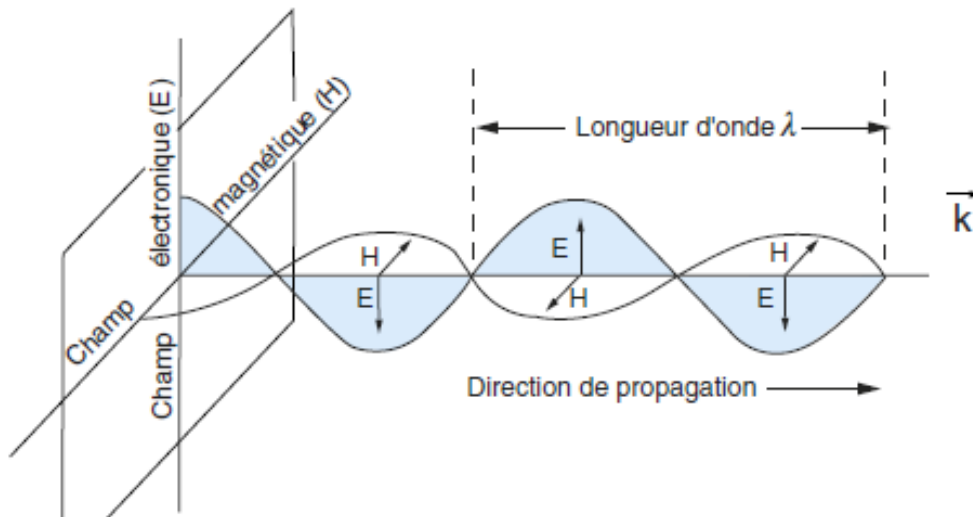


FIGURE 3.1 – Les ondes électromagnétiques.

Les ondes électromagnétiques sont constituées d'un vecteur champ électrique \vec{E} et d'un vecteur champ magnétique \vec{H} , perpendiculaires entre eux (Figure 3.1). Ils sont situés dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde repérée par le vecteur d'onde \vec{k} .

3.3.1 La longueur d'onde

La distance parcourue par le champ électrique \vec{E} pendant sa période d'oscillation T représente la longueur d'onde λ (unité : m (mètre)) (Figure 1.1). Les ondes électromagnétiques sont généralement classées selon la valeur de leur fréquence ν . On peut aussi utiliser, pour ce classement, la longueur d'onde λ . Pour cela, il faut considérer la relation qui relie la fréquence ν à la longueur d'onde λ . Cette relation dépend du milieu dans lequel l'onde se propage : dans le vide, $\lambda \times \nu = c$ et dans la matière d'indice n , $\lambda \times \nu = v = c/n$. La valeur de la longueur d'onde λ dépend donc du milieu que l'onde électromagnétique traverse.[3]

3.3.2 Les ondes monochromatiques et polychromatiques

Lorsque l'onde électromagnétique est caractérisée par une seule fréquence ν (ou de manière équivalente une seule longueur d'onde λ), elle est dite monochromatique. Dans le cas contraire, elle est dite polychromatique.

3.3.3 Le spectre des ondes électromagnétiques

Composition des ondes électromagnétiques par fréquence un spectre très large, allant des ondes radio dont les fréquences sont proches de 100 kHz, jusqu'aux rayons gamma, fréquences 10²⁰ Hz depuis l'espace Interstellaire ou Soleil.

3.3.4 La lumière que nous voyons : le visible

La lumière que nous voyons, la lumière visible, n'est qu'une petite partie du vaste spectre des ondes électromagnétiques. Le champ électrique de la lumière visible a une fréquence d'oscillation comprise entre $385 \times 10^{12} \text{ Hz}$ et $750 \times 10^{12} \text{ Hz}$. Dans le vide, les longueurs d'onde λ du visible sont comprises entre $0,4 \mu\text{m}$ et $0,8 \mu\text{m}$ (où $1 \mu\text{m}$ vaut 10^{-6} m).

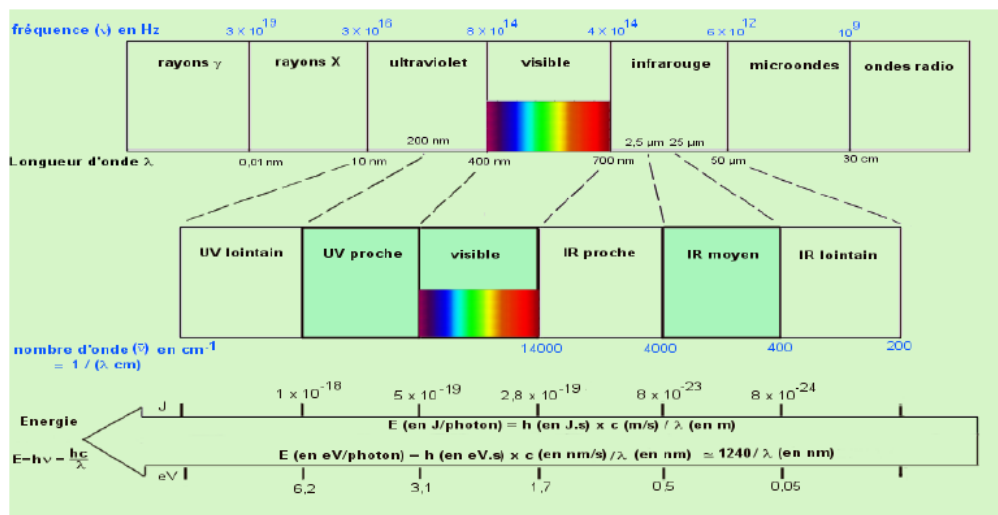


FIGURE 3.2 – Spectre électromagnétique.

3.4 Équations de Maxwell et équation aux valeurs propres :

La propagation de la lumière (la propagation d'ondes électromagnétiques) dans un milieu diélectrique dont l'indice peut être périodique; est régie par les équations de Maxwell :[9]

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3.1)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (3.2)$$

$$\nabla \cdot E + \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

$$\nabla \cdot H + \frac{\partial D}{\partial t} = 0 \quad (3.4)$$

où B est l'induction magnétique, D l'induction électrique, la densité volumique de charge, E le champ électrique, H le champ magnétique et J la densité de courant. Étant donné qu'il n'y a pas de source de lumière dans le milieu, $\rho = 0$ et $J = 0$. De plus, on considère en première approximation que le matériau est linéaire et transparent, ce qui permet d'écrire les champs électriques et magnétiques comme des modes harmoniques :

$$H(r, t) = H(r)e^{-j\omega t} \quad (3.5)$$

$$E(r, t) = E(r)e^{-j\omega t} \quad (3.6)$$

Sous ces conditions, on obtient à partir des équations de Maxwell la relation de base utilisée pour trouver les modes dans les cristaux photoniques :

$$\nabla \left(\frac{1}{\epsilon_r(r)} \nabla \cdot H(r) \right) = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 H(r) \quad (3.7)$$

Cette relation peut être vue comme une équation aux valeurs propres où l'opérateur est défini :

$$\hat{\Theta}H(r) = \nabla \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_r(r)} \nabla \cdot H(r) \right) \quad (3.8)$$

Ainsi, l'équation aux valeurs propres est :

$$\hat{\Theta}H(r) = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 H(r) \quad (3.9)$$

3.4.1 La méthode des réseaux de diffraction

3.4.2 La méthode de développement sur des modes propres

Au lieu d'utiliser la discrétisation spatiale fixée par la grille, la structure est ici décomposée selon le plan de l'indice optique de constante dans une direction. Puis développez ces champs sur le schéma spécifique à chaque domaine trouvé [8]. Cela se traduit par un temps de calcul peut être considérablement réduite, en particulier pour les structures Sol. Encore une fois, le code source, ainsi que les exécutable Windows Cette méthode est disponible à l'adresse Internet citée dans la référence [8].

3.4.3 La méthode des ondes planes

La méthode des ondes planes est très bien adaptée pour des structures périodiques supposées de dimensions infinies pour la détermination des modes propres et du diagramme de dispersion de la structure.

3.4.4 Méthode des éléments finis FEM

La première étape de la méthode FEM consiste à Structures ; c'est-à-dire diviser l'espace de travail en petits éléments. Cette la taille de l'élément découpé dépend donc des détails de la géométrie structure. Pour chaque élément fini, une simple loi de changement de champ est Exprimer. Le but de l'analyse est de calculer les champs aux différents nœuds (Les coins de chaque élément sont coupés). La plupart des méthodes d'éléments finis utilisent Techniques variationnelles formulées à partir des équations de Maxwell [5].

3.4.5 Mode TE et mode TM

Dans le cas de structures on peut décomposer l'ensemble des modes de propagation suivant deux type de polarisation découplées : TE et TM. [4]

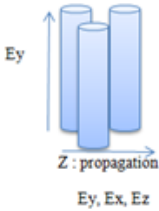
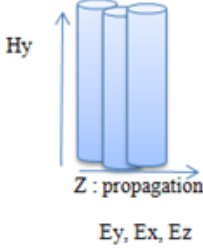
Mode	TM	TE
Distribution du champ		

FIGURE 3.3 – Récapitulatif des propriétés des modes d'un CP 2D.

3.4.6 Modes TE

A partir des équations 3.11 et 3.12, nous obtenons les relations pour les modes TE :

$$\beta E_y = -\omega \mu_0 H_x \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i\omega \mu_0 H_z \quad (3.11)$$

$$i\beta H_x + \frac{\partial H_z}{\partial x} = -i\omega \varepsilon E_y \quad (3.12)$$

En substituant les équation 3.13 afin d'éliminer H_x et H_z , nous établissons l'équation d'onde pour les modes TE :

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (\omega^2 \mu_0 \varepsilon - \beta^2) E_y = 0 \quad (3.13)$$

3.4.7 Modes TM

pour de générer l'équation d'onde pour les modes TE peut être aussi employé dans le cas des modes TM Le principe appliqué afin

$$\beta H_y = \omega \varepsilon E_x \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = i\omega \varepsilon E_z \quad (3.15)$$

$$i\beta E_x + \frac{\partial E_z}{\partial x} = i\omega \mu_0 H_y \quad (3.16)$$

On obtient donc une équation analogue à (3.17), mais pour la composante H_y :

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + (k_0^2 n_i^2 - \beta^2) H_y = 0 \quad (3.17)$$

3.5 Modélisation FDTD :

La FDTD (Finite Difference Time Domain) est une méthode de résolution directe des équations de Maxwell dans le domaine temporel ; elle utilise l'outil numérique des différences finies.

3.5.1 Principes de base :

Pour des matériaux non (dispersifs ; conducteurs ; magnétiques)
les équations de Maxwell projetées sur un repère cartésien s'écrivent :

$$\frac{\partial \vec{E}_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial \vec{H}_z}{\partial y} - \frac{\partial \vec{H}_y}{\partial z} \right] \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial \vec{H}_x}{\partial z} - \frac{\partial \vec{H}_z}{\partial x} \right] \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial \vec{H}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{H}_x}{\partial y} \right] \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial \vec{H}_x}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial y} - \frac{\partial \vec{E}_y}{\partial z} \right] \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial \vec{H}_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial x} - \frac{\partial \vec{E}_x}{\partial z} \right] \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial \vec{H}_z}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{E}_x}{\partial y} \right] \quad (3.23)$$

Dans le cas bidimensionnel où chaque composante est invariante suivant z, ces 6 équations couplées se réduisent à deux systèmes d'équations découplées.

Le premier système se réfère au mode TM, défini comme suit :

$$\frac{\partial \vec{H}_x}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial y} \right] \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial \vec{H}_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial x} \right] \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial \vec{H}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{H}_x}{\partial y} \right] \quad (3.26)$$

Le deuxième système, le mode TE, se définit par :

$$\frac{\partial \vec{H}_z}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial \vec{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{E}_x}{\partial y} \right] \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial \vec{H}_z}{\partial y} \right] \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_Y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[-\frac{\partial \vec{H}_Z}{\partial Y} \right] \quad (3.29)$$

Pour étudier les dispositifs à cristaux photoniques, nous les utiliserons uniquement pour le mode TE. Pour plus d'informations sur la méthode afin de pouvoir traiter indépendamment la propagation de ces deux types de champ électromagnétique

3.6 Avantages et inconvénients de la méthode FDTD :

3.6.1 Avantages :[9]

- ▷ Un code numérique de type FDTD est relativement simple à mettre en oeuvre et rapide (le nombre d'opération arithmétique mises en oeuvre à chaque itération est faible).
- ▷ Le schéma FDTD est explicite en temps : il n'y a pas de système linéaire à résoudre et il demande peu de stockage.
- ▷ Il est aisément parallélisable : c'est un schéma différences finies, donc local, par opposition aux méthodes intégrales.

3.6.2 Inconvénients :[9]

- ▷ Le schéma de Yee impose une discrétisation en maille régulière.
- ▷ Les conditions aux limites approchées introduisent une approximation qui peut avoir une influence sur la précision du calcul.
- ▷ FDTD étant un schéma explicite, le pas de temps maximal est relié au pas d'espace par une condition de stabilité.

3.7 Les différents matériaux utilisés pour la réalisation des guides d'onde

- ▷ Les verres massifs
- ▷ Les semi-conducteurs (matériaux III-V, Silicium)
- ▷ Silice sur Silicium
- ▷ Les polymères organo-minéraux
- ▷ les cristaux photoniques[10]

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la nature de la lumière est-elle ondulatoire ou corpusculaire, les équations de Maxwell et l'équation aux valeurs propres et la modélisation FDTD. Enfin, les différents matériaux utilisés pour la réalisation des guides d'onde.

Références

[1] Marc ZELSMANN, « Cristaux photoniques en silicium sur isolant pour le guidage, le filtrage, l'émission et l'extraction de la lumière », Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier- Grenoble 1, Novembre 2003.

[2] Yohan DESIERES, « Conception et études optiques de composants micro photoniques sur matériaux III-V à base de structures à bande interdite de photon », Thèse de doctorat n 01-0081, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, Décembre 2001.

[3] Sandrine MASSY, « Contribution à la réalisation de fonctions optiques à base de cristaux photoniques sur LiNbO₃ », Thèse de doctorat N 4, Université de Limoges, 2004.

[4] Michael SARRAZIN, « Etude de propriétés optiques liées à la transmission de cristaux photoniques bidimensionnels », Thèse de doctorat n 903, Université de Franche-comté, 24 avril 2002.

[5] Davy GERARD, « Etude en champ proche et en champ lointain de composants périodiquement nano structurés : cristaux photoniques et tamis à photons », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 09 juillet 2004.

[6] Christian GRILLET, « Microcomposants optiques à base de cristaux photoniques bidimensionnels pour l'optique intégrée », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2003.

[7] Barbara WILD « Etude expérimentale des propriétés optiques des cristaux photoniques bidimensionnels et de leur accordabilité », Thèse de doctorat n° 3573, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (2006).

[8] Yannick MERLE, « Etude de la dispersion électronique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels », Thèse de doctorat n 47-2003, Université de Limoges, Novembre 2003.

[9] K. S. YEE, «Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwells Equations in Isotropic Media», IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 14, no. 3, pp. 302307, 1966.

[10] BOUGRIOU FEIDA "ETUDE DES GUIDES D'ONDES A CRISTAUX PHOTONIQUES BIDIMENSIONNELS" THEME magister UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE .2008.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

4.1 Introduction

Un grand nombre d'applications des cristaux photoniques trouvent leur intérêt dans le domaine de l'optique, pour des longueurs d'onde voisines du micron. La particularité d'un cristal photonique provient de sa capacité à interdire la propagation de la lumière, il est donc hautement conseillé de travailler avec un cristal qui présente une bande interdite la plus complète possible.

Dans ce chapitre, nous présenterons et nous discuterons nos résultats de simulation des caractéristiques de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite et Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés.

Le logiciel de modélisation et la simulation sont faites en utilisant Matlab.

4.2 Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde

On choisit donc une fibre à cristaux photoniques à coeur plein pour étudier la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde.

les Figures 4.1; 4.2; 4.3. 4.4; 4.5 et 4.6 représentés la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein à des moments différents 2;6;10;14 et 18 fs.

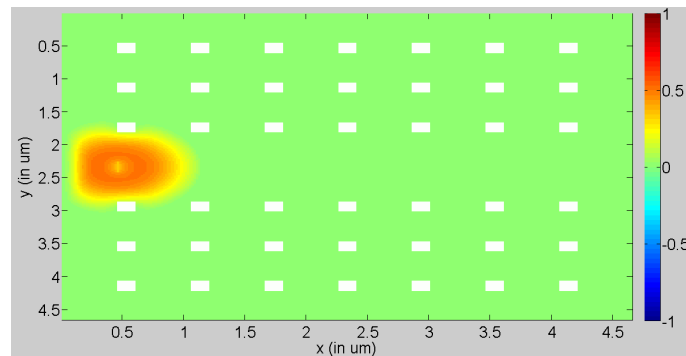


FIGURE 4.1 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 2fs.

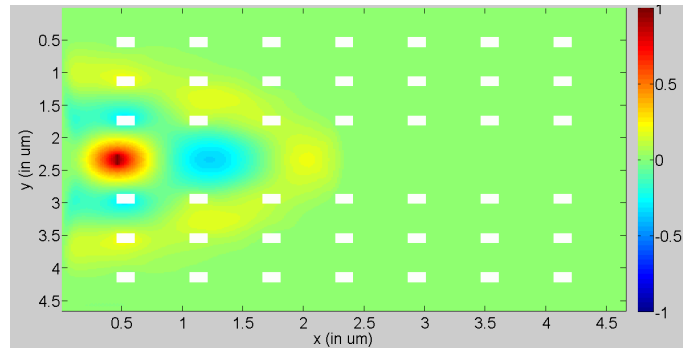


FIGURE 4.2 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 6fs.

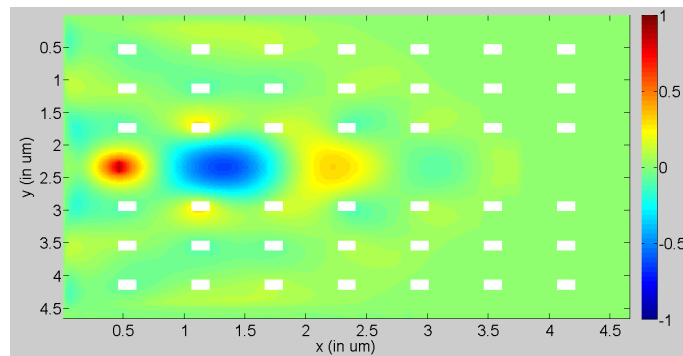


FIGURE 4.3 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 10fs .

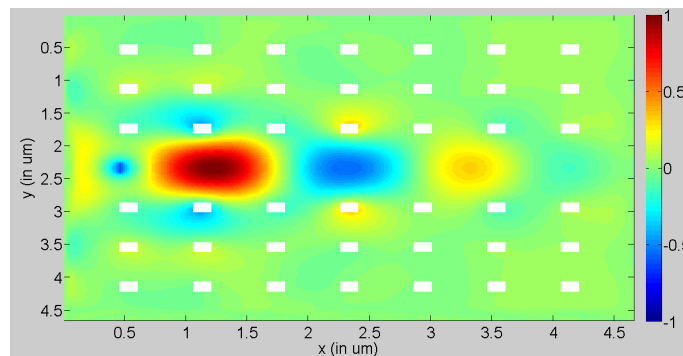


FIGURE 4.4 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 14fs .

la Figure 4.5 Le temps nécessaire pour parcourir la distance (x) de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein .

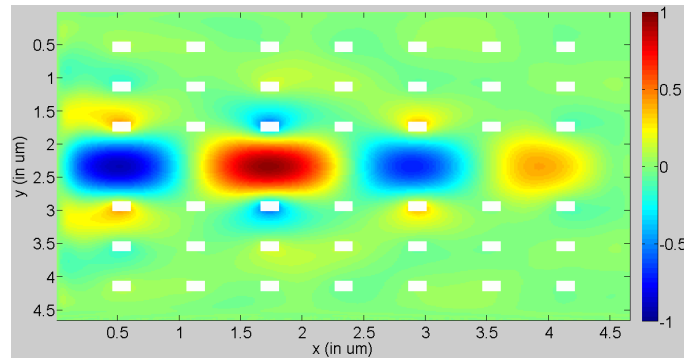


FIGURE 4.5 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d’onde à cristaux photoniques à coeur plein a 18fs .

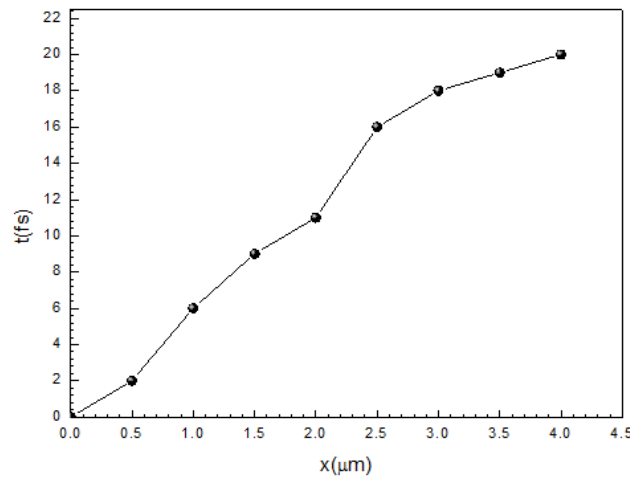


FIGURE 4.6 – Le temps nécessaire pour parcourir la distance (x) de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d’onde à cristaux photoniques à coeur plein .

4.3 Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d’onde en d’angle 90 degrés.

La première simulation que nous allons faire, une modification sur première section du guide de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d’onde en d’angle 90 degrés.

les Figures 4.7 ; 4.8 ; 4.9 ; 4.10 ; 4.11 et 4.12 représentés la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d’onde à cristaux photoniques à coeur plein à des moments différents 1 ; 5 ; 10 ; 14 ; 18 et 20 fs.

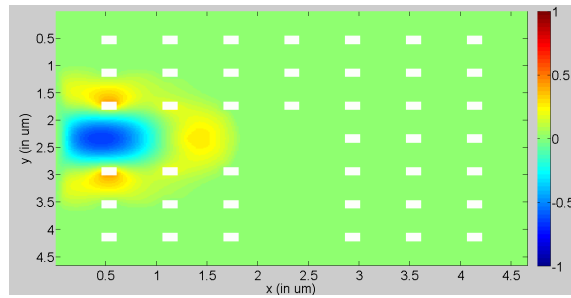


FIGURE 4.7 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à cœur plein a 1fs .

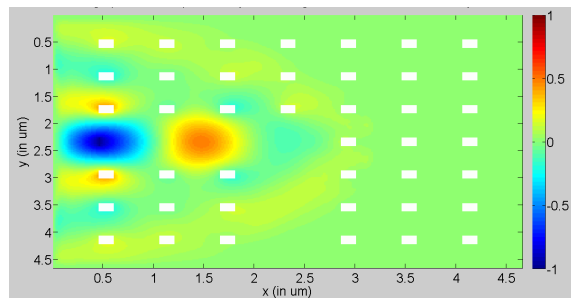


FIGURE 4.8 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à cœur plein a 5fs .

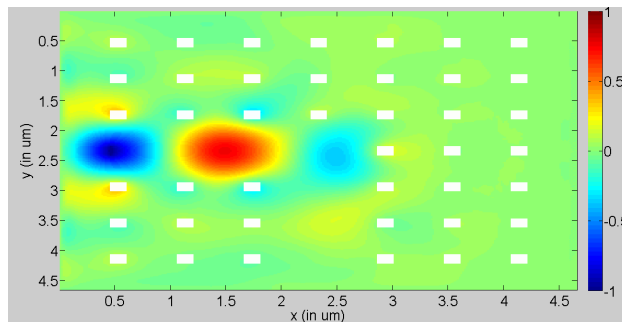


FIGURE 4.9 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à cœur plein a 10fs .

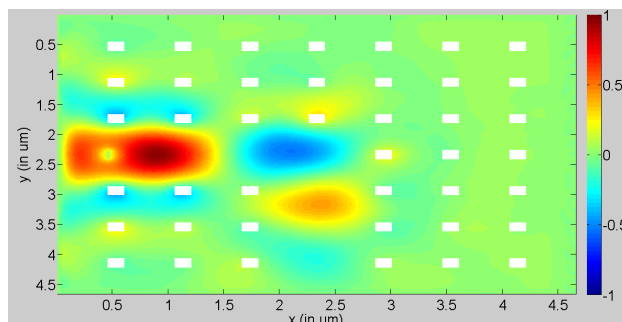


FIGURE 4.10 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à cœur plein a 14fs .

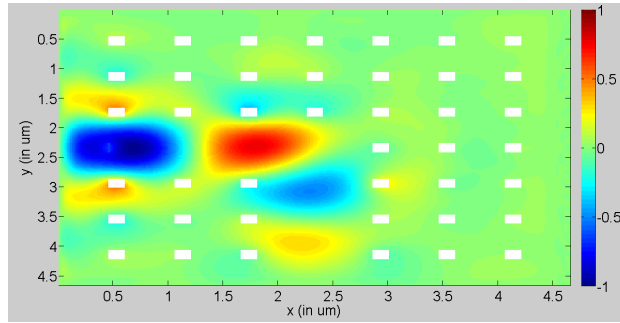


FIGURE 4.11 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 18fs .

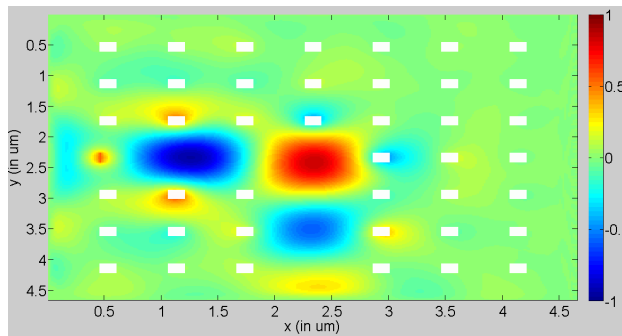


FIGURE 4.12 – la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein a 20fs .

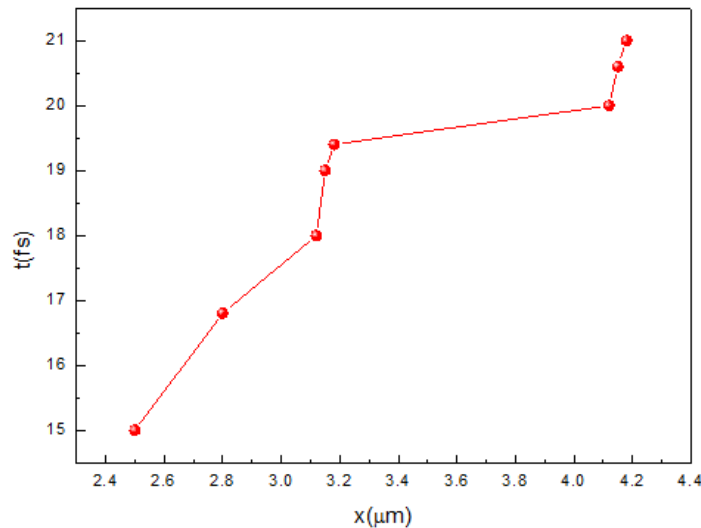


FIGURE 4.13 – Le temps nécessaire pour parcourir la distance (x) de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde à cristaux photoniques à coeur plein en d'angle 90 degrés

4.4 Etude comparative

En introduisant un défaut linéaire (omission d'une ou plusieurs rangées de motifs élémentaires), il est possible de guider la lumière selon une direction choisie. La lumière va se propager le long de ce guide avec une fréquence appartenant à la bande interdite photonique du cristal (la propagation des ondes électromagnétiques

gnétiques dans le guide d'onde en ligne droite). Des guides d'ondes classiques à base de matériaux diélectriques sont réalisés depuis longtemps. L'onde se propage dans le diélectrique d'indice fort et se réfléchit totalement sur les bords qui sont constitués d'un diélectrique d'indice plus faible. L'intérêt des guides d'ondes BIP par rapport à ceux traditionnels c'est qu'ils présentent de faibles pertes au niveau des courbures (Etude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés). Le fait de recourber l'un de ces guides sur lui-même permet d'obtenir un anneau et seuls quelques modes peuvent rester dans cet anneau.

Les résultats de la simulation obtenus par FDTD-2D de cette structure montrent clairement une transmission d'une même bande dans les deux canaux de sortie (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite +la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) avec un taux de transmission(la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) presque égal de temps que (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite). Ces résultats expliquent que la jonction créée joue le rôle d'un diviseur d'énergie.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la propagation des OEM dans une fibre optique a base de cristal photonique bidimensionnel (structure carré). Ensuite nous avons étudié les taux de transmission (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) presque égal de temps que (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite)

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans un contexte où les technologies de télécommunications prennent de plus en plus part à notre vie de tous les jours nous cherchons toujours des outils de traitement du signal plus compacts et économes en énergie. C'est dans ce contexte que nous avons choisi de développer les cristaux photoniques, permettant notamment l'apparition de bandes interdites dans la propagation de la lumière par l'organisation périodique de différents matériaux.

Le but de cette contribution est de présenter le facteur clé qui affecte les caractéristiques de transmission des guides d'ondes à cristaux photoniques courbés à 90° . Nous proposons un nouveau type de guides d'ondes à courbure à 90° à cristaux photoniques bidimensionnels (2DPC). En une seule étape d'optimisation, nous obtenons déjà un coefficient de réflexion de puissance très faible sur presque toute la gamme de fréquences de la bande interdite photonique (PBG). Une analyse plus poussée montre qu'il existe une seule tige critique dans la structure de courbure optimisée qui présente une sensibilité extraordinairement élevée à une fréquence donnée. En utilisant la méthode Finite Difference Time Domain (FDTD) et les conditions aux limites absorbantes proposées, nous simulons ses caractéristiques de transmission et montrons une excellente transmission de la lumière dans les guides d'ondes à courbure à 90° atteindre 100% pour plusieurs fréquences. Cela ouvre la porte à de nouvelles topologies pour les commutateurs compacts et les applications de capteurs.

Dans ce travail, nous avons étudié et simulé la propagation des ondes électromagnétiques dans un guide d'ondes à base des cristaux photoniques. Ces matériaux, dont la constante diélectrique varie périodiquement à l'échelle de la longueur d'onde, ont la particularité de présenter des bandes interdites photoniques qui interdisent la propagation de la lumière dans la structure. L'utilisation de cet

effet de bande interdite ouvre la voie à la réalisation de nombreuses fonctions optiques telles que le guidage.

Les conclusions obtenus sont :

▷ le taux de transmission (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) presque égal de temps que (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite)

▷ la différence entre le taux de transmission Ces résultats expliquent que la jonction créée joue le rôle d'un diviseur d'énergie Comme perspectives, il y a lieu de retenir :

1. L'étude de la propagation des ondes dans d'autres structures, CFC, CC, ...

2. Une autre grandeur d'intérêt est très utile pour l'optimisation du filtrage.

3. étudié la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 60 degrés

4. L'utilisation d'autres matériaux.

Résumé

La fibre optique est un guide de lumière qui constitue aujourd'hui le support privilégié pour le transport de l'information à haut débit. Mais pour répondre aux besoins sans cesse, plus importants, engendrés par le développement d'internet en particulier, il s'avère nécessaire d'améliorer toujours les caractéristiques de propagation dans ce genre de guide, surtout celles relatives aux pertes et aux dispersions sur toute la bande spectrale utilisée.

Ce travail se rapporte sur l'étude la propagation des OEM dans une fibre optique a base de cristal photonique bidimensionnel . Ensuite nous avons étudié les taux de transmission(la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en d'angle 90 degrés) presque égal de temps que (la propagation des ondes électromagnétiques dans le guide d'onde en ligne droite)

Mots clés : Semi-conducteurs ; La fibre optique ; guide de lumière ; OEM, transmission

Abstract

The optical fiber is a light guide which today constitutes the privileged support for the transport of information at high speed. But to meet the constantly growing needs generated by the development of the Internet in particular, it is necessary to constantly improve the characteristics of propagation in this type of guide, especially those relating to losses and dispersions over the whole the spectral band used. This work relates to the study of the propagation of OEMs in an optical fiber a two-dimensional photonic crystal base.

Then we studied the transmission rates (the propagation of electromagnetic waves in the waveguide at an angle of 90 degrees) almost equal in time to (the propagation of electromagnetic waves in the waveguide in a straight line)

Keywords : Semiconductors ; The optical fiber ; light guide ; OEM, transmission