

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Faculté de technologie
Département de Génie électrique
Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention de **diplôme de Master**
Spécialité : électronique

Thème :

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN DEMULTIPLEXEUR A
BASE DE CAVITES A CRISTAUX PHOTONIQUES**

Présenté par :

AIT OUARET Taklit : option instrumentation

YOUCEF Meriem : option microélectronique.

Soutenu, le 23 /11 /2020, devant le jury composé de :

Mme. S. IDJDARENE	Docteur Univ. Bejaïa	Présidente.
Mme. Y. ACHOUR	Docteur Univ. Bejaïa	Examinatrice.
Mme. R. BENDJELLOUL	Docteur Univ. Bejaïa	Promotrice.

Année universitaire : 2019/ 2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions le **BON DIEU** pour nous avoir aidés à accomplir ce présent travail.

Au nom de la science et de la technologie, au nom de la vertu du travail et de l'esprit d'élévation de la connaissance, nous tenons à exprimer tous nos respects à nos encadreurs **Mme R. BENDJALLOUL**, pour le sujet qu'elle nous a proposé, ses soutiens, ses précieux conseils et ses critiques positives. Nous adressons tout particulièrement à **Mme S. IDJDARENE**, nos sincères reconnaissances et nos remerciements les plus vifs, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant la présidence du jury. Nous voudrions également exprimer nos remerciements à **Mme Y. ACHOUR**, qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de nos profondes reconnaissances pour avoir fait partie du jury.

En fin, que toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet, trouvent ici l'expression de nos profonds remerciements.

Dédicace

*Je remercie mon **Dieu** le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour terminer mes études.*

*À ma mère qui est toujours sacrifié pour ma voir réussir, que dieu procure bonne santé et longue vie. À mon cher père que **Dieu** les garde dans son vaste paradis.*

*Et mon cher mari **HAMMICHE Faycel**.*

Et Je dédie ce travail pour mes amis, tous mes proches.

Taklit

Dédicace

*Je remercie **mon Dieu** le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour terminer mes études.*

*À mes très **chers parents** qui sont toujours sacrifiés pour me voir réussir, que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*À tous mes frères, **Abdeghani, Yahya, Riad, Abdelhak.***

*Et Je dédie ce travail aux meilleurs amis surtout mes proche collègues **AIT***

MOUKRANE Wissem, BAKLI Soraya et OUAZZEN Mouna.

Meriem

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma montrant le principe des arrangements pour des cristaux photoniques Unidimensionnels (1D), bidimensionnels (2D) et tridimensionnels (3D)5

Figure I.2 : une vue microscopique d'une structure de cristal photonique naturel : (a) opale, (b) plume, (c) papillons5

Figure I.3 : Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un empilement de couche d'épaisseurs a_1 et a_2 de permittivités ϵ_1 et ϵ_2) différentes.....7

Figure I.4 : Représentation schématique de l'interface des ondes réfléchies par chaque dioptre.....7

Figure I.5 : Structures bidimensionnelles : (a) connectée, (b) déconnectée8

Figure I.6 : la période dans une Structure périodique 2D déconnectée.....9

Figure I.7 : La Yablonovitch.10

Figure I.8 : Exemples des structures artificiels 3D : Structure cubique (1), tas de bois (2), structure spirale (3), diamant (4)10

Figure I.9: Réseau carré.....11

Figure I.10 : Réseau triangulaire.....11

Figure I.11 : Réseau hexagonal.....12

Figure 1.12 : Définition des polarisations pour les cristaux photoniques 2D.....13

Figure I.13 : Diagramme Structure de bandes pour un cristal bidimensionnel.....14

Figure I.14 : Les défauts ponctuels : (a) défauts lacunaire, (b) et (c) défauts de substitution...15

Figure I.15: Exemples de défauts linéaires dans un cristal photonique 2D créés (a) en omettant une seule rangée de motifs, (b) en variant le rayon d'une seule rangée de motifs de la structure.....15

Figure I.16: Quelques exemples de dispositifs à base de cristaux photoniques bidimensionnels : (a) coupleur directionnel, (b) biocapteur, (c) diviseur de puissance, (d) filtre, (e) démultiplexeur et (f) double virage.16

Figure II.1 : Quelques exemples des types de cavités à défauts ponctuels.....21

Figure II.2: Réponse spectrale d'une cavité	23
Figure II.3 : Exemples de cavités de types Hn : (a) cavité H0, (b) cavité H1, (c)cavité H4....	24
Figure II.4 : Signatures spectrales de cavités hexagonales	25
Figure II.5 : Exemples de cavités de types Ln : (a) cavité L3, (b) cavité L5, (c)cavité L7	25
Figure II.6 : Exemple de cavité carrée dans un cristal photonique a réseau carré.....	26
Figure II.7 : (a)Exemple de cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire, (b)spectre de photoluminescence d'une cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire de trous d'air	27
Figure II.8 : Démultiplexeur à 8 canaux de sortie.....	28
Figure II.9 : Design d'un démultiplexeur en longueur d'onde (WDM) de deux longueurs d'onde (1,521 μ m et 1,524 μ m)	29
Figure II.10 : Démultiplexeur à 8 canaux de sortie	30
Figure II.11 : Structure d'un démultiplexeur accordable basé sur l'utilisation d'un résonateur de filtrage	28
Figure.III.1 : Fenêtre principale du simulateur RSoft- CAD	35
Figure. III. 2 : Fenêtre principale des paramètres de simulation FullWAVE	36
Figure. III. 3 : Fenêtre principale des paramètres de simulation BandSOLVE	37
Figure. III. 4 : Structure schématique d'un CP-2D formé par un réseau carré de pas $a=0.505\mu$ m de tiges cylindriques d'indice de réfraction $n = 3.4$ entourées par l'air.....	38
Figure. III. 5 : Diagramme de bandes du CP-2D considéré.....	39
Figure.III.6 : Représentation schématique de l'élément fondamental constituant le démultiplexeur.....	39
Figure III .7 : Structure schématique du démultiplexeur proposé.....	40
Figure III .8 : Spectre de transmission du démultiplexeur.....	41
Figure III. 9 : Structure schématique du démultiplexeur avec $n=2$	42
Figure III .10 : Spectre de transmission du démultiplexeur pour $n=2$	42
Figure III .11 : Structure schématique du démultiplexeur asymétrique.....	43

Figure III .12 : Spectre de transmission du démultiplexeur asymétrique.....**44**

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Influence du décalage des tiges sur la longueur d'onde du filtre.....38

Liste des acronymes

Dans ce manuscrit nous avons utilisée quelques abréviations dont nous rappelons la signification ci-dessous :

a : Période du cristal photonique.

BIP : Bande Interdite Photonique.

CP : cristal photonique.

f : Facteur de remplissage.

FDTD: finite difference in the time domain.

FDTD-2D : Bi-dimensional Finite Difference Time Domain.

n : Indice de réfraction.

PWE : plane wave expansion.

r : Rayon du cristal photonique.

TE : Transverse Electrique.

TM : Transverse Magnétique.

λ : Longueur d'onde.

ϵ : Permittivité diélectrique.

1D : unidimensionnel.

2D : bidimensionnel.

3D : tridimensionnel.

Table de matière

<i>Introduction générale</i>	1
Chapitre I : Généralités sur les cristaux photoniques	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Définition	4
I.3. Cristaux photoniques naturels	5
I.4. Cristaux à bandes interdites photoniques	6
I.4.1. Les cristaux photoniques unidimensionnels (CPs-1D)	6
I.4.2. Les cristaux photoniques bidimensionnels (CPs -2D)	7
I.4.2.1. Propriétés physiques et géométriques d'un CP-2D	8
I.5. Différentes familles des cristaux photoniques bidimensionnels	11
I.5.1. Le réseau carré.....	11
I.5.2. Le réseau triangulaire	11
I.5.3. Le réseau hexagonal.....	12
I.6. Polarisation de l'onde électromagnétique.....	12
I.8. Défauts dans les cristaux photoniques.....	14
I.8.1. Les défauts ponctuels	14
I.8.2. Les défauts linéaires.....	15
I.9. Applications des cristaux photoniques :	15
I.10. Techniques de modélisation.....	16
I.10.1. La méthode des ondes planes	17
I.10. 2. La méthode FDTD	17
I.11. Technologie et matériaux.....	17
I.12. Conclusion	18
Références du chapitre 1	19

Chapitre II : cavités à cristaux photoniques

I.1. Introduction.....	19
II.2. Les cavités à cristaux photoniques.....	19
II.3. Caractéristiques du résonateur.....	20
II.4. Influence des paramètres géométriques sur les cavités.....	21
II.5. Les différents types de cavités.....	22
II.5.1. Cavité hexagonale.....	22
II.5.2. Les cavités linéiques.....	23
II.5.3. Cavité Carrée.....	24
II.5.4. Cavité triangulaire.....	24
II.6. Application des cavités à cristaux photonique.....	25
II.6. Conclusion.....	28
Références du chapitre 2.....	29

Chapitre III : Résultats et interprétations

III 1. Introduction.....	34
III.2. Présentation de Rsoft-CAD.....	34
III.2.1. Le simulateur « FullWAVE ».....	35
III.2.2. Le simulateur « BandSOLVE ».....	36
III.3. Structure d'étude.....	37
III.4. Démultiplexeur à base de CPs.....	39
III.5. Conclusion.....	44
Références du Chapitre 3.....	45
Conclusion générale.....	46

Introduction Générale

Introduction Générale

Les matériaux à bandes interdites photoniques ont été définis comme des structures artificielles qui présentent une modulation périodique de la constante diélectrique dans une ou plusieurs directions. Selon le nombre de directions, ces structures sont désignées par l'appellation de cristaux photoniques à une, deux ou trois dimensions. L'utilisation des cristaux photoniques pour filtrer les ondes électromagnétiques remonte aux années 1919 [1]. L'idée de créer des cristaux diélectriques artificiels pour obtenir une permittivité contrôlable dans le domaine micro-onde date des années 1950 [2]. En 1987, S. John, a montré une localisation tridimensionnelle de la lumière [3], en même temps, E. Yablonovitch et al [4], ont proposé d'inhiber l'émission spontanée dans les semi-conducteurs en généralisant le concept des miroirs de Bragg à plusieurs dimensions. En 1991, A. Genack et al [5] ont montré expérimentalement l'existence de l'effet de localisation de la lumière dans les structures périodiques. En même temps Yablonovitch et al [6] ont démontré expérimentalement la possibilité de réaliser une structure diélectrique capable de réfléchir la totalité d'un rayonnement électromagnétique, quelle que soit la direction incidente et dans le domaine des micro-ondes. Depuis, de nombreuses voies de recherches ont été ouvertes. Tous les domaines de longueur d'onde sont concernés, des micro-ondes jusqu'à l'optique.

Les cristaux photoniques sont des matériaux artificiels ou naturels dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans les différentes directions de l'espace et constituent à l'heure actuelle une nouvelle classe de matériaux. À l'image des électrons dans les semiconducteurs, les photons y sont répartis en bandes de transmission séparées par des bandes d'énergies interdites. Cette analogie permet d'envisager l'utilisation des cristaux photoniques pour stocker, localiser, filtrer ou bien guider la lumière. Le développement de ce nouveau type de matériau a ouvert la voie à un nouveau champ de recherche et à des possibilités d'applications très diverses. Les cristaux photoniques 3D, possédant une bande interdite omnidirectionnelle, sont les structures les plus performantes. Cependant, il est très difficile de les fabriquer, étant données les dimensions de l'ordre de la longueur d'onde. Les études se sont donc concentrées sur les cristaux 2D, pour le développement de composants de l'optique intégrée planaire avec des dimensions réduites à quelques microns pour des applications optiques.

Ainsi, le but de ce travail est l'étude et la conception de dispositifs à base de cristaux photoniques bidimensionnels et en particulier l'étude des démultiplexeurs à base de cavités résonantes.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre est une introduction générale à l'étude des propriétés des cristaux photoniques. Nous énumérons les différentes classes de ces cristaux, nous porterons une attention particulière à décrire les cristaux photoniques bidimensionnels. Nous aborderons par la suite les techniques de modélisation et les principaux défauts qui existent aux niveaux de ces cristaux.

Dans le deuxième chapitre, les cavités à base de cristaux photoniques bidimensionnels seront décrites. La notion de facteur de qualité sera présentée. Nous énumérons par la suite les différents types de cavités et nous présentons l'influence des paramètres géométriques sur ces dernières.

Le troisième chapitre quant à lui est consacré à l'étude numérique des démultiplexeurs à base de cavités à cristaux photoniques, en utilisant la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD). Pour améliorer les transmissions de ces structures, le concept présenté par Wen Kuo et al. [7] est appliqué, il consiste à agir sur le nombre des tiges situés entre les cavités et les guides d'onde constituant le démultiplexeur.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Références :

[1] **Lourtioz (J. M), H. Benisty, V. Berger, J.M. Gérard, D. Maystre, A. Tchelakov.** "Les cristaux photoniques ou la lumière en cage, collection technique et scientifique des télécommunications", Lavoisier, 2003.

[2] **A. Harvey.** "wave propagation in periodic structures: Electric Filters and crystal lattices", IRE Trans.8, p. 30, 1959.

[3] **S. John.** "Strong Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices", Phy. Rev. Lett. 58, 2486, 1987.

[4] **E. Yablonovitch.** "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics", phys. Rev. Lett.58, p.2059, 1987.

[5] **A. Genack and N. Garcia.** “Observation of Photon localisation in a Three- Dimensional Disordered System”, Phys.Rev. Lett., 66 (16), pp: 2064, 1991.

[6] **E. Yablonovitch, T. J. Gmitter, K. M. Leung.** “Photonic Band Structure: The Face-centred- Cubic Case Employing Nonspherical Atoms”, Phy. Rev. Lett.,67, p2295- 2298, 1991.

[7] **Chih-Wen Kuo, Chih-Fu Chang, Mao-Hsiung Chen, Shih-Yuan Chen, Yaw-Dong Wu.** “A new approach of planar multi-channel wavelength division multiplexing system using asymmetric super-cell photonic crystal structures”, OPTICS EXPRESS, 15, pp:198- 206, 2006.

Chapitre 1
Généralités sur les cristaux
photoniques

I.1. Introduction

Le premier cristal photonique a été proposée pour la première fois en 1987[1,2] grâce aux travaux de Yablonovitch et John afin d'inhiber l'émission spontanée de la lumière. La réalisation du premier cristal photonique a été en 1991[3]. Les cristaux photoniques (CPs) sont des systèmes très prometteurs pour des applications dans le domaine des ondes électromagnétiques, pour de réelles réalisations dans le domaine des micro-ondes, l'optoélectronique et les télécommunications optiques.

Dans ce chapitre, nous présenterons la conception fondamentale des cristaux photoniques. Pour cela, leurs caractéristiques, le principe de la bande interdite photonique et le diagramme de bande seront expliqués. Nous donnerons ensuite un aperçu des différents types des CPs et les principales applications de ces derniers.

I.2. Définition

Les cristaux photoniques (CPs) sont des matériaux diélectriques dont la constante diélectrique est modulée de façon périodique dans une, deux ou trois directions avec une période de l'ordre des longueurs d'onde des photons optiques (Figure I.1). Ces structures peuvent être obtenues par arrangement périodique de deux matériaux différents. Cette périodicité provoque une interdiction de la propagation des photons, dans une certaine gamme spectrale, que l'on nomme bande interdite photonique.

Les cristaux photoniques ouvrent la voie à la réalisation de nombreuses fonctions optiques grâce aux possibilités de confinement de la lumière qui pourraient révolutionner la fabrication des circuits intégrés optoélectroniques. La majorité des applications des cristaux photoniques repose sur leur bande interdite photonique. Il est nécessaire d'introduire des défauts dans la structure périodique afin de disposer d'une fréquence permise dans la bande interdite.

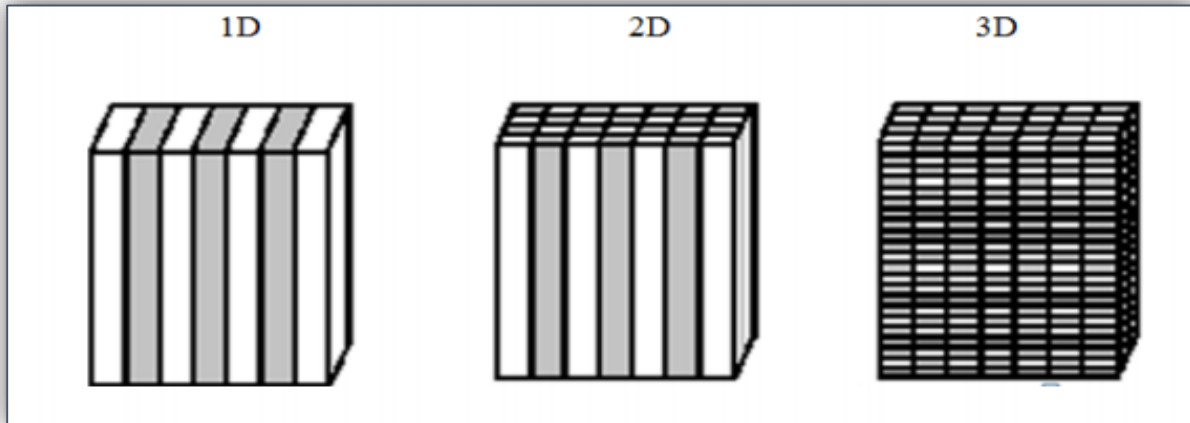
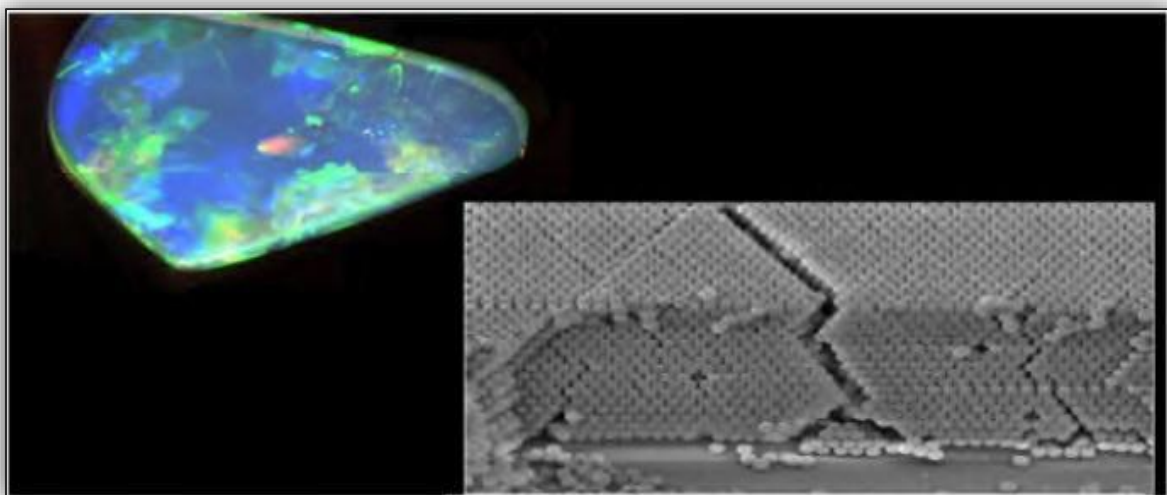


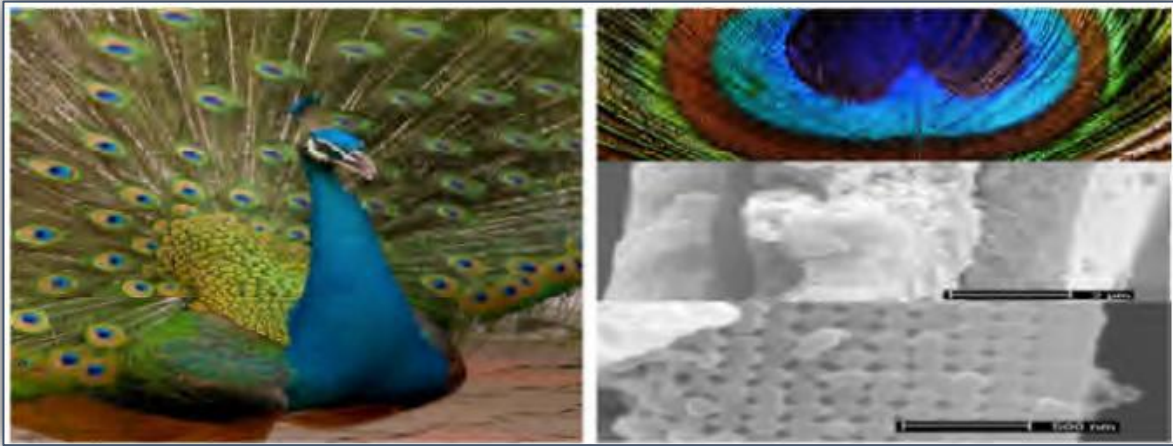
Figure I.1 : Schéma montrant le principe des arrangements pour des cristaux photoniques unidimensionnels (1D), bidimensionnels (2D) et tridimensionnels (3D).

I.3. Cristaux photoniques naturels

Il existe des structures naturelles qui peuvent avoir des propriétés ayant les mêmes caractéristiques que les cristaux photoniques artificiels. En effet, certaines espèces animales [4] et minérales fabriquent et utilisent ces structures à des fins esthétiques et stratégiques depuis bien longtemps (figure I.2) et ce n'est finalement que très récemment que l'homme y a trouvé un intérêt intellectuel. On distingue plusieurs genres de cristaux photoniques, les plus parfaits sont les cristaux photoniques naturels trouvés généralement dans l'opale qui est une roche minérale constituée de microbilles de silice réparties selon un arrangement plus au moins régulier (Figure I.2(a)) [6]. De même dans les ailes d'insectes telles que les papillons (Figure I.2(b)) et les oiseaux (Figure I.2(c)).



(a)



(b)



(c)

Figure I.2 : Une vue microscopique d'une structure de cristal photonique naturel :
(a) Opale, (b) plume, (c) papillons.

I.4. Cristaux à bandes interdites photoniques

I.4.1. Les cristaux photoniques unidimensionnels (CPs-1D)

Le cristal photonique à une dimension, appelé aussi « Miroirs de Bragg » est représenté sur la figure (I.3). C'est une succession de couches d'indice de réfraction différent, empilées, de manière périodique. Le comportement du réflecteur de Bragg est expliqué à partir du processus d'interférences multiples. Comme le montre la figure (I.4) une onde qui se propage

dans la succession des couches, subit une réflexion à chaque interface. Cette réflexion s'accompagne d'un changement de phase π si l'onde va d'un milieu de faible indice vers un milieu de fort indice. Elle s'effectue sans changement de phase dans le cas contraire [7].

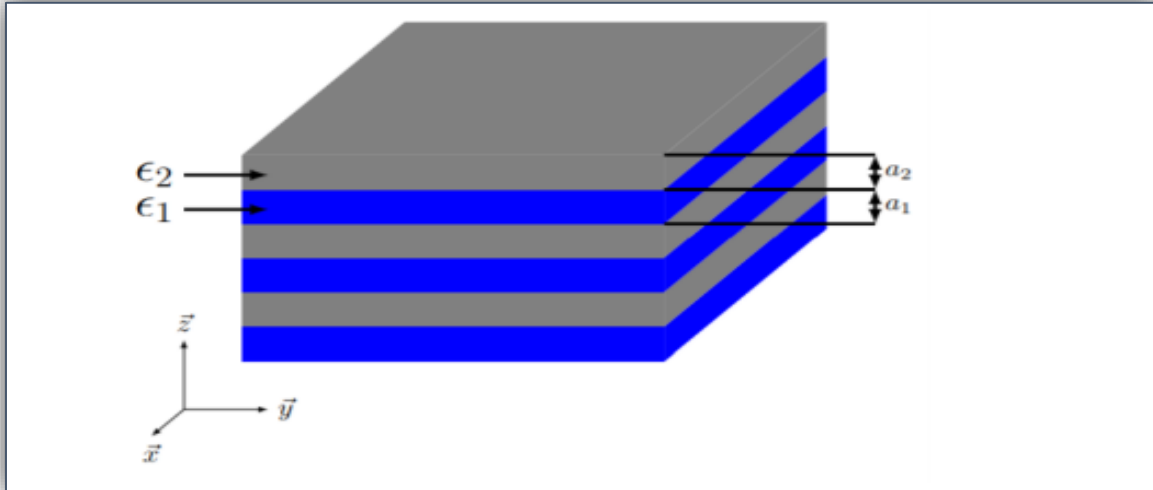


Figure I.3 : Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un empilement de couches d'épaisseurs a_1 et a_2 de permittivités (ϵ_1 et ϵ_2) différentes [8].

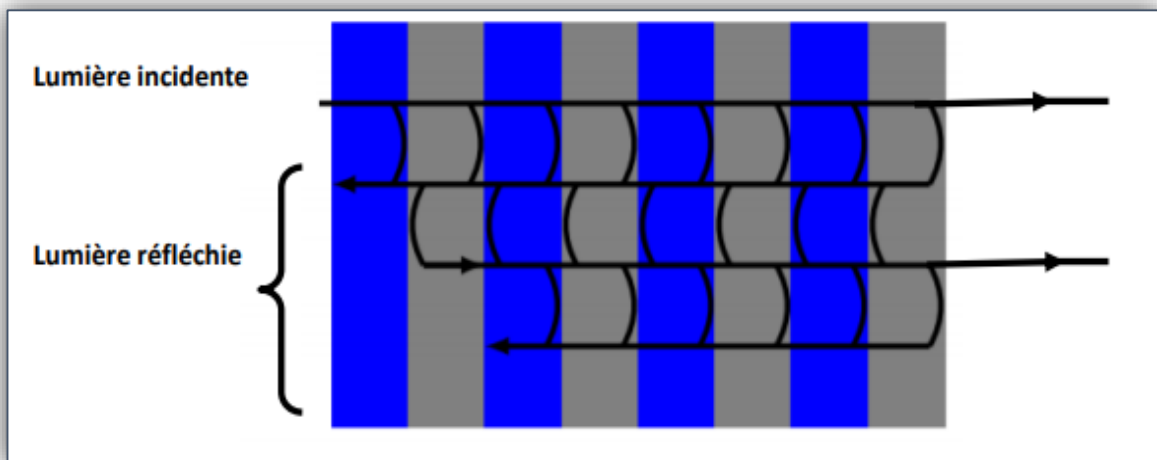


Figure I.4 : Représentation schématique de l'interface des ondes réfléchies par chaque dioptre [8].

I.4.2. Les cristaux photoniques bidimensionnels (CPs -2D)

Un cristal photonique bidimensionnel est une structure qui présente une modulation périodique de la permittivité diélectrique suivant deux directions de l'espace, et homogène dans la troisième. Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles sont fortement dépendantes de la polarisation de l'onde électromagnétique. La réalisation de ces structures se

fait de plusieurs façons (Figure I.5). Par exemple, on peut placer des tiges diélectriques dans l'air (structure déconnectée) ou encore dans un autre diélectrique (structure connectée). Afin d'ouvrir des bandes interdites larges, il faut un contraste d'indice (différence entre les indices du milieu et des tiges) suffisamment grand [8]. Les réponses optiques de ces structures dépendent de la polarisation de l'onde électromagnétique qui peut être soit de type TE (Transverse Electric) ou bien TM (Transverse Magnétique) et peuvent ne pas posséder une bande interdite complète.

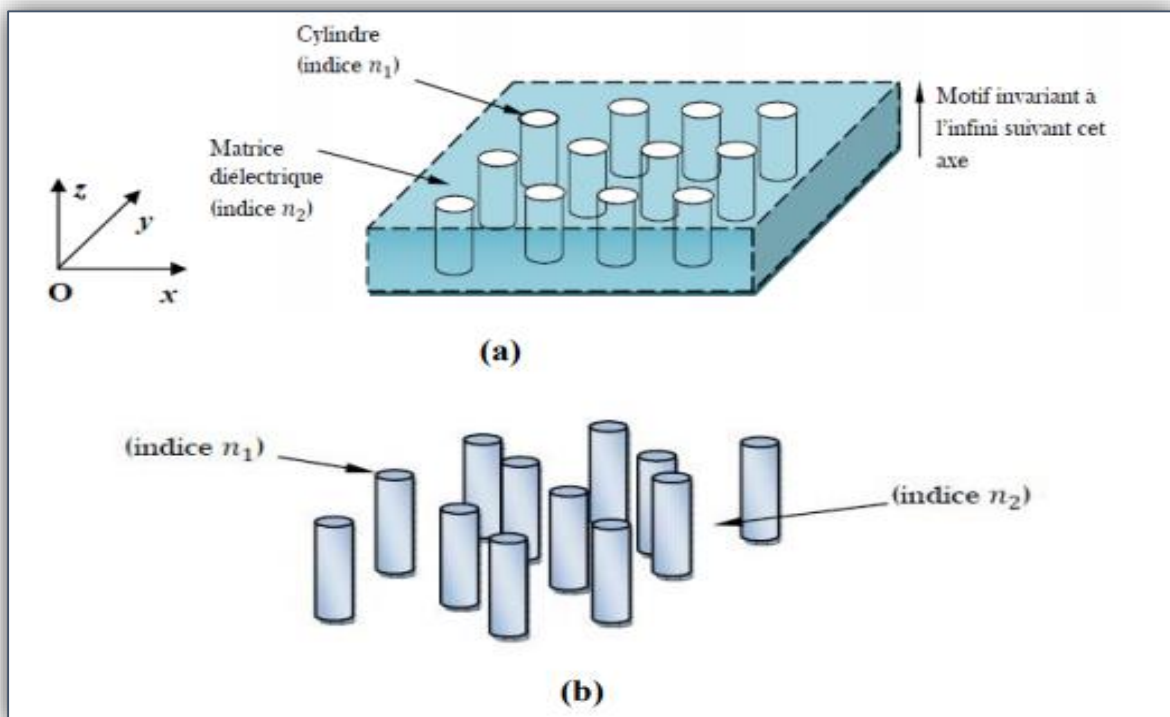


Figure I.5 : Structures bidimensionnelles : (a) connectée, (b) déconnectée [8].

I.4.2.1. Propriétés physiques et géométriques d'un CP-2D

A. Différence d'indice

La différence d'indice Δn est la différence entre les indices de réfraction des deux matériaux, il est donné par l'équation (I. 1) :

$$\Delta n = n_h - n_l \quad (\text{I. 1})$$

Avec :

n_h : Indice de réfraction du matériau de haut indice.

n_l : Indice de réfraction du matériau de bas indice.

Une grande différence d'indice permet un bon confinement vertical de la lumière et limite les pertes de propagation. Si la différence d'indice entre les deux milieux est faible ($\Delta n \approx 0,1 - 0,2$), dans ce cas, le confinement vertical est faible et les pertes de propagations peuvent être importantes.

B. Période

Dans les CPs-2D, la période "a" représente la distance entre le centre de deux motifs adjacents. Ce paramètre géométrique, choisi selon le domaine de fréquence étudié, influe sur les caractéristiques de la bande interdite photonique.

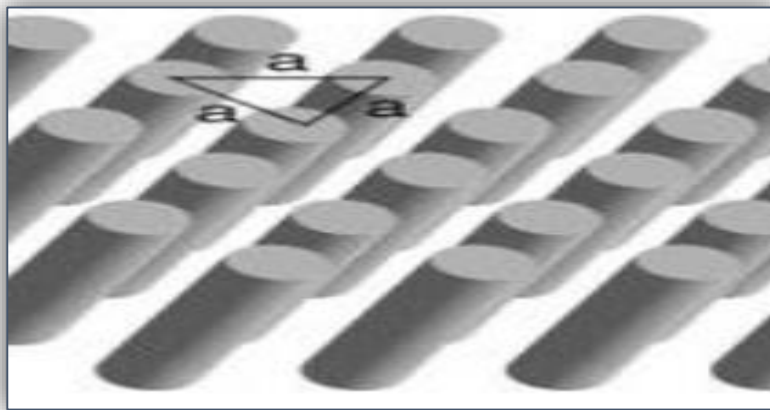


Figure I.6 : la période dans une Structure périodique 2D déconnectée.

C. Facteur de remplissage f

Pour le réseau bidimensionnel, le facteur de remplissage f désigne le rapport entre l'aire du motif et l'aire de la cellule élémentaire du réseau considéré [9,10]

$$f = \frac{A_{\text{motif}}}{a_{\text{mail élémentaire}}} \quad (\text{I.2})$$

Avec :

A_{motif} : l'aire du motif.

$a_{\text{mail élémentaire}}$: l'aire de la cellule élémentaire du réseau considéré.

I.4.3. Les cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D)

Les cristaux photoniques tridimensionnels sont des structures tridimensionnelles périodiques suivant les trois directions de l'espace. Il existe un grand nombre de structures possibles. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué par S. Y. Lin et al. Il

était formé de sphères de silicium arrangées selon une structure diamant. En 1993, E. Yablonovitch fabriquait un cristal photonique 3D en perçant chaque trou dans un bloc de plexiglas selon trois angles azimutaux séparés de 120° (Figure I.7) [11]. Ce cristal photonique s'appelle d'après son inventeur "la Yablonovite", avec ce cristal photonique, le concept de la bande interdite photonique a été démontré expérimentalement pour la première fois. De nombreuses méthodes de fabrication des cristaux photoniques tridimensionnels ont été proposées (Figure I.8) [11].

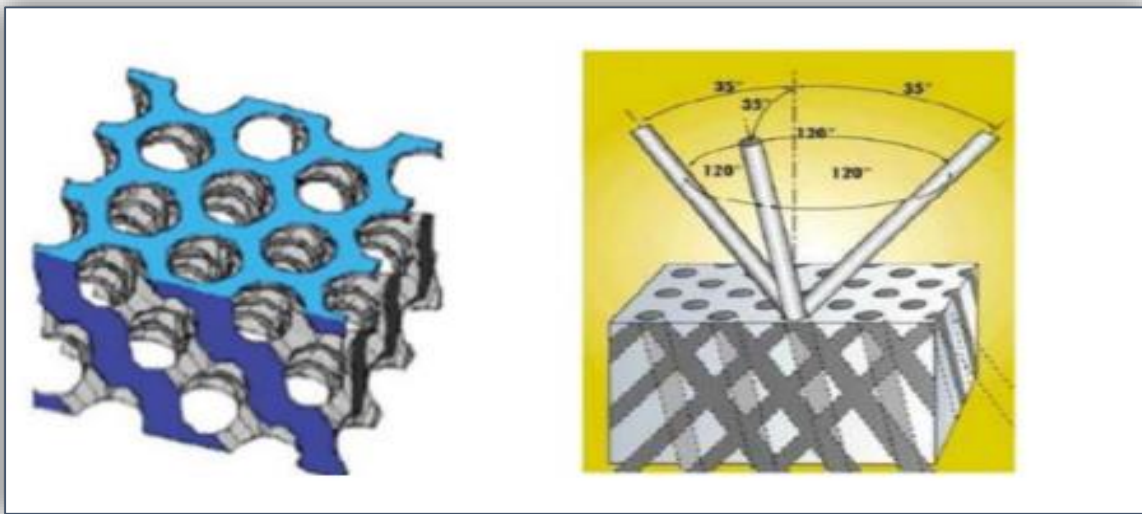


Figure I.7 : La Yablonovitch [12].

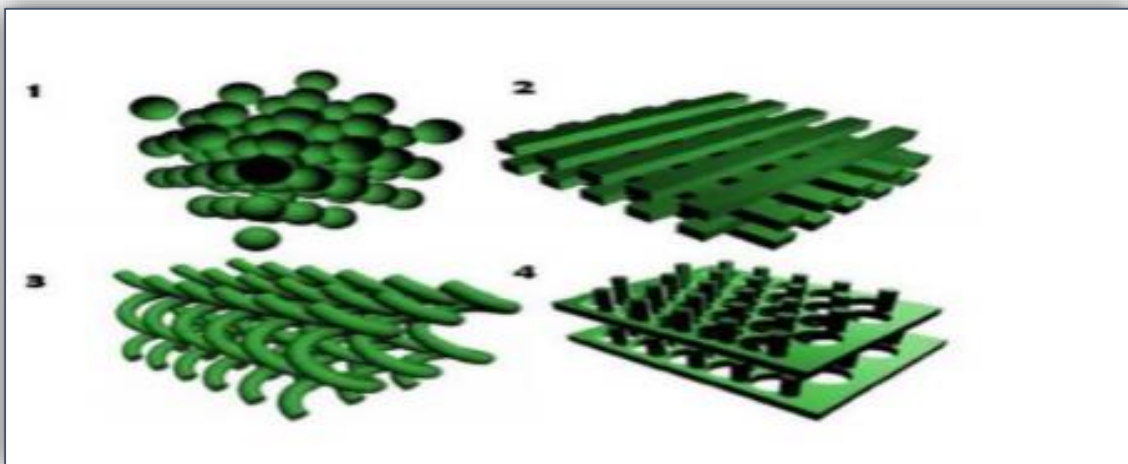


Figure I. 8 : Exemples des structures artificiels 3D : Structure cubique (1), tas de bois (2), structure spirale (3), diamant (4) [7].

I.5. Différentes familles des cristaux photoniques bidimensionnels

On peut regrouper les cristaux photoniques bidimensionnels en trois grandes familles selon la forme du réseau [13].

I.5.1. Le réseau carré

La maille primitive est un carré de côté « a » (Figure I.9). Il a été montré que ce type de réseau est très sensible à l'angle d'incidence et à la polarisation de l'onde électromagnétique. Il est ainsi difficile d'obtenir une bande interdite totale, c'est-à-dire une bande interdite qui empêche la propagation quelle que soit la polarisation (TE, TM).

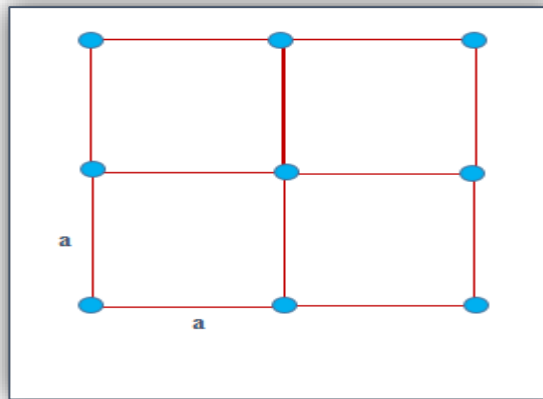


Figure I.9: Réseau carré.

I.5.2. Le réseau triangulaire

La maille primitive est un triangle équilatéral de côté « a ». (Figure I.10). Chaque nœud du réseau est espacé de son proche voisin d'une même distance « a ». Cette structure est moins sensible à l'angle d'incidence que le réseau carré mais la bande interdite complète reste difficile à obtenir.

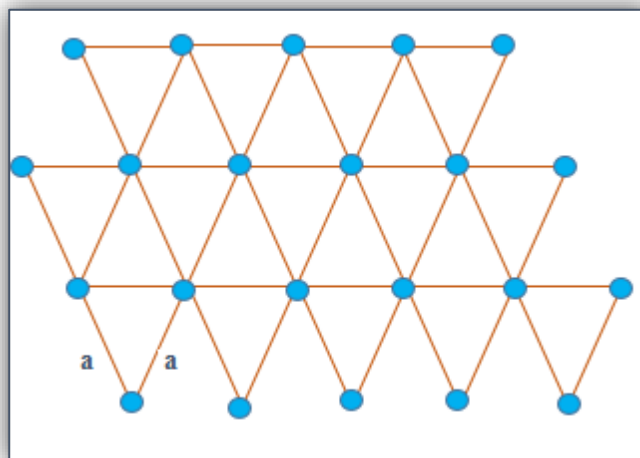
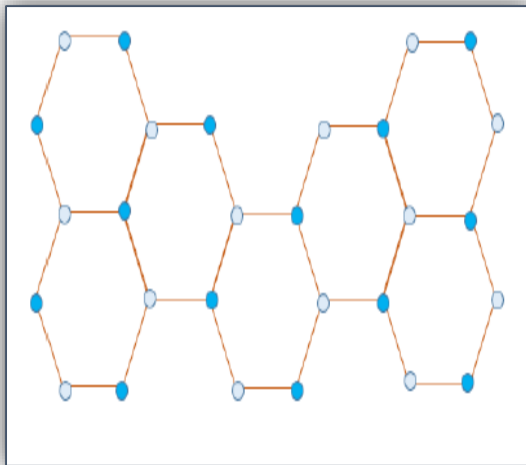


Figure I.10 : Réseau triangulaire.

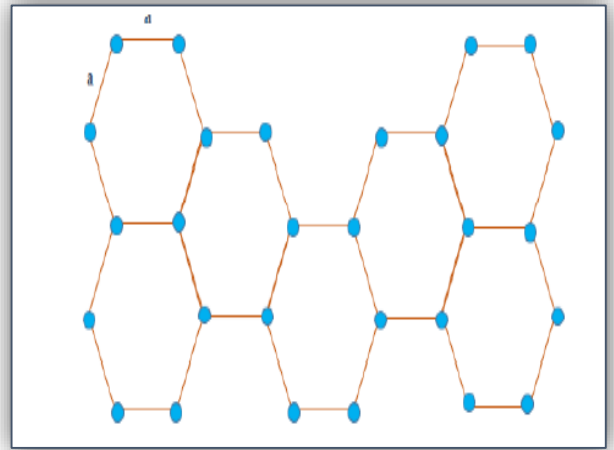
I.5.3. Le réseau hexagonal

La structure nitrure de Bore : Si un nœud diffère de son suivant par sa nature ou sa dimension, on obtient ainsi la structure cristalline du Nitrure de Bore (Figure I.11(a)).

La structure graphite : Dans cette structure tous les nœuds sont identiques et espacés de « a », elle est similaire à la structure cristalline du graphite (Figure I.11(b)).



(a)



(b)

Figure I.11 : Réseau hexagonal.

I.6. Polarisation de l'onde électromagnétique

Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles sont fortement dépendantes de la polarisation de l'onde électromagnétique. On peut séparer le champ électromagnétique en deux polarisations indépendantes, la polarisation TE (Transverse Electric) et la polarisation TM (Transverse Magnétique). En polarisation TE, le champ électrique (\vec{E}) est orienté dans le plan de périodicité et le champ magnétique (\vec{H}) n'a qu'une composante normale au plan. Dans ce cas, les composantes du champ électromagnétique sont (E_x, E_y, H_z) , les autres composantes étant nulles. En polarisation TM, les rôles de \vec{E} et \vec{H} sont permutés et le champ électromagnétique est de la forme (H_x, H_y, E_z) (Figure 1.12) :

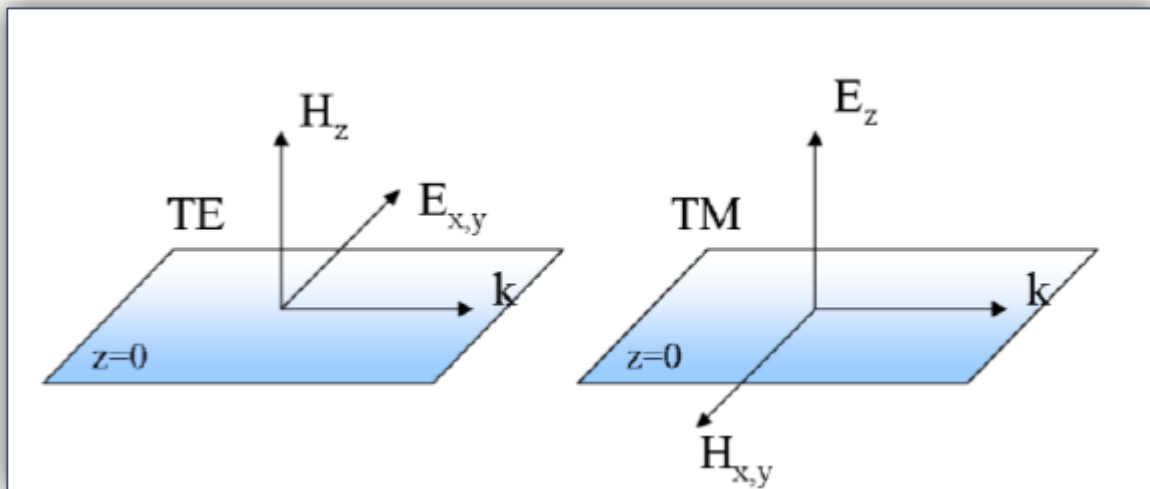


Figure 1.12 : Définition des polarisations pour les cristaux photoniques 2D.

Les bandes énergétiques permises ou interdites seront différentes. Il existe donc une bande interdite TE et une bande interdite TM. Les bandes interdites qui apparaissent dans chaque cas doivent se superposer pour former une bande interdite totale. Elle empêche ainsi la propagation de l'onde incidente quelle que soit sa polarisation [14].

I.7. Diagrammes de bande

On considère un cristal photonique bidimensionnel composé de trous d'air. Dans ce cas, on peut décomposer le champ électrique en deux polarisations indépendantes, TE et TM. Le résultat du calcul de la structure de bandes obtenu par la méthode des ondes planes est reporté sur la (Figure I.13). On voit apparaître une bande interdite assez large pour la lumière polarisée TE, tandis que la bande interdite se réduit fortement pour les modes polarisés TM. Par conséquent, la bande interdite complète du cristal, qui correspond à l'intersection des bandes interdites pour les deux polarisations, est assez étroite. C'est pourquoi bien souvent les cristaux photoniques réalisés en pratique ne possèdent pas de bande interdite complète, mais une bande interdite valable pour une seule polarisation [15].

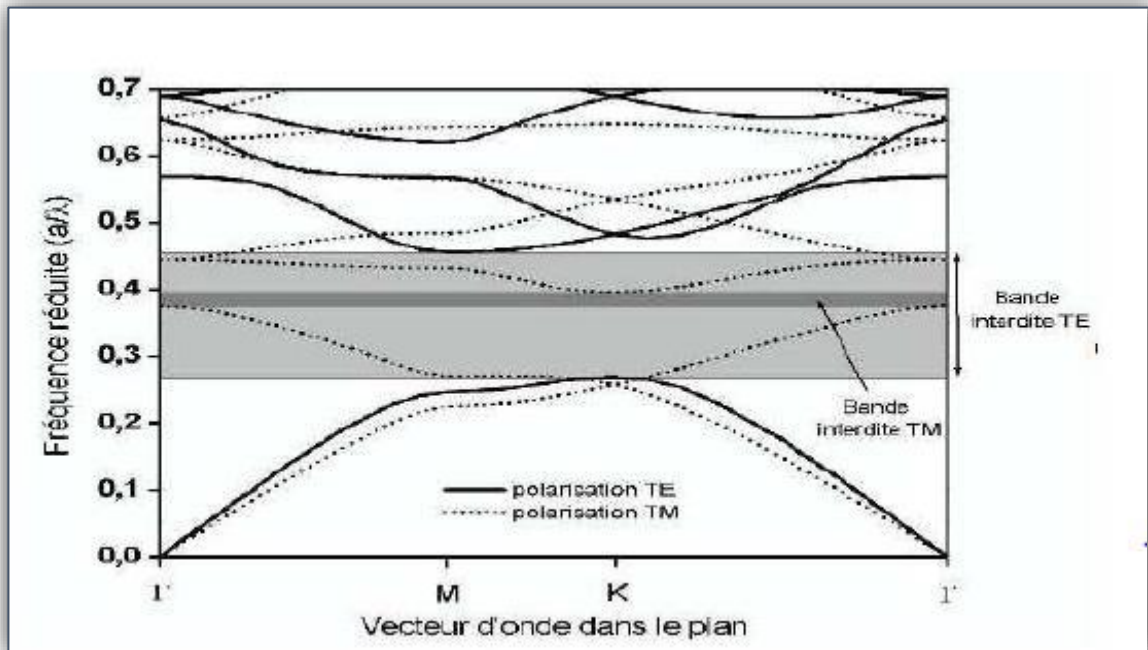


Figure I. 13 : Diagramme Structure de bandes pour un cristal bidimensionnel [15].

Cette figure montre la structure de bandes pour un cristal bidimensionnel constitué d'un réseau triangulaire de trous d'air dans une matrice diélectrique ($\epsilon = 12$) avec un facteur de remplissage en air de 63% ($r/a = 0.43$). Les bandes sont en traits pleins pour la polarisation TE et en pointillés pour la polarisation TM, r est le rayon des trous et a le paramètre de maille ou période du réseau [15].

I.8. Défauts dans les cristaux photoniques

Les cristaux photoniques ne permettront de réaliser de véritables fonctions optiques et de contrôler les flux de lumière que si l'on y introduit des défauts. La création d'un défaut consiste à briser localement la périodicité du réseau en ajoutant ou enlevant localement un peu de matière diélectrique. Dans le cas d'un réseau de trous, le défaut consiste en l'omission d'un ou de plusieurs trous. On peut aussi créer des défauts en modifiant le rayon des trous.

I.8.1. Les défauts ponctuels

La création de ces défauts s'effectue, soit, par une modification locale de l'indice de réfraction ou un changement de taille d'un motif du cristal (défaut de substitution), soit par le retrait d'un motif, ce qui permet de créer une lacune dans le cristal (défaut lacunaire) (Figure I.14). Cela correspond à une microcavité à l'intérieur du cristal photonique.

Un mode électromagnétique introduit par le défaut est appelé mode de défaut. C'est un mode dont la fréquence peut se situer dans la bande interdite et qui est localisé autour du site du défaut.

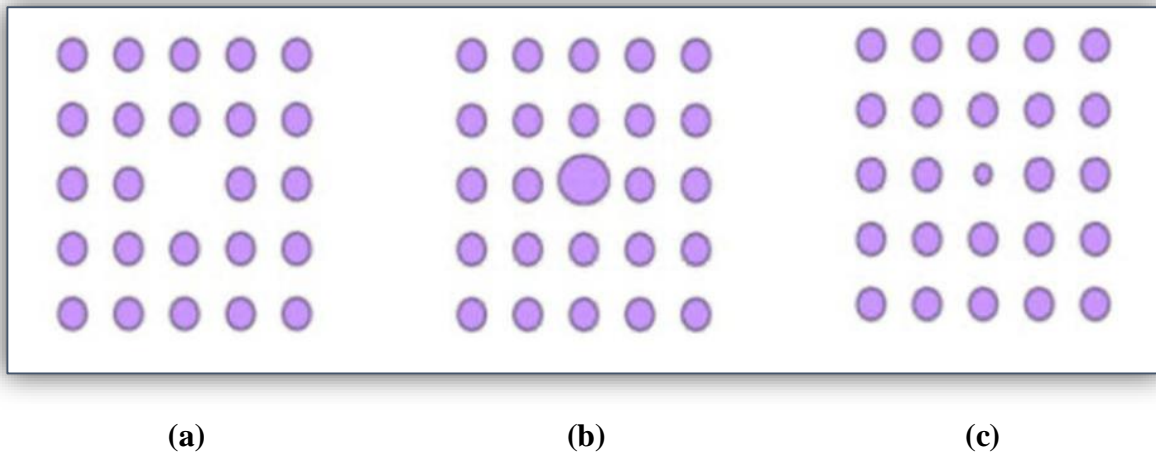


Figure I.14 : les défauts ponctuels : (a) défauts lacunaire, (b) et (c) défauts de substitution.

I.8.2. Les défauts linéaires

En introduisant un défaut linéaire dans un cristal photonique, il est possible d'orienter la propagation de la lumière dans une direction choisie. Ce type de défauts peut être créé en supprimant ou en modifiant une ou plusieurs rangées de motifs (trous ou de tiges) du cristal photonique (Figure 1.15). Les défauts linéaires sont appelés aussi défauts étendus et peuvent servir de guides d'ondes. Au sein de ces défauts, des modes ayant une fréquence appartenant à la bande interdite photonique peuvent exister. Ces modes électromagnétiques associés aux guides d'onde sont des modes confinés et peuvent se propager le long de ce guide.

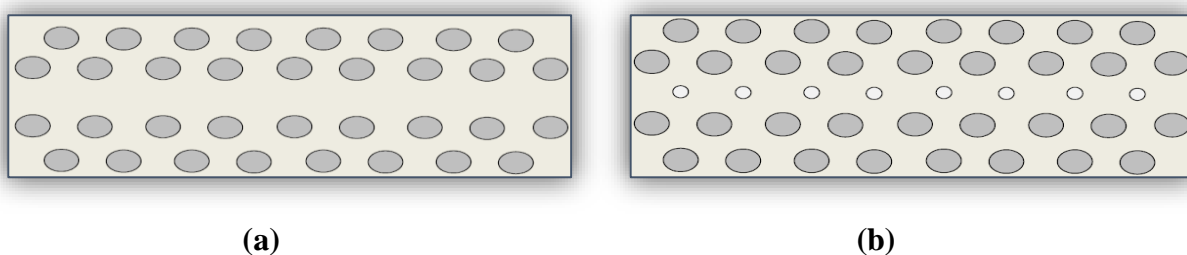


Figure I.15: Exemples de défauts linéaires dans un cristal photonique 2D créés (a) en omettant une seule rangée de motifs, (b) en variant le rayon d'une seule rangée de motifs de la structure.

I.9. Applications des cristaux photoniques :

Durant ces dernières années, l'application des cavités résonantes et des guides d'ondes à CPs comme briques de base de circuits photoniques intégrés a fait l'objet de recherches significatives depuis cette dernière décennie. En se basant sur ces composants, différents

dispositifs ont été proposés et démontrés dans plusieurs domaines disciplinaires allant de l'optique, l'optoélectronique, la télécommunication jusqu'à la biodétection. Ces nouveaux dispositifs reproduisent les principes opérationnels des différents composants d'un circuit intégré, en utilisant les photons comme porteur d'information à la place des électrons. Quelques exemples de ces dispositifs sont montrés sur la (Figure 1.16).

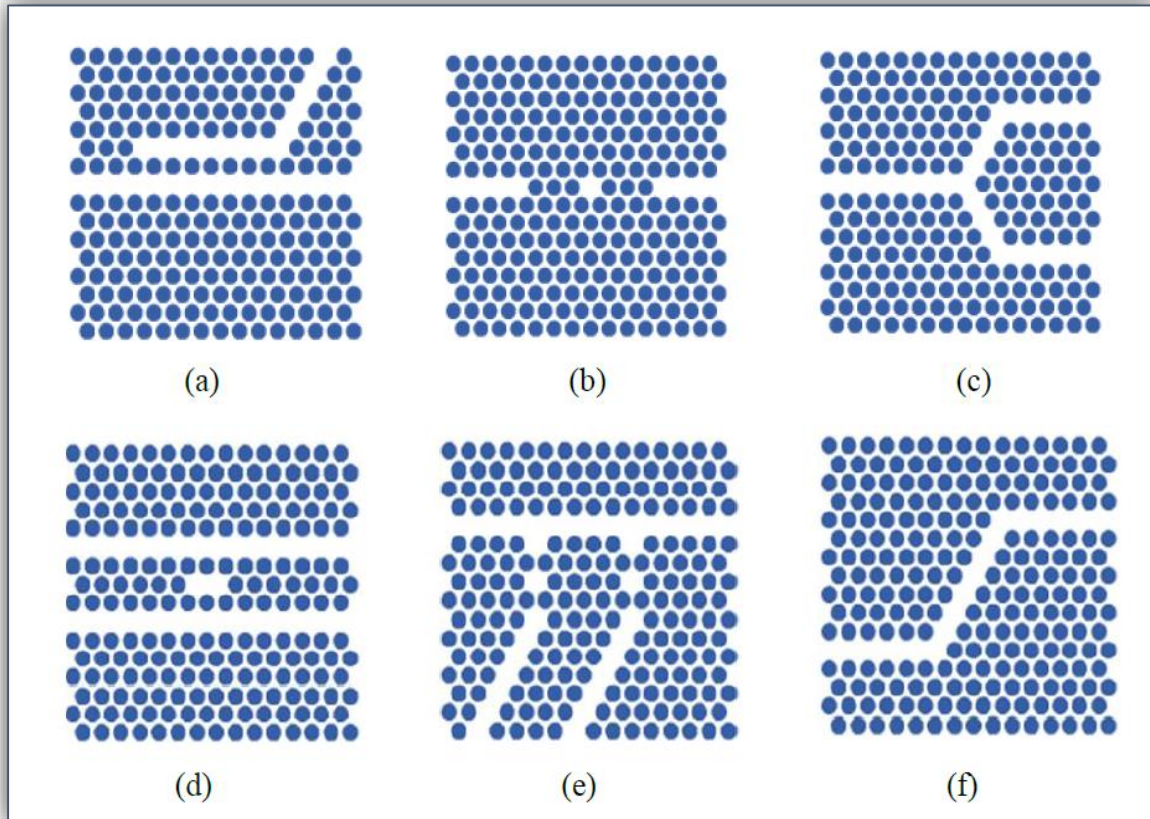


Figure I.16: Quelques exemples de dispositifs à base de cristaux photoniques bidimensionnels : (a) coupleur directionnel [16], (b) biocapteur [17], (c) diviseur de puissance [18], (d) filtre [19], (e) démultiplexeur [20] et (f) double virage [21].

I.10. Techniques de modélisation

Pour étudier les matériaux à bande interdite photonique, on trouve différents outils de simulation utiles pour la conception de ces structures, basés sur différentes méthodes tels que la méthode des moments, la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies dans le domaine temporel (Finite Difference Time Domain, FDTD), la méthode des ondes planes (Plane Wave Expansion, PWE), la méthode de la décomposition en modes propres (eigen mode expansion, EME), ...

I.10.1. La méthode des ondes planes

La technique de décomposition en ondes planes consiste à résoudre, dans l'espace fréquentiel, l'équation d'onde en développant le champ électromagnétique sur une base d'ondes planes. Cette méthode est très efficace pour calculer les diagrammes de bandes de cristaux infinis parfaitement périodiques. Elle permet de déterminer la fréquence, la polarisation, et la distribution du champ pour les modes d'une structure photonique.

En pratique, la structure est définie par une cellule et par un réseau périodique selon lequel cette cellule est reproduite pour couvrir entièrement l'espace. La cellule peut être uniquement le motif du cristal photonique pour un cristal sans défaut, mais peut aussi être de dimension plus grande (on parle alors de supercellule) dans le cas de structures non périodiques comme les guides d'onde ou les cavités.

I.10. 2. La méthode FDTD

La simulation par différences finies dans le domaine temporel est une méthode générale qui permet d'étudier une grande variété de systèmes. Cette technique très utilisée en électromagnétisme consiste à discrétiser les équations de Maxwell dans l'espace et dans le domaine temporel et non dans le domaine fréquentiel, ce qui conduit à la résolution d'une équation aux différences finies par transformée de Fourier dans le temps.

Cette méthode permet non seulement de calculer les diagrammes de bandes mais aussi de simuler l'évolution temporelle du champ électromagnétique se propageant dans les structures à cristaux photoniques, ce qui permet d'avoir des informations sur de nombreuses autres grandeurs comme le vecteur de Poynting ou l'énergie électromagnétique stockée. Par contre, elle exige une résolution rigoureuse qui nécessite des moyens de calcul et des mémoires informatiques importants, ce qui oblige à réduire la taille de l'espace de travail.

I.11. Technologie et matériaux

La réalisation des cristaux photoniques pour les nanostructures nécessite l'utilisation de matériaux transparents dans ces gammes de longueurs d'onde et de grande permittivité diélectrique. De nombreuses structures à bandes interdites unidimensionnelles, bidimensionnelles et même tridimensionnelles, ont déjà été réalisées sur différents matériaux tels que les semi-conducteurs, les polymères et les matériaux diélectriques.

I.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions de base associées aux cristaux photoniques. Ensuite, nous avons introduit les caractéristiques et les diagrammes de bandes des cristaux photoniques bidimensionnels.

Nous avons également abordé les techniques de modélisation et les défauts d'un cristal photonique. Enfin, nous avons cité quelques exemples d'applications des cristaux photoniques à partir de la littérature.

Références du chapitre 1

- [1] **E. Yablonovitch.** “Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics”, Physical Review Letters, vol. 58, pp. 2059-2062. 1987.
- [2] **S. John.** “Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics”. Physical Review Letters 58, 2059. 1987.
- [3] **E. Yablonovitch, T.J. Gmitter, and K.M. Leung.** “Physical Review Letters 67(17), 2295–2298”.
- [4] **N. Kawia et al.** “Confined Band Gap in an Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal”. Physical Review Letters, vol. 86, pp. 2289-2092. 2001.
- [6] **C. Sauvan.** “Études de la propagation et du confinement de la lumière dans des Nanostructures”. Thèse de doctorat en science, Université de paris XI Orsay. 2005.
- [7] **H BADAOU.** “Etude et Conception des Micro - composants à Base des Cristaux Photonique Bidimensionnels”. Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen. 2012.
- [8] **B Lombardet.** “Étude Et Réalisation De Cristaux Photoniques Pour L'optique intégrée”. Thèse De Doctorat, École Polytechnique Fédérale De Lausann. 2005.
- [9] **B. Lombardet.** “Étude et réalisation des cristaux photoniques pour l’optique intégrées” Thèse de doctorat n°3254. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 2005.
- [10] **D. Felbacq, E. Centeno.** “Theory of diffraction for 2D photonic crystals with boundary” Optics communications”. vol.199, p. 39-45. 2001.
- [11] **A. Benmerkhi.** “Optimisation du confinement de la lumière dans des cavités à cristaux photoniques”. Thèse de Doctorat, université Mentouri Constantine”. 2012.
- [12] **C. Cohen- Tnouuji, B- Diu. Laloé.** “Mécanique quantique Tome I Hermann”. Paris 1973.
- [13] **F. Bougriou** “Etudes Guides D’ondes A Cristaux Photoniques Bidimensionnels” Mémoires de magister. Université Mentouri Constantine. 2008.
- [14] **M. Grillet.** “Cristaux photoniques et intégration photonique”. Thèse de doctorat de L’université de Lyon. 2003.
- [15] **C.J.M. Smith t al.** “Coupled guide and cavity in a two-dimensional photonic crystal”. Applied physics letters. 2001.
- [16] **S.H. Kim, H.Y. Ryu, H.G. Park, G.H. Kim, Y.S. Choi, Y.H. Lee, J.S. Kim.** “Two-dimensional photonic crystal hexagonal waveguide ring laser,” Applied physics letters, vol. 81, pp. 2499–2501. 2002.

- [17] **Y. Zheng, S. Li, and J. Kang.** “Two dimensional photonic crystal channel filter based on ring resonator,” in IEEE Conference on Photonics and Optoelectronics, Wahun, China, pp. 1–3. 2009.
- [19] **C. Manolatou, M. J. Khan, S. Fan, Pierre R. Villeneuve, H. A. Haus, J. D. Joannopoulos.** “Coupling of Modes Analysis of Resonant Channel Add–Drop Filters”. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 35, pp. 1322–1331. 1999.
- [19] **F.L. Hsiao, C. Lee.** “Computational study of photonic crystals nano-ring resonator for biochemical sensing”. IEEE Sensors Journal, vol. 10, pp. 1185–1191. 2010.
- [20] **Y.F. Xiao, B. Min, X. Jiang, C.H. Dong, L. Yang.** “Coupling whispering-gallery-mode micro cavities with modal coupling mechanism”. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 44, pp. 1065–1070. 2008.
- [21] **L. Wu, M. Wang.** “1x2 type photonic crystal power splitter with ring resonators”. Optik, vol. 126, pp. 3613–3615. 2015.

Chapitre 2
Cavités à cristaux
photoniques

I.1. Introduction

Un attrait majeur des cristaux photoniques 2D repose sur l'insertion de défauts au sein du cristal photonique. Les géométries possibles peuvent aller de la modification de la taille, la position ou de l'indice d'un seul ou de certains motifs du cristal. Ces défauts peuvent générer des états permis aux fréquences de la bande interdite du cristal parfait et être ainsi le support d'un champ électromagnétique se propageant pour ces fréquences. L'utilisation de ces structures ouvre notamment une voie vers une miniaturisation des composants d'optique intégrée et une amélioration de leurs performances.

Dans ce chapitre, les cavités basées sur les cristaux photoniques bidimensionnels sont décrites. La notion de facteur de qualité est également définie. Nous décrivons ensuite les différents types de cavités ainsi que l'influence des paramètres géométriques sur ces dernières. Nous terminerons ce chapitre par la présentation de quelques applications à base des cavités à cristaux photoniques.

II.2. Les cavités à cristaux photoniques

Si un défaut unique est introduit dans une structure périodique à l'origine supposée parfaite, un mode peut être obtenu à une certaine fréquence dans la bande interdite photonique (BIP). Le défaut peut être créé de plusieurs manières : en enlevant un ou plusieurs trous du réseau (Figure II.1), en modulant localement un défaut linéaire, ou encore en utilisant des hétéro-structures formées par une modification locale de la période du réseau. Ce défaut se comporte comme une cavité entourée de miroirs, puisque les ondes à cette fréquence ne peuvent pas se propager dans le cristal photonique parfait [1].

Les cavités à cristaux photoniques ont des applications variées en optique intégrée : elles permettent de réaliser des filtres [2], des commutateurs [3], des modulateurs [4], des détecteurs [5], des nano-lasers [6], ou encore des capteurs ultrasensibles [7].

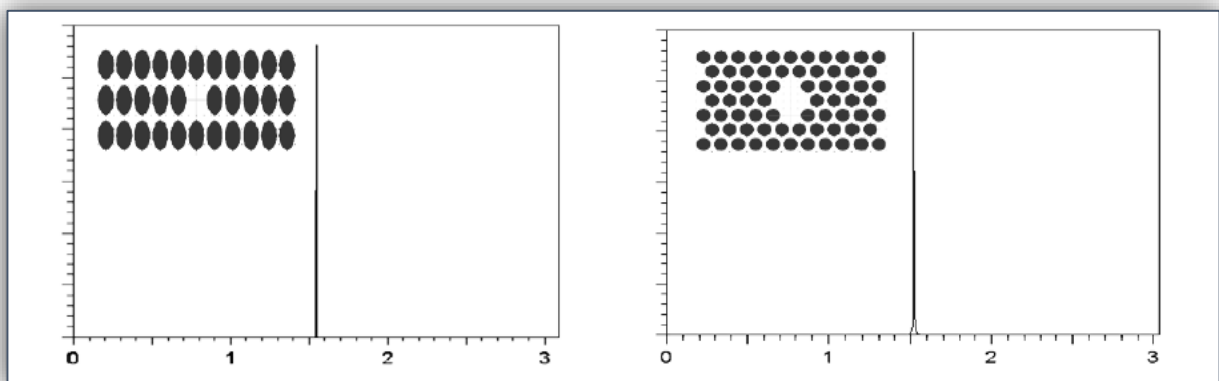


Figure II.1 : Quelques exemples des types de cavités à défauts ponctuels.

Les cavités optiques sont caractérisées par deux grandeurs. La première caractérise la position et l'existence des modes de résonance dans la bande interdite photonique ; c'est la longueur d'onde de résonance λ_0 . La seconde caractérise la capacité du résonateur à stocker les photons résonants, c'est le facteur de qualité Q du mode de résonance.

II.3. Caractéristiques du résonateur

II.3.1. Facteur de qualité

Le facteur de qualité est défini comme étant la mesure universelle de la capacité d'une cavité à conserver l'énergie [8]. Par définition, le confinement d'un mode dans la cavité à une pulsation ω_r correspond au taux de pertes mesuré lors d'une oscillation du champ à cette même fréquence. Plus explicitement, cela correspond donc au rapport entre l'énergie stockée W à l'intérieur de la cavité et la puissance dissipée p , soit :

$$Q = \omega_r \frac{W}{P} \quad (\text{II. 1})$$

On peut définir également le facteur de qualité Q comme étant le rapport entre la longueur d'onde de résonance λ_r et de sa largeur à mi-hauteur $\Delta\lambda$ (full width at half maximum, FWHM). Cette formulation du facteur de qualité en longueurs d'onde est possible grâce à la forme lorentzienne de la résonance tel que représenté sur la figure (II.2). Elle s'exprime comme [9, 10] :

$$Q = \frac{\omega_r}{\Delta\omega} = \frac{\lambda_r}{\Delta\lambda} \quad (\text{II. 2})$$

Le facteur de qualité est inversement proportionnel au FWHM, ce qui implique qu'une résonance étroite dans le domaine fréquentiel correspond à un résonateur à faibles pertes.

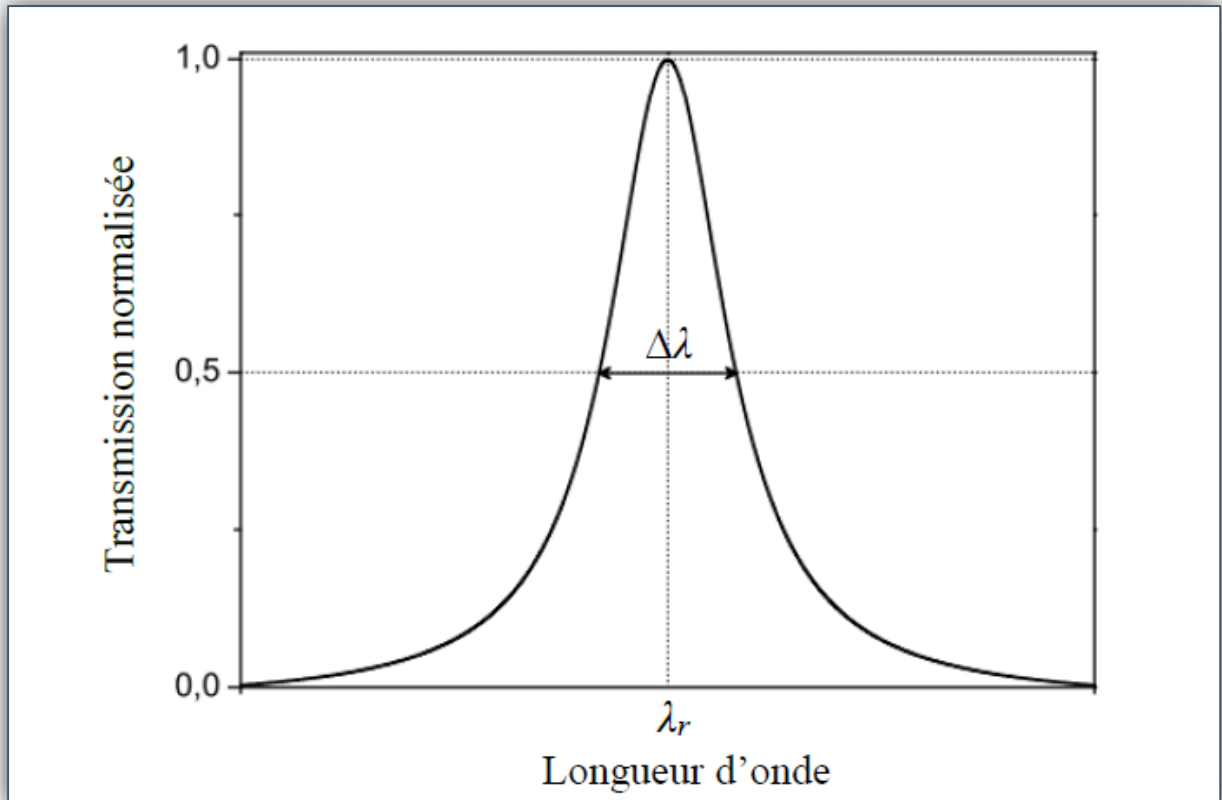


Figure II.2: Réponse spectrale d'une cavité.

On définit alors le facteur de qualité Q de ces résonances par le rapport de la longueur d'onde de résonance, λ_r , à la largeur à mi-hauteur du pic, $\Delta\lambda$. Ce facteur de qualité rend compte de la capacité de la cavité à piéger la lumière. À la résonance, le photon subit des réflexions multiples entre les deux miroirs définissant la cavité et ne sort de celle-ci qu'après un temps τ_{ph} que l'on peut considérer comme la durée de vie du photon dans la cavité. Ce temps τ_{ph} est proportionnel au facteur de qualité de la structure qui peut alors être vu en première approximation comme le nombre d'aller-retour que fait le photon entre les deux miroirs avant de sortir de la cavité. Une autre manière de voir les choses serait de considérer l'intensité (ou l'amplitude) du champ électromagnétique dans la cavité. En effet, lorsque la cavité est en assonance, le champ localisé dans la cavité est très fortement amplifié et le facteur de qualité peut alors être considéré comme le facteur de surtension du champ dans la cavité.

II.4. Influence des paramètres géométriques sur les cavités

Une solution pour réaliser simplement des cavités à CP-2D consiste à exploiter les propriétés de bande interdite photonique (BIP). L'omission des tiges au sein d'un réseau CP-

2D ménage une région spatiale cernée de rangées de tiges se comportant comme des miroirs pour la gamme spectrale d'intérêt [11,12]. Plusieurs paramètres permettent de contrôler les propriétés d'une cavité :

- La géométrie de la cavité, essentiellement sa forme et sa taille (variation du rayon du Point de défaut).
- Le changement de l'indice de réfraction des tiges par l'infiltration des liquides (polymère ou eau) dans les trous où les tiges des cristaux photoniques modifient les propriétés optiques de ces derniers.
- La période et le facteur de remplissage du CP-2D, responsables de la position spectrale des modes et de la BIP.
- Le nombre de rangées de CP-2D bordant la cavité détermine la réflectivité des miroirs associés. Environ 8-9 rangées de CP-2D triangulaire suffisent en pratique pour s'affranchir des fuites de lumière dans le plan à travers la couronne CP [13].

II.5. Les différents types de cavités

Il existe plusieurs types de cavités, elles dépendent de la forme du réseau ; triangulaire ou carré, ou du nombre ou du type de défauts ; omission d'une ou plusieurs tiges où variation du rayon ou de l'indice, parmi ces cavités nous citons :

II.5.1. Cavité hexagonale

Dans un cristal triangulaire, les cavités hexagonales, dont les côtés sont les rangées denses, constituent une série de cavités canoniques. Il est commode de les nommer par le nombre de périodes le long de chaque côté. Ainsi, un seul trou manquant correspondra à H1, sept trous manquants à H2, etc. (Figure II.3) [14]. Les cavités de type Hn, de forme hexagonale, n présente le nombre de rangées manquantes par côté de l'hexagone sont les plus étudiées [15].

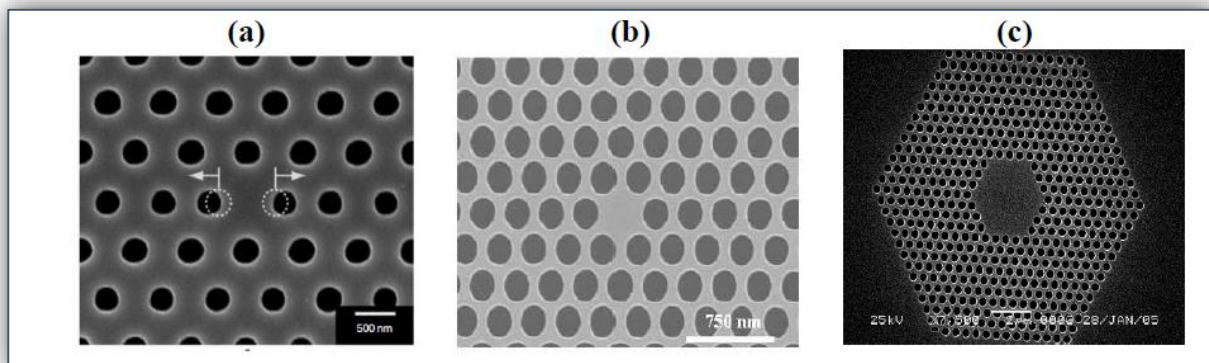


Figure II.3 : Exemples de cavités de types Hn : (a) cavité H0, (b) cavité H1, (c) cavité H4.

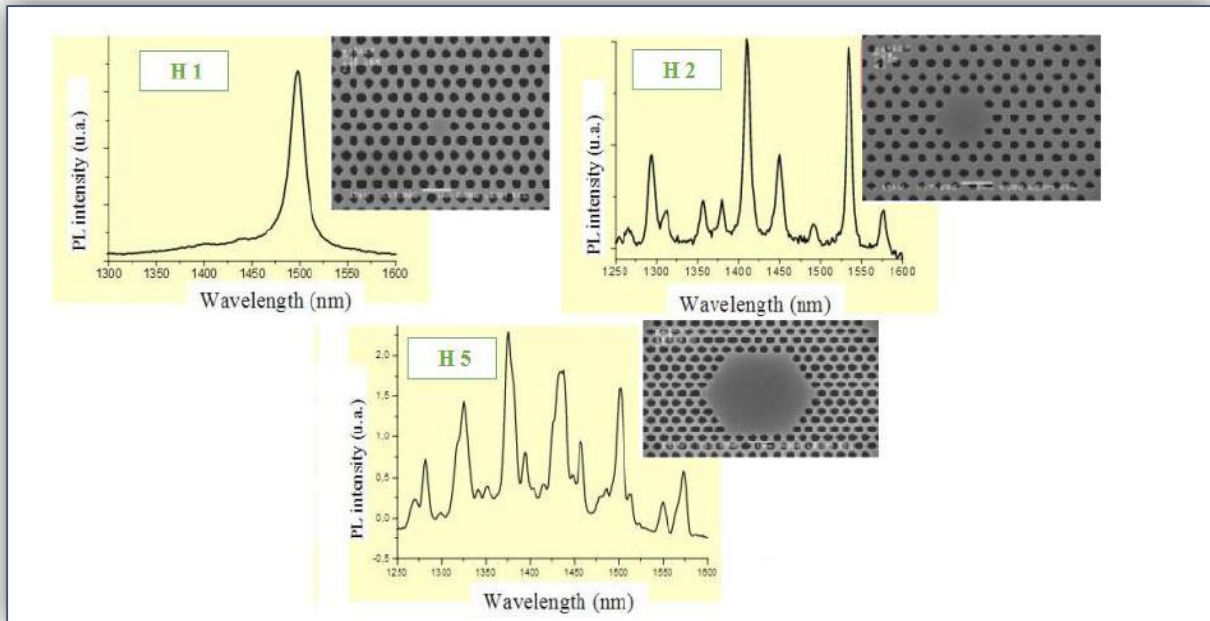


Figure II.4 : Signatures spectrales de cavités hexagonales [16].

II.5.2. Les cavités linéiques

Les cavités L_n sont linéiques et consistent en l'omission de n trous alignés sur la même rangée dans la direction ΓK . La figure suivante présente quelques exemples de cavité L_n à cristaux photoniques 2D.

Les cavités de types L_3 ont des modes dont les facteurs de qualité ne dépassent pas quelques milliers. Toutefois il est possible d'obtenir de forts facteurs de qualité avec ce type de cavités, surtout depuis les travaux d'*Akabane et al* [17], qui ont démontré l'importance d'un confinement progressif de la lumière grâce à l'optimisation de la position des trous aux extrémités de la cavité. Grâce à cela ils ont également exploré la piste des cavités linéiques modifiées, qui permettent de multiplier par 9 le facteur de qualité par rapport aux cavités linéiques simples (45 000 par rapport à 5000) [18].

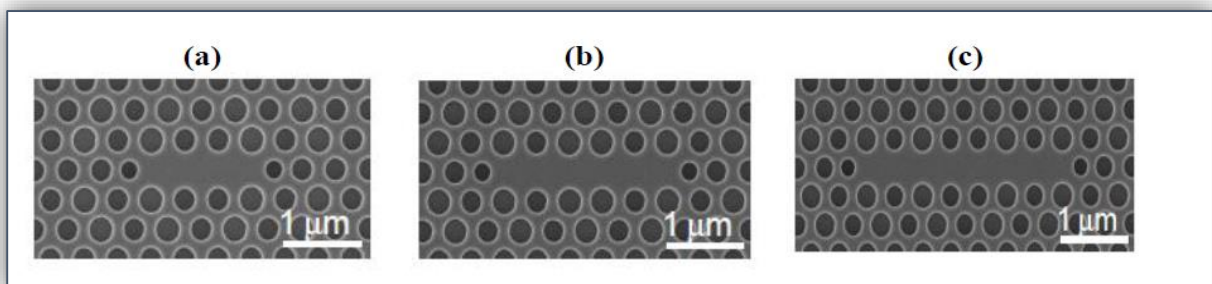


Figure II.5 : Exemples de cavités de types L_n : (a) cavité L_3 , (b) cavité L_5 , (c) cavité L_7 .

II.5.3. Cavité Carrée

Dans un réseau bidimensionnel carré, les cavités sont de type S_n de forme carrée, n présente le nombre de lignes et de rangés manquantes du carré. Par exemple la cavité S_1 est constituée en omettant une ligne et une rangée.

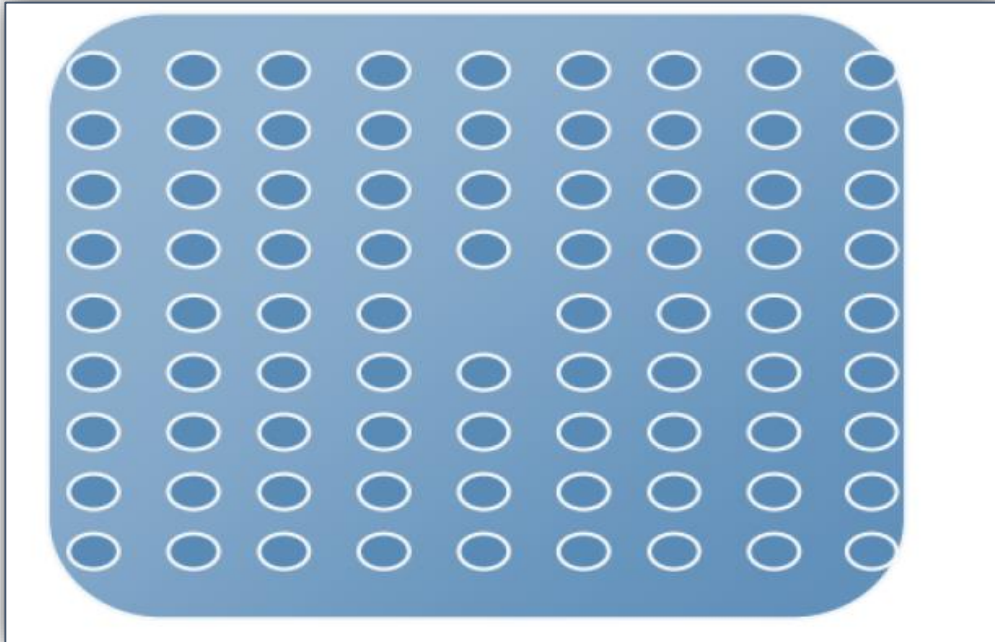


Figure II.6 : Exemple de cavité carrée dans un cristal photonique a réseau carré.

II.5.4. Cavité triangulaire

La figure (II.7) (a) représente la cavité triangulaire, cette cavité est obtenue en omettant plusieurs trous dans un réseau triangulaire de trous d'air de section circulaire ($r=200\text{nm}$) plongé dans une matrice diélectrique ($\epsilon=8.12$). Ce cristal est éclairé par une onde plane sous incidence normale avec une polarisation TE. Le spectre de photoluminescence de cette cavité est représenté sur la figure (II.7) (b).

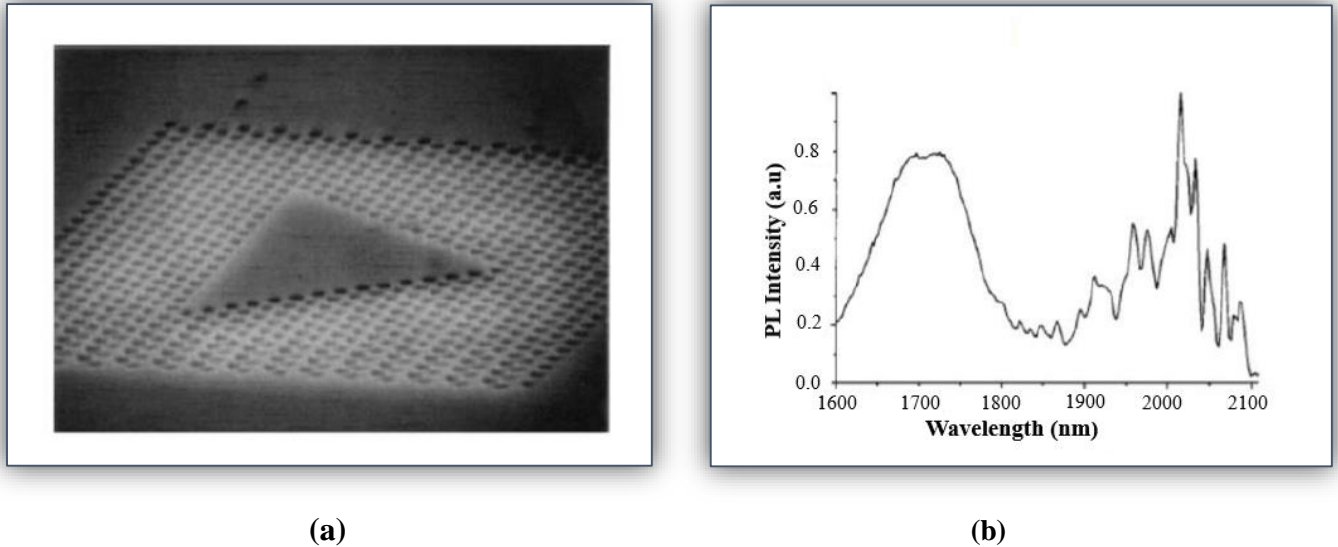


Figure II.7 : (a)Exemple de cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire, (b)spectre de photoluminescence d'une cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire de trous d'air [19].

II.6. Application des cavités à cristaux photoniques

Si l'on introduit des défauts dans le cristal photonique, de nouveaux états permis apparaissent dans la bande interdite photonique. La lumière peut être confinée selon plusieurs dimensions selon le défaut et la dimensionnalité du cristal photonique. Par exemple, si l'on introduit un défaut unidimensionnel dans un cristal photonique bidimensionnel, la lumière est confinée en deux dimensions. Une cavité bidimensionnelle est créée.

Les cavités présentant de forts facteurs de qualité et de faible volume modal, suscitent de vif intérêt notamment pour le contrôle de l'émission spontanée de la lumière et la réalisation de sources à photons uniques [20]. De plus, leur couplage avec les guides d'ondes permet la réalisation d'une fonction particulièrement importante dans l'optique intégrée : Le multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing) [21]. D'une autre part, les propriétés de fort confinement optique leur procurent un vif intérêt pour les applications de détection et de la biodétection, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour concevoir des capteurs et des biocapteurs photoniques ultracompacts [22]. Cependant, de nombreux problèmes demeurent encore à résoudre, tant en matière de performances que d'intégration, avant de voir ce genre de nanotechnologie réellement sur le marché. Les applications des structures à BIP sont aussi nombreuses que variées. Ainsi dans cette section nous allons exposer

seulement les applications qui sont fortement appropriées pour ce travail de mémoire, à savoir: les démultiplexeurs.

II.6.1. Démultiplexeur à cristaux photoniques

Au cours de ces dernières années, l'accroissement du volume des données échangées dans les systèmes de télécommunications optiques a entraîné le développement de réseaux de télécommunications à très haut débit, réclament leur miniaturisation ces derniers nécessitent une intégration de composants de plus en plus dense. Ces composants doivent traiter une plus grande quantité d'informations et sous des débits de transfert plus élevés. Etant l'un des composants les plus importants et les plus essentiels de cette chaîne, le démultiplexeur optique permet d'extraire plusieurs longueurs d'ondes bien précises et bien distinctes d'un flux de données. Considérons un signal optique comprenant les longueurs d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$. Il est possible de diviser celui-ci en une série n de signaux de sortie (avec $n = 1, 2, \dots, i$) de telle sorte que la sortie (n) permette d'extraire la longueur d'onde λ_n [23]. La figure (II.8) illustre ce principe avec un exemple de démultiplexeur à 8 canaux de sortie. Le démultiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing : WDM) quant à lui, permet un traitement direct sur les signaux optiques, du fait que chaque utilisateur a une bande passante fréquentielle qui lui est attribuée.

La longueur d'onde de fonctionnement des composants utilisés par le WDM est située autour de $1.55 \mu\text{m}$ pour être compatible avec la fenêtre de faible atténuation des fibres optiques.

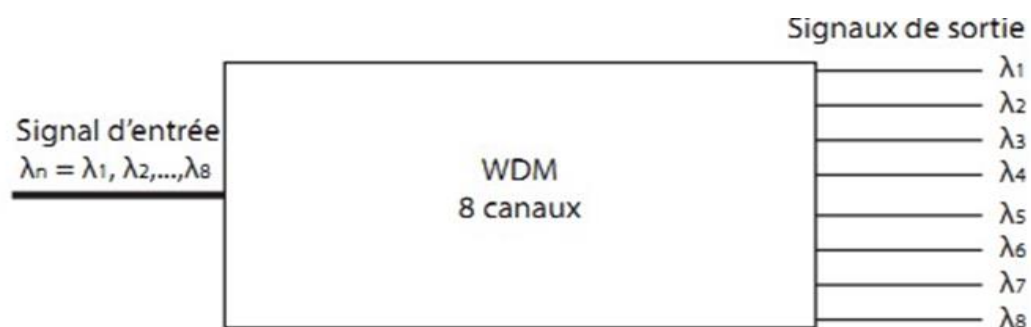


Figure II.8 : Démultiplexeur à 8 canaux de sortie [23].

Généralement, les composants à multiplexage en longueur d'onde sont réalisés en utilisant des réseaux de Bragg ou des réseaux de guides d'ondes. Toutefois, ces dispositifs ne sont pas pratiques pour une intégration ultra-dense. Lors de ces dernières années, il a été démontré que les cristaux photoniques notamment les bidimensionnels étaient des candidats prometteurs pour l'intégration de diverses fonctions pour les réseaux de communication tout

optiques. Différentes techniques ont déjà été présentées dans la littérature pour démultiplexer un signal grâce aux cristaux photoniques [24, 25, 26, 27]. La technique la plus utilisée repose sur le filtrage sélectif basé sur le couplage guide-cavité résonante [28, 29, 30, 31].

Différentes techniques ont déjà été présentées dans la littérature pour démultiplexer un signal grâce aux cristaux photoniques :

a) Un démultiplexeur pour les longueurs d'ondes 1,521 μ m et 1,524 μ m [32]

Dans cet exemple on montre la structure d'un démultiplexeur en longueur d'onde à base des cristaux photoniques 2D pour la séparation de deux longueurs d'ondes en deux canaux [33] espacées de 0,003 μ m. Le dispositif sépare efficacement les canaux avec des longueurs d'onde 1,521 μ m et 1,524 μ m (figure II.9). Le démultiplexeur proposé est conçu à base des cristaux photoniques bidimensionnels, et son principe de filtrage est basé sur le couplage entre des défauts linéaires (guides d'onde) et des défauts ponctuels (cavités). Donc, les cavités vont servir de piéger deux longueurs d'onde qui seront acheminées vers les sorties à travers deux guides d'onde. L'étude de ce composant est faite par la méthode FDTD.

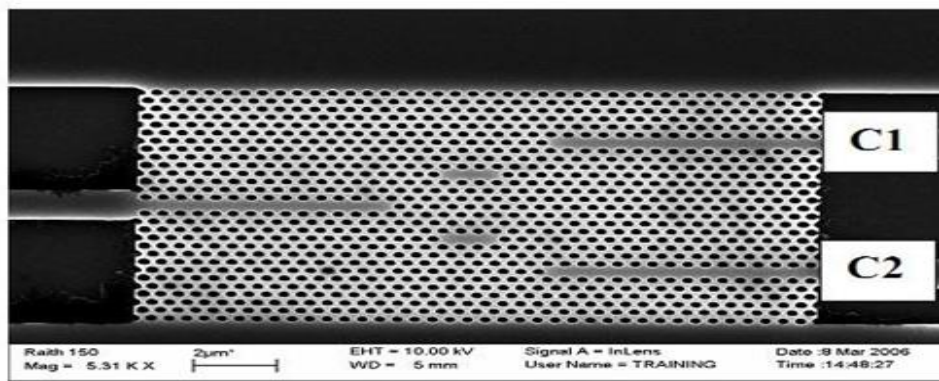


Figure II.9 : Design d'un démultiplexeur en longueur d'onde (WDM) de deux longueurs d'onde (1,521 μ m et 1,524 μ m) [33].

b) Un démultiplexeur en longueur d'onde accordable basée sur un CP-2D

Le dispositif étudié est un ultracompact filtre fonctionnant dans la fenêtre de communication optique basé sur la combinaison d'un cristal photonique 2D (trous d'air gravés dans un matériau d'indice de réfraction $n=2.89$) et un résonateur formé par la modification des rayons de certains trous (R_0 , R_1 et R_3). Ce résonateur est un défaut dans une structure 2D de CP. Le filtre conçu a la capacité d'accorder des longueurs d'onde centrales (λ_{cent}) par certains paramètres tels que le rayon des trous dans la section du résonateur [34]. Dans la structure

désirée, le décalage de longueur d'onde est réalisé en modifiant la taille des trous spécifiques (R2) dans la section du résonateur (figure II.10).

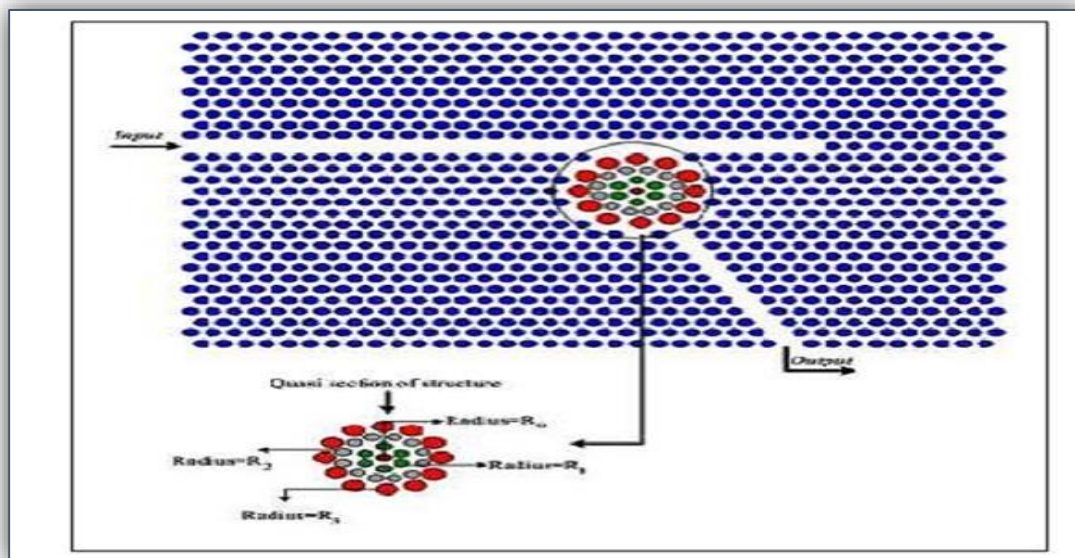


Figure II.10 : Structure d'un démultiplexeur accordable basé sur l'utilisation d'un résonateur de filtrage [34].

II.6. Conclusion

Les cristaux photoniques sont très prometteurs pour la réalisation des composants optique. Ces matériaux représentent une plate-forme extrêmement intéressante pour l'optique intégrée. En effet, la miniaturisation des composants optiques, Pour l'intégration, exige le contrôle des modes de propagation des ondes électromagnétiques dans ces cristaux (mode de défauts). Dans ce chapitre nous avons étudié les cavités à cristaux photoniques et ces caractéristiques, et les différents types des cristaux photoniques et leur demain d'application, on a terminé par une conclusion.

Références du chapitre 2

- [1] **F. Lacour**. “Propagation de la lumière dans les nanostructures et cristaux photoniques Planaires associés aux guides d’onde : fabrication et caractérisation”. Thèse de doctorat en Optique. Université de Franche-Comté. 2005.
- [2] **H. Kosaka, T. Kawashima, A. Tomita, M. Notomi, T. Tamamura, T. Sato et S. Kawakami**. “Photonic crystals for micro lightwave circuits using wavelength dependent angular beam steering”, Applied Physics Letters, vol. 74, n° 10, pp. 13701372. 1999.
- [3] **T. Matsumoto, S. Fujita et T. Baba**. “Wavelength demultiplexer consisting of Photonic crystal superprism and superlens”. Optics Express, vol. 13, n° 26, pp. 10768-10776. 2005.
- [4] **C.J.M. Smith, R.M. De La Rue, M. Rattier, S. Olivier, H. Benisty, C. Weisbuch, T.F. Krauss, R. Houdré et U. Oesterle**. “Coupled guide and cavity in a two-dimensional photonic Crystal”. App. Phys. Lett., vol. 78, n°11, pp.1487. 2001.
- [5] **H. Takano, Y. Akahane, T. Asano et S. Noda**. “In-plane-type channel drop filter in a two-dimensional photonic crystal slab”.App. Phys Lett, vol.84, vol.13, pp. 2226. 2004.
- [6] **D. Peyrade, E. Siberstein, P. Lalanne, A. Talneau et Y. Chen**. “Short Bragg mirrors with adiabatic modal conversion”. App. Phys. Lett., vol. 81, n° 5, pp. 829. 2002.
- [7] **A.S. Jugessur, P. Pottier et R.M. De La Rue**. “One dimensional periodic photonic crystal microcavity filters with transition mode-matching features, embedded in ridge waveguide”. Elec. Lett., vol. 39, n°4, pp. 367. 2003.
- [8] **C. Blin**. “Développement de cristaux photoniques en diamant : modélisation, technologie Et application à la bio détection”. Thèse de doctorat en Chimie - Physique des matériaux. Université de Pierre et Marie Curie. 2015.
- [9] **L. Ghisa**. “Couplage de micro résonateurs. Applications aux fonctions optiques de traitement du signal”. Thèse de Doctorat, Université de Rennes I, Rennes. 2008.
- [10] **P.H. Merrer**. “Élaboration de sources hyperfréquences à haute pureté spectrale à base de résonateurs optiques ”. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III. Toulouse. 2009.
- [11] **P. Pottier, C. Seassal, X. Letartre, J.L. Leclercq, P. Victorovitch, D. Cassagne et C. Jouanin**. “Triangular and Hexagonal High Q-Factor 2-D Photonic Bandgap Cavities on IIIV Suspended Membranes”. IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 17, p.2058. 1999.
- [12] **R. K. Lee, O. J. Painter, B. D’Urso, A. Scherer, et A. Yariv**. “Measurement of spontaneous Emission from a two-dimensional photonic band gap defined microcavity at nearinfrared Wavelengths”. Appl. Phys. Lett., vol. 74, p.1522. 1999.

- [13] **O. Painter, J. Vuckovic, et A. Scherer.** “Defect modes of a two dimensional photonic Crystal in an optically thin dielectric slab”. J. Opt. Soc. Am. B, vol. 16, p.275-285. 1999.
- [14] **J.M. Lourtioz, D. Maystre, H. Benisty, V. Berger, J. M. Gerard, A. Tchelmonov.** “Le Cristaux photoniques ou la lumière en cage”. GET et Lavoisier. Paris. 2003.
- [15] **H. Rigneault.** “La nanophotonique ”. GET et Lavoisier. Paris. 2005.
- [16] **O. Levy, B.Z. Steinberg, A. Boag, S. Krylov, I. Goldfarb.** Mechanical tuning of two Dimensional photonic crystal cavity by micro Electro mechanical flexures”, Sens. And Act. A., Vol 139, N° 1-2, pp 47
- [17] **S. Prorok.** “Photonic Crystal Cavities, Nanophotonics and integrated optics”. Whitepaper, Germany. 2013.
- [18] **M. Zelsmann.** “Nano-structures à base de cristaux photoniques en silicium sur isolant Pour les circuits intégrés photoniques et l'émission de lumière”. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble 1. 2003.
- [19] **P. Pottier, C. Seassal, X. Letartre, J.L. Leclercq, P. Victorovitch, D. Cassagne et C. Jouanin.** “Triangular and Hexagonal High Q-Factor 2-D Photonic Bandgap Cavities on III V Suspended Membranes”. IEEE J. Lightwave Technol. Vol 17, N° 11, pp 2058 – 2062. 1999.
- [20] **M. Mejer, A. Mekis, A. Dodabalapur, A. Timko, R. E. Slusher, J. D. Joannopoulos, and O. Nalamasu.** “Laser action from two-dimensional distributed feedback in photonic crystals”. Applied Physics Letters, vol. 74, pp. 7-9. 1999.
- [21] **A. Chutinan, M. Mochizuki, M. Imada, and S. Noda.** “Surface-emitting channel drop filters using single defects in two-dimensional photonic crystal slabs”. Applied Physics Letters, vol.79, n°.17, pp.2690-2692. 2001.
- [22] **J. Dahdah.** “Etude théorique et expérimentale de cavités photoniques en niobate de lithium Application à la détection de gaz”. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté. 2010.
- [23] **S. Nohobiko,** “ large absolute and polarization-independent photonic band gaps for various lattice structures and rod shapes ”, J. OF App.Phys., vol.91, no.6, pp. 3501-3510, 2002.
- [24] **M. Koshiba.** “Wavelength division multiplexing and demultiplexing with photonic crystal waveguide couplers”. Journal of Lightwave Technology, vol. 19, n° 12, pp. 1970-1975. 2001.
- [25] **A. S. Sharkawy, S. Shi, D. W. Prather et R. A. Soref.** “Electro-optical switching using coupled photonic crystal Waveguides”. Optics Express, vol. 10, n° 20, pp. 1048-1059. 2002.

- [26] **C. Jin, S. Han, X. Meng, B. Cheng et D. Zhang.** “Demultiplexer using directly resonant tunneling between point defects and waveguides in a photonic crystal”. *Journal of Applied Physics*, vol. 91, n° 7, pp. 4771-4773. 2002.
- [27] **E. Drouard, H. Hattori, C. Grillet, A. Kazmierczak, X. Letartre, P. RojoRomeo et P. Viktorovitch.** “Directional channel-drop filter based on a slow Bloch mode photonic crystal waveguide section”. *Optics Express*, vol. 13, n° 8, pp. 3037-3048. 2005.
- [28] **C.J.M. Smith, R.M. De La Rue, M. Rattier, S. Olivier, H. Benisty, C. Weisbuch, T.F. Krauss, R. Houdré et U. Oesterle.** “Coupled guide and cavity in a two-dimensional photonic crystal”. *App. Phys. Lett.*, vol. 78, n°11, pp.1487. 2001.
- [29] **H. Takano, Y. Akahane, T. Asano et S. Noda.** “In-plane-type channel drop filter in a two-dimensional photonic crystal slab”. *App. Phys. Lett.*, vol.84, vol.13, pp. 2226. 2004.
- [30] **D. Peyrade, E. Siberstein, P. Lalanne, A. Talneau et Y. Chen.** “Short Bragg mirrors with adiabatic modal conversion”. *App. Phys. Lett.*, vol. 81, n° 5, pp. 829. 2002.
- [31] **A.S. Jugessur, P. Pottier et R.M. De La Rue.** “One dimensional periodic photonic crystal microcavity filters with transition mode-matching features, embedded in ridge waveguide” *Elec. Lett.*, vol. 39, n°4, pp. 367. 2003.
- [32] **Md. Masruf Khan,** “Nano Structure Based Power Splitter Design by Using 2D Photonic Crystals”, *Journal of Modern Science and Technology* Vol. 1. No.1. 2013 Issue. pp.176 187
- [33] **A. Taflove,** *Advances in computational electrodynamics*, “The finite-difference time domain method”, Artech House Publishers, Book, pp 724, ISBN: 0890068348, 9780890068342,1998
- [34] **E. Yablonovitch,** “Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 58, pp. 2059–2062, 1987.

Chapitre 3

Résultats et interprétations

III 1. Introduction

La modélisation électromagnétique des propriétés des cristaux photoniques nécessite en général un gros investissement en programmation et en analyse numérique et constitue une activité exigeante en compétence et en temps. Le développement des méthodes de modélisation optiques précises et rapides reste donc primordial pour l'étude de ces structures. Parmi les modèles théoriques traitant les cristaux photoniques, on peut distinguer la méthode des ondes planes (PWE) et la méthode des différences finies dans le domaine du temps (FDTD).

III.2. Présentation de Rsoft-CAD

La famille de produits RSoft est utilisée pour concevoir, optimiser et simuler des dispositifs et des structures optiques à l'échelle nanométrique. Il permet aux ingénieurs de concevoir et d'optimiser les composants et systèmes optiques présents dans des produits tels que les réseaux de fibres optiques, les équipements de lithographie à semi-conducteurs, les puces optiques au silicium et les LED. En outre, le logiciel prend en charge la conception, la planification et la simulation de réseaux de télécommunication optiques complets. Dans le RSoft, il existe plusieurs modules intégrés, chaque module assure une fonction bien précise, parmi ces modules on trouve : BeamPROP, FullWAVE, BandSOLVE, GratingMOD et Diffract MOD.

La fenêtre de programme de CAD comporte une barre de menus en haut de la fenêtre, une barre des outils, qui porte plusieurs icônes, et la ligne d'état (Figure. III. 1). Les menus permettent l'accès au divers dossiers standards et les opérations d'édition. La ligne d'état fournit des informations sur le mode courant de disposition, avec l'affichage du même range pendant le dessin.

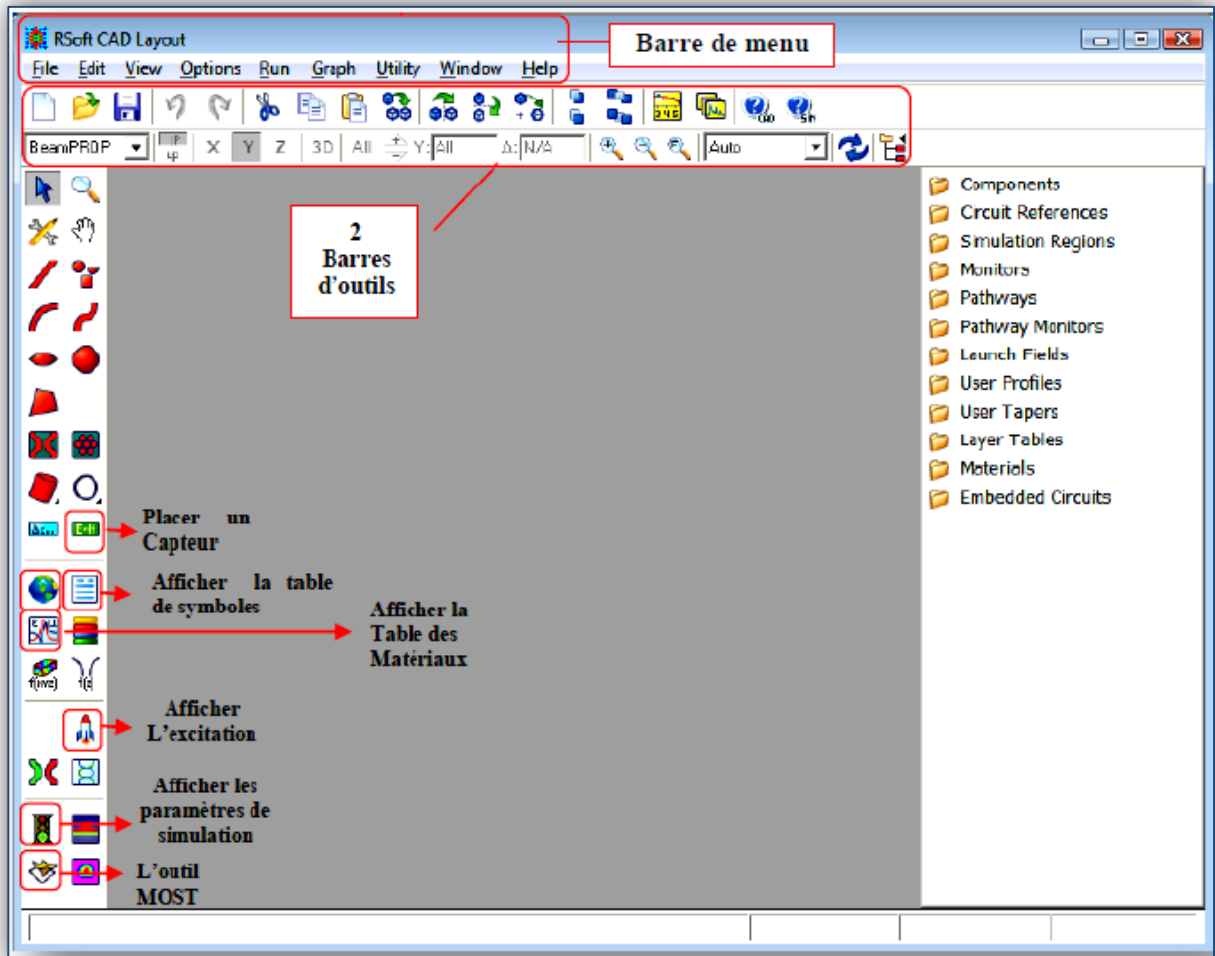


Figure III.1: Fenêtre principale du simulateur RSoft- CAD.

III.2.1. Le simulateur « FullWAVE »

Le moteur de simulation FullWAVE est une partie de Rsoft photonique. Il est basé sur la méthode des différences finies dans le domaine temporel. La méthode FDTD (Finite Difference Time Domain) a été initialement proposée par Kane S. Yee en 1966 [1]. Il calcule le champ électromagnétique en fonction du temps et de l'espace dans une structure d'index donné en réponse à une excitation électromagnétique donnée. Le FullWAVE est idéal pour étudier la propagation de la lumière dans une grande variété de structures photoniques.

La FDTD est une méthode de résolution directe des équations de Maxwell dans le domaine temporel, elle utilise l'outil numérique des différences finies. On peut obtenir les réponses en champs TE et TM simultanément, On peut ainsi obtenir les cartographies du champ électromagnétique à n'importe quel endroit et n'importe quel moment. La connaissance de l'évolution du champ en fonction du temps permet également d'obtenir des informations sur la réponse spectrale de la structure.

FullWave a des applications dans une large gamme de dispositifs intégrés et nano-optiques :

- Circuits à bandes interdites photoniques.
- Structures de réseau, réseaux normaux de surface et autres structures diffractives.
- Calculs et extractions de cavités.
- Diffusion de la lumière.
- Métrologie.
- Conceptions de capteurs et de biocapteurs.

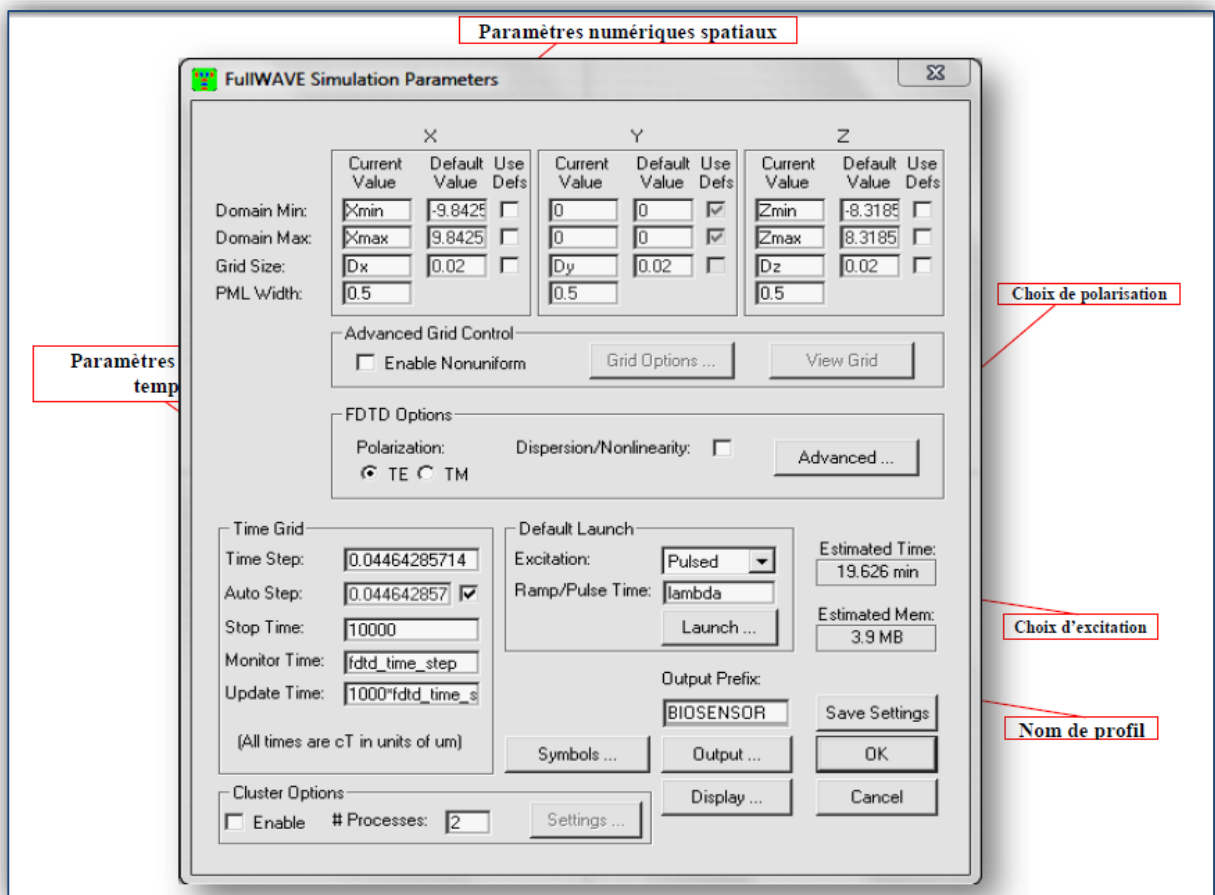


Figure. III. 2 : Fenêtre principale des paramètres de simulation FullWAVE.

III.2.2. Le simulateur « BandSOLVE »

BandSOLVE est un module de simulation pour la génération et l'analyse des structures à bandes interdites photoniques. Ce module de simulation utilise la méthode des ondes planes pour calculer les bandes interdites de structures périodiques. BandSOLVE est idéal pour la réalisation de structures de bande pour les structures à bande interdite photonique tels que des

cavités d'ondes 2D et 3D à cristal photonique. En outre, il peut être appliqué à des structures de fibres telles que les fibres à cristal photonique, qui sont particulièrement difficiles pour les autres techniques de simulation. BandSOLVE est particulièrement utile pour l'optimisation des propriétés de structure de bandes des cristaux photoniques, qui sont ensuite simulées dans le FullWAVE afin d'examiner la propagation de la lumière dans ces structures.

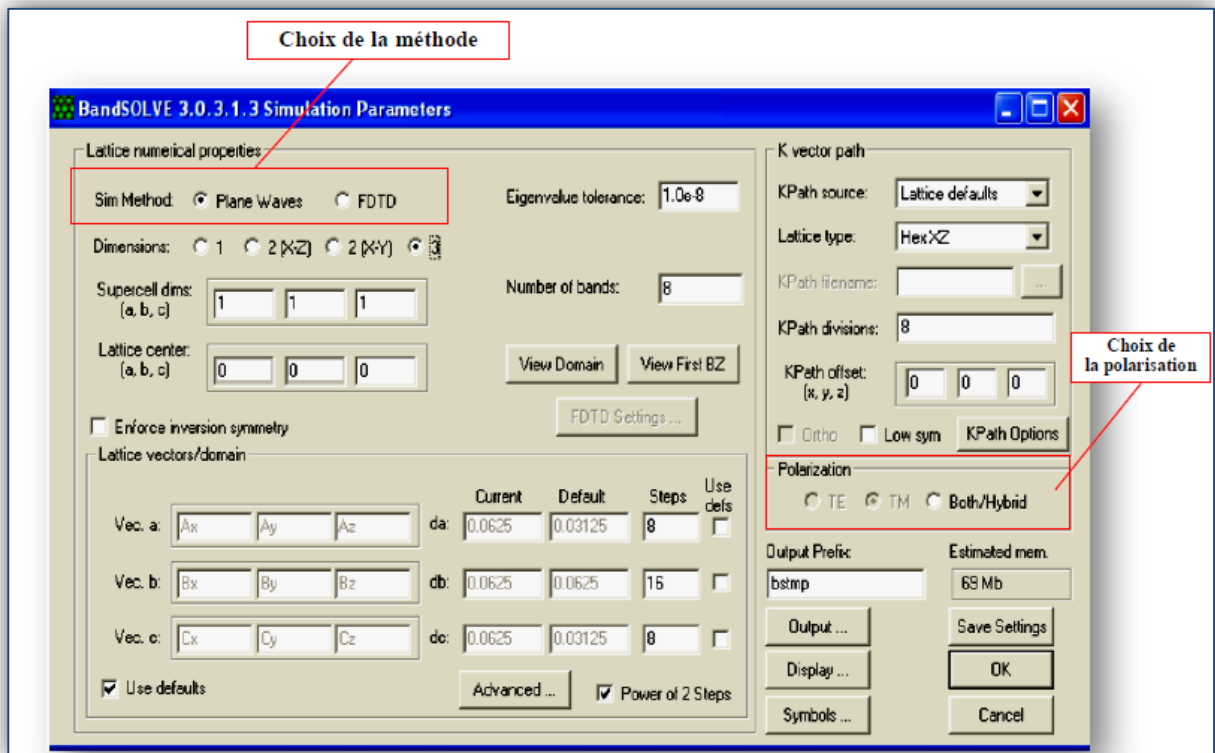


Figure. III. 3 : Fenêtre principale des paramètres de simulation BandSOLVE.

III.3. Structure d'étude

Dans notre étude nous optons pour un cristal photonique bidimensionnel formé par des piliers en Silicium (Si) de section circulaire réparties selon un réseau carré de période $a=0.505\mu\text{m}$ (a est la distance entre le centre de deux motifs adjacents), plongées dans l'air d'indice de réfraction $n_{\text{air}} = 1$. Le rayon des tiges est égal à $r=0.18*a \mu\text{m}$ et leur indice de réfraction est $n_{\text{Si}} = 3.4$. Le schéma de la structure est reporté sur la Figure (III.4).

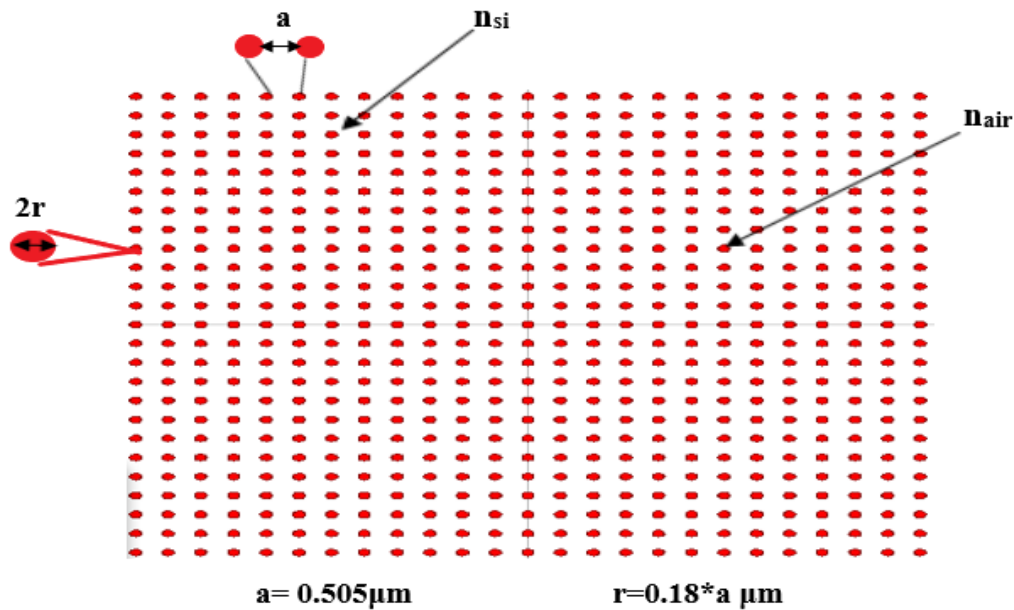


Figure. III. 4 : Structure schématique d'un CP-2D formé par un réseau carré de pas $a=0.505\mu\text{m}$ de tiges cylindriques d'indice de réfraction $n = 3.4$ entourées par l'air.

Un cristal photonique est généralement caractérisé par son diagramme de bandes. Dans la figure (III. 5), nous avons calculé avec le logiciel de simulation Bandsolve, basé sur la méthode des ondes planes (PWE), le diagramme de bandes de la structure étudiée. En fonction de ce calcul, nous pouvons déterminer les bandes interdites photoniques (BIPs) du cristal considéré. Sur la figure (III. 5), une bande interdite est observée pour la polarisation TM mais aucune bande interdite n'apparaît pour la polarisation TE. La bande interdite TM s'ouvre pour des fréquences normalisées entre $0.304 < a/\lambda < 0.443$ correspondant aux longueurs d'onde $1.14 \mu\text{m} < \lambda < 1.66 \mu\text{m}$. Une onde électromagnétique incidente dans le plan perpendiculaire au réseau des tiges sera donc réfléchiée si sa fréquence est comprise dans l'intervalle spectral précédent.

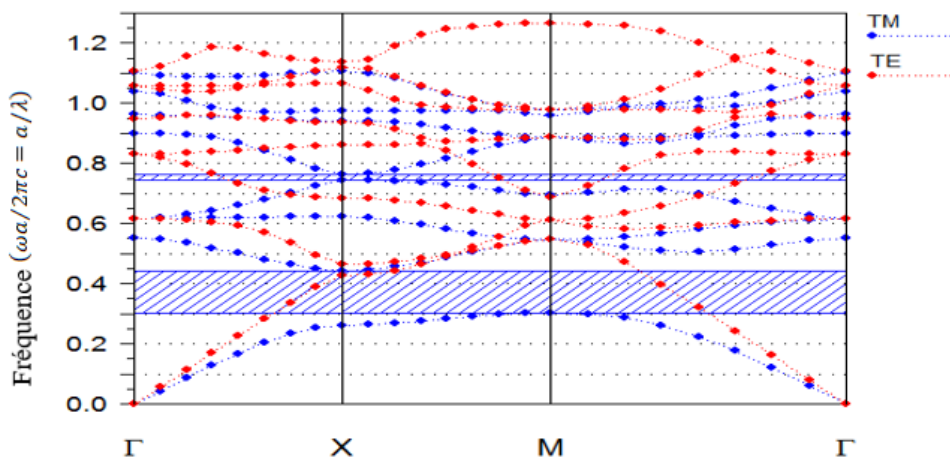


Figure. III. 5 : Diagramme de bandes du CP-2D considéré.

III.4. Démultiplexeur à base de CPs

Dans cette partie, nous proposons d'étudier un démultiplexeur à six canaux à base de cavités résonantes à cristaux photoniques. La figure (III. 6) représente la structure schématique de l'élément fondamental (filtre) constituant ce démultiplexeur. Il est constitué par deux guides d'onde entre lesquels a été disposée une cavité composée par la diminution de la taille d'un seul défaut, le rayon de ce défaut est égal à $r_d = 0.107 \cdot a \text{ } \mu\text{m}$. Le guide d'onde d'entrée est créé par la suppression de quelques motifs dans la direction verticale. Tandis que Le guide d'onde de sortie est créé par la l'omission de quelques motifs dans la direction horizontale.

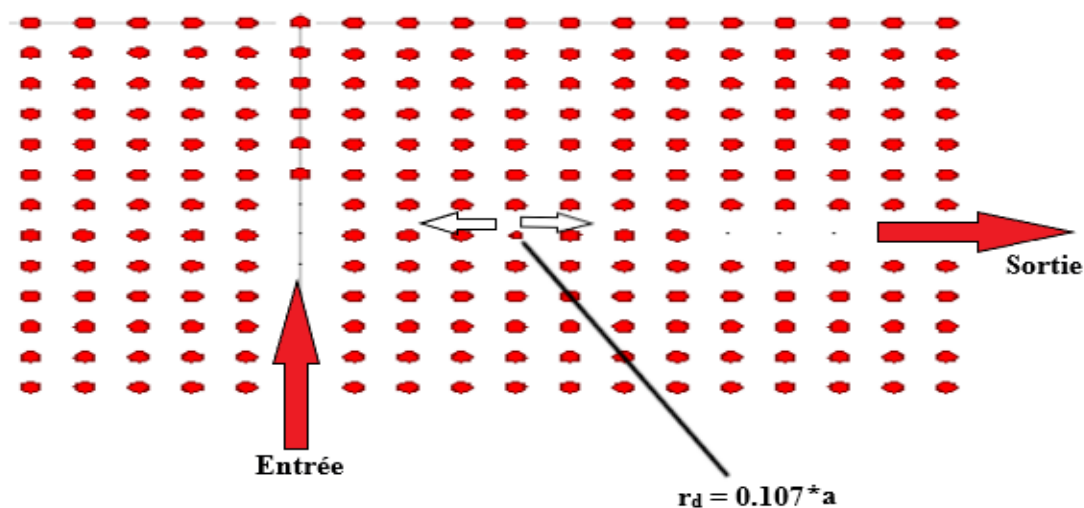


Figure. III. 6 : Représentation schématique de l'élément fondamental constituant le démultiplexeur.

La sélection des différentes longueurs d’onde à la sortie de chaque canal du démultiplexeur, est obtenue par le déplacement des deux tiges adjacentes au défaut de chaque cavité. Ils ont été déplacés vers l’extérieur de la cavité d’une distance comprise entre 0 μm et $0.1 \cdot a \mu\text{m}$. Le tableau III.1 ci-dessous représente la variation de la longueur d’onde du filtre en fonction du décalage des tiges. Quand le décalage augmente, la longueur d’onde augmente également. En effet, plus le décalage est important, plus la cavité est grande [2].

Les valeurs de d (μm)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
Longueur d’onde de résonance (μm)	1.5393	1.5465	1.5465	1.5576	1.5622	1.5669

Tableau III .1 : Influence du décalage des tiges sur la longueur d’onde du filtre.

En se basant sur les résultats obtenus dans le tableau III.1, nous proposons de concevoir le démultiplexeur qui est schématisé sur la figure (III .7). Les longueurs d’onde désirées à la sortie des six canaux 1, 2, 3, 4, 5 et 6 sont obtenues en déplaçant les tiges adjacentes au défaut de la cavité de 0 μm , $0.02 \cdot a \mu\text{m}$, $0.04 \cdot a \mu\text{m}$, $0.06 \cdot a \mu\text{m}$, $0.08 \cdot a \mu\text{m}$ et $0.1 \cdot a \mu\text{m}$, respectivement.

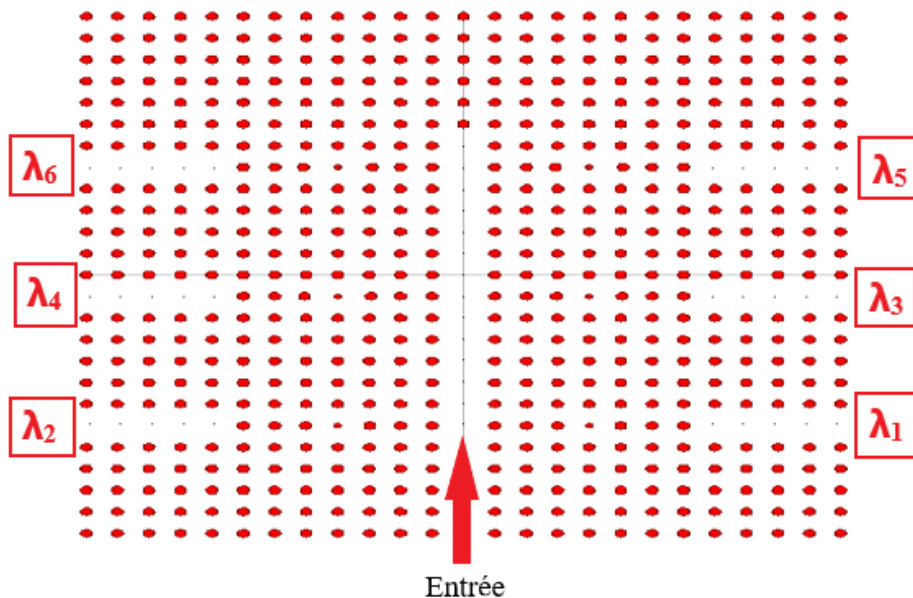


Figure III .7 : Structure schématisée du démultiplexeur proposé.

Afin de simuler la structure proposée, nous avons utilisé le logiciel FullWave basé sur la méthode 2D-FDTD. Les résultats obtenus sont reportés sur la figure (III.8). Sur cette figure, nous observons l'existence de six pics résonants à $\lambda_1 = 1.5393 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.5465 \mu\text{m}$, et $\lambda_3 = 1.552 \mu\text{m}$, $\lambda_4 = 1.5576 \mu\text{m}$, $\lambda_5 = 1.5622 \mu\text{m}$ et $\lambda_6 = 1.5669 \mu\text{m}$ obtenus à la sortie des canaux 1, 2, 3, 4, 5 et 6, respectivement. Ces pics sont caractérisés par de faibles taux de transmission 82 %, 76 %, 23 %, 29 %, 25 %, 19 %, respectivement.

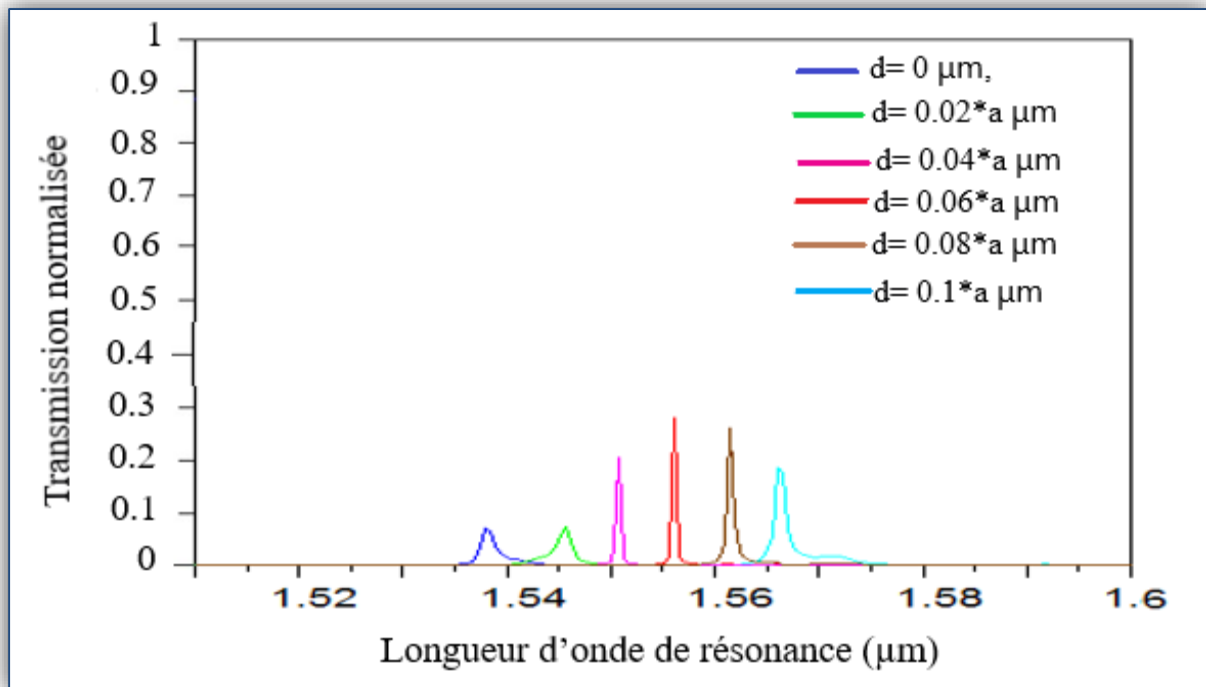


Figure III .8 : Spectre de transmission du démultiplexeur.

A partir de la figure (III .8), nous avons pu constater qu'avec la structure proposée, qui est basée sur des cavités résonantes, un effet de démultiplexage est donc possible. Dans cette conception, un point très important doit être pris en considération : c'est la distance entre les différents canaux, celle-ci doit être choisie judicieusement afin d'éviter toutes interférences entre les canaux.

Afin d'améliorer les taux de transmission obtenus, nous avons joué sur le nombre de tiges (n) situées entre chaque cavité et les guides d'onde (voir figure (III .9)) [3]. La figure (III .10) présente les spectres de transmission effectués pour $n=2$. On remarque que les taux de transmissions présentent une augmentation notable avec la diminution du nombre de tiges. Mais on remarque que les pics s'élargissent, ce qui correspond à la diminution de la réflectivité des miroirs des cavités [4].

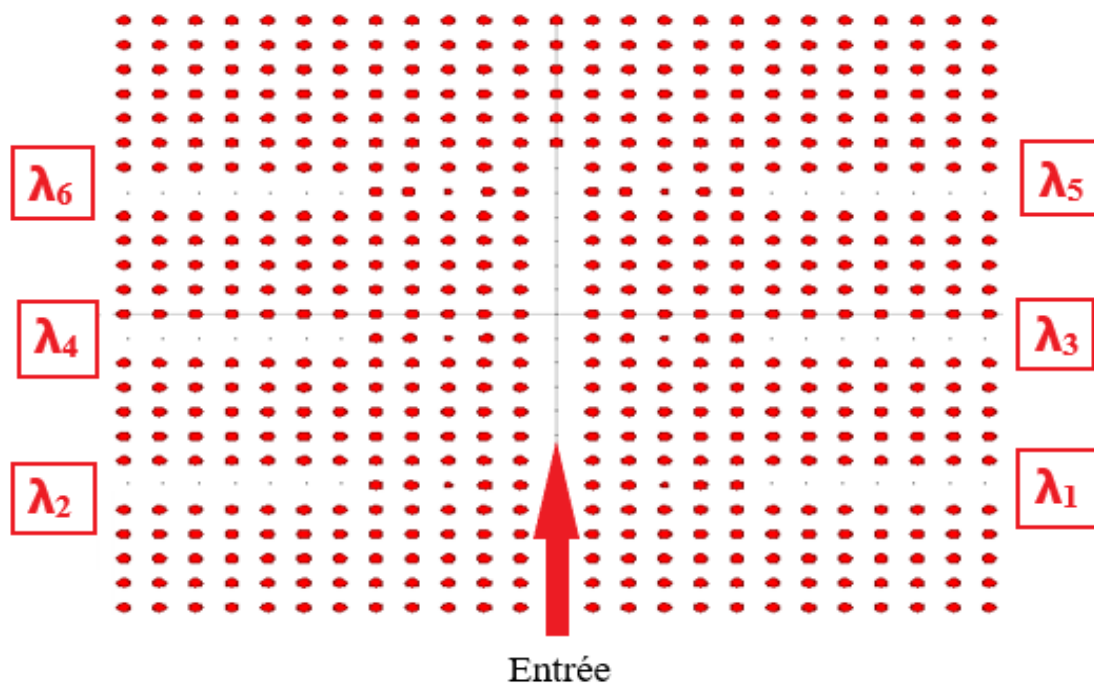


Figure III. 9 : Structure schématique du démultiplexeur avec $n=2$.

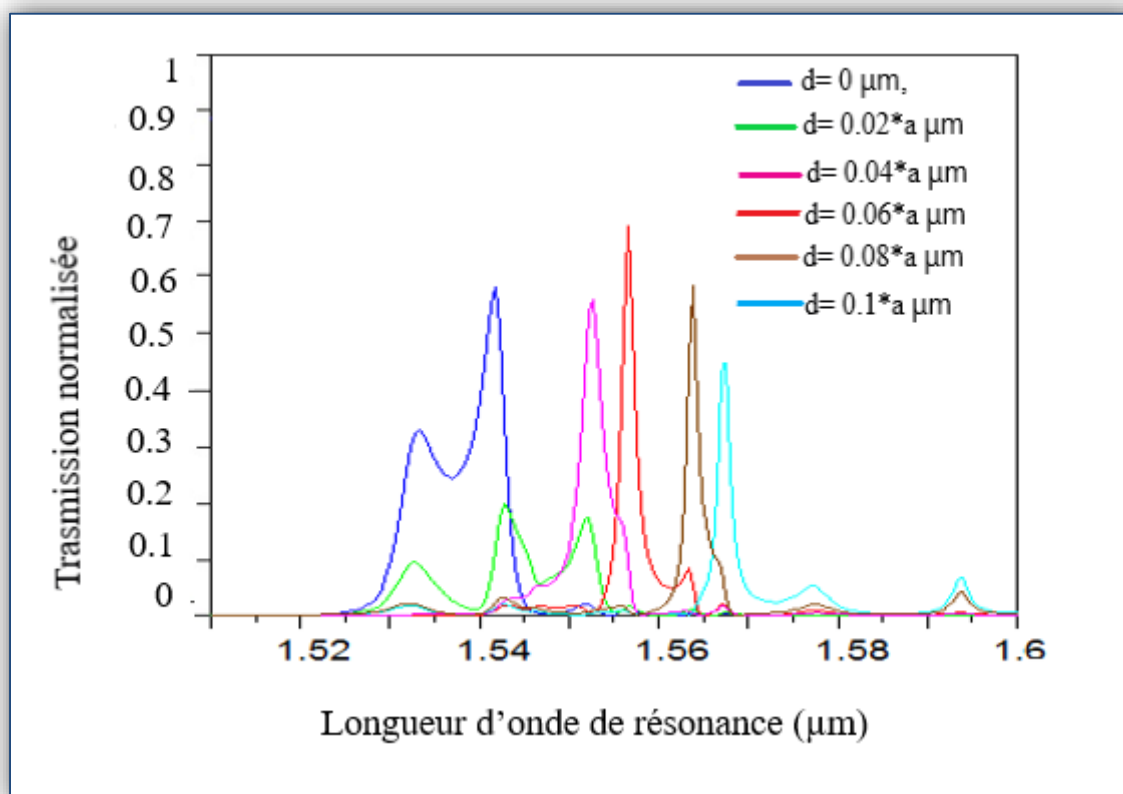


Figure III .10 : Spectre de transmission du démultiplexeur pour $n=2$

Afin de remédier à cela nous avons opter pour une structure asymétrique, comme le montre la figure (III.11). Dans ce cas, on peut noter que la transmission augmente considérablement avec la diminution de n parce que le nombre de parois de la cavité ont diminué (figure III.12).

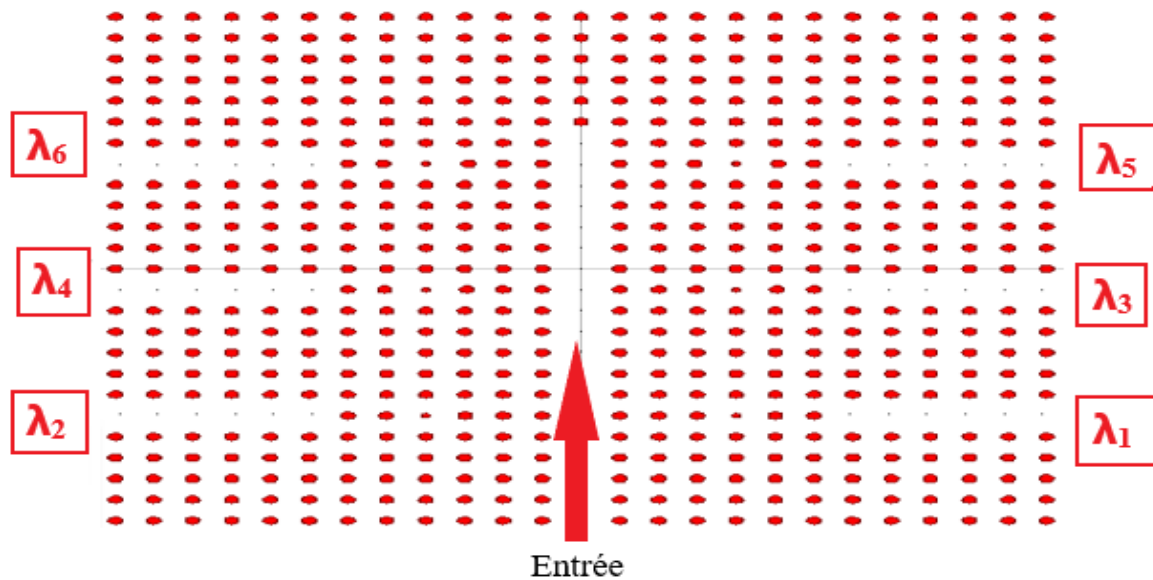


Figure III .11 : Structure schématique du démultiplexeur asymétrique

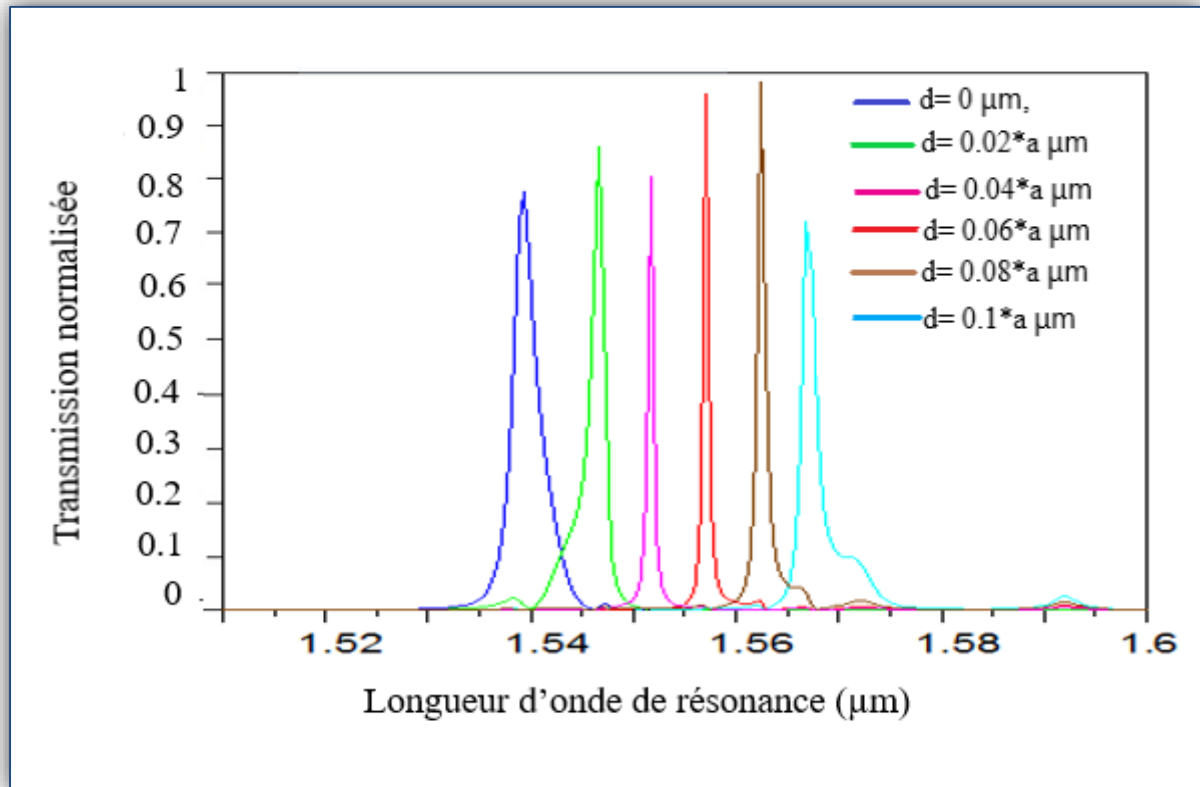


Figure III .12 : Spectre de transmission du démultiplexeur asymétrique

III.5. Conclusion

Ce chapitre concerne l'étude numérique des démultiplexeurs à cristaux photoniques, basés sur le couplage entre cavités et guides d'onde. Les différentes longueurs d'onde désirées à la sortie de chaque canal du démultiplexeur, sont obtenues en déplaçant localement les tiges placées aux bords de chaque cavité. Pour atteindre les valeurs de la transmission les plus élevées, le nombre de tiges entre les cavités et les guide d'ondes a été optimisé.

Références du Chapitre 3

- [1] **K. S. Yee**, “Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media”. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.14, no. 3, pp. 302-307. 1966.
- [2] **P. Lalanne et J.-P. Hugonin**, “Bloch-wave engineering for high Q's, small V's microcavities,” IEEE J. Quantum Electron., vol.39, N° 11, p.1430–1438, 2003.
- [3] **A. Benmerkhi, M. Bouchemat, T. Bouchemat and N. Paraire**, “Numerical optimization of high-Q-factor photonic crystal microcavities with a graded air lattice,” J. Opt. Soc. Am. B. vol. 28, No2, p.336-341, 2011.
- [4] **A. Benmerkhi**. “Optimisation du confinement de la lumière dans des cavités à cristaux photoniques”. Thèse de Doctorat, université Mentouri. Constantine. 2012.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les cristaux photoniques sont des matériaux artificiels possédant une constante diélectrique périodique suivant une, deux ou trois directions de l'espace. Cette périodicité est à l'origine de plusieurs propriétés intéressantes comme par exemple l'ouverture d'une bande interdite photonique (BIP) interdisant la propagation de la lumière. La majorité des applications des cristaux photoniques repose sur leur bande interdite photonique. Pour disposer d'une fréquence permise à l'intérieure de cette bande interdite, il est nécessaire d'introduire des défauts dans cette structure périodique. Ces défauts sont réalisés en modifiant localement la géométrie du cristal.

D'autre part, ces objets constituent un domaine de recherche suscitant un engouement très important car ils permettent de contrôler de façon extensive la propagation de la lumière. En particulier, ces structures offrent la possibilité d'empêcher ou de permettre dans certaines plages de fréquences, la propagation de la lumière dans une ou plusieurs directions, la localisation de la lumière à d'autres fréquences.

Au cours de ce travail de mémoire, nous nous sommes attachés à l'étude de composants optiques à base de CP-2D. En particulier, nous avons cherché à concevoir des démultiplexeurs qui sont des composants photoniques élémentaires indispensables au bon fonctionnement de la circuiterie photonique.

Pour atteindre de tels objectifs, nous avons choisi de développer des composants à base de cristaux photoniques bidimensionnels de piliers à fort contraste d'indice. Ceux-ci permettent en effet un contrôle de la lumière dans des volumes restreints. Les composants proposés ont été simulés par la méthode des différences finies dans le domaine temporel à deux dimensions (FDTD-2D) et la méthode des ondes planes (PWE) qui sont parfaitement adaptées à l'étude de structures à base de cristaux photoniques.

Ainsi, nous nous sommes focalisés sur l'étude d'un démultiplexeur à six canaux, basé sur le couplage entre guides d'onde et résonateurs à cristaux photoniques. Chaque canal est constitué d'une cavité, créée par la diminution de la taille d'un seul motif, couplé à un guide d'onde, formé par l'omission de quelques motifs de la structure. Une discussion autour des paramètres permettant l'amélioration du fonctionnement de ce composant a été mise au point. Le but étant d'ajuster ces paramètres afin d'obtenir les meilleures transmissions possibles.

Nous avons pu constater que la modification du nombre des tiges situées entre les cavités et les guides d'ondes améliore de manière significative la transmission du démultiplexeur.

Résumé

Les cristaux photoniques sont des matériaux nano-structurés dont les tailles caractéristiques submicroniques permettent un contrôle de la lumière et rendent possible la miniaturisation des principales fonctions optiques. Justement, ce mémoire constitue un ensemble de travaux qui s'appuie sur la conception et le développement de composants à base des cristaux photoniques pour des applications dans les communications et le traitement du signal optique à haute cadence et de leur intégration au sein de circuits photoniques en utilisant une méthode qui repose sur la résolution des équations de Maxwell aux différences finies dans le domaine temporel bidimensionnel FDTD-2D. Cette dernière permettra de percevoir aisément les mécanismes mis en jeu dans ces structures. Des dispositifs à cristaux photoniques tels que les cavités résonantes et les guides d'onde sont élaborés afin de réaliser des fonctions de démultiplexage en longueur d'onde.

Mots clés :

Cristaux photoniques, bande interdite photonique, cavités, guide d'onde, démultiplexeur, FDTD, PWE.

Abstract

Photonic crystals are nanostructure materials with submicron size features allow the control of light and make possible the miniaturization of the major optical functions. Precisely, this work is based on the design and development of new components based on photonic crystals for applications in communications and optical signal processing at high speed and their integration into circuits photonic using a method based on solving Maxwell's equations by two-dimensional finite difference time domain FDTD-2D. This will easily perceive the mechanisms involved in these devices. Photonic crystal devices such resonant cavities and waveguides are developed to achieve wavelength demultiplexing functions.

Key words:

photonic crystals, photonic band gap, cavities, waveguides, demultiplexer, FDTD, PWE.