

Université Kasdi Merbah OUARGLA  
Faculté des Nouvelles Technologies d'Information et de la Communication  
Département d'Electronique & Télécommunications



## Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Présenté par :

KIHELFI Feriel

DJEBRIT Karima

## Thème

---

Conception des diviseurs de puissance optique 1x2, 1x3 et  
1x4 à base des cristaux photoniques

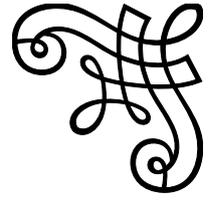
---

Soutenu le : 23/10/2020

Devant le jury composé de :

M. OTMANI Hamza	MCB	Université UKMO Ouargla	Président
M. BOULESBAA Mohammed	MCA	Université UKMO Ouargla	Encadreur
M. HATHAT Mohammed El-Fateh	Doctorant	Université UKMO Ouargla	Co-encadreur
M. MEKIMAH Boualem	MAA	Université UKMO Ouargla	Examineur

Année universitaire 2019/2020



## Dédicace

*M*erci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir,

*la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*J*e dédie mes plus sincères remerciements et gratitude à mes parents

*qui m'ont aidé dans toutes les circonstances.*

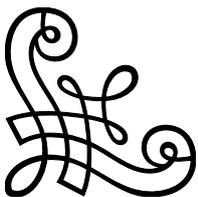
*A*ceux qui ont partagé la vie avec moi et qui ont vécu ma vie dans tous ses détails :

*mes frères et mes sœurs*

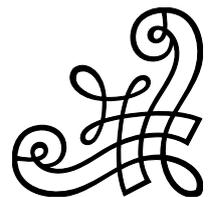
*et à toute la famille Djebrit et Ben Saha*

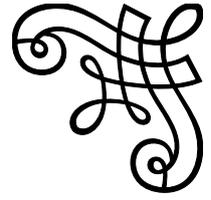
*À* mes professeurs, mes amis et collègues

*A*tous ceux qui m'en aider de près ou de loin à réaliser ce travail



*Djebrit  
Karima*





## Dédicace

*M*erci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir,  
la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

*J*e dédie mes plus sincères remerciements et gratitude à mes parents  
qui m'ont aidé dans toutes les circonstances.

*A*ceux qui ont partagé la vie avec moi et qui ont vécu ma vie dans tous ses détails :

*mes frères et mes sœurs*

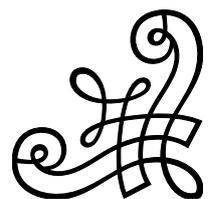
*et à toute la famille Kiheli et Zeghlache*

*À* mes professeurs, mes amies et collègues

*A*tous ceux qui m'en aider de près ou de loin à réaliser ce travail



*Kiheli  
Ferial*



# Remerciements

*Avec l'aide de Dieu tout puissant, nous pouvons accomplir ce modeste travail Alhamedulillah.*

*Nous offrons très sincèrement à remercier monsieur Dr. Mohammed BOULESBAA maitre de conférences (A) à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour avoir assuré l'encadrement de ce travail. Sa disponibilité, son expérience, son savoir scientifique et ces qualités humaines de patience et sérieux tout le long de la préparation de ce mémoire.*

*Nos plus sincères remerciements à notre co-encadreur Mohammed El-fateh HATHAT doctorant à l'université Kasdi Merbah Ouargla qui a bien voulu nous 'aider, et de nous 'avoir encouragé le long de ce travail.*

*Nous tenons également à exprimer nos plus vifs remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire, monsieur le docteur Hamza OTMANI en tant que président de jury et monsieur Boualem MEKIMAH en tant que examinateur .*

*Merci à nos familles pour leur soutien et leur encouragement tout au long de notre parcours d'études.*

*Enfin, nous adressons nos profonde reconnaissance à tout celles et tous ceux que nous n'avons pas mentionnés aujourd'hui, à tous les amis et les proches, qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.*

---

# TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale . . . . .	1
<b>Chapitre I Généralités sur les cristaux photoniques</b>	<b>3</b>
Introduction . . . . .	3
1.1 Équation de maxwell . . . . .	3
1.1.1 Dans le vide . . . . .	3
1.1.2 Dans un milieu . . . . .	3
1.2 Définition de cristaux photoniques . . . . .	4
1.3 Différents types des cristaux photoniques . . . . .	5
1.3.1 Cristaux photoniques unidimensionnels(1D) . . . . .	5
1.3.2 Cristaux photoniques à deux dimensions CP-2D . . . . .	5
1.3.3 Cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D) . . . . .	7
1.4 Propriété des cristaux photoniques . . . . .	8
1.4.1 Périodicité . . . . .	8
1.4.2 Paramètre de réseau . . . . .	8
1.4.3 Contraste d'indice de réfraction . . . . .	8
1.4.4 Facteur de remplissage . . . . .	9
1.5 Type des défauts en cristaux photoniques . . . . .	9
1.5.1 Défauts ponctuels . . . . .	9
1.5.2 Défauts étendus . . . . .	9
1.6 Diagramme de Bande Interdite Photonique . . . . .	11
1.7 Application des cristaux photonique . . . . .	11
1.7.1 Guide d'onde à cristaux photoniques . . . . .	11
1.7.2 Cavités . . . . .	12
1.7.3 Multiplexage en longueur d'onde WDM . . . . .	12
1.7.4 Filtre Add/Drop . . . . .	12
1.7.5 Diviseur à cristaux photoniques . . . . .	13
Conclusion . . . . .	15
<b>Chapitre II Méthodes numériques (PWE et FDTD) et outils de simulation (RSOFT)</b>	<b>16</b>
Introduction . . . . .	16
2.1 Méthodes de modélisation des structures périodiques . . . . .	16
2.1.1 Méthode des Onde Planes PWE . . . . .	16
2.1.2 Méthode de FDTD . . . . .	17
2.2 Présentation de logiciel RSoft-CAD . . . . .	17

2.2.1	Simulateur FullWav . . . . .	17
2.2.2	Simulateur BandSolve . . . . .	17
2.2.3	Fenêtre de programmation CAD . . . . .	18
2.2.4	Crée nouveau circuit . . . . .	18
2.2.5	Génère structure de réseau . . . . .	19
2.2.6	Définition des variables . . . . .	20
2.2.7	Vérification de la structure . . . . .	21
2.2.8	Réglage des paramètres de simulation . . . . .	22
2.2.9	Lancement de la simulation . . . . .	23
2.2.10	Voire les résultats . . . . .	23
2.2.11	Présentation des autres applications . . . . .	23
	conclusion . . . . .	24

**Chapitre III Amélioration de la puissance de transmission des diviseurs de puissance 1x2 et 1x4 25**

	Introduction . . . . .	25
3.1	Conception du diviseur de puissance 1x2 . . . . .	25
3.2	Résultats et discussion . . . . .	26
3.2.1	Indices de réfraction des matériaux du diviseur 1x2 à base PCh . . . . .	26
3.2.2	Détermination et optimisation de la BIP . . . . .	27
3.2.3	Diviseur de puissance 1x2 conventionnel . . . . .	28
3.2.4	Diviseur de puissance 1x2 modifié . . . . .	30
3.2.5	Comparaison . . . . .	33
3.3	Diviseur de puissance 1x2 asymétrique . . . . .	34
3.3.1	Conception d'un diviseur de puissance 1x2 asymétrique . . . . .	34
3.3.2	Optimisation des paramètres de défaut DH . . . . .	34
3.3.3	Résultats de simulation . . . . .	36
3.4	Diviseur de puissance 1x4 symétrique . . . . .	37
3.4.1	Conception d'un diviseur de puissance 1x4 symétrique . . . . .	37
3.4.2	Comparaison . . . . .	42
	Conclusion . . . . .	42

**Chapitre IV Optimisation des performances d'un diviseur de puissance 1x3 43**

	Introduction . . . . .	43
4.1	Conception d'un diviseur de puissance 1x3 . . . . .	43
4.1.1	Structure proposée et méthodologie . . . . .	43
4.1.2	Paramètres de simulation . . . . .	44
4.1.3	Résultats de simulation . . . . .	44
4.2	Diviseur de puissance 1x3 PhC avec deux DH insérés dans la zone de répartition . . . . .	45
4.2.1	Conception de la structure de diviseur 1x3 PhC proposé . . . . .	45
4.2.2	Optimisation des paramètres des défauts (DH) . . . . .	46
4.2.3	Résultats de simulation . . . . .	49
4.3	Diviseur de puissance 1x3 avec deux trous insérés dans la zone de répartition . . . . .	50
4.3.1	Optimisation des dimensions des trous insérés . . . . .	50
4.3.2	Propagation de l'onde EM dans le diviseur proposé . . . . .	52
4.3.3	Puissances de transmission et réflexion . . . . .	52
4.4	Comparaison . . . . .	53
	Conclusion . . . . .	53
	Conclusion générale . . . . .	54
	Bibliographie . . . . .	56

---

# LISTE DES TABLEAUX

3.1	Paramètres de la méthode FDTD utilisés pour extraire la puissance de transmission. . . . .	28
3.2	Comparaison entre les deux diviseurs de puissance 1x2 à base de PhC bidimensionnel. . . . .	33
3.3	Comparaison entre les performances de la structure modifiée avec celles de la structure traditionnelle. . . . .	42
4.1	Paramètres de simulation de deux structures du diviseur de puissance 1x3. . . .	44
4.2	Puissances de transmission et de réflexion produites par le diviseur 1x3 conventionnel. . . . .	45
4.3	Puissances de transmission et de réflexion produits par le diviseur 1x3 pour différents angles de flexion de deux défauts DH. . . . .	48
4.4	Puissances de transmission et de réflexion produits par le diviseur 1x3 modifié. .	50
4.5	Comparaison entre les deux diviseurs de puissance 1x3 à base de PhC bidimensionnel, conventionnel et modifié. . . . .	53

---

# TABLE DES FIGURES

1.1	Cristaux photonique dans le vide. . . . .	4
1.2	Structure Unidimensionnelle [7]. . . . .	5
1.3	Structure bidimensionnelle : (a) déconnectée, (b) connectée [6]. . . . .	5
1.4	Le réseau carré. . . . .	6
1.5	Le réseau triangulaire. . . . .	6
1.6	Structure Graphite. . . . .	6
1.7	La structure nitrure de Bore. . . . .	7
1.8	structure tridimensionnel Yablonivite. . . . .	7
1.9	structure tridimensionnel tas de bois [10]. . . . .	8
1.10	Les périodes d'un cristal photonique unidimensionnel. . . . .	8
1.11	Défaut ponctuels (a), Défaut lacunaire (b) et (c) Défauts de substitutions. . . . .	9
1.12	défaut de dimension du motif élémentaire. . . . .	9
1.13	Défaut de distance entre motifs élémentaires. . . . .	10
1.14	Défaut sur la permittivité relative. . . . .	10
1.15	Défaut par vacuité (c'est le défaut le plus utilisé). . . . .	10
1.16	Diagramme de bande d'un cristal photonique. . . . .	11
1.17	Différents composants a base de défauts linéaires, (a) guide droit, (b) virage a 120° et (c) jonction Y. . . . .	11
1.18	Cavités sur membrane suspendue, (a) cavité triangulaire, (b) cavité hexagonale, entourées par un cristal photonique triangulaire. . . . .	12
1.19	Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (insertion ou extraction certaine longueur d'onde) [20]. . . . .	12
1.20	(a) Représentation d'un filtre add / drop, (b) Principe de fonctionnement. . . . .	13
1.21	Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x2). . . . .	13
1.22	Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x4). . . . .	14
1.23	Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x8). . . . .	14
1.24	Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x2). . . . .	14
1.25	Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x4). . . . .	15
1.26	Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x8). . . . .	15
2.1	Diagramme de bande d'un cristal BIP 2D. . . . .	16
2.2	La fenêtre de programme de RSoft CAD. . . . .	18
2.3	La fenêtre de démarrage. . . . .	19
2.4	Nouvelle fenêtre pour réaliser un nouveau composant ou nouveau circuit. . . . .	19
2.5	Arrangements de disposition de la rangée XZ.. . . .	20
2.6	Disposition de rangé dans la fenêtre de CAD. . . . .	20

2.7	L'éditeur du Tableau de symboles. . . . .	21
2.8	Arrangements de disposition de la rangé. . . . .	21
2.9	Distribution d'index pour la configuration de structure. . . . .	22
2.10	La fenêtre de paramètres de simulation de BandSOLVE. . . . .	22
2.11	La fenêtre de paramètres de simulation de Full WAVE. . . . .	23
3.1	Schéma de la structure CPh utilisée pour concevoir le diviseur de puissance. . .	25
3.2	Diviseur de puissance 1x2 à base des cristaux photoniques de forme 120°. . . . .	26
3.3	Indice de réfraction d'un diviseur de puissance 1x2 à base des cristaux photoniques.	26
3.4	Variation de la longueur d'onde centrale de la bande interdit photonique du réseau en CP. . . . .	27
3.5	Diagramme de bande interdite photonique de la structure de réseau en CP. . . . .	27
3.6	Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x2 de puissance conventionnel a 1.55 $\mu\text{m}$ . . . . .	29
3.7	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 conventionnel.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	29
3.8	Structure de défaut DH placé dans la région de répartition du diviseur de puissance 1x2 modifié. . . . .	30
3.9	Diviseur de puissance 1x2 modifié à base des cristaux photoniques. . . . .	30
3.10	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $R_{DH}$ ) de défaut DH, avec $L_{DH} = 2.a$ et $\lambda = 1550$ nm. . . . .	31
3.11	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $L_{DH}$ ) de défaut DH, avec $R_{DH} = 0.6.r$ à $\lambda = 1550$ nm. . . . .	31
3.12	Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x2 de puissance modifié 1.55 $\mu\text{m}$ . . . . .	32
3.13	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 modifié.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	33
3.14	Structure du déplacement de défaut DH du diviseur de puissance 1x2 asymétrique modifié. . . . .	34
3.15	Évolution de la puissance de transmission au P1, P2 et de réflexion en fonction de déplacement de la position de DH avec, $R_{DH} = 0.6r$ et $L_{DH} = 2.a$ et $\lambda = 1550$ nm. . . . .	35
3.16	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $L_{DH}$ ) de défaut DH, avec $R_{DH} = 0.6.r$ et $X_{upo} = 2.b$ à $\lambda = 1550$ nm. . . . .	35
3.17	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de rayon ( $R_{DH}$ ) de défaut DH, avec $L_{DH} = 2.2a$ et $X_{up} = 2.b$ à $\lambda = 1550$ nm. . . . .	36
3.18	Distribution du champ magnétique ( $H_z$ ) dans le diviseur de puissance 1x2 modifié fonctionnant à $\lambda = 1550$ nm. . . . .	36
3.19	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 asymétrique.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	37
3.20	Structure de diviseur de puissance 1x4 proposé à base des cristaux photoniques de forme 120°. . . . .	37
3.21	Distribution du champ magnétique( $H_y$ )dans le diviseur 1x4 de puissance conventionnel à 1.55 $\mu\text{m}$ . . . . .	38
3.22	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x4 conventionnel.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	39

3.23	Représentation schématique du diviseur de puissance modifié avec DH1, DH2 et DH3 dans la zone de la jonction. . . . .	39
3.24	Variation des puissances de réflexion et de dispersion provoquées par le diviseur 1x4 en fonction de l'angle de flexion de deux DH pour $R=0.099.r$ et $L=2.\lambda$ . . . . .	40
3.25	Variation des puissances de transmission produites par le diviseur 1x4 en fonction de l'angle de flexion de deux DH pour $R=0.099.r$ et $L=2.\lambda$ . . . . .	40
3.26	Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur de puissance 1x4 proposé a $1.55 \mu m$ . . . . .	41
3.27	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x4 proposé.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	41
4.1	Schéma d'un diviseur de puissance 1x3 à base de PhC. . . . .	43
4.2	Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur de puissance 1x3 à base de PhC fonctionnant à 1550 nm. . . . .	44
4.3	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x3.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	45
4.4	Représentation schématique du diviseur de puissance modifié avec DH1 et DH2 placés dans la zone de la jonction. . . . .	46
4.5	Évolution des puissances de transmission et de réflexion normalisées en fonction du rayon de DH avec $L=2.3\lambda$ et $\theta = \pm 35^\circ$ à $\lambda = 1550 \text{ nm}$ . . . . .	46
4.6	Evolution des puissances de transmission et de réflexion normalisées en fonction de la longueur de DH avec $R=0.3787.r$ et $\theta = \pm 35^\circ$ à $\lambda = 1550 \text{ nm}$ . . . . .	47
4.7	Position de deux défauts structurels DH dans la zone de division pour différents angles de flexion. . . . .	48
4.8	Variation des puissances de transmission et de réflexion produites par le diviseur 1x3 en fonction de l'angle de flexion pour $R=0.3787.r$ et $L=2.44 \lambda$ . . . . .	48
4.9	Distribution du champ magnétique ( $H_z$ ) dans le diviseur de puissance 1x3 modifié fonctionnant à $\lambda=1550 \text{ nm}$ . . . . .	49
4.10	Évolution des puissances de transmission et de réflexion du diviseur 1x3 modifié en fonction de la longueur d'onde.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	49
4.11	Structure de diviseur de puissance 1x3 proposé à base des cristaux photoniques de forme $120^\circ$ . . . . .	50
4.12	Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction du rayon de premier trous $R_1$ avec $R_2=100 \text{ nm}$ à $\lambda=1550 \text{ nm}$ . . . . .	51
4.13	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction du rayon de premier trous $R_1$ avec $R_2=100 \text{ nm}$ à $\lambda=1550 \text{ nm}$ . . . . .	51
4.14	Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x3 de puissance modifié $1.55 \mu m$ . . . . .	52
4.15	Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x3.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm. . . . .	52

# Liste des acronymes et abréviations

$\lambda$	Longueur d'onde
n	Indice de réfraction
K	Vecteur d'onde
$\varepsilon$	Permittivité diélectrique
C	Vitesse de la lumière dans le vide
$\mu$	Perméabilité magnétique
f	Facteur de remplissage
r	Rayon du cristal photonique
a	Période du cristal photonique
$\Delta n$	Constant d'indice
CP	Cristaux Photoniques
1D	Une dimension
2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
TE	Transverse Electrique
TM	Transverse Magnétique
DH	Drop Hole
BIP	Bande Interdit Photonique
PBG	Photonique Band Gap
PWE	Plane Wave Expansion
FDTD	Finite Diferrence in the Time Domain
FDTD-2D	Bi-Dimensional Finite Difference Time Domain

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# Introduction générale

Aujourd'hui, pour répondre aux demandes croissantes d'une bande passante de plus en plus large, d'une vitesse d'information plus rapide, les opérateurs de télécommunication ont recours aux technologies optiques. La communication optique est basée sur l'utilisation de la lumière pour transmettre les données à travers le monde. D'autre part, dans le milieu des années 90, les avancées en nano-technologies ont rendu possible l'élaboration de matériaux artificiels dont le comportement vis-à-vis des ondes électromagnétiques est tout à fait surprenant [1], et l'idée de contrôler la lumière fut un défi de la science, c'est alors qu'on a découvert les cristaux photoniques (CPs) qui intéressent beaucoup la communauté scientifique, notamment dans le domaine de l'optique.

Les cristaux photoniques sont des matériaux diélectriques dont l'indice de réfraction varie périodiquement à l'échelle de la longueur d'onde que l'on souhaite contrôler dans une, deux ou trois dimensions (1D, 2D et 3D) [2], cette périodicité provoque une interdiction de propagation de photon sont appelées bandes interdites photoniques (BIP) dans certaine gamme spectrale.

Les cristaux photoniques et ses applications jouent un grand rôle dans le développement de l'optique intégrée ce qui conduit à la mise en œuvre de nouveaux dispositifs optiques [3], parmi les applications qui ont rencontré un succès inattendu surtout en réalité sont les diviseurs de puissance. En effet, ils ont plusieurs propriétés comme leurs capacité de diviser la puissance reçu en deux, trois, quatre... avec un minimum de pertes, leurs courbures du diviseur permettant une propagation réussie du signal tout en réduisant les pertes. Théoriquement, il est considéré que tous les composants basés sur les cristaux photoniques ont une réflexion presque nulle et une transmission de 100%. En pratique, le diviseur est fabriquée en plaçant des tiges isolantes dans l'air ou en faisant des trous d'air sur une plaque isolante. Ce dernier est le plus facile à fabriqué mais la mis en œuvre de ces diviseurs provoque toujours une perturbation des réflexions dans la zone de division et une diminution de la quantité de transmission du signal ou de sa division inégale.

L'objectif de ce mémoire est le développement et la conception des diviseurs de puissance 1x2, 1x3 et 1x4 à base des cristaux photoniques avec des bonnes performances en termes des puissances de transmission, de pertes de réflexion et de dispersion et ainsi la symétrie en puissances entre les différents ports de sortie de diviseur, en utilisant le simulateur de RSOFTEM CAD. Pour cela, deux techniques seront utilisées à savoir la méthode des Ondes Planes (PWE) pour déterminer la bande interdite photoniques et la méthode des différences finies temporelles (FDTD) pour évaluer la puissance de transmission.

Ce mémoire s'articule autour des quatre chapitres suivants :

Le premier chapitre, sera consacré dans un premier temps à la présentation des généralités sur les cristaux photoniques. Nous citerons ensuite les différents types de cristaux photoniques, leurs caractéristiques, le principe d'ouverture de la bande interdite photonique. Les principaux défauts existes aux niveaux des cristaux photoniques sera également exposés. Enfin, nous terminerons ce chapitre par une présentation de quelques applications des cristaux photoniques dans le domaine des communications optiques et nous intéresserons en particulier par les diviseurs de puissance à base de CPs et leurs différents types.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter dans une première partie les méthodes de calcul qui seront exploitée durant notre travail. La méthode des ondes planes sera employée pour calculer des bandes de fréquences permises et interdites, quant à la FDTD, elle sera exploitée pour modéliser le comportent électromagnétique de l'onde lumineuse dans le composant. La deuxième partie de ce chapitre sera consacrée à une présentation générale du logiciel de

simulation 'RSOFT' avec ses outils, "FULLWAVE" et "BandSOLVE " et autre application de ce logiciel.

Le troisième chapitre, est réservé dans un premier temps à la conception d'un nouveau diviseur de puissance à deux ports de sortie avec une distribution symétrique(1/2 :1/2) et asymétrique(1/3 :2/3). Ensuite, Une nouvelle structure d'un diviseur de puissance avec quatre sorties symétriques sera conçue et étudiée en détails, en utilisant la méthode FDTD en 2-D. Enfin, les différents résultats obtenus seront présentés et discutés.

Dans le dernier chapitre de ce mémoire, nous intéresserons à la conception d'un diviseur de puissance à trois ports de sortie à base des cristaux photoniques (CPs), avec une distribution symétrique (1/3 :1/3 :1/3). Premièrement, nous étudierons également l'impact des différents paramètres physiques de deux défauts DH insérés dans la zone de division sur les puissances de transmission et de réflexion. Deuxièmes, nous avons conçue et étudiée une nouvelle structure d'un diviseur de puissance avec trois sorties symétrique. A la fin nous présenterons en détails les différents résultats de simulation.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale résumera l'essentiel des travaux élaborés et des perspectives.

---

---

# CHAPITRE I

---

## GÉNÉRALITÉS SUR LES CRISTAUX PHOTONIQUES

# Généralités sur les cristaux photoniques

## Introduction

Ces dernières années, de nombreuses recherches se sont concentrées sur le développement de micro et nano dispositifs photonique en utilisant des cristaux photonique (CP) grâce a ses pouvoir contrôler la propagation de la lumière. Ce chapitre est un introduction général sur les cristaux photoniques, nous débutants par une rappel sur les équation de Maxwell et un définition du cristaux photoniques, nous continuerons par une présentation des différent types de cristaux photoniques et les caractéristique de cristaux photonique ainsi un présentation les principes des défaut qui existent aux niveaux des cristaux photoniques, nous terminons ce premier chapitre par quelque application dans les domaine optique et télécommunication et nous intéressent sur l'application de diviseur de puissance à base des cristaux photoniques.

## 1.1 Équation de maxwell

Les équations de Maxwell sont des lois fondamentales de la physique. Elles constituent avec l'expression de la force électromagnétique de Lorenz, les postulats de base de l'électromagnétisme.

### 1.1.1 Dans le vide

Les équations de Maxwell dans le vide sont :

- Loi de Faraday :

$$\nabla * E = \frac{-\partial B}{\partial T} \quad (I.1)$$

- Loi d'ampère :

$$\nabla * B = -\mu\varepsilon \frac{\partial E}{\partial T} \quad (I.2)$$

- Loi de Gauss pour le champ électrique :

$$\nabla . E = 0 \quad (I.3)$$

- Loi de Gauss pour le champ magnétique :

$$\nabla . B = 0 \quad (I.4)$$

Pour les équations I.1,I.2,I.3 et I.4 les symboles utilisés sont :

$E$  : champ électrique

$B$  : champ magnétique

$\varepsilon$  : permittivité du vide

$\mu$  : perméabilité du vide

### 1.1.2 Dans un milieu

Dans un milieu matériel, les équations de Maxwell s'écrivent

- Loi de Faraday

$$\nabla * E = \frac{-\partial B}{\partial T} \quad (I.5)$$

- Loi d'ampère :

$$\nabla * H = \frac{\partial D}{\partial T} + J \quad (\text{I.6})$$

- Loi de Gauss pour le champ électrique :

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (\text{I.7})$$

- Loi de Gauss pour le champ magnétique :

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (\text{I.8})$$

$H$  : vecteur champ magnétique

$D$  : vecteur déplacement électrique

$\rho$  : densité de charges électriques

$J$  : vecteur densité de courant

Ajoutons qu'il existe deux relations simples reliant  $D$  et  $B$  d'une part et  $B$  et  $H$  d'autre part dans le cas de matériaux linéaires et isotropes.

$$D = \varepsilon E \quad (\text{I.9})$$

$$B = \mu H \quad (\text{I.10})$$

Ou  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$  ( $\varepsilon_r$  est la permittivité diélectrique relative sans dimension) et  $\mu = \mu_0 \mu_r$  ( $\mu_r$  est la perméabilité relative sans dimension) [4].

## 1.2 Définition de cristaux photoniques

Sont des matériaux diélectriques ou métallo diélectriques dont l'indice de réfraction varie périodiquement à l'échelle de la longueur d'onde. Cette périodicité provoque une interdiction de la propagation des photons, dans une certaine gamme spectrale, que l'on nomme bande interdite photonique (BIP en français, PBG en anglais) [5].

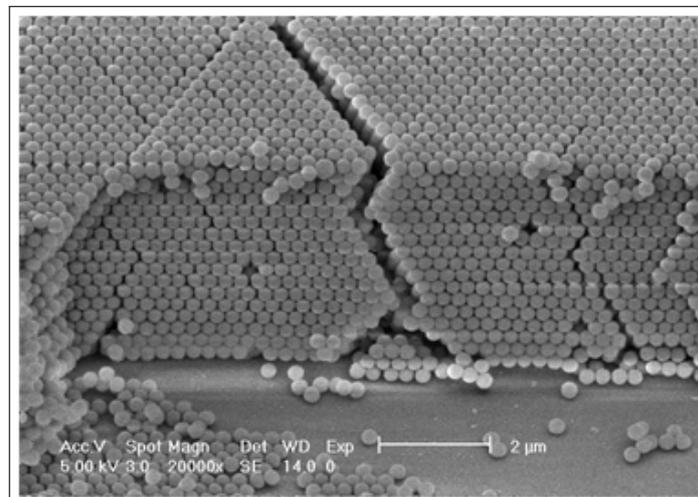


FIGURE 1.1: Cristaux photonique dans le vide.

## 1.3 Différents types des cristaux photoniques

Il existe différents types de cristaux photoniques qui sont classés selon leur dimensionnalité, le cristal photonique peut être :

### 1.3.1 Cristaux photoniques unidimensionnels(1D)

Cette structure est le dispositif périodique le plus simple. Il est connu sous le nom de Miroir de Bragg. Il consiste en une alternance de couches planes de diélectrique d'épaisseur  $\frac{\lambda}{4}$  ou  $\lambda$  représente la longueur d'onde guidée dans le matériau [6]

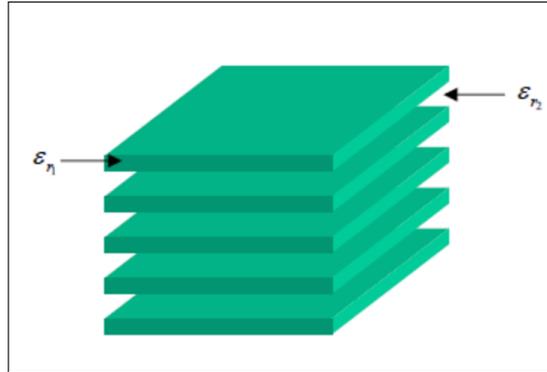


FIGURE 1.2: Structure Unidimensionnelle [7].

### 1.3.2 Cristaux photoniques à deux dimensions CP-2D

Les cristaux photoniques à deux dimensions sont composés d'un réseau périodique de piliers diélectriques dans l'air (structure déconnectée) ou de trous d'air percés dans une matrice diélectrique (structure connectée) [8].

#### \*Structure connectée

Les structures dites connectée est constituée par des trous d'air percés dans une membrane diélectrique comme il est montré sur (la figure b), dans ce cas les motifs élémentaires sont d'indice  $\eta_1$  inférieur à l'indice  $\eta_2$  de la matrice diélectrique.

#### \*Structures déconnectées

Les structures dites déconnectée sont des structures dont lesquelles l'indice du motif élémentaire  $\eta_1$  est supérieur à l'indice  $\eta_2$  de l'espace inter motifs comme il est représenté sur la (figure 1.3-a). elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air [9].

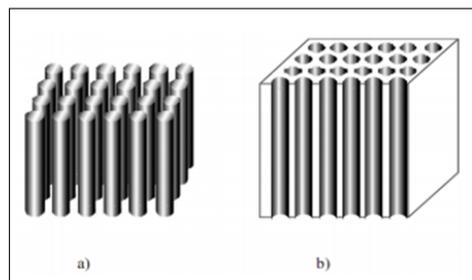


FIGURE 1.3: Structure bidimensionnelle : (a) déconnectée, (b) connectée [6].

## • Différentes familles de cristaux photoniques bidimensionnels

Les réseaux périodiques à deux dimensions se regroupent principalement suivant trois familles :

### A- Réseau carré

Les nœuds du réseau sont situés sur un côté «  $a$  » (figure 1.4). 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 [6]. 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.

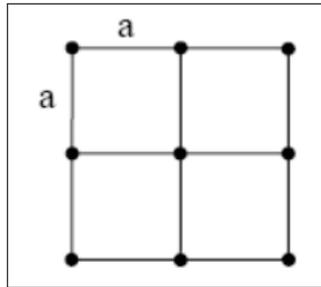


FIGURE 1.4: Le réseau carré.

### B- Réseau triangulaire

Le réseau triangulaire, est le réseau 2D de plus haute symétrie des lors que l'on se limite à un seul « atome » par maille. Chaque nœud du réseau est espacé de son proche voisin d'une même distance «  $a$  » (figure 1.5). Cette structure est moins sensible à l'angle d'incidence que le réseau carré mais la bande interdite complète reste difficile à obtenir [10].

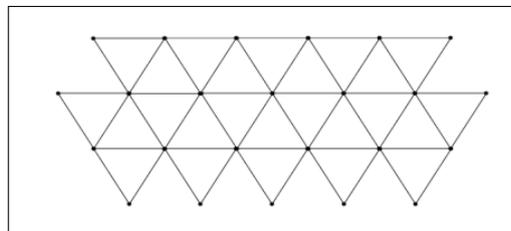


FIGURE 1.5: Le réseau triangulaire.

### C- Réseau hexagonal

Sur un réseau hexagonal, si tous les nœuds sont identiques et espacés de «  $a$  » (figure 1.6), alors on appelle cette structure « graphite » car elle est similaire à la structure cristalline du graphite. [11].

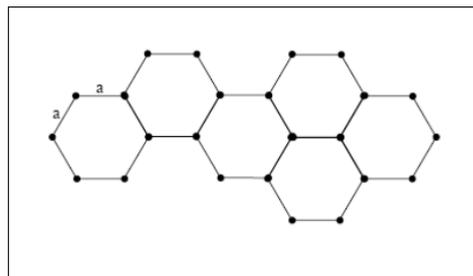


FIGURE 1.6: Structure Graphite.

## D- Structure nitrure de Bore

Cette structure permet d'avoir une large bande interdite (figure 1.7), elle a la même structure que celle du réseau hexagonal seulement l'un des nœuds différent de nature cristalline de nitrure de bore [12].

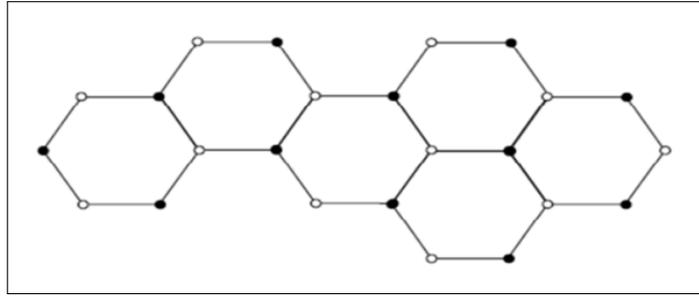


FIGURE 1.7: La structure nitrure de Bore.

### 1.3.3 Cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D)

Les cristaux photoniques 3D sont la seule structure qui permet d'obtenir une bande d'énergie interdite dans toutes les directions de l'espace. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué par K.M.Ho et AL [13]. Il était formé de sphères de silicium arrangées selon une structure diamant. Mais l'histoire retient généralement la célèbre Yablonovite, structure 3D pour les micro-ondes fabriquée en 1993 par E.Yablonovitch en perçant des trous dans du plexiglas selon trois angles azimutaux séparés de  $120^\circ$ . De nombreuses méthodes de fabrication des cristaux photoniques tridimensionnels ont été proposées. Les deux suivantes ont attiré le plus d'efforts de recherche.

#### • Yablonovitch

les premiers cristaux photoniques tridimensionnels fabriqués. Elle a été construite en 1993 par E. Yablonovitch en perçant des trous dans un bloc de plexiglas selon trois angles différents de  $35,26^\circ$  par rapport à la verticale (figure 1.8). La structure est très proche d'une structure diamant [14].

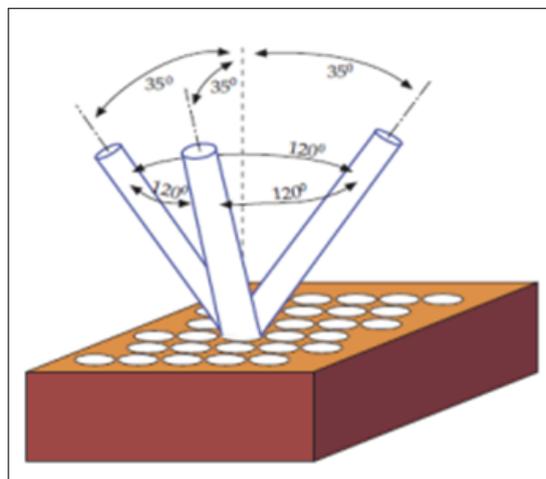


FIGURE 1.8: structure tridimensionnel Yablonovite.

### • Structure tas de bois

est une structure à bande interdite complète simple à réaliser. Elle peut être construite en optique. Elle est obtenue en déposant par couches successives des rubans de silicium polycristallin sans des tranchées de silice. Après avoir bâti la structure, la silice est gravée pour obtenir un cristal photonique 3D de silicium dans de l'air (figure 1.9) [15].

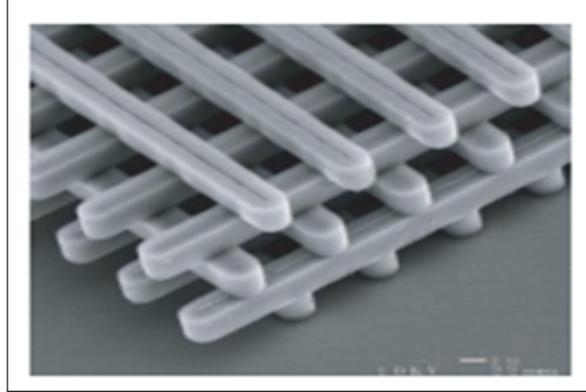


FIGURE 1.9: structure tridimensionnel tas de bois [10].

## 1.4 Propriété des cristaux photoniques

Un CP est caractérisé par plusieurs paramètres :

### 1.4.1 Périodicité

Ces paramètres géométriques, choisis selon le domaine de fréquence étudié influent sur les caractéristiques de la bande interdite photonique. La période  $a = (a_1 + a_2)$  avec  $a_1$  l'épaisseur de la couche de permittivité  $\varepsilon_1$  et  $a_2$  l'épaisseur de la couche de permittivité  $\varepsilon_2$  (figure 1.10).

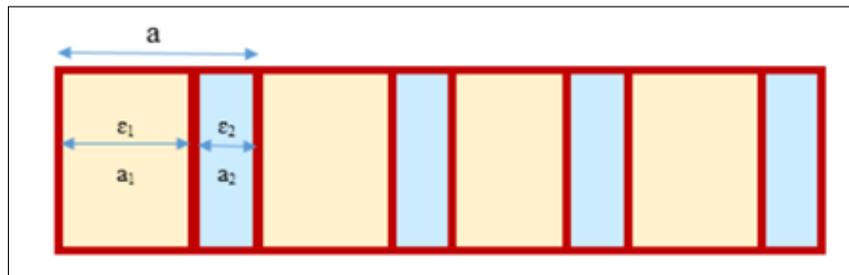


FIGURE 1.10: Les périodes d'un cristal photonique unidimensionnel.

### 1.4.2 Paramètre de réseau

c'est la distance fondamentale entre deux briques constitutives. Il détermine la région spectrale où le CP interagit avec l'onde électromagnétique.

### 1.4.3 Contraste d'indice de réfraction

Le contraste d'indice  $\Delta_\varepsilon$  est la différence entre les permittivités des matériaux, qui peut être comparé à la hauteur de la barrière de potentiel de la physique du solide. Il est donné par l'équation :

$$\Delta_\varepsilon = \varepsilon_{substrat} - \varepsilon_{trous} \quad (\text{I.11})$$

### 1.4.4 Facteur de remplissage

Le facteur de remplissage  $f$  peut être comparé au largeur du potentiel périodique de la physique du solide. S'il est pris pour le matériau de haut indice par exemple, il est défini comme le rapport entre le volume occupé par ce matériau dans la cellule élémentaire du cristal et le volume de cellule de cette dernière. L'influence de ces différents paramètres sur le comportement d'une structure photonique peut être comprise par analogie avec un potentiel périodique induit par l'arrangement des atomes dans un semi-conducteur.

## 1.5 Type des défauts en cristaux photoniques

### 1.5.1 Défauts ponctuels

Il existe de multiples manières de créer des défauts ponctuels dans les cristaux photoniques. On peut aussi procéder au retrait, à l'ajouté ou à la modification d'un ou plusieurs motifs du cristal. Pour reprendre la terminologie de la physique du solide, on réalise alors des défauts lacunaires ou de substitution. Dans tous les cas de cette figure, on crée des cavités optiques dont les modes de résonances vont venir se positionner en énergie au sein des bandes interdites du cristal [16].

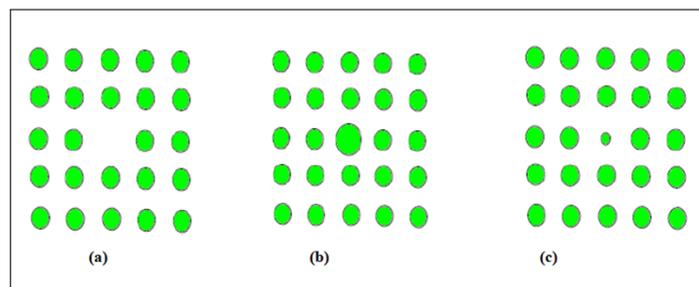


FIGURE 1.11: Défaut ponctuels (a), Défaut lacunaire (b) et (c) Défauts de substitutions.

### 1.5.2 Défauts étendus

#### a)-Dimensions des motifs élémentaires

Pour rompre la périodicité d'une structure BIP, on peut modifier la taille du motif élémentaire qui compose le cristal photonique (figure 1.12).

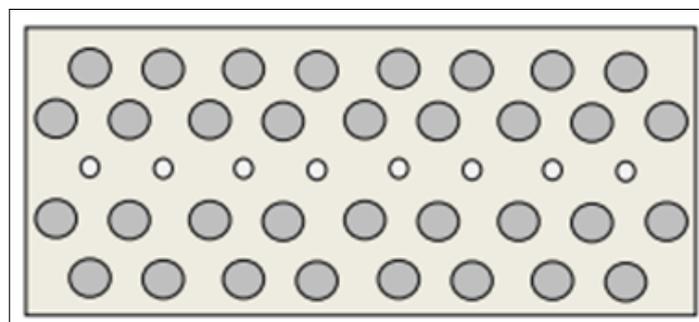


FIGURE 1.12: défaut de dimension du motif élémentaire.

Sur cette figure les dimensions des motifs élémentaires de la troisième rangée ont été réduites.

### b)- Distance entre motifs élémentaires

On peut aussi modifier l'espace qui existe entre les motifs élémentaires des réseaux cristallins (figure 1.13).

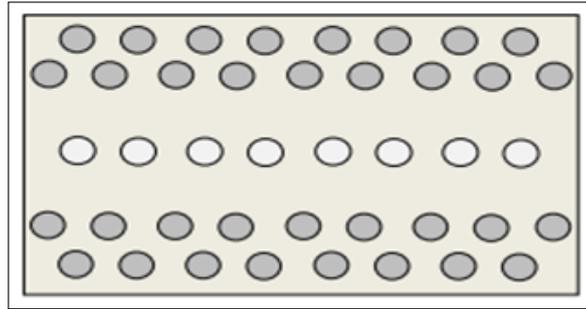


FIGURE 1.13: Défaut de distance entre motifs élémentaires.

Sur la figure, l'écart entre la deuxième et la troisième rangée et l'écart entre la troisième et la quatrième rangée ont été augmentés pour former le défaut.

### c)-Valeur de la permittivité relative des motifs élémentaires

Il est possible de modifier localement la nature du matériau et plus concrètement en agissant sur la valeur de la permittivité relative (figure 1.14).

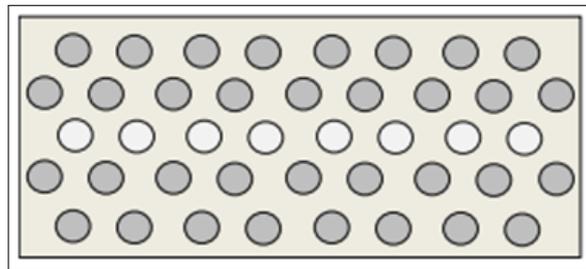


FIGURE 1.14: Défaut sur la permittivité relative.

Sur cette figure, la permittivité des motifs élémentaires de la rangée du milieu a été changée.

### d)-Défaut par vacuité

Le défaut par vacuité correspond à l'élimination de motifs élémentaires qui se trouvent remplacés par la permittivité du substrat (figure 1.15).

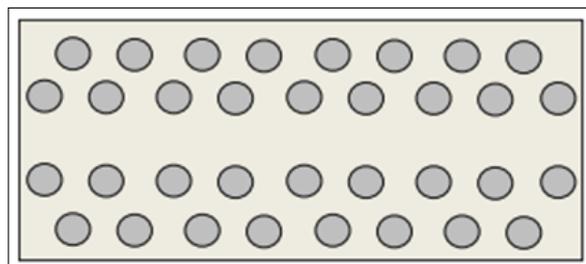


FIGURE 1.15: Défaut par vacuité (c'est le défaut le plus utilisé).

Les motifs élémentaires de la rangée du milieu ont été enlevés [8].

## 1.6 Diagramme de Bande Interdite Photonique

Le cristal photonique est caractérisé par son diagramme de dispersion. La définition du diagramme de bande ou des surfaces de dispersion consistera à reporter les courbes de dispersion  $w(\mathbf{k})$  représentant de la fréquence des modes en fonction du module du vecteur  $\mathbf{k}$  le long des directions de haut symétrie :  $\Gamma$ M,  $\Gamma$ K et  $\Gamma$ MK, pour le réseau périodique. Donc pour avoir la structure de bandes photoniques, il faut balayer la zone de Brouillon irréductible. Un exemple de DBI rapporté sur la figure 1.15, dans le cas d'un cristal photonique constitué de trous d'air dans une matrice de diélectrique ( $\epsilon = 12$ ) avec un rapport  $r/a=0.4$ , ou  $r$  le rayon des trous et  $a$  la période du réseau. A partir de ce diagramme, on observe la différence de comportement entre les polarisations TE et TM. On note en effet l'apparition d'une bande interdite photonique pour les deux polarisations. Par contre, la polarisation TE, la BIP est nettement plus large. Dans ce cas particulier, on note également que les deux bandes photoniques se chevauchent donnant lieu à une bande interdite photonique complète [17].

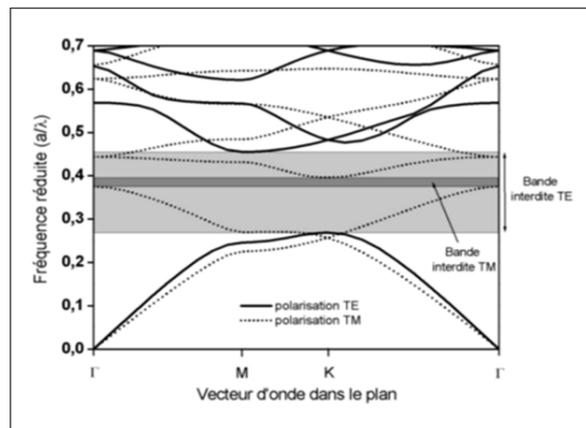


FIGURE 1.16: Diagramme de bande d'un cristal photonique.

## 1.7 Application des cristaux photonique

### 1.7.1 Guide d'onde à cristaux photoniques

En introduisant un défaut linéaire (omission d'une ou de plusieurs rangées de trous) dans le cristal photonique, il est possible de guider la lumière selon une direction choisie. Un photon restera confiné dans le guide si son énergie est située à l'intérieures (figure 1.17). La transmission au travers de ces dispositifs peut être optimisée en modifiant la taille ou la forme des trous au niveau du virage ou de la jonction, afin de minimiser le couplage entre le mode guidé et les modes rayonnés au niveau des courbures [18].

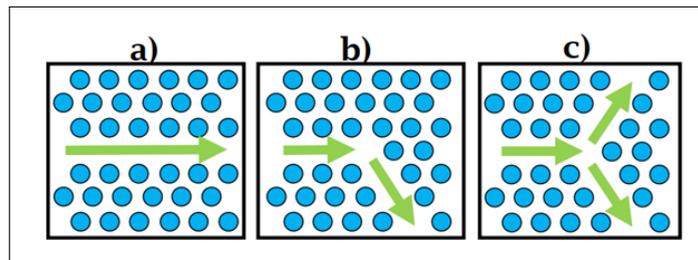


FIGURE 1.17: Différents composants à base de défauts linéaires, (a) guide droit, (b) virage à  $120^\circ$  et (c) jonction Y.

### 1.7.2 Cavités

Les premières cavités avec des cristaux photoniques bidimensionnels sont réalisées en 1996, ces cavités sont élaborées en incluant des mono défauts sur le réseau cristallin photonique. Il est montré que ce dispositifs présentent un facteur de qualité élevé pour les modes résonants grâce a l'excellente propriété de réflexion du cristal, tout cela sur des cavités à grande dimension possédants plusieurs modes. Les cavités sur membrane suspendue avec des dimensions très petites, sont illustrées dans la (figure 1.18), une cavité triangulaire et une autre hexagonale plongées dans un cristal photonique triangulaire.

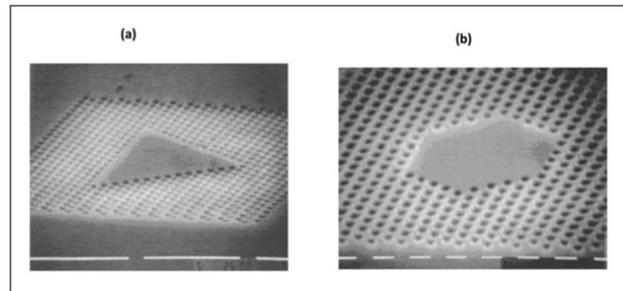


FIGURE 1.18: Cavités sur membrane suspendue, (a) cavité triangulaire, (b) cavité hexagonale, entourées par un cristal photonique triangulaire.

### 1.7.3 Multiplexage en longueur d'onde WDM

Une fonction particulièrement importante d'optique intégrée pourrait être réalisée avec des cristaux photoniques : le multiplexage en longueur d'onde (WDM, Wavelength Division Multiplexing) [19]. 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'onde (figure 1.19).

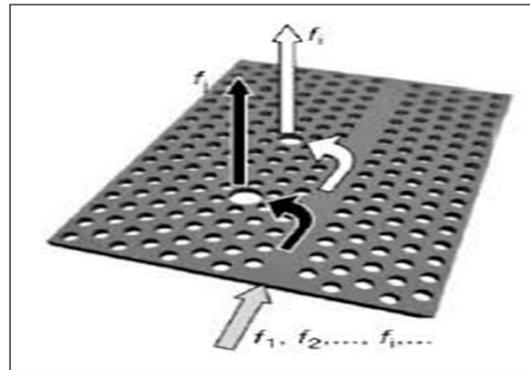


FIGURE 1.19: Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (insertion ou extraction certaine longueur d'onde) [20].

### 1.7.4 Filtre Add/Drop

Le filtre add/drop [21] est composé de 2 guides d'ondes couplés par un u deux résonateurs (figure I.20).

Un réalisation expérimentale, a montrer près de 80% de puissance transférée vers l'avant dans le guide d'onde drop. Le résonateur est une cavité linéique de dix trous manquants(figure 1.18) dont la cobception fine et l'exploitation de modes optique lents a permis d'accéder à deux modes dégénérés dans la cavité dont les système étaient compatibles pour un fonctionnement de type add/drop.

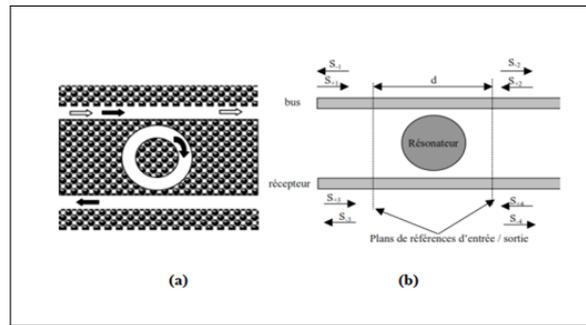


FIGURE 1.20: (a) Représentation d'un filtre add / drop, (b) Principe de fonctionnement.

### 1.7.5 Diviseur à cristaux photoniques

Le diviseur à cristaux photoniques permet de séparer et de distribuer simultanément la lumière dans les différentes parties du circuit optique. Tout d'abord, le diviseur de type jonction Y a été étudié comprenant un guide d'entrée, une portion de jonction Y et deux ou quatre guides de sortie. On obtient le nombre des sorties que l'on veut en les cascadeant [22]. Ce type de composant présente l'avantage d'offrir une réponse spectrale plate pour une gamme de longueur d'onde très étendue, et l'analyse théorique portant sur des paramètres de conception a été menée par Fukazawa [23]. Ce composant est donc capable de diviser un signal d'un seul guide d'onde vers plusieurs guides de sortie [24]. Il peut également recombinaison les signaux en provenance d'un grand nombre de guides d'entrées vers un seul ou plusieurs guides de sorties. Ce type de diviseur à cristaux photoniques montre l'avantage d'avoir de plus faibles pertes de l'ordre de 1 à 2 dB pour des diviseurs de 1 vers 2 jusqu'à 1 vers 8.

Dans la suite pouvons présenter les différents types de diviseur à cristaux photoniques [25], notamment :

Les figures 1.21, 1.22, et 1.23 montrent un diviseur de puissance à cristaux photoniques en Y jonction avec un entrée et deux, quatre et huit sorties. Ces diviseurs sont formés par des guides d'onde droites connectés à  $120^\circ$  dans des trous triangulaires comme ils montrent les figures suivantes :

- Diviseurs à cristaux photoniques en Y (1x2)

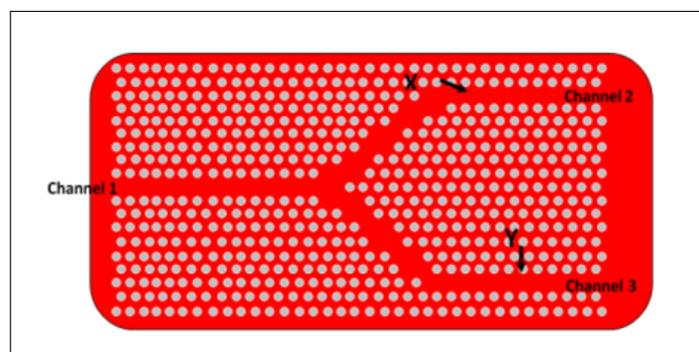


FIGURE 1.21: Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x2).

- Diviseurs à cristaux photoniques en Y (1x4)

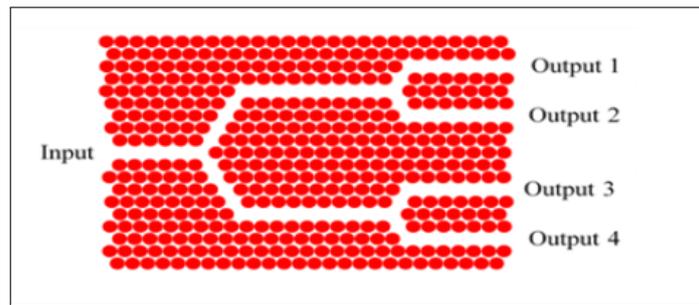


FIGURE 1.22: Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x4).

- Diviseurs à cristaux photoniques en Y (1x8)

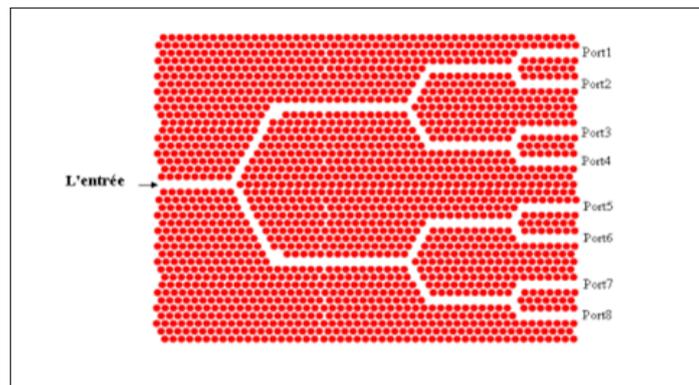


FIGURE 1.23: Le diviseur à cristaux photoniques en Y (1x8).

Par contre les figure 1.24, 1.25, et 1.26 montre un diviseur de puissance à cristaux photonique en T jonction avec un entrée est deux, quatre et size sorties. Ces diviseurs sont formés par des guides d'onde droites connectés à  $90^\circ$  dans des trous carrés comme ils montrent les figures suivant :

- Diviseurs à cristaux photoniques en T (1x2)

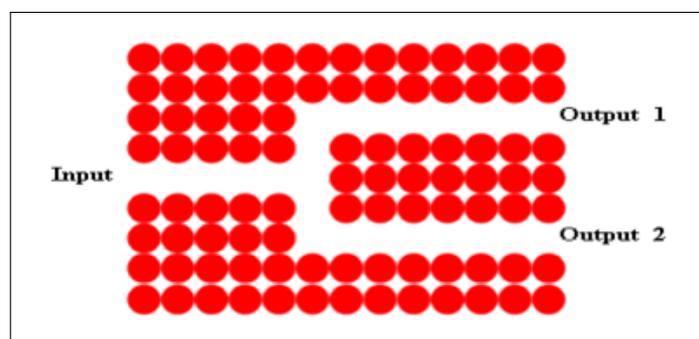


FIGURE 1.24: Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x2).

- Diviseurs à cristaux photoniques en T (1x4)

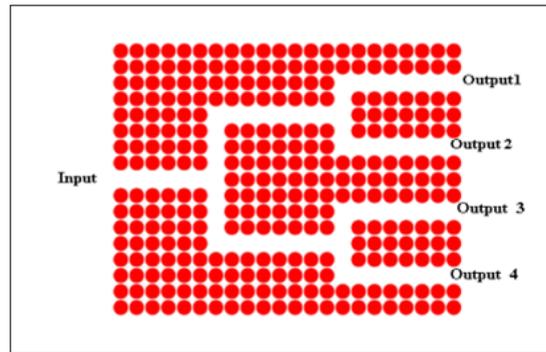


FIGURE 1.25: Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x4).

- Diviseurs à cristaux photoniques en T (1x8)

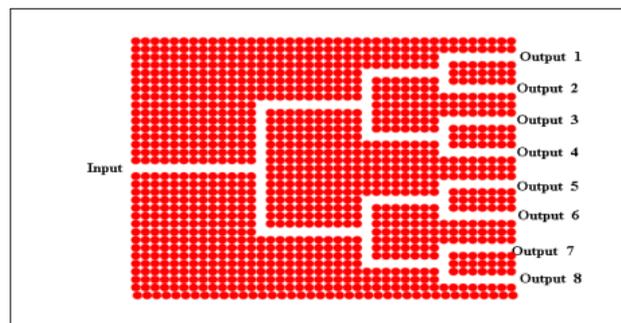


FIGURE 1.26: Le diviseur à cristaux photoniques en T (1x8).

## Conclusion

Les cristaux photoniques sont des matériaux dont l'indice diélectrique varie de manière périodique à l'échelle de longueur d'onde, sur une ou plusieurs directions de l'espace. La périodicité peut être unidimensionnelle, bidimensionnelle ou encore tridimensionnelle.

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions de base sur les cristaux photoniques, ces différents types et différentes applications. Le choix porté sur les cristaux photoniques est due à la caractéristique fondamentale de la BIP. Par conséquent, la majorité des applications découlent de la bande interdite apparue comme propriété intéressante aussi présente dans le monde des cristaux photoniques. Ces cristaux photoniques sont analysés par plusieurs méthodes d'analyse très utilisées en optique intégrée, qui sont les méthode FDTD et PWE. Ces méthodes seront traitées en détail dans le chapitre suivant.

---

---

## CHAPITRE II

---

MÉTHODES NUMÉRIQUES (PWE  
ET FDTD) ET OUTILS DE  
SIMULATION (RSOFT)

# Méthodes numériques (PWE et FDTD) et outils de simulation (RSOFT)

## 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. On peut distinguer les modèles théoriques traitant les cristaux photoniques comme la méthode des ondes planes PWE et la méthode des différences finies dans le domaine du temps FDTD. Dans ce chapitre nous allons bien détailler cette dernière méthode et aussi présenter le logiciel RSoft CAD avec une explication des lignes de base du principe de fonctionnement de ce logiciel et détailler le module de BandSolve et FullWAVE.

## 2.1 Méthodes de modélisation des structures périodiques

### 2.1.1 Méthode des Onde Planes PWE

La méthode des ondes planes (Plane Wave Expansion ou PWE) est une technique numérique répandue pour résoudre des problèmes électromagnétiques périodiques. Cette technique est basée sur la décomposition des champs électromagnétiques en une superposition d'ondes planes. Les équations de Maxwell sont représentées dans le domaine fréquentiel et transformées en un problème aux valeurs propres. En résolvant ce problème aux valeurs propres, les champs électromagnétiques et les fréquences correspondant à chaque onde plane sont obtenus [18]. La méthode des ondes planes est un outil numérique permettant de calculer les bandes de fréquence autorisées (ou interdites) des ondes électromagnétiques susceptibles de se propager dans le matériau considéré comme milieu propageant non borné et ceci pour n'importe quelle direction. Cette méthode nous permet d'obtenir des diagrammes de dispersion comme présentée sur la figure. Le cas utilisé est celui d'un cristal présentant deux ordres de périodicité. La structure est représentée en encadré sur la figure ci-dessous [6].

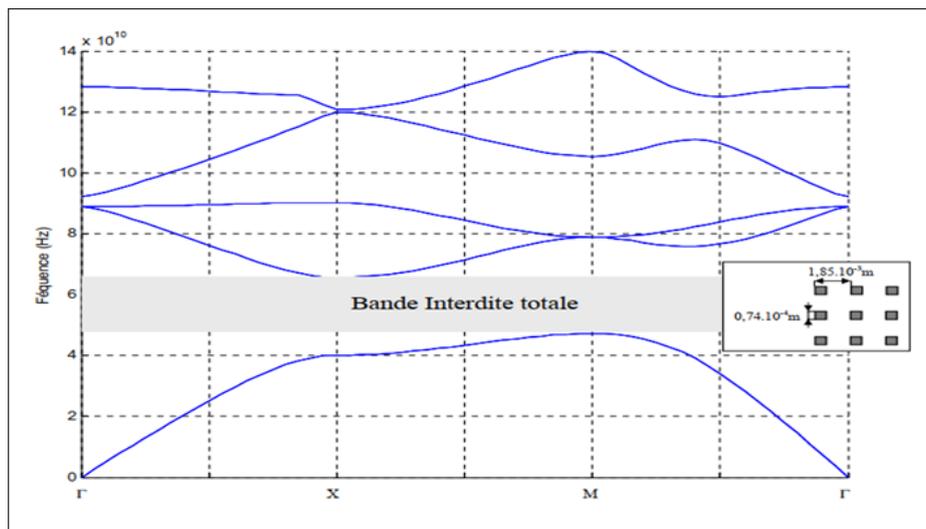


FIGURE 2.1: Diagramme de bande d'un cristal BIP 2D.

### 2.1.2 Méthode de FDTD

La méthode FDTD a été initialement proposée par Kane S. Yee en 1966. Cette méthode de calcul effectuée dans le domaine temporel permet de visualiser la propagation de l'onde dans des milieux structurés tels que les cristaux photoniques. Cette méthode permet à l'utilisateur de développer une compréhension plus intuitive des processus de propagation. Elle permet aussi d'obtenir de nombreuses informations sur la propagation de l'onde dans la structure [26].

#### • Avantages de la méthode FDTD

- 1)- C'est une méthode simple : elle met en jeu, en effet, des concepts et des outils de résolutions élémentaires (équations de Maxwell, différences finies).
- 2)- Elle permet l'obtention en une seule simulation des informations temporelles et spectrales sur une structure. Elle apporte aussi des éléments de Compréhension sur l'établissement du champ électromagnétique dans la structure en offrant la possibilité d'obtenir la distribution du champ à différents temps.
- 3)- Cette méthode permet l'évaluation en fonction de temps de nombreuses autres grandeurs comme le vecteur de Poynting ou l'énergie électromagnétique stockée. En revanche, elle peut requérir des moyens de calcul et des mémoires informatiques importants, dépendant de la taille de l'espace de travail. Pour diminuer les temps d'exécution, les espaces de travail doivent être choisis assez réduits [27].

## 2.2 Présentation de logiciel RSoft-CAD

Le Rsoft CAD est un programme de base de R Soft photonique, il permet aux chercheurs et ingénieurs de créer des systèmes pour la conception des dispositifs de guide d'onde, des circuits optique et d'autres dispositifs photoniques. Il agit en tant que programme de gestion pour les modules passifs de simulation du dispositif de R Soft : Beam PROP, Full WAVE, Band SOLVE, Grating MOD et Diffract MOD. Il existe plusieurs modules intégrés, chaque module assure une fonction bien précise [28].

### 2.2.1 Simulateur FullWav

L'outil de simulation FullWAVE fait partie de RSoft Component Design Suite, il est basé sur la technique FDTD. Il calcule le champ électromagnétique en fonction du temps et de l'espace dans une structure d'indice de réfraction donnée en réponse à une excitation électromagnétique. C'est un outil idéal pour étudier la propagation de la lumière dans une grande variété de structures photoniques. Il permet à l'utilisateur de définir les propriétés du matériau et la géométrie d'un dispositif photonique. FullWAVE peut modéliser avec précision les matériaux diélectriques et magnétiques, ainsi que les matériaux anisotropes, dispersifs et non linéaires. Il peut également utiliser un cluster informatique afin d'obtenir des simulations plus grandes et plus rapides [29].

### 2.2.2 Simulateur BandSolve

Le logiciel que nous avons exploité pour modéliser les structures par la méthode des ondes planes s'appelle « BandSOLVE » développé par Rsoft. BandSOLVE est un logiciel de simulation des structures de bande photoniques. Il est basé sur la méthode des ondes planes optimisée pour les structures périodiques, idéal pour produire des diagrammes de bande des structures à bandes interdites photoniques classiques tels que 2D et 3D et les guides à cristaux photoniques en utilisant une méthode super cellule type onde plane. A deux dimensions, il est nécessaire de

considérer deux directions de propagation différente : TE (avec le champ E perpendiculaire à l'axe des trous) et TM (ou E est parallèle à l'axe des trous). Ces deux polarisations sont découplées et donnent lieu à deux diagrammes de bandes indépendants. Il n'existe pas forcément une bande interdite dans les deux cas. BandSOLVE est destiné pour fonctionner avec les autres modules de simulation de Rsoft tels que BeamPROP et FullWAVE, il partage le même outil de CAD avec ces modules. En particulier, le BandSOLVE est spécialement utile pour optimiser les propriétés des cristaux photoniques [30].

### 2.2.3 Fenêtre de programmation CAD

La fenêtre de programme de CAD comporte une barre de menus en haut de la fenêtre, d'une barre des outils qui porte plusieurs icônes et la ligne d'état (figure 2.2). Les menus permettent l'accès au divers dossier standard et les opérations d'édition. La ligne d'état fournit des informations sur le mode courant de disposition, avec l'affichage du même rang pendant le dessin.

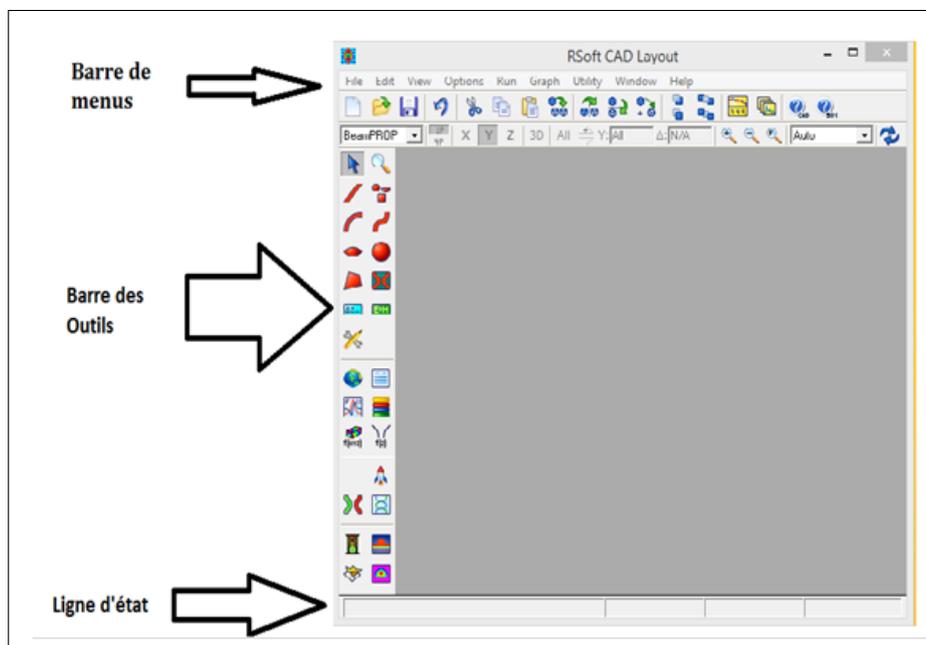


FIGURE 2.2: La fenêtre de programme de RSoft CAD.

### 2.2.4 Crée nouveau circuit

Pour créer un nouveau circuit, cliquer sur l'icône **New circuit** dans la barre d'outils supérieure. Alternativement, choisir **Fil/New** du menu. Le dialogue de démarrage apparaît (figure 2.3). Ce dialogue donne des informations de base sur le circuit.

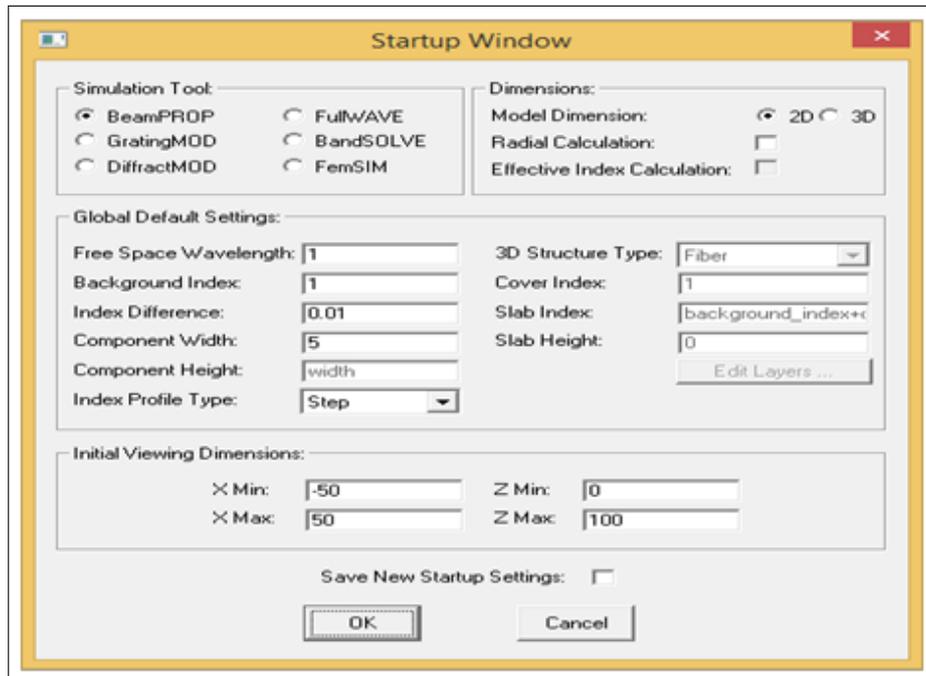


FIGURE 2.3: La fenêtre de démarrage.

Il faut remplir la différence d'indice (Index différence), qui est la différence d'indice par défaut entre la couche guidant et l'indice de substrat (Background index), d'autre part, il faut choisir le type de la polarisation (Mode TE ou Mode TM). On peut aussi par cette option choisir le module de simulation parmi les six modules existants dans le logiciel Rsoft : BandSOLVE, FullWAVE, BeamPROP/BPM ou GratingMOD. Après cette étape on clique sur le bouton **OK**, puis on obtient la fenêtre représentée sur la figure 2.4.

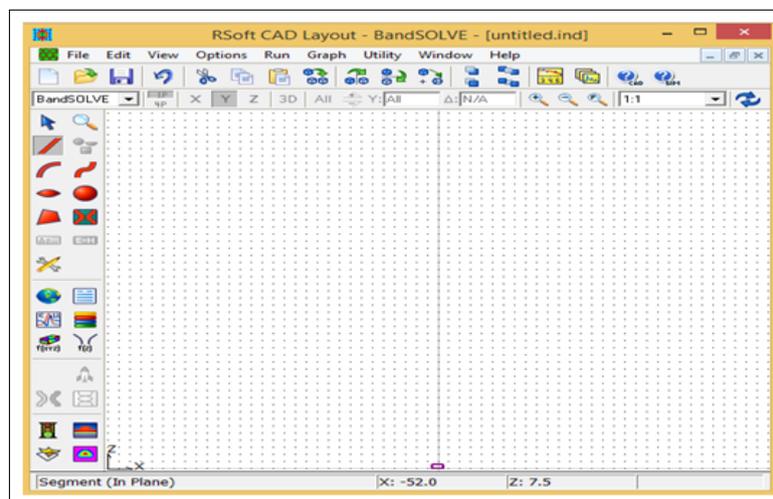


FIGURE 2.4: Nouvelle fenêtre pour réaliser un nouveau composant ou nouveau circuit.

## 2.2.5 Génère structure de réseau

Dans cette partie on va montrer comment créer un réseau en cristaux photoniques dans l'interface de CAD. Généralement, il existe plusieurs manières pour créer une structure de réseau dans l'interface de CAD. Cependant, la manière la plus facile est d'employer un des

multiples utilisés de disposition qui sont incluse avec FullWAVE afin d'expédier la création de ce réseau en utilisant **Array Layout** (figure 2.5). Après l'introduction des différentes données (**type de réseau, forme de motif, le nombre de rangés et le nom du circuit**) on clique sur le bouton **OK** pour obtenir la structure du cristal photonique qui apparait sur la figure 2.6.

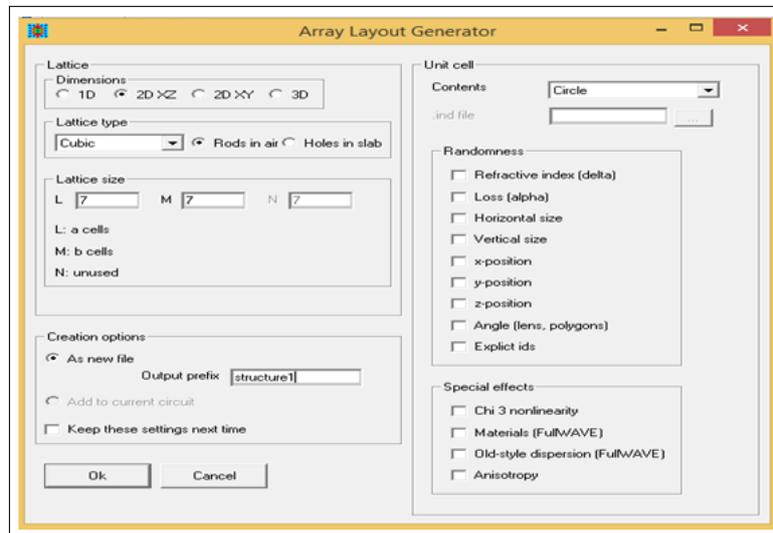


FIGURE 2.5: Arrangements de disposition de la rangée XZ..

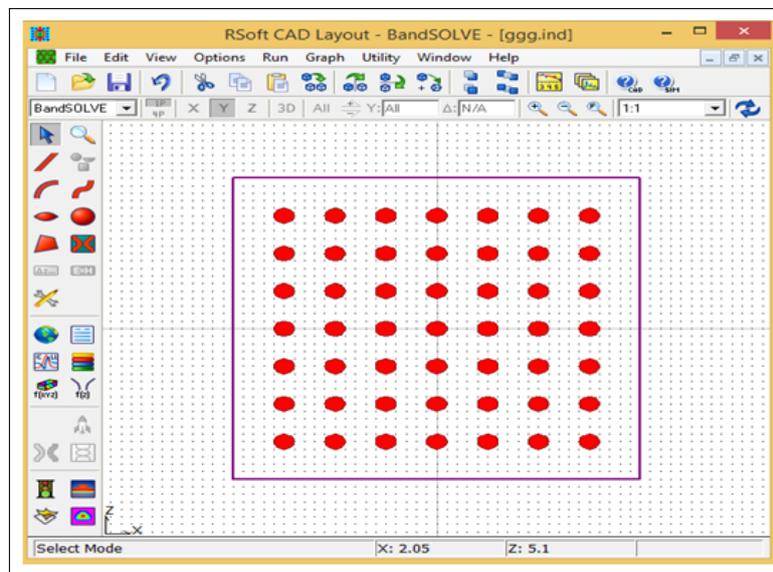


FIGURE 2.6: Disposition de rangé dans la fenêtre de CAD.

## 2.2.6 Définition des variables



Cliquer sur l'icône **(Edit Symboles)** dans la fenêtre de CAD, le tableau de symboles (Table editor) s'ouvre (figure 2.7). Ce table de symboles permet à l'utilisateur de créer ou modifier à la fois et intégrer les variables définies par l'utilisateur, ces variables peuvent être utilisées pour définir pratiquement n'importe quel paramètre de la structure (le rayon, la période, l'indice de réfraction, nombre de rangés).

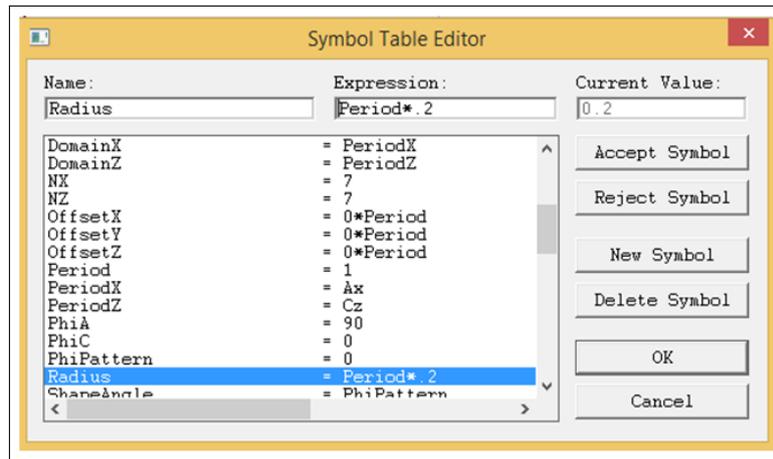


FIGURE 2.7: L'éditeur du Tableau de symboles.

Ces symboles correspondent aux arrangements faits dans le nouveau circuit (New Circuit) de la boîte de dialogue ci-dessus. Pour définir un nouveau symbole (par exemple Nhole=1), on clique sur new symbole puis en va entrer le nom et la valeur du symbole.

### 2.2.7 Vérification de la structure

Pour vérifier notre structure, nous avons simulé le profil de la constante diélectrique dans le plan de périodicité (plan XZ) (figure 2.8). Puis appuyez sur **OK** pour le profil d'indice comme le montre la figure 2.9.

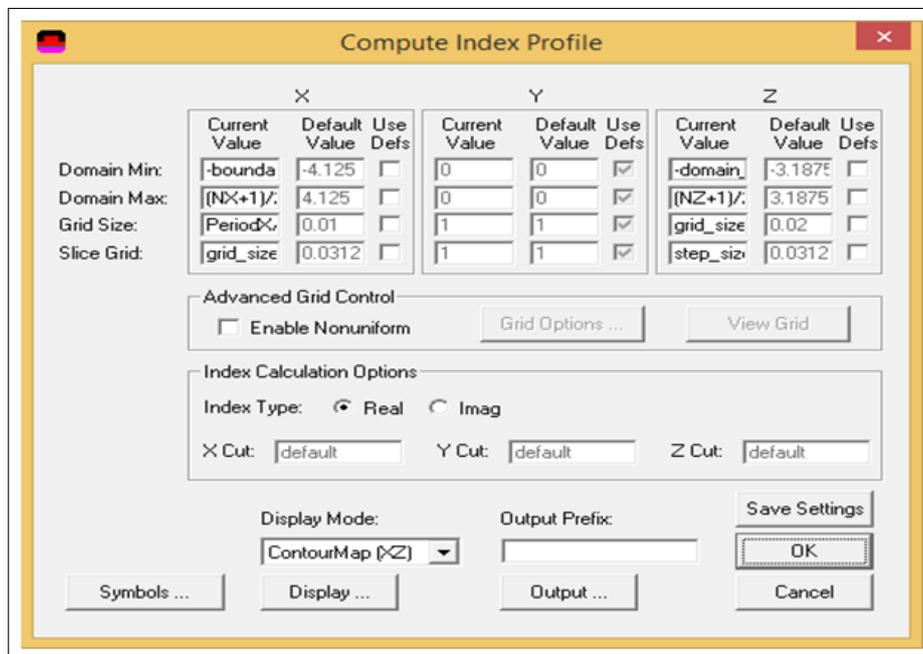


FIGURE 2.8: Arrangements de disposition de la rangé.

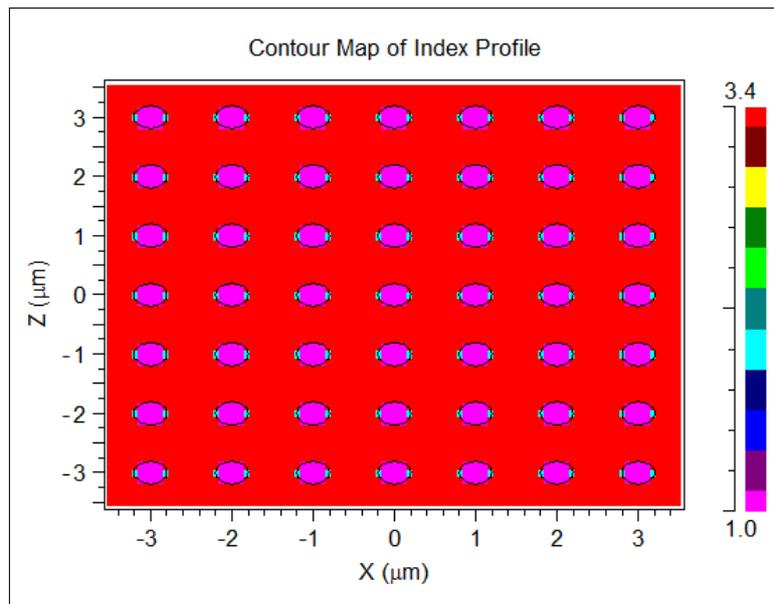


FIGURE 2.9: Distribution d'index pour la configuration de structure.

## 2.2.8 Réglage des paramètres de simulation

Pour le choix et le réglage des paramètres de simulation ou clique sur le bouton . Par conséquent, il apparait la fenêtre correspondante au module de simulation utilisée (BandSOLVE/ FullWAVE) comme il est représenté sur la figure 2.10 ou sur la figure 2.11.

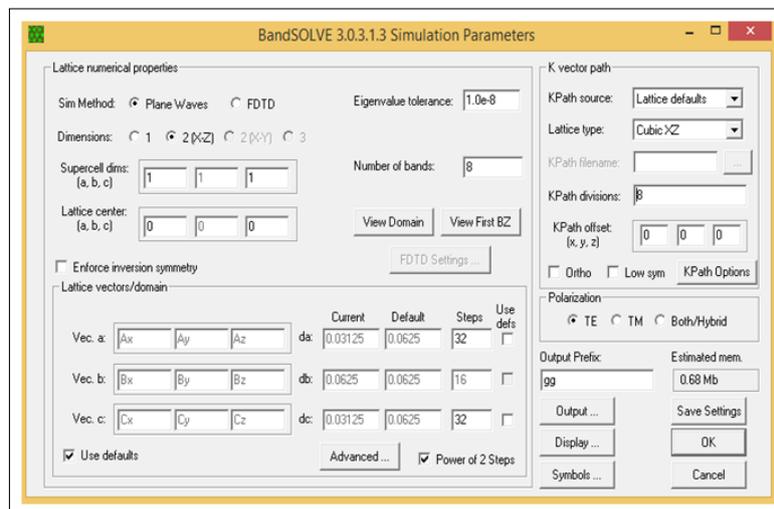


FIGURE 2.10: La fenêtre de paramètres de simulation de BandSOLVE.

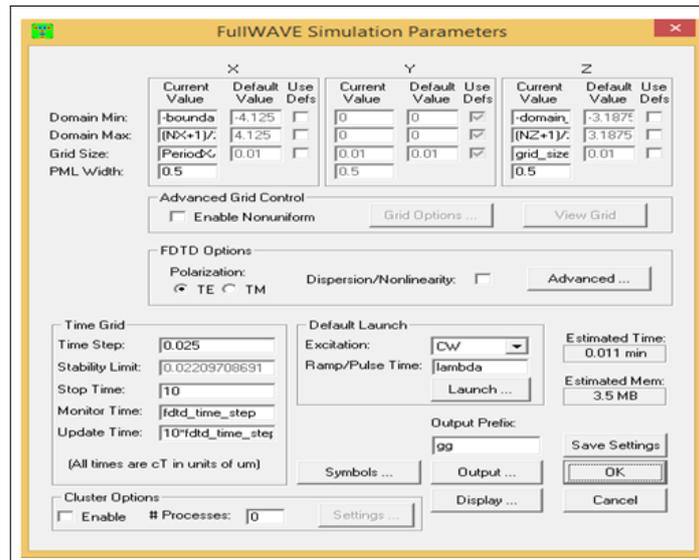


FIGURE 2.11: La fenêtre de paramètres de simulation de Full WAVE.

## 2.2.9 Lancement de la simulation

Une fois que les paramètres numériques et d'autres options sont acceptables, on clique sur OK pour commencer la simulation.

## 2.2.10 Voir les résultats

Regarder ou imprimer a sauvé des résultats de simulation, on clique sur l'icône  de **Launch Data Browser** dans la barre des outils supérieur de la fenêtre de CAD, et on choisit le graphe désiré à partir du dialogue qui présenté.

## 2.2.11 Présentation des autres applications



**EDIT LAUNCH FIELD** (Editer le champs du guide) ou l'utilisateur peut indiquer le champ initial pour une simulation.



**EDIT LAYER TABLE** (Editer le tableau du guide) : Cette option ouvre le tableau éditeur des guides, il est utilisé pour définir les structure 3D.



**PERFORME SIMULATION** (Effectuer La simulation) : Cette option ouvre la boîte de dialogue du paramètre de simulation (simulation paramètres) ou l'utilisateur peut indiquer des paramètres de simulations avant de l'effectuer.



**COMPUTE FUNDAMENTAL MODE** (mode fondamentale de calcul) : Cette option permet à l'utilisateur de calculer le mode fondamentale du circuit. Noté que des modes d'ordre plus supérieur peuvent être calculés par l'intermédiaire de l'option de menu Run.



**EDITE PATHWAYS** (Editer les voies) : Cette options permet à l'utilisateur de définir

des voies qui sont utilisé pour définir des positions de lancement pour l'analyse.



**EDITE MONITERS** (Editer les moniteurs) : Cette option permet a l'utilisateur de créer et modifier des moniteurs de BeamPROP. Un moniteur permet à l'utilisateur de mesurer une quantité, tell que la puissance du guide d'onde, pendant une simulation.



**AUNCH DATA BROWSER** : Cette option ouvre le RSOFT data browser.



**EDIT GLOBAL SETTINGS** (Editer les arrangements globaux) : Cette option ouvre la zone de dialogue d'arrangement globale (globale Settings) ou les arrangements par défaut du boite, peuvent être places. Elle est équivalente à la nouvelle boite de dialogue du circuit.



**EDIT SYMBOL TABLE** (Editer le tableau du symbole) : Cette option ouvre le tableau du symbole ou l'utilisateur crée de nouvelles variables et pour modifier des variables existent.



**COMPUTE INDEX PROFILE** (Profil d'indice de calcul) : Cette option ouvre la zone de dialogue de profil d'indice de calcule ou l'utilisateur peut calculer un profil d'indice de circuit.

## Conclusion

La méthode des ondes planes était la première utilisée pour calculer les structures de bande d'énergie des structures diélectriques. Cette technique de résolution dans le domaine fréquentiel consiste à développer le champ électromagnétique sur une base d'ondes planes. La méthode des différences finies dans le domaine temporel FDTD a aussi en beaucoup de succès pour la modélisation de ce type de matériau grâce à sa facilité d'implémentation. Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux méthodes de simulation : PWE et FDTD. Ensuite, nous avons décrit les deux modules de simulation le BandsOLVE et le FullWAVE de Rsoft CAD.

---

## CHAPITRE III

---

AMÉLIORATION DE LA  
PUISSANCE DE TRANSMISSION  
DES DIVISEURS DE PUISSANCE  
1X2 ET 1X4

# Amélioration de la puissance de transmission des diviseurs de puissance 1x2 et 1x4

## Introduction

Récemment, les cristaux photoniques (CP) ont été largement utilisés pour concevoir des diverses applications optiques en raison de leur effet de la bande interdite photonique (BIP) sur les performances des différents dispositifs optiques tels que les guides d'ondes optiques. L'effet de BIP provient de la modulation périodique de l'indice de réfraction en CP. BIP interdit à certaines bandes de longueurs d'onde de se propager à travers le CP dans toutes les directions. Néanmoins, en introduisant un défaut de ligne dans le CP est créé où la lumière peut maintenant exister et se propager à l'intérieur de la région BIP.

Dans ce chapitre, nous allons modifier la structure des diviseurs de puissance 1x2 et 1x4 basés sur une plaque de cristaux photoniques, afin d'augmenter la puissance de transmission à la sortie de deux ports et de minimiser les pertes par réflexion et par diffraction. La conception des diviseurs optiques avec une distribution de puissance une fois égale symétrique et autre fois asymétrique avec des différentes puissances de transmission à la sortie des ports, est l'objet de notre travail. La répartition de la puissance de transmission égale souhaitée est obtenue en introduisant et en optimisant la région de séparation présentant des défauts structurels flexibles. La simulation a été effectuée en utilisant la méthode FDTD en 2-D. En plus, un partage de puissance égale a également lieu à longueur d'onde de télécommunication à savoir 1550 nm.

## 3.1 Conception du diviseur de puissance 1x2

Dans notre travail, le cristal photonique utilisé est un réseau à mail triangulaire composé de 31x27 trous d'air dans le plan (x-z), les trous d'air sont percés dans une membrane de silicium (Si) d'indice de réfraction 3.4 (structure connectée) comme montre figure 3.1. Les paramètres du réseau sont la période et le rayon qui sont initialement choisis à "A= 440 nm" et "B= 135 nm", respectivement. Ces deux paramètres seront ensuite optimiser en utilisant la méthode PWE, afin d'obtenir la longueur d'onde de la télécommunication ( $\lambda = 1550$  nm) localisée au centre d'une large bande interdite photonique de la structure PCh utilisée dans notre travail.

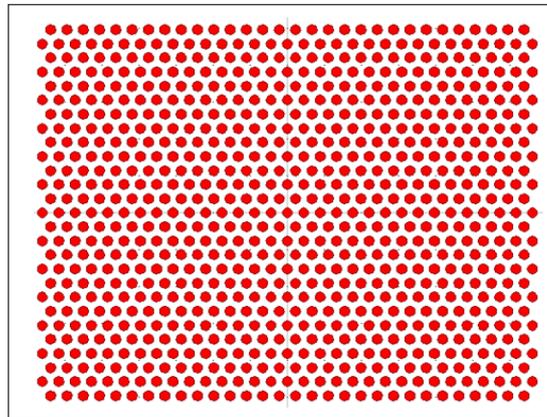


FIGURE 3.1: Schéma de la structure CPh utilisée pour concevoir le diviseur de puissance.

Le diviseur de puissance 1x2 à base d'un cristal photonique est formé de trois guides d'ondes droits connectés à  $120^\circ$  dans un réseau des trous d'air d'une forme triangulaires. Les principaux paramètres de ce diviseur sont la période ( $a = 440$  nm) et le rayon ( $r = 135$  nm), qu'ils seront ensuite optimisés. Le signal d'entrée d'excitation est placé dans une position comme montre la figure 3.2. Les puissances de sorties pour chaque branche de diviseur 1x2 sont mesurées dans des positions comme montre la figure 3.2, ou P1 et P2 sont les puissances de transmission des deux branche de sortie supérieure et inférieure respectivement. De plus, la perte due à la réflexion,  $P_r$  est mesurée à une distance du réseau ( $a$ ) avant la position du signal d'entré d'excitation. Enfin, la puissance totale  $P_{Totale}$ , est la mesure de la puissance entrée totale, d'où elle indique la quantité de la puissance injectée et distribuée dans la structure du diviseur 1x2.

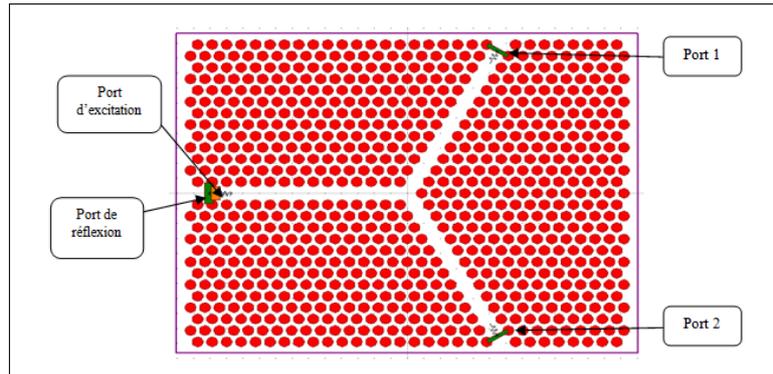


FIGURE 3.2: Diviseur de puissance 1x2 à base des cristaux photoniques de forme  $120^\circ$ .

## 3.2 Résultats et discussion

### 3.2.1 Indices de réfraction des matériaux du diviseur 1x2 à base PCh

Dans l'ordre de confirmer les valeurs des indices de réfraction des matériaux constituant la structure du réseau en cristaux photoniques, nous avons déterminé le profil de ces indices de réfraction. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure 3.3.

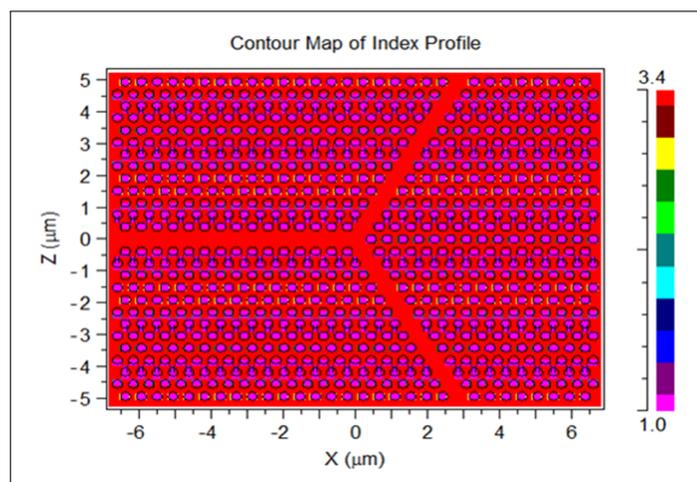


FIGURE 3.3: Indice de réfraction d'un diviseur de puissance 1x2 à base des cristaux photoniques.

Cette figure montre que le matériau de fond du réseau en cristaux photoniques (couleur rouge) représente le silicium d'indice de réfraction (3.4), tandis-que le matériau des trous (couleur violet) représente air avec  $n=1$ .

### 3.2.2 Détermination et optimisation de la BIP

Dans l'ordre de déterminer et d'optimiser les paramètres du réseau en cristaux photoniques tels que la bande interdite photonique (BIP) et la longueur d'onde de transmission ( $\lambda = 1550$  nm), afin d'améliorer les performances des diviseurs de puissance développés dans notre travail. Pour cela, nous avons choisi un réseau en cristaux photoniques (CP) 2 dimensions (2-D) 31x29, avec un constant ( $a$ ) fixé à 440 nm. Ensuite, nous allons varier progressivement la dimension du rayon ( $r$ ) entre 100 et 190 nm pour voir l'évolution des paramètres BIP et  $\lambda$  du réseau en CP en fonction de ( $r$ ). la figure 3.4 représente la variation de la longueur d'onde centrale de la bande interdite photoniques en fonction du rayon ( $r$ ) de la structure de réseau en CP étudié dans notre travail. Cette figure montre bien que la longueur d'onde de télécommunication à savoir  $\lambda = 1550$  nm est obtenue pour un structure du réseau en CP conçue avec les dimensions suivantes :  $r = 165$  nm et  $a = 440$  nm. Donc, cette structure de réseau en CP sera la plate forme de la conception de nos diviseurs de puissance 1x2, 1x3 et 1x4 étudiées dans les prochains chapitres.

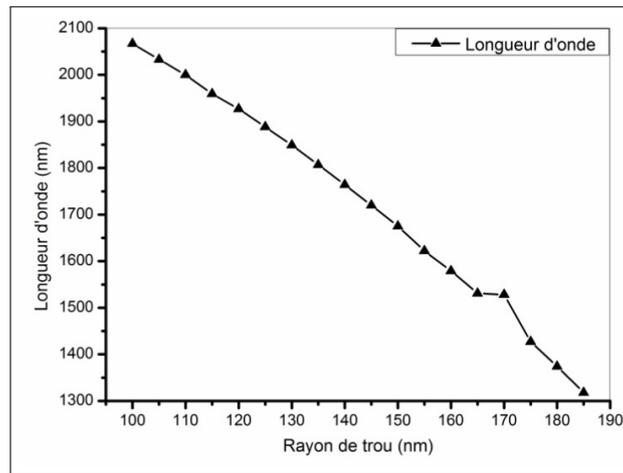


FIGURE 3.4: Variation de la longueur d'onde centrale de la bande interdite photonique du réseau en CP.

La figure 3.5 illustre le diagramme de bande interdite photonique (BIP) calculée par la méthode des ondes planes (PWE), nous utilisons une bande de type gaussienne pour déterminer le diagramme de BIP.

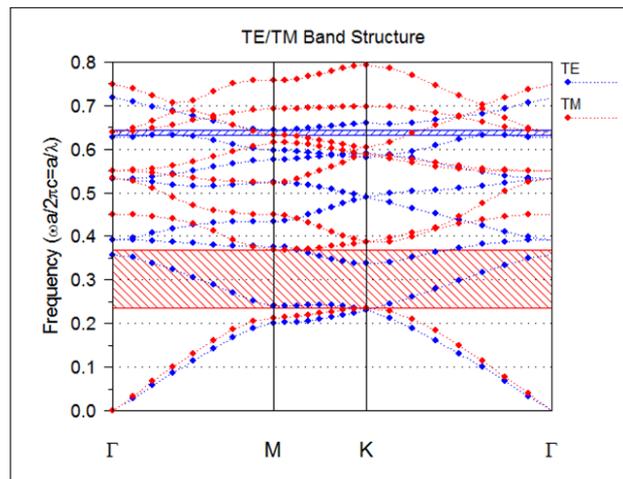


FIGURE 3.5: Diagramme de bande interdite photonique de la structure de réseau en CP.

Cette figure montre bien l'apparition d'une large bande interdite photonique en mode TM (Transverse magnétique) inclut dans une gamme de fréquence normalisée ( $a/\lambda$ ) de 0.2345 à 0.3686 et centrée alentour de 0.3015. Cette gamme de fréquence normalisée est correspondante à une bande de longueur d'onde allant de 1.194 à 1.876  $\mu\text{m}$ . Donc, la longueur d'onde de télécommunication à savoir 1.55  $\mu\text{m}$  est inclut et centralisée dans cette bande de longueur d'onde.

$$0.2386 \leq \frac{a}{\lambda} \leq 0.3686 \quad (\text{III.1})$$

Avec :  $a=440$  nm

$$1.194 \leq \lambda \leq 1.876 \quad (\text{III.2})$$

### 3.2.3 Diviseur de puissance 1x2 conventionnel

#### • Propagation de l'onde EM dans le diviseur de puissance 1x2 conventionnel

Dans l'ordre de déterminer la puissance de transmission dans les deux sorties de diviseur de puissance 1x2 conventionnel à base des cristaux photoniques, nous allons utiliser la méthode FDTD. Une polarisation d'une onde TE avec un champ électrique dans l'entrée du plan ( $x,z$ ) et un champ magnétique dans la sortie du plan ( $z$ ) est alimentée dans la structure pour analyser les performances de transmission de sortie du diviseur. Les divers paramètres de cette méthode sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3.1: Paramètres de la méthode FDTD utilisés pour extraire la puissance de transmission.

Paramètres	Valeurs
Excitation	Pulsed
Time Step	0.009
Stop Time	1500
Update Time	10*fDTD_time_step (0.09)
Grid Size inX	0.022
Grid Size inZ	0.022
Source Offset	Gaussienne signal

La figure 3.6 représente la distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) du signal excité dans le diviseur 1x2 de puissance conventionnel à une longueur d'onde 1.55  $\mu\text{m}$ . cette figure montre clairement que l'onde EM est bien confinée dans la structure. La puissance du signal est divisée en deux parties dans la région de répartition.

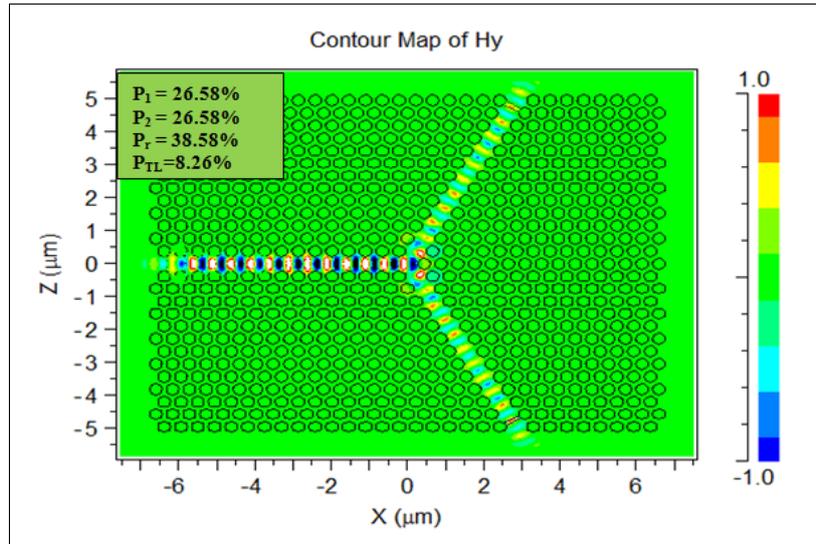


FIGURE 3.6: Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x2 de puissance conventionnel a  $1.55 \mu\text{m}$ .

• Puissances de transmission et de réflexion

L'évolution de la puissance de transmission en sortie de diviseur et la puissance de réflexion en fonction de la longueur d'onde est illustrée sur la figure 3.7. D'après cette figure, nous remarquons que la puissance de transmission en sortie du diviseur de puissance à  $1.55 \mu\text{m}$  pour  $P_1$  et  $P_2$  est de 26.58%, respectivement. Donc, la puissance totale normalisée de transmission est  $P_{Tot} = P_1 + P_2 = 53.16\%$ . De plus, le diviseur conventionnel a produit des pertes dues aux puissances de réflexion et de radiation, alentour de 38.58% et de  $P_{TL} = 100 - P_{Tot} - P_r = 8.26\%$ , respectivement. D'après ces résultats, nous observons que le diviseur de puissance produit une très faible répartition du signal et de réflexion très élevées. Donc, un processus d'optimisation est indispensable pour réduire les pertes de réflexion et d'augmenter la puissance de transmission en sortie du diviseur 1x2.

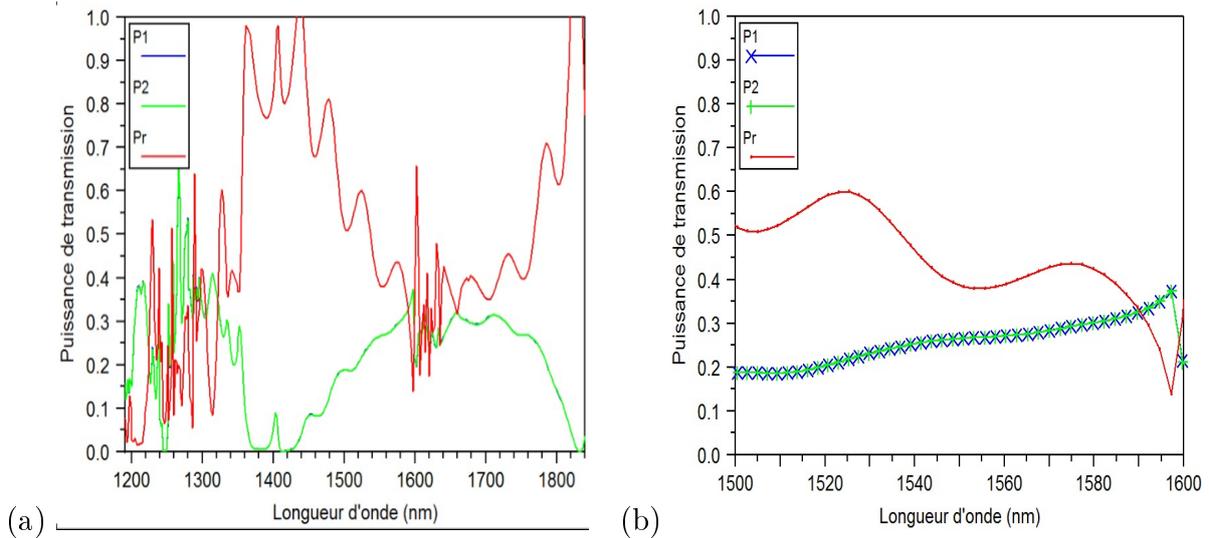


FIGURE 3.7: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 conventionnel.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

### 3.2.4 Diviseur de puissance 1x2 modifié

Les résultats de l'étude précédent, nous a permis de montrer que le diviseur de puissance 1x2 conventionnel a fourni à  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  des hautes pertes dues à la réflexion et à la radiation alentour de 38.5% et 8.26%, respectivement. Le diviseur conventionnel produit également un faible rapport d'énergie dans ses deux sorties (alentour de 53.16%). Donc, nous devons trouver une méthode pour augmenter la puissance conventionnelle produit pour augmenter la puissance de transmission dans les deux sorties du diviseur et de réduire d'ajoute un défaut structural d'un Droup-Hoile (DH) dans la région de répartition du diviseur de puissance 1x2. La forme géométrique et la position de l'emplacement du défaut DH dans la région de répartition sont représentées dans la figure 3.8.

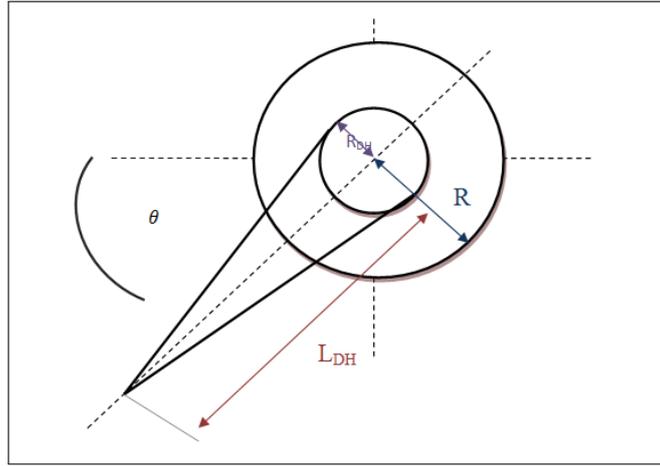


FIGURE 3.8: Structure de défaut DH placé dans la région de répartition du diviseur de puissance 1x2 modifié.

La figure 3.9 montre le diviseur de puissance 1x2 modifié avec un seul défaut structural d'un droup-houle (DH) inséré dans la région de division. Dans la simulation, le défaut DH est traité comme un défaut d'air gravé dans le matériau diélectrique (silicium dans notre cas). Il existe trois paramètres principaux pour le défaut DH «  $R_{DH}$  » représente le rayon du DH, «  $L_{DH}$  » désigne la longueur de DH du point au centre du trou, et «  $\theta$  » est l'angle de flexion du DH. Dans la simulation, le défaut DH pointe vers la direction d'entrée du diviseur de puissance, c'est-à-dire que l'angle de flexion du DH est toujours fixé à  $\theta = 0^\circ$ , donc l'angle de flexion du DH n'est pas pris en compte dans le processus d'optimisation.

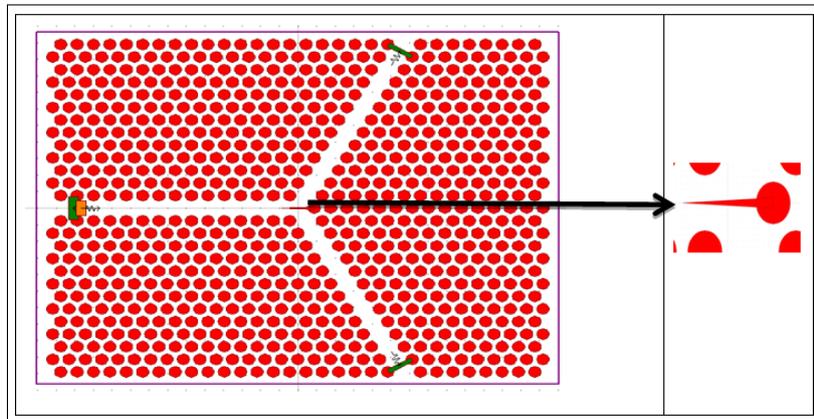


FIGURE 3.9: Diviseur de puissance 1x2 modifié à base des cristaux photoniques.

• Optimisation des paramètres

Le processus d'optimisation des paramètres géométriques du défaut DH sont effectués en faisant varier un paramètre tout en fixant les autres paramètres pour obtenir une transmission de sortie élevée et une puissance réfléchie négligeable. D'abord nous fixons la longueur  $L_{DH}$  du défaut DH à la valeur  $L_{DH} = 2.a = 2.440 = 880$  nm, avec une variation du rayon ( $R_{DH}$ ) de défaut DH. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 3.10.

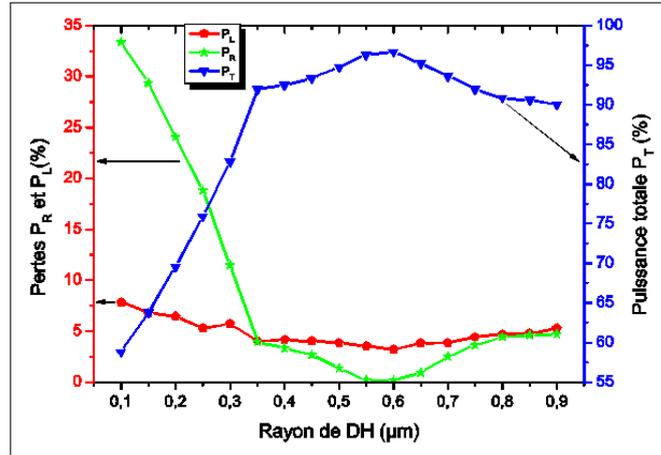


FIGURE 3.10: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $R_{DH}$ ) de défaut DH, avec  $L_{DH} = 2.a$  et  $\lambda = 1550$  nm.

La figure 3.10 présente l'évolution de la puissance totale et les pertes dues à la réflexion et à la radiation produites par le diviseur 1x2 modifié, en fonction de  $R_{DH}$  de DH. D'après cette figure, nous remarquons que la puissance de transmission optimale normalisée totale ( $P_T$ ) est produite par le diviseur modifiées est alentour de 96.64%. Tandis que, les pertes minimales de réflexion et de transmission (dispersion) correspondantes sont obtenues alentours de 0.17%, respectivement. Nous constatons que la puissance normalisée de réflexion obtenue est très faible et relégable. Ces puissance optimales sont obtenues pour un rayon de défaut DH égal à  $R_{DH} = 0.6.r$ .

Dans ce deuxième étape d'optimisation, on fixe le rayon du défaut de DH a  $R_{DH} = 0.6.r$  et nous varions ensuite la longueur  $L_{DH}$  de DH . Les résultats obtenues sont présentés sur la figure 3.11.

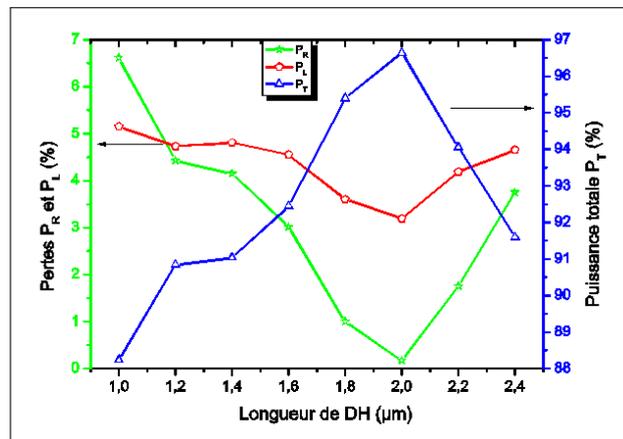


FIGURE 3.11: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $L_{DH}$ ) de défaut DH, avec  $R_{DH} = 0.6.r$  à  $\lambda = 1550$  nm.

La figure 3.11 présente l'évolution de la puissance totale et les pertes dues à la réflexion et à la transmission produites par le diviseur 1x2 modifié, en fonction de  $(L_{DH})$  de DH. Nous remarquons que la puissance de transmission optimale normalisée totale ( $P_T$ ) est produite par le diviseur modifié est alentour de 96.64%. Tandis que, les pertes minimales de réflexion et de transmission correspondantes sont obtenues alentours de 0.17%, respectivement.

### • Propagation de l'onde EM dans le diviseur de puissance 1x2 Modifié

La figure 3.12 illustre la distribution de l'amplitude de la composante z du champ magnétique ( $H_z$ ) dans le diviseur de la puissance modifié 1x2. D'après cette figure, nous remarquons la présence d'une fluctuation dans l'amplitude du champ magnétique. Nous pouvons expliquer ceci par le haut confinement dans le canal proche aux trous adjacents et le faible confinement est du à l'espace (air) qui se trouve entre les trous qui ont formés le guide d'onde. Les résultats de l'optimisation nous ont permis de déterminer les dimensions optimales de défaut DH ajouté à l'ancienne structure de diviseur de puissance 1x2.

Les valeurs de ces paramètres optimaux de la structure de DH sont respectivement à  $r=0.6.r$  et  $L=2.A$ .

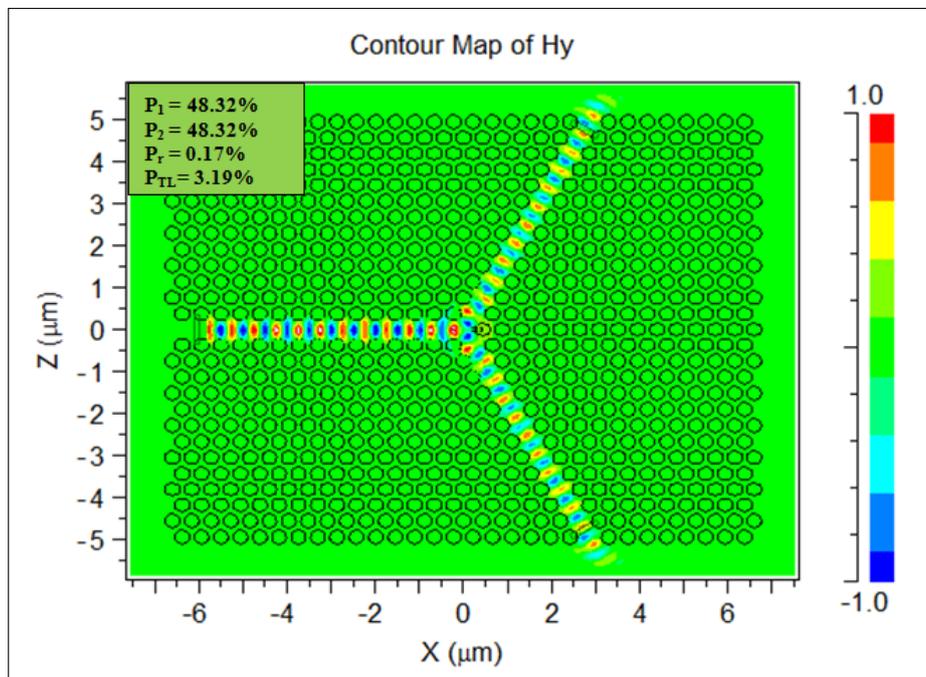


FIGURE 3.12: Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x2 de puissance modifié  $1.55\mu\text{m}$ .

### • Puissances de transmission et de réflexion

La figure 3.13 représente l'évolution des puissance de transmission de sortie ( $P_1$  et  $P_2$ ) et de réflexion en fonction de la longueur d'onde, produites par le diviseur de puissance 1x2 modifié. D'après le processus d'optimisation, nous observons que le diviseur de puissance 1x2 développé fonctionne non seulement à la longueur d'onde de la communication optique à savoir  $\lambda = 1550$  nm, mais il fonctionne également dans une large gamme des longueurs d'ondes allant de 1450 nm à 1780 nm, sauf à la longueur d'onde de 1600 nm. A cette gamme des longueurs d'ondes, le diviseur de puissance développé produit toujours des hautes puissances de transmission symétrique alentour de 48% pour chaque branche et une faible (négligeable) puissance de réflexion alentour de 0.17%.

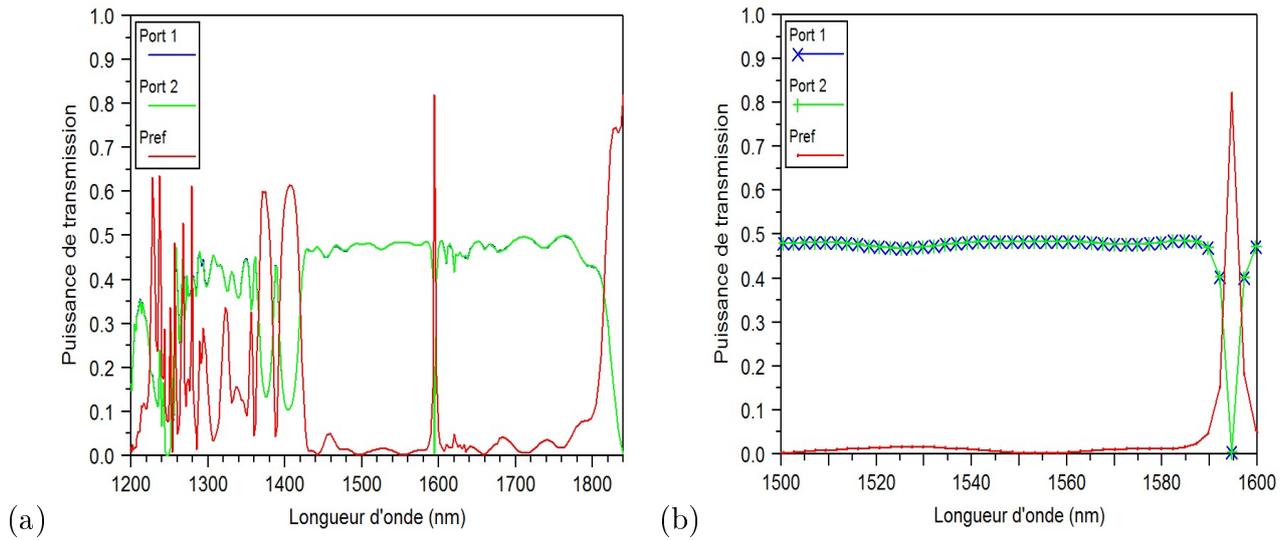


FIGURE 3.13: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 modifié. (a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

### 3.2.5 Comparaison

Dans cette partie, nous réalisons une comparaison entre les performances du diviseur 1x2 modifié avec celles du diviseur 1x2 conventionnel (voir le tableau 3.2).

Tableau 3.2: Comparaison entre les deux diviseurs de puissance 1x2 à base de PhC bidimensionnel.

Paramètre	Diviseur 1x2 conventionnel	Diviseur 1x2 modifié
Configuration	Trous d'air en réseau triangulaire sont gravés dans une matrice diélectrique (silicium)	Trous d'air en réseau triangulaire sont gravés dans une matrice diélectrique (silicium)
Puissance transmise	53.16 %	96.64 %
Division égales	Chaque branche a atteint 26.58% de la puissance d'entrée	Chaque branche a atteint 48.32% de la puissance d'entrée
Dimension du diviseur	11.6x13 $\mu\text{m}$	11.6x13 $\mu\text{m}$
Spectre	Étroite : 200 nm	Large : 330 nm

D'après ce tableau, les résultats de simulations obtenus dans notre travail sont très satisfaisants dans l'ordre à énergie égale dans toutes les sorties de diviseur avec une puissance totale élevée avec une faible perte.

### 3.3 Diviseur de puissance 1x2 asymétrique

#### 3.3.1 Conception d'un diviseur de puissance 1x2 asymétrique

Dans cette partie de notre travail, nous allons concevoir un diviseur de puissance 1x2 asymétrique, dans l'ordre de contrôler la magnitude de la puissance dans les deux sorties de ce diviseur au rapport  $1/3 : 2/3$ . Pour cela, nous allons modifier graduellement la position DH inséré dans la zone de division de diviseur de puissance 1x2 symétrique optimisé, étudié dans la partie précédente. Dans le diviseur 1x2symétrique, le défaut DH est introduit au centre de la région de diviseur pour maintenir la symétrie de la structure de division. Au contraire, un diviseur de puissance 1x2 de distribution de sortie asymétrique ou inégale est possible en rendant l'asymétrie de la structure, c'est-à-dire en décalent l'ensemble du défaut DH vers le haut ou vers le bas à un angle de flexion DH de  $\theta = 0^\circ$  (pointant vers la direction d'entrée). Pour définir clairement la position du défaut DH, un nouveau terme  $X_{up}$  est introduit pour représenter l'emplacement du défaut DH lorsqu'il est déplacé vers le haut dans la direction de l'axe x. De plus, le paramètre  $b$  ( $b = \sqrt{3}/2$ ). Pas. Est utilisé pour représenter le déplacement du défaut DH (voir figure 3.14).

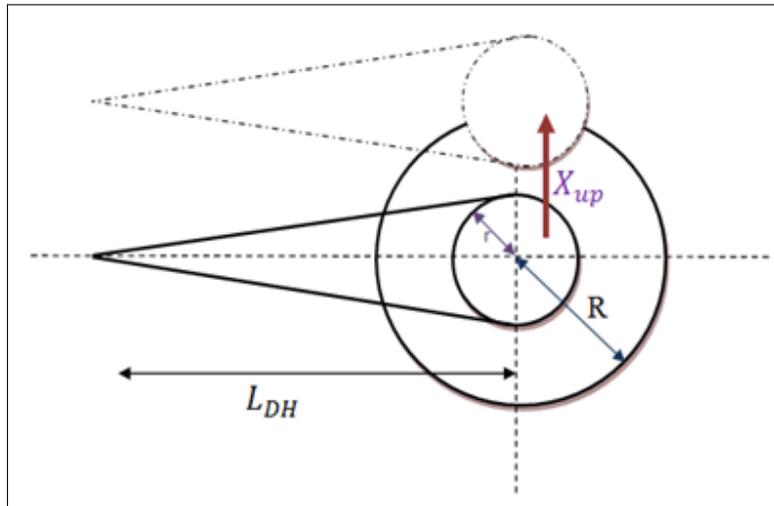


FIGURE 3.14: Structure du déplacement de défaut DH du diviseur de puissance 1x2 asymétrique modifié.

#### 3.3.2 Optimisation des paramètres de défaut DH

##### • Optimisation de la position de DH

Le processus d'optimisation pour obtenir un diviseur de puissance asymétrique 1x2 avec une distribution de puissance  $1/3 : 2/3$  est démarré en adoptant les paramètres de DH optimaux de  $L = 2.a$  et  $R = 0.6r$  à partir du diviseur de puissance symétrique 1x2, puis le défaut DH est déplacé vers le haut. La figure 3.15 montre la distribution de la puissance de sortie normalisée dans les deux ports (P1 et P2) du diviseur de puissance asymétrique 1x2 lorsque le défaut DH est décalé vers le haut de  $X_{up} = 0.1b$  à  $X_{up} = 0.35.b$ .

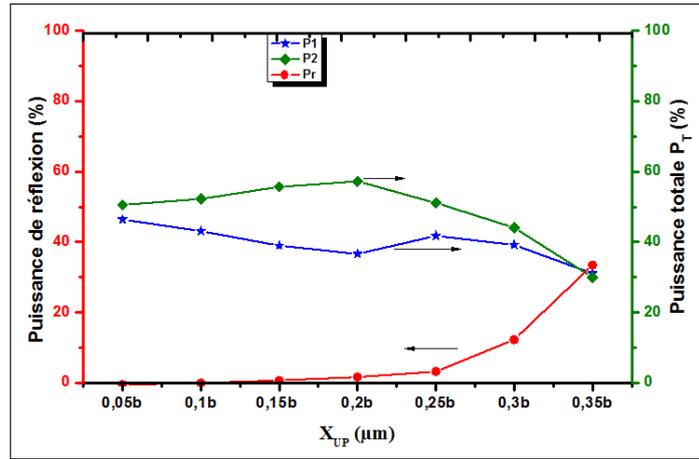


FIGURE 3.15: Évolution de la puissance de transmission au P1, P2 et de réflexion en fonction de déplacement de la position de DH avec,  $R_{DH} = 0.6r$  et  $L_{DH} = 2.a$  et  $\lambda = 1550$  nm.

D’après cette figure, nous remarquons que le rapport de distribution de la puissance de sortie est plus proche au rapport souhaité 1/3 : 2/3 ( $P1 = 36.98\%$ ,  $P2 = 57.75\%$ ) à une position de DH de  $X_{top} = 0.2b$ . Notons que la puissance de réflexion ( $P_r$ ) est d’environ de 2.34%. Par conséquent, la deuxième étape d’optimisation se poursuit avec la fixation de la valeur de  $X_{up}$  à 0.2b.

• Optimisation de la longueur de DH

La figure 3.16 présente la distribution de la puissance de sortie du diviseur de puissance asymétrique en fonction de la longueur ( $L_{DH}$ ) de défaut DH à  $X_{up} = 0.2b$ ,  $R = 0.6r$  et 1550 nm de longueur d’onde. Nous constatons que la distribution de sortie la plus proche au rapport 1/3 : 2/3 est obtenue pour une longueur à  $L = 2.2a$ , ou les puissances de transmission de sortie fournies dans les deux ports de diviseur sont de 64.57% et de 30.72% pour P1 et P2, respectivement. Notons que la puissance de réflexion obtenue à cette valeur de la longueur de DH est de  $R_{ref} = 2.34\%$ .

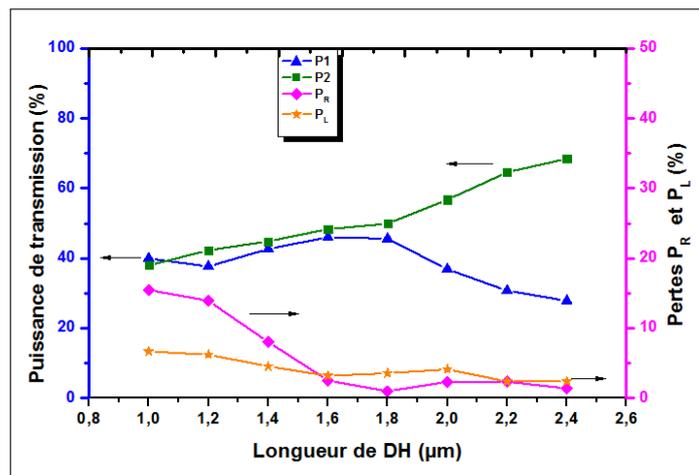


FIGURE 3.16: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur ( $L_{DH}$ ) de défaut DH, avec  $R_{DH} = 0.6.r$  et  $X_{upo} = 2.b$  à  $\lambda = 1550$  nm.

### • Optimisation du rayon de DH

Dans cette étape d'optimisation, nous allons modifier la valeur du rayon ( $R_{DH}$ ) de défaut DH en fixant leur longueur et position à  $L_{DH}=2.2a$  et  $X_{up}=2b$ . Les résultats de simulation sont exposés dans la figure 3.17. Les deux puissances de sortie les plus proches au rapport souhaités (1/3 : 2/3) se produisent pour un rayon de DH de  $R_{DH}=0.75r$ , ou  $P_1=32.09\%$ ,  $P_2=64.38\%$ ,  $P_{ref}=1.17\%$  et  $P_L=2.36\%$ .

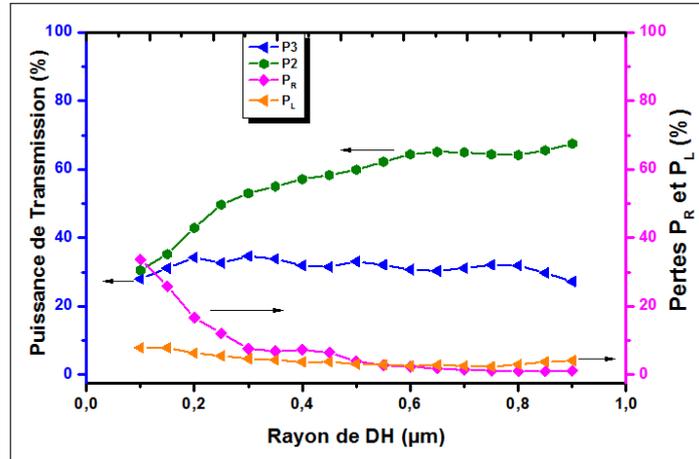


FIGURE 3.17: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de rayon ( $R_{DH}$ ) de défaut DH, avec  $L_{DH}=2.2a$  et  $X_{up}=2b$  à  $\lambda=1550\text{ nm}$ .

### 3.3.3 Résultats de simulation

La figure 3.18 représente la distribution de puissance d'un diviseur de puissance 1x2 asymétrique optimisé. Cette figure montre à désirable séparation du champ magnétique dans la zone de division.

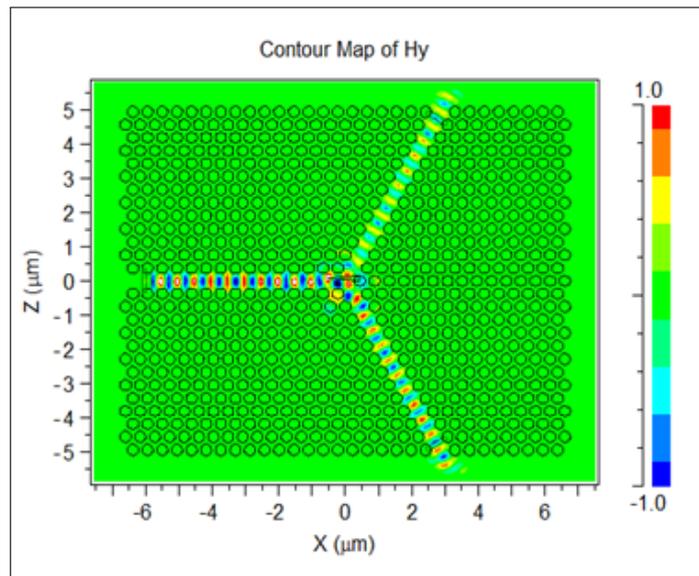


FIGURE 3.18: Distribution du champ magnétique ( $H_z$ ) dans le diviseur de puissance 1x2 modifié fonctionnant à  $\lambda=1550\text{ nm}$ .

La figure 3.19 représente l'évolution de la puissance de transmission de sortie ( $P_1$  et  $P_2$ ) et de réflexion en fonction de la longueur d'onde, produites par le diviseur de puissance 1x2 asymétrique modifié. D'après le processus d'optimisation, nous observons que le diviseur de puissance 1x2 asymétrique développée dans cette longueur d'onde, le diviseur produit une

transmission asymétrique de  $P_1=32.09\%$ ,  $P_2=64.38\%$  respectivement et une faible puissance de réflexion alentour de  $P_{ref} = 1.17\%$ .

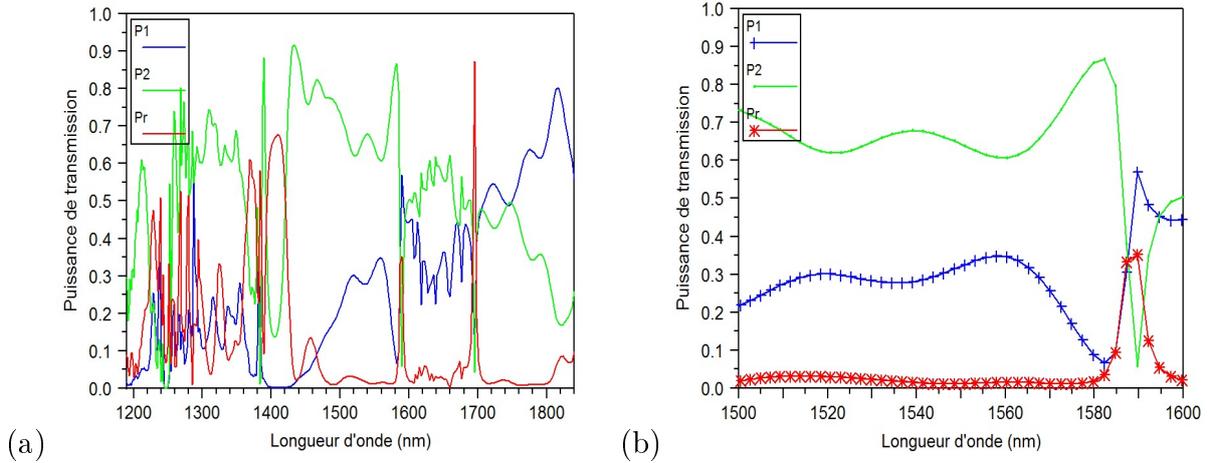


FIGURE 3.19: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x2 asymétrique.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

### 3.4 Diviseur de puissance 1x4 symétrique

#### 3.4.1 Conception d'un diviseur de puissance 1x4 symétrique

Dans cette partie de notre travail, on s'intéresse par la conception d'une nouvelle structure d'un diviseur de puissance 1x4 formé par la combinaison de deux diviseurs en 1x2 optimisés. Les propriétés de cette nouvelle structure photonique sont numériquement étudiées en utilisant la méthode des différences finies dans le domaine temporel à deux dimensions (FDTD-2D). La structure de ce diviseur est formée de cinq guides d'ondes droits connectés à  $120^\circ$  dans des trous triangulaires comme il montre la figure 3.20. Les paramètres principaux de ce diviseur sont la période ( $\lambda = 440$  nm) et ( $r=165$  nm) qui présente le rayon. La figure (3.20) indique la position d'excitation d'entrée (input), les emplacements de mesure de la puissance transmission de sortie pour les branches de sortie supérieures (P3), (P1), et les branches de sortie inférieures (P2), (P4).

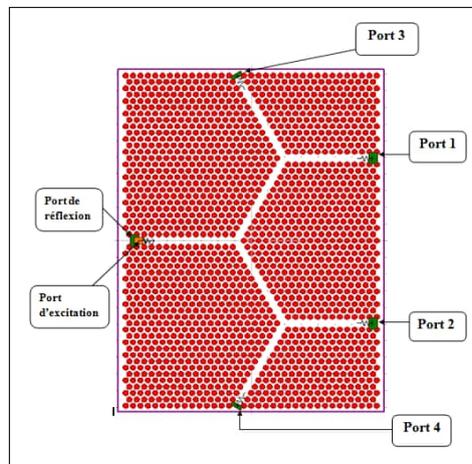


FIGURE 3.20: Structure de diviseur de puissance 1x4 proposé à base des cristaux photoniques de forme  $120^\circ$ .

### • Diviseur de puissance 1x4 conventionnel

#### A) Propagation de l'onde EM dans le diviseur de puissance 1x2 conventionnel

Dans l'ordre de déterminer la puissance de transmission dans les quatre sorties de diviseur de puissance 1x4 conventionnel à base des cristaux photoniques, nous allons utiliser la méthode FDTD. La figure 3.21 représente la distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) du signal excité dans le diviseur 1x4 de puissance conventionnel à une longueur d'onde  $1.55 \mu\text{m}$ . Cette figure montre clairement que l'onde EM est bien confinée dans la structure. La puissance du signal n'est pas divisée en égalité entre les quatre ports de sortie de diviseur 1x4. Cette figure montre bien que la majorité de la puissance de l'onde EM se propage vers les ports (1) et (2), est divisée en quatre parties dans la région de répartition.

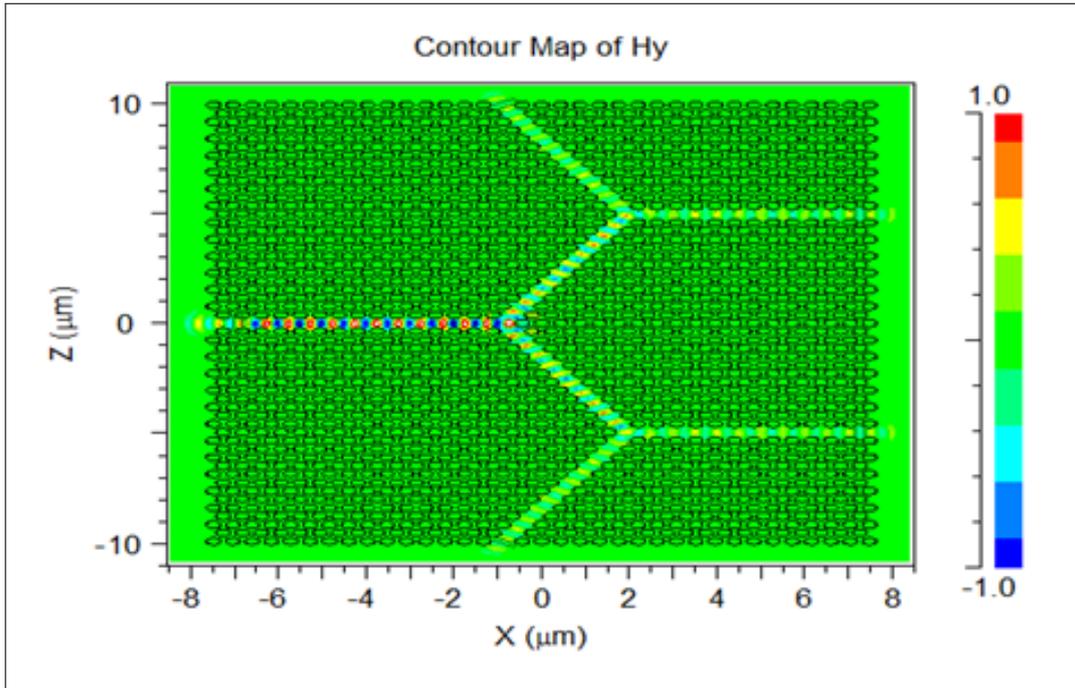


FIGURE 3.21: Distribution du champ magnétique( $H_y$ )dans le diviseur 1x4 de puissance conventionnel à  $1.55 \mu\text{m}$ .

#### B) Puissances de transmission et de réflexion

L'évolution des quatre puissances de transmission en sortie de diviseur 1x4 et la puissance de réflexion en fonction de la longueur d'onde est illustrée sur la figure 3.22. D'après cette figure, nous remarquons que l'amplitude des quatre puissances ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  et  $P_4$ ) de transmission mesurée en sortie des ports de diviseur de puissance est alentour de 7.87% pour la longueur d'onde de  $1.55 \mu\text{m}$ . Donc, la puissance totale normalisée de transmission est de  $P_{Tot} = 31.48\%$ . De plus, ce diviseur conventionnel a produit des pertes dues aux puissances de réflexion et de dispersion, alentour de 57.96% et de  $P_{TL} = 10.56\%$ , respectivement. D'après ces résultats, nous observons que le diviseur de puissance produit une très faible répartition du signal et des pertes de réflexion et de dispersion très élevées.

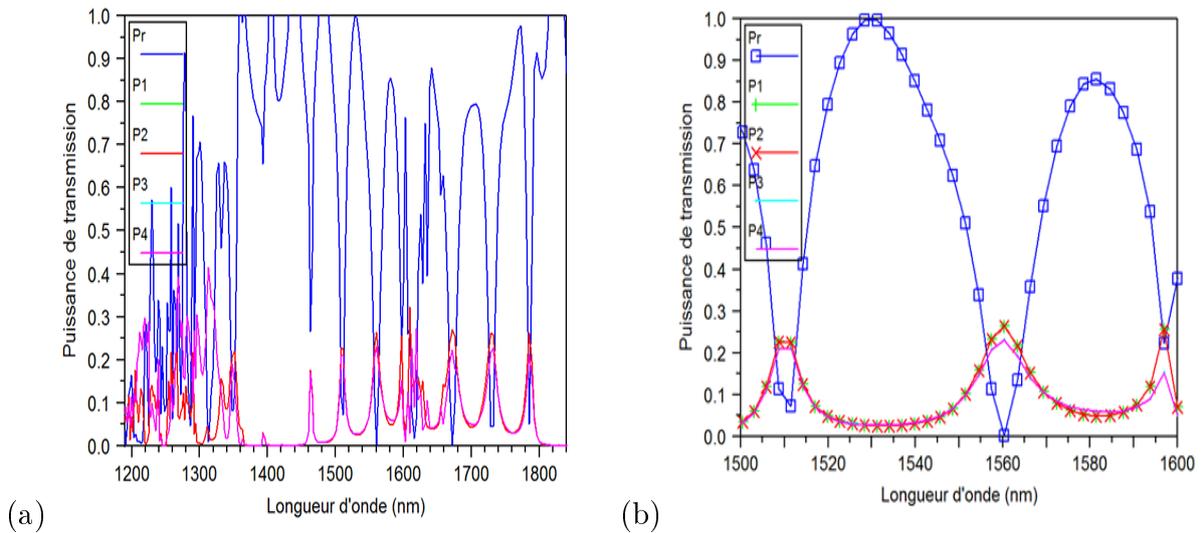


FIGURE 3.22: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d’onde du diviseur 1x4 conventionnel.(a) gamme de longueur d’onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d’onde de 1500 à 1600 nm.

• **Diviseur de puissance 1x4 modifié**

La figure 3.23 montre un diviseur de puissance 1x4 modifié composé par une combinaison de diviseur 1x2 optimisé avec un défaut structural « droup-houle (DH) » inséré dans chaque région de division. Le premier DH est le même DH optimisé de la structure précédente (diviseur de puissance 1x2), par contre, la position de deuxième et troisième DH est optimisée.

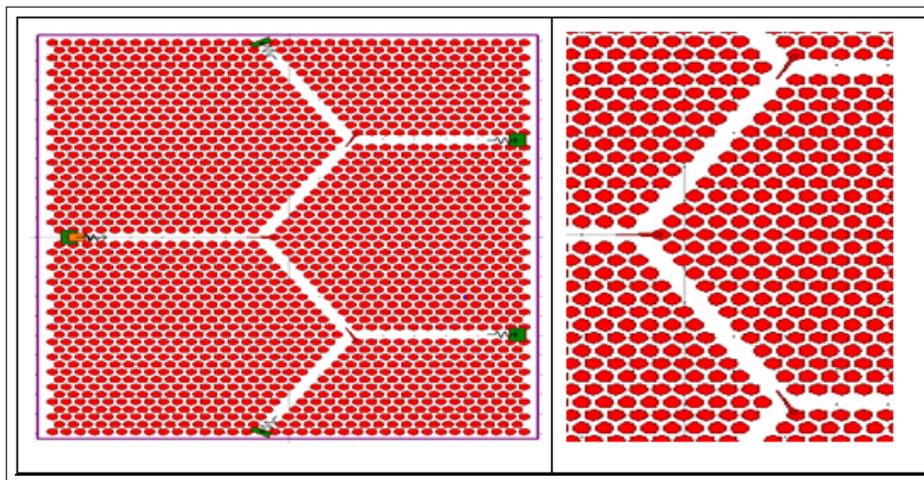


FIGURE 3.23: Représentation schématique du diviseur de puissance modifié avec DH1, DH2 et DH3 dans la zone de la jonction.

**A) Effet de l’angle de flexion  $\theta$  de DH**

Dans cette partie, nous allons optimiser l’angle de flexion des deux défauts structuraux (DH2 et DH3) dans l’ordre d’améliorer la transmission et de réduire la réflexion et la dispersion. Pour cela, nous fixons les dimensions du rayon et de la longueur optimisés de deux DH2 et DH3 à  $R=0.75.r$  et  $L= 2.\lambda$  en changeant l’angle de flexion de ces deux défauts DH entre  $50^\circ$  et  $65^\circ$  pour voir leurs effets sur les puissances de transmission et de réflexion. La figure 3.24 représente l’évolution des puissances de transmission de sortie (P1, P2, P3 et P4) en fonction de l’angle de flexion de deux défauts DH, fournies par le diviseur de puissance 1x4 modifié. Les résultats

obtenus montrent que la symétrie (égalité) des quatre puissances de sortie est obtenue pour un angle de flexion de deux DH de  $\theta = \pm 54.5^\circ$ . Une nette croissance dans l'amplitude des quatre puissances de transmission rapport à celles produites par le diviseur conventionnel est obtenue également (24.07% pour chaque branche à  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ ). Notons que les puissances de réflexion et de dispersion mesurées sont alentour de 0.92% et 2,8 %, respectivement (voir la figure 3.25).

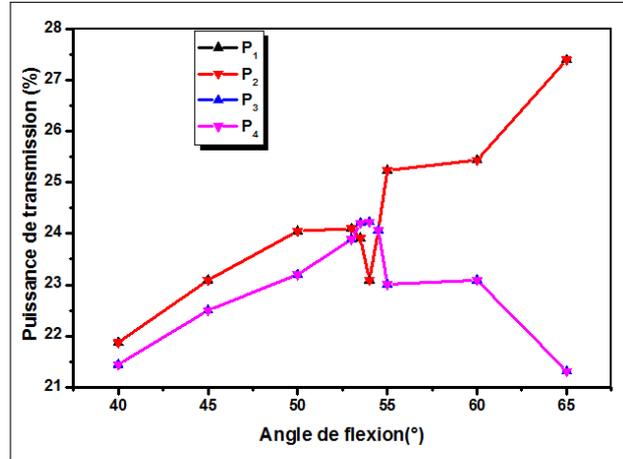


FIGURE 3.24: Variation des puissances de réflexion et de dispersion provoquées par le diviseur 1x4 en fonction de l'angle de flexion de deux DH pour  $R = 0.099.r$  et  $L = 2.\lambda$ .

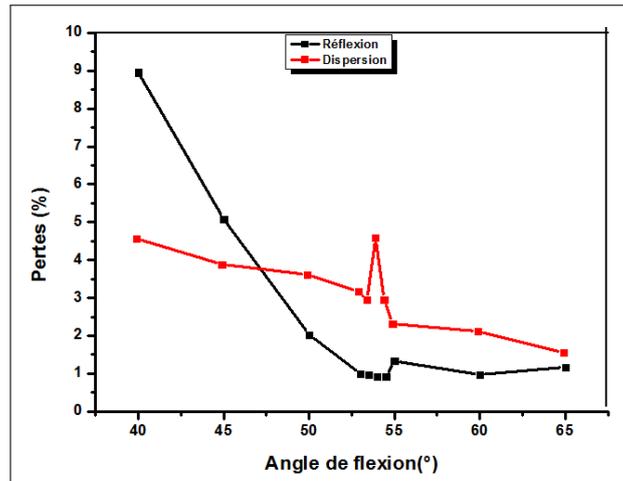


FIGURE 3.25: Variation des puissances de transmission produites par le diviseur 1x4 en fonction de l'angle de flexion de deux DH pour  $R = 0.099.r$  et  $L = 2.\lambda$ .

### B) Propagation de l'onde EM dans le diviseur de puissance 1x4 modifié

Dans l'ordre de déterminer les puissances de transmission dans les quatre ports de sortie de diviseur de puissance 1x4 proposé à base des cristaux photoniques, nous allons utiliser la méthode FDTD. La figure 3.26 représente la distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) du signal excité dans le diviseur 1x4 de puissance proposé à une longueur d'onde  $1.55 \mu\text{m}$ . Cette figure montre clairement que l'onde EM est bien confinée dans la structure conçue. La puissance du signal est divisée en quatre parties en égalité dans la région de répartition

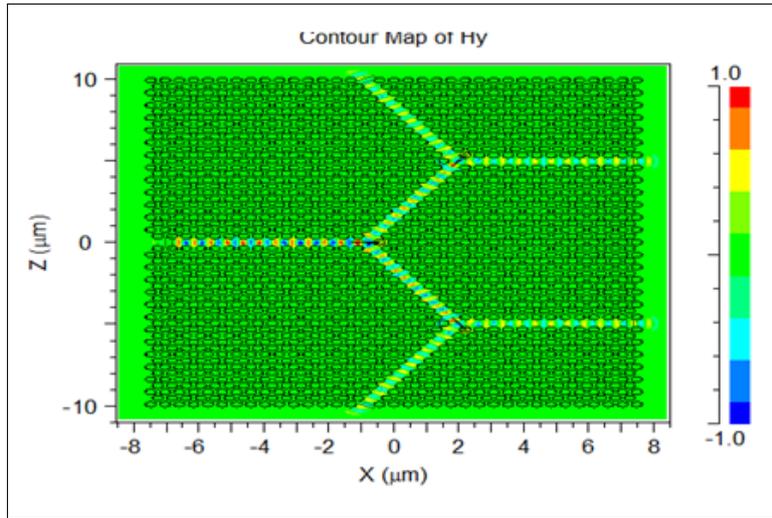


FIGURE 3.26: Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur de puissance 1x4 proposé a  $1.55 \mu\text{m}$ .

### C) Puissances de transmission et de réflexion

L'évolution des puissances de transmission en sortie de diviseur 1x4 proposé et la puissance de réflexion en fonction de la longueur d'onde est illustrée sur la figure 3.27. D'après cette figure, nous remarquons que les quatre puissances de transmission en sortie du diviseur de puissance à une longueur d'onde de  $1.55 \mu\text{m}$  sont estimées de 24.07% pour les quatre ports. Donc, la puissance totale normalisée de transmission est  $P_{Tot} = P_1 + P_3 + P_2 + P_4 = 96.28\%$ . De plus, le diviseur proposé a produit des pertes dues aux puissances de réflexion et de dispersion, alentour de 0.92% et de  $P_{TL} = 100 - P_{Tot} - P_r = 2.8\%$ , respectivement. Nous constatons également que le diviseur ne fonctionne pas seulement dans une seule longueur d'onde (1550 nm) pour les mêmes puissances de transmission désirées. Il est opérationnel aussi dans la gamme des longueurs d'onde de 1547 nm à 1558 nm avec les mêmes performances.

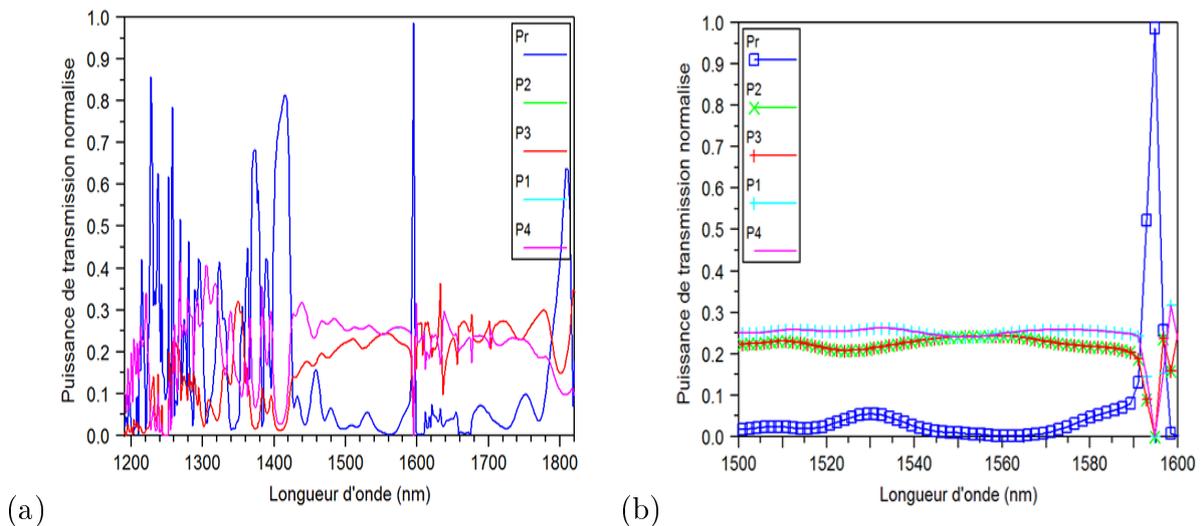


FIGURE 3.27: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x4 proposé. (a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

### 3.4.2 Comparaison

Dans cette partie, nous réalisons une comparaison entre les performances du diviseur 1x4 modifié avec celles du diviseur 1x4 conventionnel (voir le tableau 3.3).

Tableau 3.3: Comparaison entre les performances de la structure modifiée avec celles de la structure traditionnelle.

Paramètre	Diviseur 1x4 conventionnel	Diviseur 1x4 modifié
Configuration	Trous d'air en réseau triangulaire sont gravés dans une matrice diélectrique (silicium)	Trous d'air en réseau triangulaire sont gravés dans une matrice diélectrique (silicium)
Puissance transmise	31.48 %	96.28 %
Division égales	Chaque branche a atteint 7.87% de la puissance d'entrée	Chaque branche a atteint 24.07% de la puissance d'entrée
Dimension du diviseur	23.32 x 15.84 $\mu\text{m}$	23.32 x 15.84 $\mu\text{m}$
Spectre	Pic à 1550 nm	Large : 11 nm

Ce tableau illustre que les résultats de simulations obtenus de la structure proposé dans notre travail sont meilleur que les résultats conventionnel et ce caractérisent par une transmission élevée et très faible pertes.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé et conçu des diviseurs de puissance 1x2 et 1x4 basés sur les cristaux photoniques bidimensionnels en utilisant la méthode FDTD-2D. Premièrement nous avons étudié la bande interdite de la structure globale à cristaux photoniques. Ensuite, nous proposé en modification à la structure des réseaux dans laquelle un DH été introduit à la jonction. Après l'optimisation nous a permis d'améliorer la qualité de transmission et avoir une puissance équitable à la sortie de ce diviseur et diminuer la quantité des pertes. À 1550 nm de longueur d'onde le diviseur 1x2 symétrique a atteint une puissance de transmission totale de 96.64% avec des pertes de 0.17%, tandis que le diviseur de puissance asymétrique 1x2 a une distribution de puissance inégal de 32.09% et 64.38% pour chaque branche respectivement.

Enfin, les diviseurs 1x2 symétrique et asymétrique sont montrés pour former un diviseur de puissance 1x4 avec une distribution de puissance de sortie égale à 24.07% pour chaque branche.

---

---

## CHAPITRE IV

---

OPTIMISATION DES  
PERFORMANCES D'UN DIVISEUR  
DE PUISSANCE 1X3

# Optimisation des performances d'un diviseur de puissance 1x3

## Introduction

Les cristaux photoniques bidimensionnels permettent de réaliser un grand nombre de fonctions optiques, dans l'ordre de développer l'optique intégrée. Les diviseurs de puissance ont eu une place indispensable dans les circuits utilisés dans les réseaux optiques. La structure de base d'un diviseur consiste à diviser une entrée ou on injectera le signal optique en un ensemble de sorties ou le champ sera divisé à part égale dans le cas idéal.

Nous nous intéresserons dans ce chapitre à la conception d'une jonction en Y (1x3) d'un répartiteur de puissance à base des cristaux photoniques (PhC). La répartition de la puissance égale souhaitée est obtenue en introduisant et en optimisant la région de séparation présentant des défauts structuraux flexibles. La simulation a été effectuée en utilisant la méthode FDTD en 2-D. En plus, un partage de puissance égale a également lieu à 1550 nm.

## 4.1 Conception d'un diviseur de puissance 1x3

### 4.1.1 Structure proposée et méthodologie

Nous avons une structure d'un diviseur de puissance 1x3 à base d'un cristal photonique, le diviseur est formé de quatre guides d'ondes droits connectés à  $120^\circ$  dans des trous triangulaires, les paramètres principaux de ce diviseur sont la période ( $\lambda = 440$  nm) et ( $r = 165$  nm) qui présente le rayon. La position d'excitation d'entrée (input), les emplacements de mesure de la puissance transmission de sortie pour la branche de sortie supérieure (P1), la branche de sortie inférieure (P2) et la branche de sortie au milieu (P3) sont indiqués sur la figure 4.1.

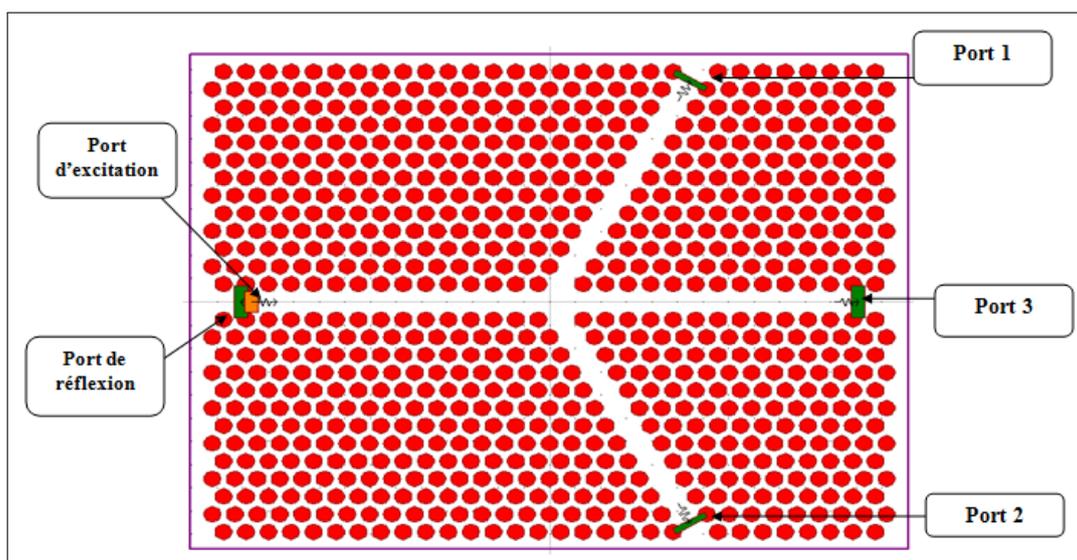


FIGURE 4.1: Schéma d'un diviseur de puissance 1x3 à base de PhC.

### 4.1.2 Paramètres de simulation

Les paramètres de simulation de la méthode de FDTD que nous allons utiliser pour la simulation de deux structures du diviseur de puissance à base des cristaux photoniques conventionnels sont regroupés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1: Paramètres de simulation de deux structures du diviseur de puissance 1x3.

Paramètres	Valeurs
Excitation	Pulsed
Time Step	0.0155
Stop Time	1500
Update Time	10*fDTD_time_step (0.09)
Grid Size inX	0.022
Grid Size inZ	0.022
Source Offset	signal Gaussienne

### 4.1.3 Résultats de simulation

La figure 4.2 représente la distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) du signal excité dans les trois branches de sortie du diviseur de puissance 1x3 à base de PhC. Cette figure montre bien que la puissance de transmission ne divise pas en égalité entre les trois branches de sortie de diviseur. Nous remarquons que la majorité de la puissance de transmission est propagée dans la branche de sortie (3) située au milieu de diviseur. Notons que les pertes de réflexion de ce type de diviseur sont minimales.

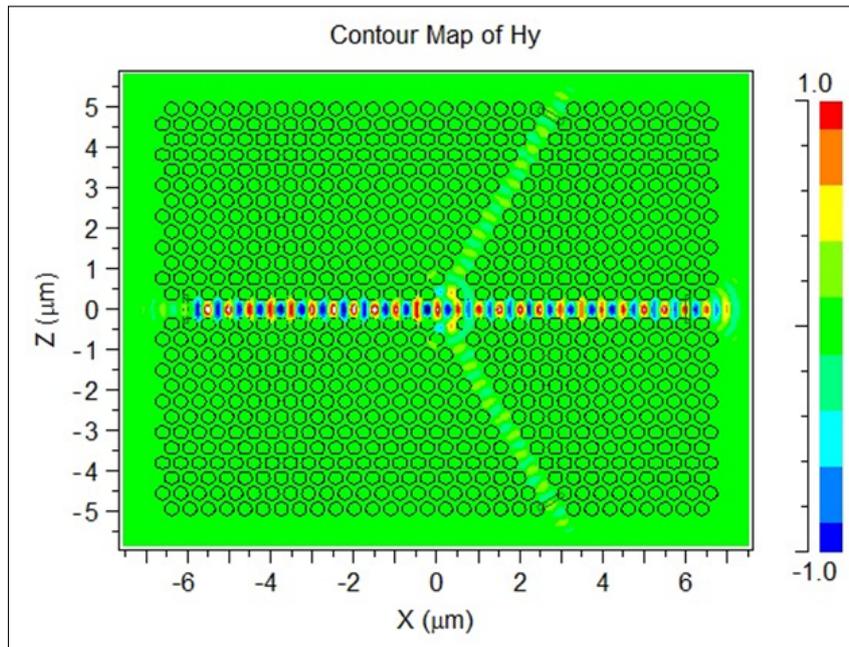


FIGURE 4.2: Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur de puissance 1x3 à base de PhC fonctionnant à 1550 nm.

La figure 4.3 présente la variation de la puissance dans les trois branches de sortie du diviseur 1x3 en fonction de la longueur d'onde. A la longueur d'onde de télécommunication (1550 nm), l'amplitude du signal de sortie dans les trois branches du diviseur sont 84.91% pour la branche (3) et 5.21% pour chacune de deux branches (1) et (2). Les pertes de réflexion sont alentour de 3.21%. Notons que les pertes dues a la transmission sont estimées à 1.46% [ $perte = 100 - (P1 + P2 + P3 + Pr)$ ]. Les résultats des différentes puissances sont regroupés dans le tableau (4.2).

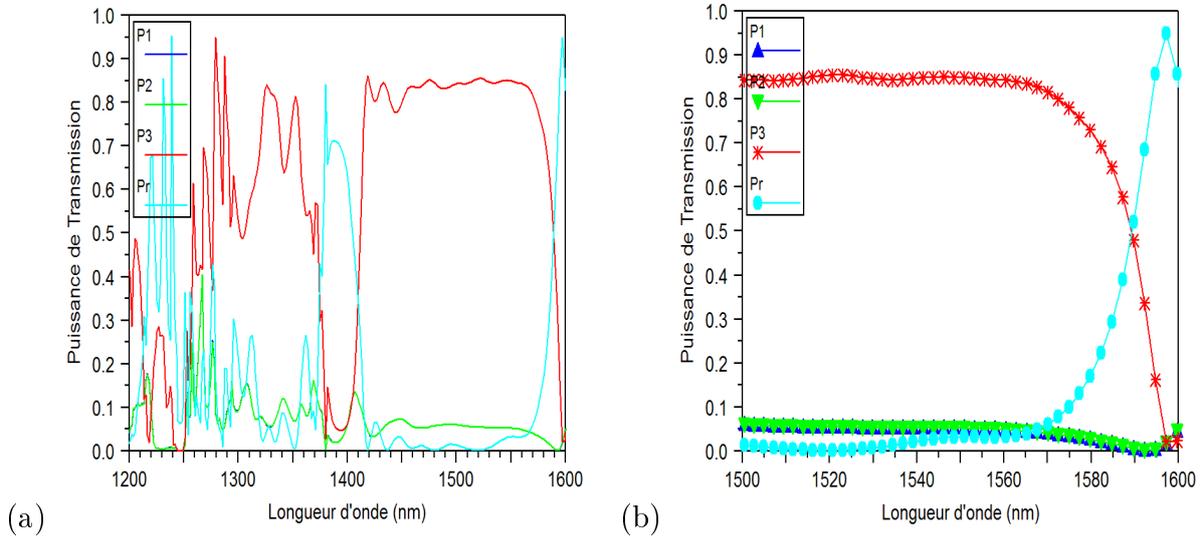


FIGURE 4.3: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x3.(a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

Tableau 4.2: Puissances de transmission et de réflexion produites par le diviseur 1x3 conventionnel.

Port de sortie	Puissance de sortie
Port (P1)	5.21%
Port (P2)	5.21%
Port (P3)	84.91%
Réflexion (PR)	3.21 %
Perte (PL)	1.46 %

## 4.2 Diviseur de puissance 1x3 PhC avec deux DH insérés dans la zone de répartition

### 4.2.1 Conception de la structure de diviseur 1x3 PhC proposé

Etant donné que les résultats de simulation du diviseur conventionnel ont montré un rapport élevé d'énergie dans la sortie (3) avec une amplitude de la puissance de sortie dans les deux branches (1) et (2) très faible. Nous devons trouver une méthode d'augmentation de la puissance de transmission dans les deux branches (1) et (2) et de réduire la puissance de signal de sortie (3), dans le but d'avoir les puissances de sortie dans les trois branches du diviseur 1x3 égales. Pour cela, nous ajoutant deux défauts comme illustrée dans la figure 4.4.

La figure 4.4 représente la structure du diviseur de puissance 1x3 modifiée avec les deux défauts d'une structure de droup-houle (DH1 et DH2) insérés dans la région de division. Dans la simulation, le défaut DH est traité comme un défaut d'air gravé dans le matériau diélectrique (Silicium). Il existe trois paramètres principaux de la structure de défaut DH avec « R » représente le rayon de DH, « L » désigne la longueur de DH par rapport au point du centre de trou, et «  $\theta$  » est l'angle de flexion de défaut structural DH.

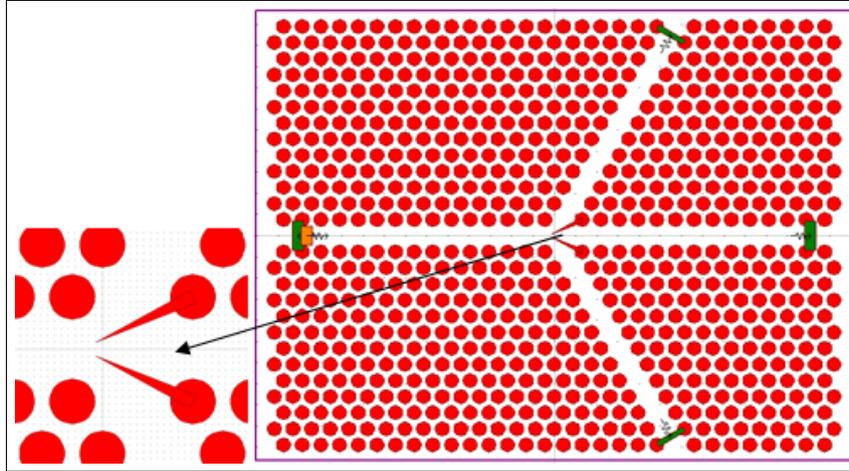


FIGURE 4.4: Représentation schématique du diviseur de puissance modifié avec DH1 et DH2 placés dans la zone de la jonction.

## 4.2.2 Optimisation des paramètres des défauts (DH)

### • Effet du rayon R de DH

Le processus d'optimisation des paramètres physiques des défauts DH sont effectués en faisant varier un paramètre tout en fixant les deux autres paramètres pour obtenir une transmission de sortie égales avec des pertes de réflexion et de radiation négligeables. D'abord nous meme chose la longueur (L) de DH à la valeur  $2.3\lambda$  et l'angle de flexion ( $\theta$ ) de DH à la valeur  $\pm 35^\circ$  et en variant le paramètre (R). Les résultats de simulation sont présentés dans la figure 4.5.

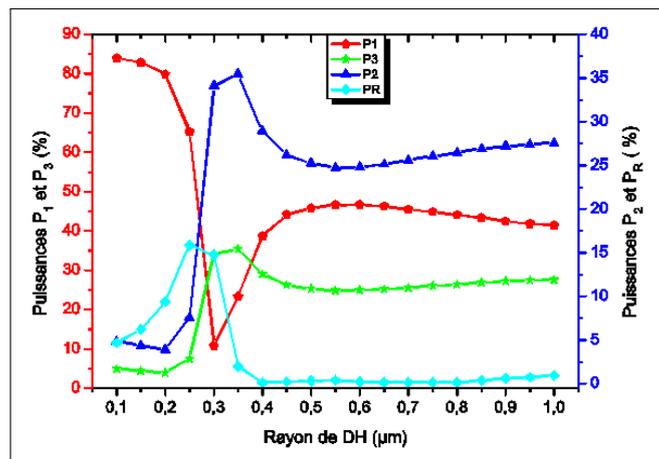


FIGURE 4.5: Évolution des puissances de transmission et de réflexion normalisées en fonction du rayon de DH avec  $L = 2.3\lambda$  et  $\theta = \pm 35^\circ$  à  $\lambda = 1550$  nm.

D'après la figure 4.5, nous constatons que l'amplitude de trois puissances de transmission de sortie normalisée est variée avec le changement du rayon de DH considéré dans la simulation entre 0.1 et 1  $\mu\text{m}$ . L'amplitude de la puissance ( $P_t$ ) maximale de 96.78% est produite pour un rayon  $R= 0.3787.r$ . Notons également que la transmission totale normalisée de sortie augmente tandis que la puissance de réflexion ( $P_r$ ) diminue jusqu'à ce que le ( $P_t$ ) maximum soit atteint. Néanmoins, les amplitudes des trois puissances de sorties ne sont pas identiques.

#### • Effet de la longueur L de DH

Dans l'ordre d'avoir les trois puissances de sortie égales, nous fixons le rayon de deux défauts DH à  $R= 0.3787.r$  et l'angle de flexion de deux défauts DH à  $\theta=\pm 35^\circ$  en changeant la longueur (L) de deux défauts DH. Les résultats de simulations obtenues sont présentés dans la figure 4.6.

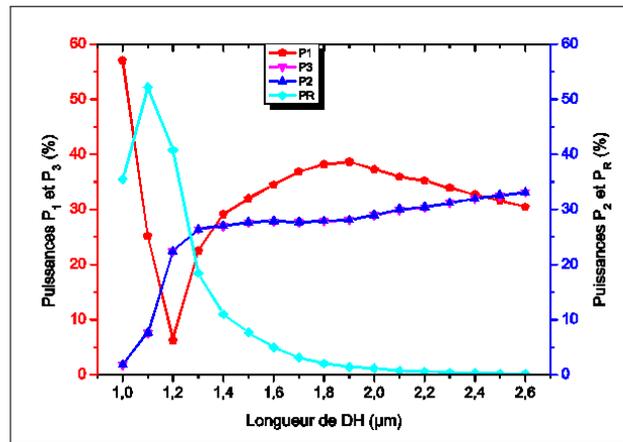


FIGURE 4.6: Evolution des puissances de transmission et de réflexion normalisées en fonction de la longueur de DH avec  $R=0.3787.r$  et  $\theta =\pm 35^\circ$  à  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ .

La figure 4.6 représente l'évolution des trois puissances de transmission de sortie et la puissance de réflexion en fonction de la longueur (L) de deux DH. Les résultats obtenus montrent un changement dans les amplitudes de trois puissances de sortie quand la longueur de deux DH varie entre 1 et 2.6  $\mu\text{m}$ . L'égalité dans l'amplitude de trois puissances de sortie dans les branches de diviseur 1x3 est obtenue pour une longueur de deux DH,  $L=2.44 \lambda$ . A cette valeur de L, nous avons obtenu une puissance de réflexion minimale.

#### • Effet de l'angle de flexion $\theta$ de DH

Dans cette section, on va optimiser l'angle de flexion des deux défauts structuraux DH. Pour cela, nous fixons les valeurs du rayon et de la longueur optimisés de DH ( $R= 0.3787.r$  et  $L= 2.44 \lambda$ ) en changeant l'angle de flexion des deux défauts DH pour voir leur effet sur les puissances de transmission et de réflexion. Nous choisissons la gamme des angles de  $\pm 25^\circ$  à  $\pm 45^\circ$  pour faire notre simulation. La position de deux défauts DH dans la zone de division pour différents angles de flexion est présentée dans la figure 4.7.

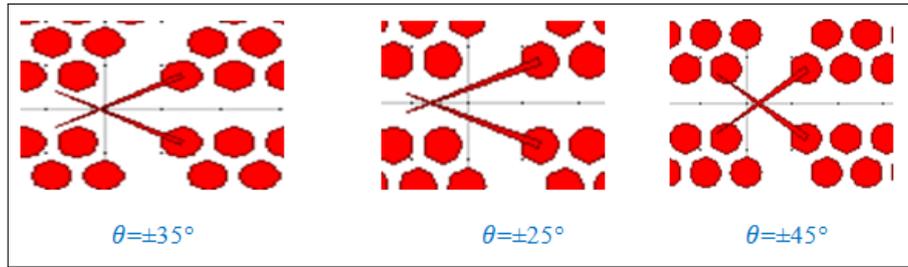


FIGURE 4.7: Position de deux défauts structuraux DH dans la zone de division pour différents angles de flexion.

La figure 4.8 représente l'évolution des puissances de transmission de sortie ( $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ ) et de réflexion en fonction de l'angle de flexion de deux défauts DH, fournies par le diviseur de puissance 1x3 modifié. Les résultats obtenus montrent un changement dans les amplitudes de trois puissances de sortie quand l'angle de flexion de deux DH varie entre  $\theta = \pm 25^\circ$  et  $\theta = \pm 45^\circ$ . L'égalité dans l'amplitude de trois puissances de sortie dans les branches de diviseur 1x3 est obtenue pour un angle de flexion  $\pm 35^\circ$  avec une puissance de réflexion minimale alentour de 0.26%. Les différents résultats de simulation obtenus pour les trois angles de flexion de deux DH à savoir :  $\theta = \pm 25^\circ$ ,  $\theta = \pm 35^\circ$ ,  $\theta = \pm 45^\circ$  sont regroupés dans le tableau (4.3).

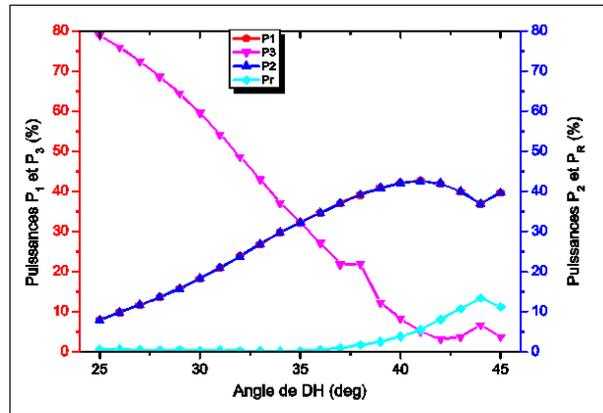


FIGURE 4.8: Variation des puissances de transmission et de réflexion produites par le diviseur 1x3 en fonction de l'angle de flexion pour  $R = 0.3787.r$  et  $L = 2.44 \lambda$ .

Tableau 4.3: Puissances de transmission et de réflexion produits par le diviseur 1x3 pour différents angles de flexion de deux défauts DH.

$\theta$	P1	P2	P3	Pr	Pt	Pertes
$\theta = \pm 35^\circ$	32.25%	32.24%	32.25%	0.26%	97%	3%
$\theta = \pm 25^\circ$	07.99%	07.99%	78.93%	0.61%	95.52%	4.84%
$\theta = \pm 45^\circ$	39.67%	39.73%	3.72%	11.20%	94.32%	5.68%

Donc, les paramètres optimaux de deux DH qui donnant la symétrie de diviseur de puissance 1x3 modifié sont :  $R = 0.3787.r$ ,  $L = 2.44\lambda$  et  $\theta = \pm 35^\circ$ .

### 4.2.3 Résultats de simulation

La distribution de l'amplitude de la composante (Z) du champ magnétique (Hz) dans le diviseur de puissance 1x3 modifié est présentée dans la figure 4.9. Cette figure montre une répartition désirée du champ magnétique dans la zone de division. La bonne adaptation de l'impédance entre les trois branches de diviseur conduite à une réduction considérable dans les pertes de la réflexion. Cette figure montre également la présence d'une fluctuation dans l'amplitude du champ magnétique (Hz). Ceci peut être expliqué par le haut confinement dans la branche proche aux trous adjacents et le faible confinement est du à l'espacement (aire) qui se trouve entre les trous qui ont formés le guide d'onde.

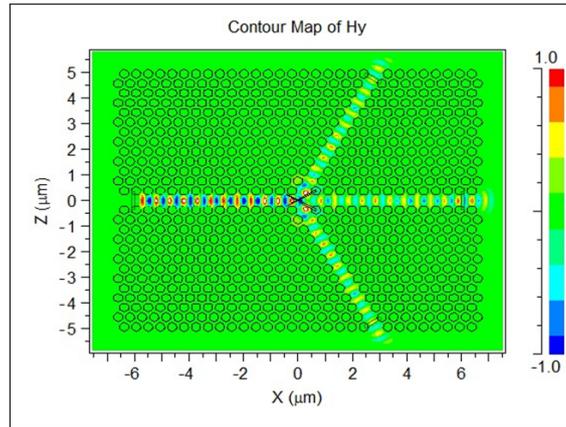


FIGURE 4.9: Distribution du champ magnétique (Hz) dans le diviseur de puissance 1x3 modifié fonctionnant à  $\lambda = 1550$  nm.

La figure 4.10 représente l'évolution des puissances de transmission de sortie (P1, P2 et P3) et de réflexion en fonction de la longueur d'onde, produites par le diviseur de puissance 1x3 modifié. D'après le processus d'optimisation, nous observons que le diviseur de puissance 1x3 développé fonctionne non seulement à la longueur d'onde de la télécommunication (troisième fenêtre) à savoir  $\lambda = 1550$  nm, mais il fonctionne également à la longueur d'onde  $\lambda = 1525$  nm. A cette longueur d'onde, le diviseur de puissance 1x3 modifié produit toujours des hautes puissances de transmission symétrique alentour de 32.25% pour chaque branche et une faible (négligeable) puissance de réflexion alentour de 0.26%. Les différents résultats sont regroupés dans le tableau (4.4).

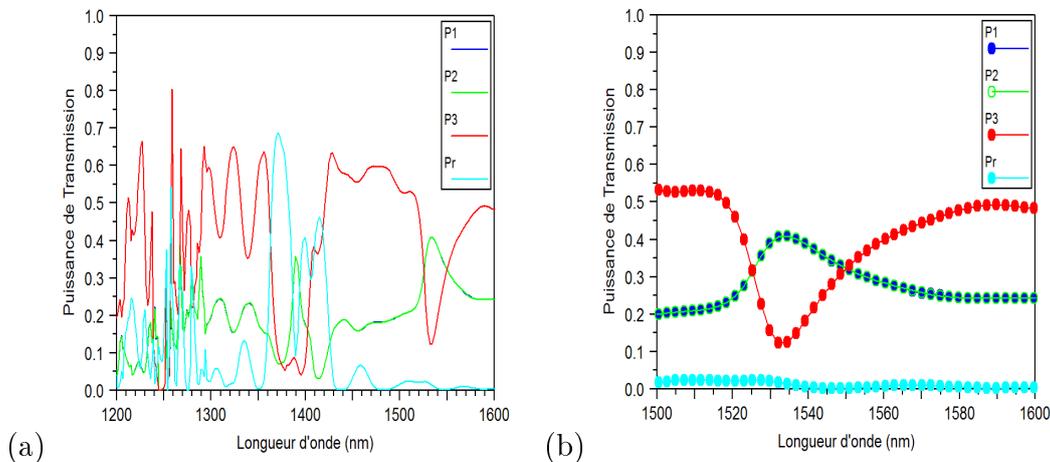


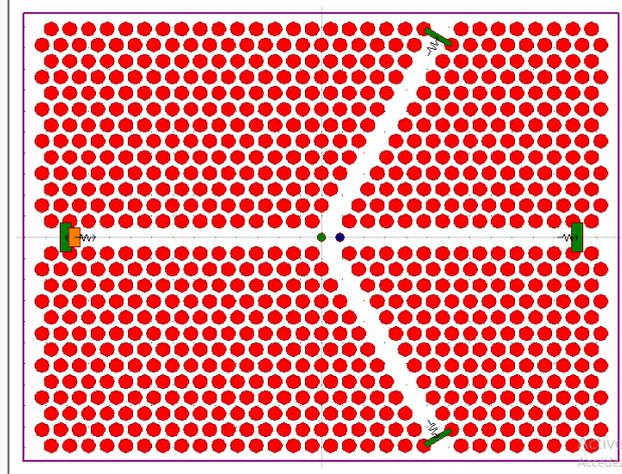
FIGURE 4.10: Évolution des puissances de transmission et de réflexion du diviseur 1x3 modifié en fonction de la longueur d'onde. (a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

Tableau 4.4: Puissances de transmission et de réflexion produits par le diviseur 1x3 modifié.

Port de sortie	Puissance de sortie
Port (P1)	32.25%
Port (P2)	32.24 %
Port (P3)	32.25%
Réflexion (PR)	0.26 %
Perte (PL)	3%

### 4.3 Diviseur de puissance 1x3 avec deux trous insérés dans la zone de répartition

Sur la base des résultats de simulation obtenus par la méthode FDTD du diviseur 1x3 conventionnel étudié dans la section précédente, nous proposons dans cette section une nouvelle structure dans le but de trouver de meilleurs résultats en termes de puissances de transmission et de dispersion. La figure 4.11 représente la structure du diviseur de puissance 1x3 modifiée avec les deux trous insérés dans la région de division.

FIGURE 4.11: Structure de diviseur de puissance 1x3 proposé à base des cristaux photoniques de forme  $120^\circ$ .

#### 4.3.1 Optimisation des dimensions des trous insérés

##### A) Optimisation du rayon de premier trou (bleu)

Dans l'ordre d'améliorer la puissance de transmission et de réduire les phénomènes de réflexion et de dispersion, nous allons commencer par l'optimisation du rayon de premier trou en couleur bleu placé dans la zone de répartition. Pour cela, nous changeons dans un premier temps le rayon de trou  $R_1$  entre  $20 \text{ nm}$  et  $160 \text{ nm}$  pour voir leur effet sur les puissances de transmission, réflexion et de dispersion en fixons le rayon du seconde trou  $R_2$  en couleur vert à

$R_2=100\text{ nm}$ . Les résultats de simulation de la structure modifiée du diviseur de puissance 1x3 sont illustrés dans la figure 4.12.

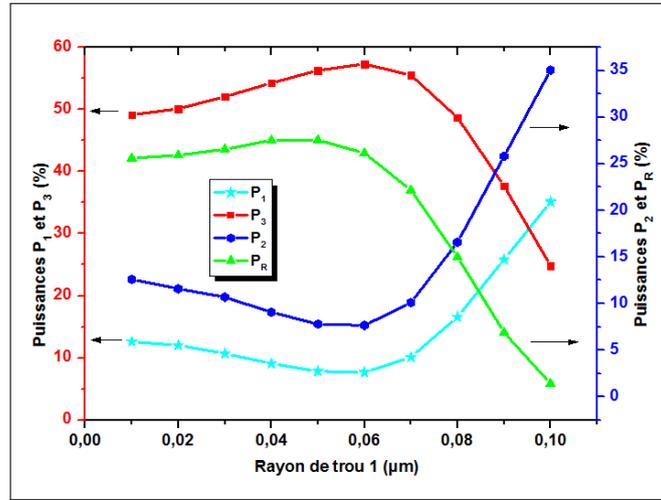


FIGURE 4.12: Evolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction du rayon de premier trou  $R_1$  avec  $R_2=100\text{ nm}$  à  $\lambda=1550\text{ nm}$ .

La figure 4.12 présente l'évolution de la puissance de transmission et les pertes dues à la réflexion et à la dispersion produites par le diviseur 1x3 modifié, en fonction de rayon du trou  $R_1$ . D'après cette figure, nous remarquons que la puissance optimale transmise sur les trois canaux est d'environ de 30.71%, obtenue pour un rayon de  $R_1=95.4\text{ nm}$ . Tandis que, la réflexion minimale est obtenue alentour de 4.06%. Notons que cette puissance de réflexion est très faible par rapport à la puissance transmise par le diviseur 1x3.

**B) Optimisation du rayon de deuxième trou (vert)**

Après avoir optimisé les dimensions du premier trou en couleur bleu, nous passons maintenant à l'optimisation des dimensions du deuxième trou en couleur vert dans l'ordre d'améliorer davantage les puissances de transmission dans les trois canaux de sortie et d'avoir ces trois puissances de sortie égales. Pour cela, nous fixons le rayon du premier trou à  $95.4\text{ nm}$  et ensuite nous changeons le rayon du deuxième trou. Les résultats de simulations obtenus sont présentés dans la figure 4.13.

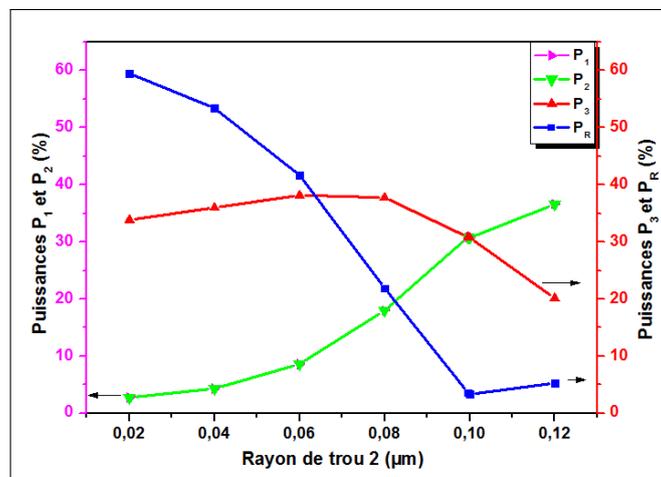


FIGURE 4.13: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction du rayon de premier trou  $R_1$  avec  $R_2=100\text{ nm}$  à  $\lambda=1550\text{ nm}$ .

### 4.3.2 Propagation de l'onde EM dans le diviseur proposé

La figure 4.14 représente la distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) du signal excité dans le diviseur 1x3 proposé à une longueur d'onde  $1.55 \mu\text{m}$ . Cette figure montre clairement que l'onde EM est bien confinée dans la structure. La puissance du signal est divisée en égalité entre les trois ports de sortie de diviseur 1x3.

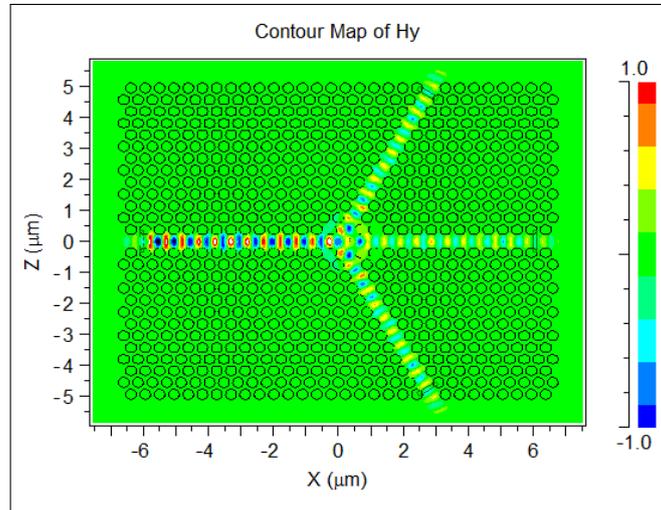


FIGURE 4.14: Distribution du champ magnétique ( $H_y$ ) dans le diviseur 1x3 de puissance modifié  $1.55 \mu\text{m}$ .

### 4.3.3 Puissances de transmission et réflexion

L'évolution des puissances de transmission en sortie de diviseur 1x3 proposé et la puissance de réflexion en fonction de la longueur d'onde est illustrée sur la figure 4.15.

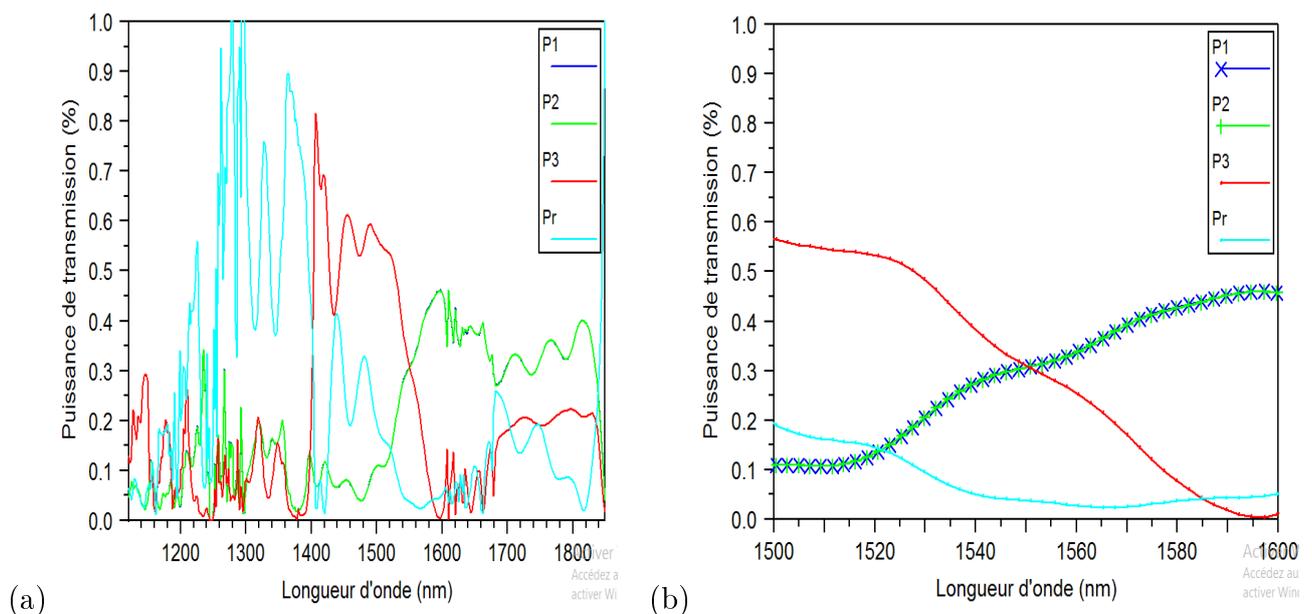


FIGURE 4.15: Évolution de la puissance de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde du diviseur 1x3. (a) gamme de longueur d'onde de 1200 à 1800 nm. (b) gamme de longueur d'onde de 1500 à 1600 nm.

D'après cette figure, nous remarquons que les trois puissances de transmission en sortie du diviseur de puissance à la longueur d'onde de  $1550 \text{ nm}$  sont estimées alentour de  $30.92\%$  pour les trois ports de sortie, respectivement. Donc, la puissance totale normalisée de transmission est  $P_{Tot} = P_1 + P_2 + P_3 = 92.70\%$ . De plus, le diviseur proposé a produit des pertes dues aux puissances de réflexion et de dispersion, alentour de  $3.52\%$  et de  $P_{TL} = 100 - P_{Tot-P_r} = 3.72\%$ , respectivement.

## 4.4 Comparaison

Dans cette partie, une comparaison entre les performances de deux diviseurs de puissance 1x3 conventionnel et modifié est présentée dans le tableau (4.5).

Tableau 4.5: Comparaison entre les deux diviseurs de puissance 1x3 à base de PhC bidimensionnel, conventionnel et modifié.

Paramètre	Diviseur 1x3 conventionnel	Diviseur 1x3 modifié avec DH	Diviseur 1x3 avec des trous insérés
Configuration	Trous d'air sont percés dans une matrice diélectrique (silicium)	Trous d'air percés dans une matrice diélectrique (silicium)	Trous d'air percés dans une matrice diélectrique (silicium)
Puissance transmise	95.33 %	96.74%	95.33%
Division égales	Inégale 5.21%5.21% 84.91%	Egales pour chaque branche : 32.25%	Egales pour chaque branche : 30.90%
Dimension du diviseur	11.6x13 $\mu\text{m}$	11.6x13 $\mu\text{m}$	11.6x13 $\mu\text{m}$

D'après ce tableau, on remarque que les résultats de simulation obtenus dans notre travail dans les deux méthodes très satisfaisants dans l'ordre à énergie égale dans toutes les sorties de diviseur. Mais on peut dire que la méthode de 2-DH est la meilleure pour le plus grande énergie obtenue.

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudiée un diviseur de puissance 1x3 à base des cristaux photoniques en utilisant de la méthode FDTD. Dans cette étude, la nouveau de diviseur 1x3 a été développé en modifiant la structure des réseaux dans laquelle les deux DH ont été introduits à la jonction. Après avoir optimisé de la structure et en ce basant sur les résultats trouvés la structure est divisée la puissance des ondes électromagnétique de manière souhaitable, c'est-à-dire en égalité (32.25% pour chaque branche) avec une perte de réflexion très négligeable de  $0.26\%$ , à une longueur d'onde de fonctionnement de  $1550\text{nm}$ . Ensuite, nous proposons une deuxième structure modifiée avec les deux trous insérées dans la région de division avec une distribution de puissance de sortie égale avec  $30.92\%$  pour chaque branche. Donc, les deux structures ou les deux ont donné un résultat très satisfaisant, mais on peut dire que la méthode de DH est la plus meilleure.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

# Conclusion générale

Ce mémoire met en relief l'intérêt de l'utilisation des cristaux photoniques pour l'optique guidé. Ces matériaux permettent de réaliser un grand nombre des différentes fonctions optiques, telles que : les diviseurs de puissance optiques, les filtres optiques, les coupleurs et les multi/démultiplexeurs en longueurs d'ondes... etc. Dans le domaine de télécommunication optique, les diviseurs de puissances ont eu une place indispensable dans le circuit utilisé dans les réseaux optiques. La structure de base d'un diviseur de puissance consiste à diviser une entrée ou on injectera le signal optique en un ensemble de sorties ou le champ sera divisé à part égale dans le cas idéal.

Le but de notre travail était à la conception des diviseurs de puissance 1x2, 1x3 et 1x4 en forme Y avec un angle de  $120^\circ$  à base des cristaux photoniques dans l'ordre d'améliorer la puissance de transmission et de réduire les pertes dues à la réflexion et à la dispersion ayant un signal équitable sur les différents de sortie du diviseur conçu.

L'utilisation de la méthode des ondes planes (PWE) nous a permis d'optimiser les dimensions physiques de réseaux triangulaires de CP à savoir le rayon ( $r$ ) et la période ( $a$ ) dans l'ordre d'avoir une bande interdite photonique (BIP) large et la longueur d'onde de télécommunication (1550 nm) située au centre de cette bande photonique. Comme résultat, la bande interdite photonique optimisée est étendue sur une large gamme des longueurs d'ondes de 1194 nm à 1876 nm.

Pour assurer les meilleures performances d'un diviseur de puissance à base des cristaux photoniques en termes de transmission et de pertes, une nouvelle structure est proposée en utilisant plusieurs méthodes comme l'ajout, la suppression, l'élargissement d'un trou ou bien de placer ce trou à des positions bien particulières. Dans notre travail, nous avons conçu des structures des diviseurs de puissance 1x2 symétrique et asymétrique, 1x3 et 1x4 en forme Y en ajoutant d'un ou plusieurs défauts structuraux (DH par exemple) dans la zone de répartition de diviseur de puissance conçu. La simulation des différentes structures conçues sont réalisées par la méthode des éléments finis en domaines temporels (FDTD) en 2D. Les résultats obtenus ont montré une forte amélioration des puissances de transmission mesurées dans les ports de sortie des diviseurs de puissance conçus avec l'insertion du défaut structurel (DH) dans la zone de répartition. De plus, une forte réduction dans les pertes dues à la réflexion et à la dispersion a été obtenue.

Après avoir optimisé les paramètres physiques des défauts structuraux (DH) insérés dans la zone de répartition des diviseurs de puissance comme le rayon ( $R$ ), la longueur ( $L$ ) et l'angle de flexion ( $\theta$ ), nous avons obtenu les résultats de simulation suivants :

- Le diviseur de puissance 1x2 symétrique conçu avec un défaut structural (DH) placé dans l'axe de diviseur (angle de flexion est de  $0^\circ$ ) est caractérisé par une puissance de transmission totales élève à 96.64% (48.32% pour chaque branche) et une faible perte de réflexion alentour de 0.17% à la longueur d'onde de 1550 nm.

- Le diviseur 1x2 asymétrique conçu avec un DH en déplacement vers le haut dans la zone de répartition est caractérisé par une puissance de transmission totales élève à 96.47% ( $P_1=32.09\%$  et  $P_2=64.38\%$ ) et une faible perte de réflexion de 1.17% à la longueur d'onde de 1550 nm.

- Le diviseur de puissance 1x3 symétrique conçu avec de deux défauts structuraux (2 DH) placés dans la zone de répartition avec des angles de flexion de  $\pm 35^\circ$  est caractérisé par une puissance de transmission totale de 96.75% (32.25% pour chaque branche) et une très faible

perte de réflexion estimée alentour de 0.26% à la longueur d'onde de 1550 nm.

- Le diviseur de puissance 1x3 symétrique conçu à base des deux points placés dans les zones de répartition, est caractérisé par une puissance de transmission totale élevée à 92.76% (30.92% pour chaque branche) et une faible réflexion évaluée d'environ de 3.72%.

- Le diviseur de puissance 1x4 symétrique conçu à base d'un diviseur de puissance 1x2 symétrique et avec deux autres défauts structuraux placés dans les zones de répartition avec des angles de flexion de  $\pm 54.5^\circ$  est caractérisé par une puissance de transmission totale élevée à 96.28% (24.07% pour chaque branche) et une très faible perte de réflexion évaluée d'environ de 0.9% à la longueur d'onde de 1550 nm.

Pour améliorer ce travail, nous proposons les perspectives suivantes :

- ★ La fabrication des différentes structures des diviseurs de puissance conçus dans notre travail.

- ★ La mesure des puissances de transmission et de réflexion des prototypes des diviseurs fabriqués.

- ★ La conception et le développement des nouvelles structures à base des cristaux photoniques comme les démultiplexeurs en longueurs d'ondes (DWM), les filtres optiques, les coupleurs... etc.

---

# BIBLIOGRAPHIE

---

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] **F. Banaïssa** , “ Etude et Simulation de la propagation des ondes Electromagnétiques dans les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres Optiques “, Mémoire Magister, Université ABOU-Bakr BELKAID Tlemcen,2013.
- [2] **M. FILALI** , “ Etude et Conception d’un démultiplexeur 8 canaux à cristaux photoniques bidimensionnels“, Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf- M’Sila, 2018.
- [3] **M-E-F. Hathat, M. Boulesbaa et S. Gamouh**, ”Design of New Y Splitter based on Photonic Crystal for Optical Communication”, The first IEEE international conference on communications, control systems and signal processing (CCSSP 2020), 16-17 March El Oued, Algeria.
- [4] **A. Seri**, "Propriété optique des cristaux photoniques unidimensionnels périodiques", Master, université ABDlhamide Ben Badis-Mostaganem, 2018.
- [5] **B. Bouhassoun et A. Kadouci**, “Etude et Simulation Numerique des Composants Photonique Uni-dimensionnels “, Mémoire Master, Université Aboubaker Belkaid-Tlemcen, 2018.
- [6] **M. Yannick**, “Etude de la dispersion électrique dans les matériaux périodique diélectrique bidimensionnelles “, Thèse Doctorat, Université de Limoges, Novembre 2003.
- [7] **S. Brahim et H. Hamoudi**, “Conception de dimension de faisceau à base de cristaux photoniques bidimensionnelle“, Master Université de M’sila, 2017.
- [8] **H. ABRI BADAOU**, “Etude et conception des Microcomposant à base des cristaux photonique bidimensionnelles “, Thèse Doctora, Université de Tlemcen, Décembre 2012.
- [9] **A. Kahlouche**,“Etude des potentialités de couches minces sol-gel dopées par des nanoparticules magnétiques pour la conception des cristaux magnéto-photoniques “, Thèse doctorat, Université de M’sila,2014.
- [10] **A. BENMERKHI**, “Influence des paramètres géométriques sur la cavité à cristaux photoniques bidimensionnels“, Mémoire Magister, Université MENTOURI- Constantine, 2008.
- [11] **L. BOUKERZAZA**,“ Influence des parametre physiques sur la bande interdite photonique d’un cristal photonique bidimensionnel à réseau hexagonal“, Mémoire Magister, Université MENTOURI –canstantine, 2007/2008.
- [12] **Dephine**,“ Etude en champ proche optique de gyudes à cristaux photoniques sur OSI“, Thèse de Doctorat, L’institut nasional des sciences appliquées de Lyon, Novembre 2006.
- [13] **K.M.HO, C.T.Chan, and C.M.Sou Koulis** “Existence of photonic gap in periodic dielectric structures“, Physical Review letters,1990.

- 
- [14] **R. Bendjeloul**, “Etude et caractérisation de circuits photoniques à base de cristaux photoniques de micro piliers : Application aux filtres à base de résonateurs”, Thèse Doctorat, Université Des Frères Mentouri – Constantine, 2017.
- [15] **S. BERRICHI** et **I. BENYOUB**, “ Etude et conception d’un filtre en Anneau pour les systèmes très hauts débits “, Master, Université Aboubakr belkaid- Tlemcen, 2019.
- [16] **Y. Benachour**, “ Optimisation de cristal photonique pour l’optique non linéaire“, Université de paris sud, 11 avril 2008.
- [17] **S. ARAFA**, “Etude des composants à base des cristaux photoniques : applications dans le domaine du démultiplexage et de la détection“, Thèse Doctorat, Université Frères mentouri-Constantine, 2018.
- [18] **D.NEEL**, “ Etude en champ proche optique de guides à cristaux photoniques sur OSI“, Thèse de Doctorat, L’institut nasional des sciences appliquées de Lyon, Novembre 2006.
- [19] **F. Bougriou**, “Etude Des Guide D’ondes A Cristaux Photoniques Bidimensionnels“, Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [20] **KH. Bendemagh**, “Etude de dimensionnement d’un coupleur à base de cristaux photoniques destiné aux systèmes de communications“, Thèse doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2019.
- [21] **C.Manolotou, M.J.Khan, Shanhui Fan, Pierre R. Villeneuve, H.A. Hauss**, Life fellow IEEE, J.D. Joannopolous, IEEE Journal Of quantum electronics, vol.35, 10 octobre 1999.
- [22] **H.BING**, “ Etude des composants nanophotoniques pour les interconnexions optiques sur silicium“, Thèse doxtorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, 2008.
- [23] **T. FUKAZAWA, A.SAKAI** et **T. BABA**, “ H-tree-type optical clock signal distribution circuit using a Si photonic wire waveguide“, Japanese journal of applied physics, Vol. 41, $n^{\circ}12S$ , pp. L1461-L1463,2002.
- [24] **L.B.Soldano** et **E.C.Penning**, “ Optical multi-mode interdrence devices based on self-imaging : principles and applications“, Journal of lightwave technology, Vol. 13,  $n^{\circ}4$ , pp 615-127, 1995.
- [25] **S. Brahim,H. Hamoudi**, “Conception de dimension de faisceau à base de cristaux photoniques bidimensionnelle“, Master Université de M’sila, 2017.
- [26] **B. BOUHASSOUN,A. KADOUCI**, “ Etude et simulation numérique des composants photoniques Uni-dimensionnels“, Mémoire Master, Université Aboubakr Belkaid- Tlemcen, 2018.
- [27] **F. BOUGRIOU**, “Etude théorique des matériaux a bandes interdites photoniques bi-dimensionnels : applications dans le domaine du guidage optique et la détection“, thèse Doctorat, université de Constantine 1, 2013.
- [28] **B. SID,F. LALA**, “ Conception des filtres à base des cristaux photoniques“, Mémoire Master, Université KASDI MERBAH6OUARGLA, 2018.
- [29] **I. OUHAB**, “ Contribution à la conception des Switches tout optique dans les cristaux photoniques non-linéaires“, Thèse Doctorat, Université DjillaliLiabes de Sidi-Bel-Abbes, 2016/2017.
- [30] **B. HAMIDAT,Y. ABDELLI**, “Etude et conception des capteurs à cristaux photoniques pour des applications biomédicales“, Mémoire Master, Université MOHAMED BOUDIAF-M’SILA, 2016/2017.

# Résumé

Ce mémoire traite la conception des diviseurs de puissance 1x2, 1x3 et 1x4 à base des cristaux photoniques. L'objectif principal de notre travail est d'améliorer la puissance de transmission et de réduire les pertes dues à la réflexion et à la dispersion ayant un signal équitable sur les différents de sortie du diviseur conçu. Pour cela, nous avons tout d'abord étudié la bande interdite photonique de cette structure pour le but de développer et optimiser les paramètres de réseaux dans une longueur d'onde  $\lambda = 1550\text{nm}$ . Ensuite, nous avons conçu des diviseurs de puissance en utilisant le simulateur RSoft qui est basé sur les méthodes FDTD et PWE. Cette simulation nous a permis d'obtenir une faible puissance de transmission et une réflexion très élevée. Afin d'atteindre l'objectif de ce travail, et pour assurer les meilleures performances d'un diviseur de puissance des nouvelles structures sont conçues en ajoutant d'un ou plusieurs défauts structuraux dans la zone de répartition de diviseur de puissance conçu et nous avons analysé ces structures par la méthode FDTD . Après avoir optimisé les principaux paramètres physiques des défauts structuraux (DH), les résultats obtenus ont montré une forte amélioration des puissances de transmission totale alentour de 96% mesurées dans les ports de sortie des diviseurs de puissance conçus avec l'insertion du défaut structural (DH) dans la zone de répartition. De plus, une forte réduction dans les pertes dues à la réflexion et à la dispersion a été obtenue de moins de 3%.

Mots clés : Diviseur de puissance, cristaux photoniques, transmission, réflexion, bande interdite photonique, défaut DH, FDTD, PWE .

## ملخص

تتناول هذه الرسالة تصميم فواصل طاقة 1X2 و 1X3 و 1X4 على أساس البلورات الضوئية. كان الهدف الرئيسي لعملنا هو تحسين قدرة النقل وتقليل الخسائر بسبب إعادة التعرض والتشتت مع وجود إشارة عادلة على المخرجات المختلفة للمقسم المصمم. لهذا، قمنا أولاً بدراسة فجوة النطاق الفوتوني لهذا الهيكل من أجل تطوير وتحسين معالم الشبكات في الطول الموجي  $\lambda = 1550$  نانومتر. ثم قمنا بتصميم مقسمات الطاقة باستخدام محاكي RSoft الذي يعتمد على طرق FDTD و PWE. سمحت لنا هذه المحاكاة بالحصول على قوة نقل منخفضة وردود فعل عالية جداً. من أجل تحقيق الهدف من هذا العمل، ولضمان أفضل أداء لمقسم الطاقة، تم تصميم الهياكل الجديدة بإضافة واحد أو أكثر من العيوب الهيكلية في منطقة توزيع مقسم الطاقة المصممة و قمنا بتحليل هذه الهياكل بطريقة FDTD بعد تحسين المعاملات الفيزيائية الرئيسية للعيوب الهيكلية (DH)، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تحسناً قوياً في إجمالي قوى النقل حوالي 96% المقاسة في منافذ الإخراج لفواصل الطاقة المصممة بإدخال العيب الهيكلية (DH) في منطقة التوزيع. بالإضافة إلى ذلك، تم الحصول على انخفاض كبير في الخسائر بسبب الرفض والتشتت أقل من 3%.

كلمات المفتاحية : مقسم القدرة، البلورات الضوئية، الانعكاس، النطاق المحظور DH, FDTD, PWE,

# Abstract

This dissertation deals with the design of 1x2, 1x3 and 1x4 power dividers based on photonic crystals. The main objective of our work was to improve the transmission power and reduce the losses due to re-exposure and dispersion having a fair signal on the different outputs of the designed divider. For this, we first of all studied the photonic band gap of this structure in order to develop and optimize the parameters of networks in a wavelength  $\lambda = 1550nm$ . Then we designed power dividers using RSoft simulator which is based on FDTD and PWE methods. This simulation allowed us to obtain a low transmission power and a very high feedback. In order to achieve the goal of this work, and to ensure the best performance from a power divider new structures are designed by adding one or more structural faults in the power divider distribution area designed and we have analyzed these structures by the FDTD method. After optimizing the main physical parameters of structural defects (DH), the results obtained showed a strong improvement of the total transmission powers around 96% measured in the output ports of the power dividers designed with the insertion of the structural defect ( DH) in the distribution area. In addition, a large reduction in the losses due to rejection and scattering was obtained of less than 3%.

Keywords : Power splitter, cristal photonic, puissance reflexion, bandgap, DH, FDTD, PWE.