

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Systèmes des Télécommunications

**Par** :

BELGAID Cherifa

BERRAHOU Merwa

**Sujet**

**Conception d'un convertisseur analogique /numérique à base des cristaux photoniques non linéaire pour les futurs systèmes optiques**

Soutenu publiquement, le 22 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mr. M. ABRI  
Mme. M. MELLIANI  
Mme. H. BADAOU  
Mr. B. RAHMI

Professeur Université de Tlemcen  
Professeur Université de Tlemcen  
Professeur Université de Tlemcen  
Docteur Université de Tlemcen

Président  
Examinatrice  
Encadreur  
Co-Encadreur

## Dédicace

Grâce à dieu le tout puissant de m'avoit donné la santé, la patience, la volonté et de m'avoit  
fourni sa bénédiction.

Je dédie ce modeste travail ;

À ma chère maman, qui a toujours été présente à mes moments le plus dure,

À ma chère sœur Nessrine,

À mes chères frères Imrane, Khalil,

À ma chère tante et son mari,

À ma famille,

À mon binôme Cherifa (chichi),

À mes amies Chahineze, Manel,

À Mr. TICHOUADAD. Kh.

## Dédicace

C'est grâce à Allah seul j'ai pu achever ce travail. Je le dédie :

À ma raison de vivre ma mère,

À mon père, de tout ce qu'il a fait pour moi,

À ma chère soeur Chaimaa,

À mon cher frère Benyahia,

À toute ma famille, spécialement mon oncle Omar,

À mon binôme Merwa,

À mes meilleurs amies Rajae et Khawla,

À mes professeurs et à mon encadreur,

Je vous dis merci.

## Remerciements

Tout d'abord, toutes nos louanges à ALLAH,

Ce projet de fin d'étude s'est déroulé au département de Télécommunication de la faculté de technologie d'université ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN.

Nous remercions notre chère encadreur madame ABRI BADAOUI Hadjira, professeur à l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, pour nous avoir proposé et dirigé ce travail.

Nos profonds respects et chaleureux remerciements à Monsieur RAHMI Bachir docteur en télécommunication, et qui n'a pas hésité à nous donner toutes les informations et conseils afin de nous orienter au cours de l'élaboration de ce travail.

Et nos profonds respects aux membres du jury d'avoir accepté de se pencher sur notre travail, et en premier lieu je cite Monsieur ABRI Mehadji, professeur à l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail en faisant de présider le jury de notre soutenance, ainsi Mme. M. MELLIANI professeur à l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour le temps qu'elle a consacré afin d'examiner ce travail.

A la fin, nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs enseignants.

## Résumé

Les cristaux photoniques sont des structures diélectriques ayant un indice de réfraction modulé périodiquement, et qui présentent des propriétés optiques bien particulières, leur découverte a révolutionné le domaine des circuits miniaturisés en offrant des avantages tels que des fréquences élevées et une facilité de mise en œuvre. Ces structures ont l'avantage de contrôler et de manipuler la propagation de la lumière grâce à leur structure périodique. Ils sont caractérisés par une bande interdite photonique, une plage de longueurs d'onde pour lesquelles la lumière ne peut pas se propager à l'intérieur du matériau. Cette caractéristique les rend intéressants pour de nombreuses applications telles que les guides d'onde qui peuvent diriger la lumière le long de trajectoires précises.

Dans ce mémoire, nous proposons de nouvelles topologies des convertisseurs analogique/ numérique basées sur les CPs-2D formés de bâtonnets fabriqués en arsenic de galium GaAs d'indice de réfraction  $n_{\text{GaAs}}$  immergés dans un réseau carré. La conception de ces éléments optiques est basée sur l'utilisation de la méthode des éléments finis comme méthode d'analyse des CPs-2D en employant le logiciel COMSOL Multi-physics.

Mots clés : cristaux photoniques, diagramme de dispersion, PWE, filtre, démultiplexeur, convertisseur, COMSOL.

## **Abstract**

Photonic crystals are dielectric structures with a periodically modulated refractive index and very specific optical properties. Their discovery revolutionized the field of miniaturized circuits, offering advantages such as high frequencies and ease of implementation. These structures have the advantage of being able to control and manipulate light propagation thanks to their periodic structure. They are characterized by a photonic band gap, a range of wavelengths at which light cannot propagate inside the material. This characteristic makes them interesting for many applications such as waveguides, which can direct light along precise trajectories.

In this thesis, we propose new topologies for analog/digital converters based on CPs-2Ds formed by rods made of gallium arsenic GaAs of refractive index  $n_{\text{GaAs}}$  immersed in a square grating. The design of these optical elements is based on the use of finite element analysis of CPs-2D using COMSOL Multi-physics software.

Key words: photonic crystals, dispersion diagram, PWE, filter, demultiplexer, converter, COMSOL.

## ملخص

البلورات الضوئية هي هياكل عازلة لها معامل انكسار معدل بشكل دوري ولها خصائص بصرية خاصة جدا ، وقد أحدث اكتشافها ثورة في مجال الدوائر المصغرة من خلال تقديم مزايا مثل الترددات العالية وسهولة التنفيذ. تتمتع هذه الهياكل بميزة التحكم في انتشار الضوء والتلاعب به بفضل هيكلها الدوري. تتميز بفجوة النطاق الضوئي ، وهي مجموعة من الأطوال الموجية التي لا يمكن للضوء أن ينتشر من أجلها داخل المادة. هذه الميزة تجعلها مثيرة للاهتمام للعديد من التطبيقات مثل الأدلة الموجية التي يمكنها توجيه الضوء على طول مسارات دقيقة

في هذه الأطروحة ، نقترح طبولوجيا جديدة من المحولات التناظرية / الرقمية. يعتمد تصميم هذه العناصر البصرية على استخدام طريقة العناصر المحدودة كطريقة لتحليل باستخدام

الكلمات الرئيسية: البلورات الضوئية, Demux, COMSOL, مخطط مبعثر, مرشح.

## Listes d'abréviation

- BIP:** Bande Interdite Photonique.  
**CP:** Cristal photonique.  
**n:** L'indice de réfraction.  
**TM:** Transverse magnétique.  
**TE:** Transverse électrique.  
**1D :** Structure à une dimension.  
**2D :** Structure à deux dimensions.  
**3D :** Structure à trois dimensions.  
 **$\epsilon$  :** Permittivité.  
 **$a_1$ :** L'épaisseur de la couche qui constitue le miroir de Bragg de permittivité  $\epsilon_1$ .  
 **$a_2$ :** L'épaisseur de la couche qui constitue le miroir de Bragg de permittivité  $\epsilon_2$ .  
 **$n_h$ :** L'indice de réfraction du matériau de haut indice.  
 **$n_1$ :** L'indice de réfraction du matériau de bas indice.  
 **$v_i$ :** Volume occupé par ce matériau dans la cellule élémentaire du Cristal.  
 **$\Lambda$  :** Volume de la cellule élémentaire du Cristal.  
 **$W_1^k A$ :** Guide d'onde mono rangée.  
 **$W_8^K A$  :** Guide d'onde à huit rangée.  
**f :** Facteur de remplissage.  
 **$\lambda$  :** Longueur d'onde.  
**a :** Période du cristal photonique.  
**r :** Rayon du cristal photonique.  
**K :** Vecteur d'onde.  
**Vg :** Vitesse de groupe.  
 **$\vec{g}$  :** Le vecteur du réseau réciproque.  
 **$\vec{E}$  :** Le champ électrique.  
 **$\vec{H}$ :** Le champ magnétique.  
 **$\vec{B}$  :** Vecteur de l'induction magnétique.  
 **$\mu$  :** Perméabilité magnétique.  
**MEB :** Microscope Electronique à Balayage.  
**PBG:** Photonic Band Gap.  
**PhC:** Photonic Crystal.  
**PML:** Perfectly Matched Layer.  
**WDM:** Wavelength division multiplexing.  
**PWE :** Plane Wave Expansion.  
**DWDM :** Dense Wavelength Division Multiplexing.  
**FDTD :** Finite Difference Time Domain.  
**s1 :** La cavité de résonance.  
**Q :** Facteur de qualité.  
**QSRR :** Résonateur en anneau quasi carré.  
**CWDM:** Coarse Wavelength division multiplexing.  
**PhCRR:** Photonic crystal ring resonator.



## Liste des figures

<b>Figure 1. 1:</b> Les schémas des cristaux photoniques (1D), (2D), (3D).....	3
<b>Figure 1. 2:</b> (a) Photographie d'un papillon Morpho, les images (b) et (c) présentent l'agrandissement par microscope d'une aile de papillon [4].....	4
<b>Figure 1. 3:</b> (a) Une image d'opale naturelle, (b) Image au microscope de sa structure [6].....	5
<b>Figure 1. 4:</b> (a) Exemple d'une plume de paon; (b) Image macroscopique montre l'agrandissement de la plume qui contient des barbules dont chaque barbule est décomposée en une suite de cuvettes; (c) l'agrandissement des cuvettes [8].....	6
<b>Figure 1. 5:</b> (a) Le schéma d'un miroir de Bragg, (b) Schémas des réflexions sur des mailles successives à $\lambda = \lambda_B$ (longueur d'onde de Bragg) [11].....	6
<b>Figure 1. 6:</b> Représentation de CP-2D: (a) Structure connectée; (b) Structure déconnectée [15].	8
<b>Figure 1. 7:</b> (C) Image au microscope électronique à balayage (MEB) ressemblant à un trou CP dans une tranche de silicium [16] ; (d) Image MEB d'une tige CP préfabriquée Barreaux d'GaAs sur une couche d'alumine à faible indice de réfraction [17].....	8
<b>Figure 1. 8:</b> Représentation spatiales directs et réciproques de CP-2D : (a) carré ; (b) triangulaire [21].....	9
<b>Figure 1. 9:</b> Structure photonique 2D générée sur le GaAs déposé ( $n = 3,6$ ) sur la couche AlGaAs ( $n=2,9$ ) [24].....	10
<b>Figure 1.10:</b> Structure de la Yablonovite [28].....	10
<b>Figure 1. 11:</b> Une structure tas de bois fabriquée par UV dans du silicium (d'après Lin et al [29].....	11
<b>Figure 1. 12:</b> Image MEB d'un CP 3D de type opale inversée [30].....	11
<b>Figure 1.13:</b> Zone de Weigner-Seitz.....	12
<b>Figure 1. 14:</b> Diagrammes de bandes d'un miroir de Bragg (1D) [33].....	13
<b>Figure 1. 15:</b> Les modes de polarisation TM, TE.....	13
<b>Figure 1.16 :</b> Figure 1.16 : le diagramme de bande d'une CP 2Ds des trous d'air dans une matrice diélectrique Indice de silicium dans les polarisations TE (lignes rouges) et TM (lignes pointillées bleues) ; (a)un réseau triangulaire, (b) un réseau carré [34].....	14
<b>Figure 1. 17:</b> Diagramme de bande des CP-3D [35].....	14
<b>Figure 1. 18:</b> Stratégies des défauts additifs.....	15

<b>Figure 1.19:</b> Stratégies des défauts lacunaires.....	15
<b>Figure 1. 20:</b> Stratégies des défauts de substitution.....	15
<b>Figure1. 21:</b> Représentation de la propagation du champ dans un CP carré à défaut linéaire: (a) guide d'onde rectiligne, (b) guide d'onde avec des coudes extrêmes à 90° [41].....	16
<b>Figure 1. 22:</b> Courbes de transmission calculées avec la méthode matricielle transmet éléments finis et HFSS pour un réseau carré 3,5 d'un diamètre de 5 mm et grille p=7mm avec polarisation TM [44].....	17
<b>Figure 1. 23:</b> Maillage triangulaire adaptatif [47] [48].....	17
<b>Figure 1. 24:</b> Guide mono-rangée avec les caractéristiques suivants: le pas de 0.04 $\mu\text{m}$ , $\epsilon=10.5$ , $f=44\%$ , $a=0.48\mu\text{m}$ , $r=0.167\mu\text{m}$ [52].....	18
<b>Figure 1. 25 :</b> La réponse spectrale de transmission et en réflexion d'un guide $W_1^k A$ avec le pas de 0.04 $\mu\text{m}$ [52].....	18
<b>Figure 1. 26:</b> Guide $W_3^k A$ avec maille triangulaire, pas de 0.04 $\mu\text{m}$ , $\epsilon=10.5$ , $f=44\%$ , $a=0.48\mu\text{m}$ , $r=0.16\mu\text{m}$ [52]. .....	19
<b>Figure 1. 27:</b> La réponse spectrale de transmission et en réflexion de ce guide avec le pas de 0.04 $\mu\text{m}$ [52].....	19
<b>Figure 1. 28 :</b> (a) PCRR à anneau, (b) Spectres de transmission normalisés à deux ports de sorties 2 et 3 pour PCRR. Les paramètres de conception du NRC-QSRR proposé: $a=640\text{nm}$ , $r=120.32\text{nm}$ , $r_{in}=151.3\text{nm}$ , $a_{NRC}=551.36\text{nm}$ , $r_{NRC}=130.34\text{nm}$ , $d=1608.36\text{nm}$ , $l=1169$ .....	20
<b>Figure 1. 29:</b> Modèle de champ électrique du résonateur en anneau à (a) $\lambda = 1,553\mu\text{m}$ (la longueur d'onde de résonance). (b) $\lambda = 1,556\mu\text{m}$ (la hors résonance) [53].....	21
<b>Figure 1. 30 :</b> (a) CDF PCRR à double anneau. Les paramètres de conception du NRC-QSRR proposé: $a = 640\text{ nm}$ , $r = 120,32\text{ nm}$ , $r_{in} = 151,3\text{ nm}$ , $a_{NRC} = 551,36\text{ nm}$ , $r_{NRC}=130,34\text{ nm}$ , $d = 1608,36\text{ nm}$ , $l=1169,61\text{ nm}$ . (b) Spectres de transmission normalisés. (c) La distribution du champ électrique à (a) $\lambda=1553\text{ nm}$ (la longueur d'onde de résonance) [53].....	22
<b>Figure 1. 31 :</b> Présentation schématique d'un démultiplexeur à quatre anneaux pour $\lambda= 1.31\mu\text{m}$ [54].....	22
<b>Figure 1. 32 :</b> La réponse spectrale de transmission pour, $r'=97\text{nm}$ , $r'=99\text{nm}$ , $r'=101\text{nm}$ et $r'=103\text{nm}$ [54].....	23
<b>Figure 1. 33 :</b> Deux symboles communs pour des coupleurs directionnels, et convention de flux de puissance [55].....	24
<b>Figure 1. 34:</b> Coupleur symétrique.....	24
<b>Figure 1. 35:</b> Principe de fonctionnement d'un isolateur optique en espace libre. ....	24
<b>Figure 1. 36:</b> Principe de fonctionnement d'un isolateur optique en espace libre indépendant de	

la polarisation [56].....	25
<b>Figure 2. 1 :</b> (i) Signal analogique, (ii) Signal échantillonné, (iii) Signal quantifié [6].....	31
<b>Figure 2. 2 :</b> Convertisseur analogique numérique [6].....	33
<b>Figure 2. 3 :</b> Diagramme de structure de bande de la structure fondamentale [25].....	36
<b>Figure 2. 4 :</b> Démultiplexeur non linéaire avec cavité résonnante(Les bâtonnets de coin: bleu et de défaut interne : vert) [25]. .....	36
<b>Figure 2. 5 :</b> Spectres de sortie du démultiplexeur lorsque la puissance d'entrée à(a) $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , (b) $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , (c) $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$ , (d) $0.75P_0 < P_{in} < P_0$ [25]. .....	37
<b>Figure 2. 6 :</b> Variation des longueurs d'onde de résonance des canaux de sortie pour différentes valeurs de puissance d'entrée [25].....	37
<b>Figure 2. 7 :</b> Comportement optique du démultiplexeur non linéaire pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 0,25P_0$ , (b) $0,25P_0 < P_{in} < 0,5P_0$ , (c) $0,5P_0 < P_{in} < 0,75P_0$ et (d) $0,75P_0 < P_{in} < P_0$ [25].....	38
<b>Figure 2. 8 :</b> Puissance de sortie normalisée du démultiplexeur non linéaire pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , (b) $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , (c) $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$ et (d) $0.75P_0 < P_{in} < P_0$ [25].....	39
<b>Figure 2. 9 :</b> Le croquis final de l'ADC proposé [25].....	40
<b>Figure 2. 10 :</b> Comportement optique du CAN optique proposé pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , (b) $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , (c) $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$ et (d) $0.75P_0 < P_{in} < P_0$ [25].	41
<b>Figure 2. 11 :</b> Réponse temporelle de la structure utilisée pour le calcul des temps de retard [25].....	42
<b>Figure 2. 12 :</b> La structure schématique du PCRR [26]. .....	43
<b>Figure 2. 13 :</b> Modèle de champ PCRR à (a) $S=0$ [26].....	43
<b>Figure 2. 14 :</b> Modèle de champ PCRR à (b) $S=1$ [26].....	44
<b>Figure 2.15 :</b> Structure globale d'un CNA optique à 3 bits utilisant des cristaux photoniques à réseau carré 2D intégrés [26].....	44
<b>Figure 2. 16 :</b> Diagramme de la structure de la bande $G_{ab}$ pour les bâtonnets de cristaux photoniques de silicium à réseau carré d'un rayon de $0,21a$ [26]. .....	45
<b>Figure 2. 17 :</b> Modèle de champ électrique en régime permanent de tous les CNA optiques pour tous les cas d'entrée binaire (a) $ABC = 000$ , (b) $ABC = 001$ (c) $ABC = 010$ , (d) $ABC = 011$ , (e) $ABC = 100$ , (f) $ABC = 101$ , (g) $ABC = 110$ , (h) $ABC = 111$ [26]. .....	46
<b>Figure 2. 18 :</b> Spectre de transmission normalisé du CNA optique [26]. .....	48
<b>Figure 2. 19:</b> Représentation du schéma fonctionnel de l' ADC [27].....	50
<b>Figure 2. 20 :</b> Structure de bande du PhC [27].....	50

<b>Figure2. 2 :</b> Démultiplexeur à trois ports proposés [27].	51
<b>Figure2. 22 :</b> Diagramme de sortie du discrétiseur de niveau optique pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , (b) $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , (c) $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ ,	51
<b>Figure 2. 23 :</b> Comportement optique du discrétiseur de niveau optique pour l'intensité optique	52
<b>Figure2. 24 :</b> Codage optique [27].	53
<b>Figure2. 25:</b> Diagramme de sortie du codeur optique lorsque (a) I1, (b) I2 et (c) I3 sont activés [27].	53
<b>Figure 2. 26 :</b> Comportement optique du codeur optique lorsque (a) I1, (b) I2 et (c) I3 sont activés. (d) Toutes les entrées sont OFF [27].	54
<b>Figure2. 27 :</b> Schéma final de l'CAN optique proposé [27].	54
<b>Figure 2. 28:</b> Diagramme de sortie de l'ADC optique pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 1 * P_0$ ,	55
<b>Figure 2. 29 :</b> Comportement optique de l'ADC optique pour l'intensité optique étant à (a) $0 < P_{in} < 1 * P_0$ ,	56
<b>Figure 2.30 :</b> Quantité de puissance réfléchie vers le port d'entrée [27].	57
<b>Figure 3. 1 :</b> Représentation schématique de la Structure carré sans défaut, $a=0.6 \mu\text{m}$ , $r=0.12 \mu\text{m}$ .	63
<b>Figure 3. 2 :</b> Réponse spectrale de la transmission et la réflexion d'un CP-2D dans un réseau carré.	63
<b>Figure 3. 3 :</b> Représentation de la propagation du champ électrique d'un CP-2D à maille carrée sans défaut.	64
<b>Figure 3. 4 :</b> Diagramme de bande pour $r=0.12\mu\text{m}$ , $a=0.6\mu\text{m}$ .	65
<b>Figure 3. 5 :</b> Représentation d'un guide d'onde mono-rangé $W_1^K A$ , $a=0.6 \mu\text{m}$ , $r=0.12 \mu\text{m}$ .	65
<b>Figure 3. 6 :</b> La réponse spectrale de la transmission d'un guide $W_1^K A$ , à l'intervalle $[1.535, 1.554] \mu\text{m}$ .	66
<b>Figure 3. 7 :</b> Répartition spatiales du champ électrique d'un guide $W_1^K A$ à base de CP-2D pour la longueur $\lambda=1.55 \mu\text{m}$ .	66
<b>Figure 3. 8:</b> Structure à maille carré d'un seul anneau : $a=0.6 \mu\text{m}$ , $r=0.12 \mu\text{m}$ , $n=3.37$ .	67
<b>Figure 3. 9 :</b> La réponse spectrale de résonateur à l'intervalle $[1.52, 1.58] \mu\text{m}$ .	67
<b>Figure 3. 10 :</b> Représentation de la répartition de champ électrique.	68
<b>Figure 3. 11:</b> Schéma d'un démultiplexeur à base de CP-2D à 3 résonateurs avec $a=0.6\mu\text{m}$ ,	

$r=0.12\mu\text{m}$ , $n=3.37$ .....	68
<b>Figure 3. 12</b> : La réponse spectrale de transmission pour, $R_s1=124.2\text{nm}$ , $R_s2=129.54\text{nm}$ et $R_s3=132.90\text{nm}$ .....	69
<b>Figure 3. 13</b> : Spectres de sortie du démultiplexeur lorsque la puissance d'entrée est : (a) $P_1=100\text{w}/\mu\text{m}^2$ , (b) $P_2=1100\text{w}/\mu\text{m}^2$ , (c) $P_3=2100\text{w}/\mu\text{m}^2$ .....	70
<b>Figure3. 14</b> : Principe de fonctionnement d'un codeur optique.....	71
<b>Figure 3. 15</b> : Principe de fonctionnement d'un convertisseur.....	72
<b>Figure 3. 16:</b> (a) Comportement optique de CAN proposé pour les différentes puissances $P_1=100\text{w}/\mu\text{m}^2$ , $P_2=1100\text{w}/\mu\text{m}^2$ , $P_3=2100\text{w}/\mu\text{m}^2$ , (b) Les spectres du sortie normalisée d'un CAN.....	73

## Liste des tableaux

### Chapitre 1 :

**Tableau 1. 1:** Caractéristiques géométriques principales des réseaux bidimensionnels carré et triangulaire [22].....9

### Chapitre 2 :

**Tableau 2. 1:** Puissance de sortie normalisée du démultiplexeur non linéaire pour différentes valeurs de l'intensité optique.....39

**Tableau 2. 2 :** États de fonctionnement du CAN proposé.....43

**Tableau 2. 3 :** Sorties analogiques équivalentes d'un convertisseur numérique-analogique optique à 3 bits.....49

**Tableau 2. 4 :** Perte d'insertion du CNA optique pour différents états de l'entrée binaire (001-111).....50

**Tableau 2. 5 :** États de fonctionnement de l'CAN proposé.....57

### Chapitre 3 :

**Tableau 3. 1 :** Résultats de simulation du démultiplexeur pour  $1.55\mu\text{m}$ .....69

**Tableau 3. 2 :** États de travail de la proposition de codeur.....71

**Tableau 3. 3 :** États de fonctionnement de CAN optique proposé . . . . .73

## Tables des matières

Dédicace.....	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
Listes d'abréviation.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Tables des matières.....	xiv
Introduction générale :.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur les cristaux photoniques.....	3
1.1 Introduction :.....	3
1.2 Définition des cristaux photoniques :.....	3
1.3 Cristaux photoniques naturels :.....	4
1.3.1 Les papillons :.....	4
1.3.2 Les opales:.....	4
1.3.3 Les oiseaux:.....	5
1.4 Cristaux photoniques artificiels:.....	6
1.4.1 Cristaux photoniques unidimensionnels (CPs-1D):.....	6
1.4.2 Cristaux photoniques bidimensionnels (CPs-2D) :.....	7
1.4.3 Cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D) :.....	10
1.5 La zone de Brillouin :.....	11
1.6 Diagramme de dispersion:.....	12
1.6.1 Diagramme de bande d'un CP-1D:.....	13
1.6.2 Diagramme de bande d'un CP-2D :.....	13
1.6.3 Diagramme de bande d'un CP-3D :.....	14
1.7 Les défauts dans les cristaux photoniques :.....	15
1.7.1 Les défauts ponctuels :.....	15
1.7.2 Les défauts linéaires:.....	15
1.8 Les méthodes d'analyse des cristaux photoniques :.....	16
1.8.1 Méthode des différences finies dans le domaine temporel ( FDTD ):.....	16
1.8.2 Méthode de matrice de transfert (TMM) :.....	16
1.8.3 Méthode des éléments finis (FEM):.....	17
1.9 Domaines d'application :.....	17
1.9.1 Les guides :.....	17
1.9.2 Les filtres à cristaux photoniques :.....	19
1.9.3 Démultiplexeur :.....	22
1.9.4 coupleur directionnels :.....	23
1.9.5 Isolateur :.....	24
1.10 Conclusion:.....	25
Références bibliographiques:.....	29
Chapitre 2 Convertisseur Analogique Numérique à base des cristaux photoniques.....	31
1.1 Introduction :.....	32
1.2 Théorie de la conversion analogique-numérique:.....	32
1.2.1 Définition de la théorie de la conversion :.....	32
1.2.2 Principe de fonctionnement :.....	32
1.3 Les caractéristiques des CANs :.....	34
1.4 Architectures de convertisseurs analogique-numérique :.....	35
1.4.1 Architecteurs Flash :.....	35
1.4.2 Architecteur Wilkinson rampe :.....	35
1.4.3 Architecteur SAR :.....	35

1.4.4	Architecteur Sigma-delta :	36
1.4.5	Architecteur pipeline :	36
1.5	Application :	36
1.5.1	Convertisseur analogique-numérique 2 bits entièrement optique utilisant des cavités à base de cristaux photoniques [25]:	36
1.5.2	Conception d'un convertisseur numérique-analogique (DAC) entièrement optique intégré utilisant la 2D [26] :	43
1.5.3	Une nouvelle proposition pour un Convertisseur analogique-numérique basé sur des structures à cristaux photoniques [27] :	50
1.6	Conclusion :	58
	Références bibliographiques :	59
	Chapitre 3 Résultats et simulations.....	60
1.1	Introduction :	61
1.1.1	Définition du logiciel COMSOL:	62
1.2	Étude des structures bidimensionnelles sans défaut à maille carré :	63
1.3	Structures bidimensionnelles avec défaut à maille carrée :	65
1.3.1	Conception d'un guide à maille carrée :	67
1.4	Simulation d'un résonateur en anneau:	67
1.5	Conception d'un démultiplexeur:	68
1.6	Conception d'un convertisseur analogique- numérique :	70
1.6.1	Codeur optique :	70
1.6.2	CAN optique :	71
1.7	Conclusion :	73
	Conclusion générale :	76



# **Introduction générale**

## **Introduction générale :**

Les matériaux à bande interdite photonique (BIP), également appelés par les cristaux photoniques, ont suscité un intérêt considérable dans le domaine de la science et de la technologie au cours des dernières années. Ces matériaux se caractérisent par leur capacité à manipuler et contrôler la propagation de la lumière grâce à leurs propriétés optiques uniques.

Un matériau à bande interdite photonique est essentiellement une structure périodique de deux matériaux différents, ayant des indices de réfraction différents, qui permettent de créer une bande interdite dans laquelle la propagation de certaines longueurs d'onde de lumière est interdite. Cela signifie que les cristaux photoniques peuvent être conçus pour bloquer ou ralentir sélectivement la lumière dans certaines directions ou à d'autres longueurs d'onde spécifiques [57].

Ce mémoire porte sur l'étude de convertisseur (CAN) à base des cristaux photoniques 2D, notamment filtrage et démultiplexage non linéaire autour de longueur d'onde  $1.55\mu\text{m}$ , en utilisant le simulateur COMSOL MULTIPHYSICS.

Notre mémoire est divisé en trois chapitres, le premier est une introduction générale sur les cristaux photoniques, dans lequel on définit les concepts de base des cristaux photoniques. Nous allons donc lister les différents types de cristaux photoniques artificiels inspirés par la nature. Nous mentionnerons leurs propriétés physiques actuelles également le principe de diagramme de dispersion. Nous aborderons ensuite les principes des défauts et les méthodes d'analyse des cristaux photoniques.

Le deuxième chapitre est consacré au convertisseur analogique-numérique à base des cristaux photoniques en se basant sur le principe de fonctionnement et quelques exemples récents de la littérature des convertisseurs en cristaux photoniques.

Dans le dernier chapitre de ce mémoire, nous allons présenter brièvement notre logiciel COMSOL tout en exposant les différents résultats de simulation obtenus pour plusieurs topologies des convertisseurs (CAN).

Enfin, ce document se termine par une conclusion générale.

## *Chapitre 1*

### *Généralités sur les cristaux photoniques*

---

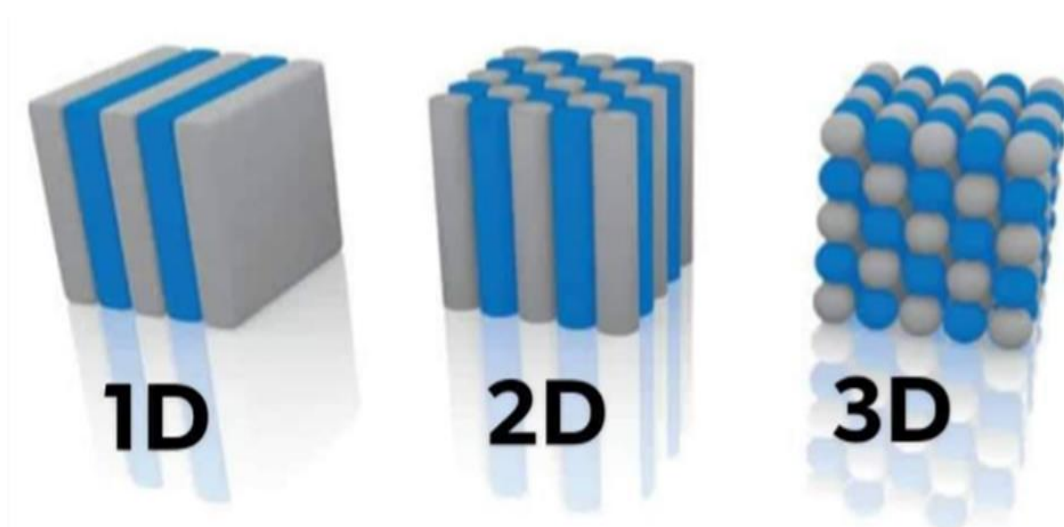
## **1. 1 Introduction :**

Parmi les nombreuses nouvelles technologies introduites ces dernières années, l'une des plus révolutionnaires est celle des cristaux photoniques ou matériaux photoniques à bande interdite (BIP), introduits par E. Yablonivitch en 1987[1] et réalisés en 1991[2]. En effet, les BIP ont suscité un grand intérêt de la part des scientifiques car ils offrent un moyen de réaliser certaines des applications les plus puissantes de la lumière. Le tout premier matériau BIP ou cristal photonique qui a été réalisé sans le savoir c'était par le physicien anglais William Laurence Bragg en 1915.

Dans ce chapitre, nous allons se focaliser sur ce type de matériaux en donnant plusieurs notions de base sur les cristaux photoniques suivies par leurs applications multiples et variées.

## **1. 2 Définition des cristaux photoniques :**

Les cristaux photoniques sont un type de matériau optique présentant une variation périodique de l'indice de réfraction dans plusieurs directions de l'espace (figure 1. 1). Les cristaux photoniques peuvent introduire des bandes d'énergie interdites dans un certain domaine spectral, ce qui permet des applications telles que le stockage optique de données et l'informatique quantique.



**Figure 1. 1:** Les schémas des cristaux photoniques (1D), (2D), (3D).

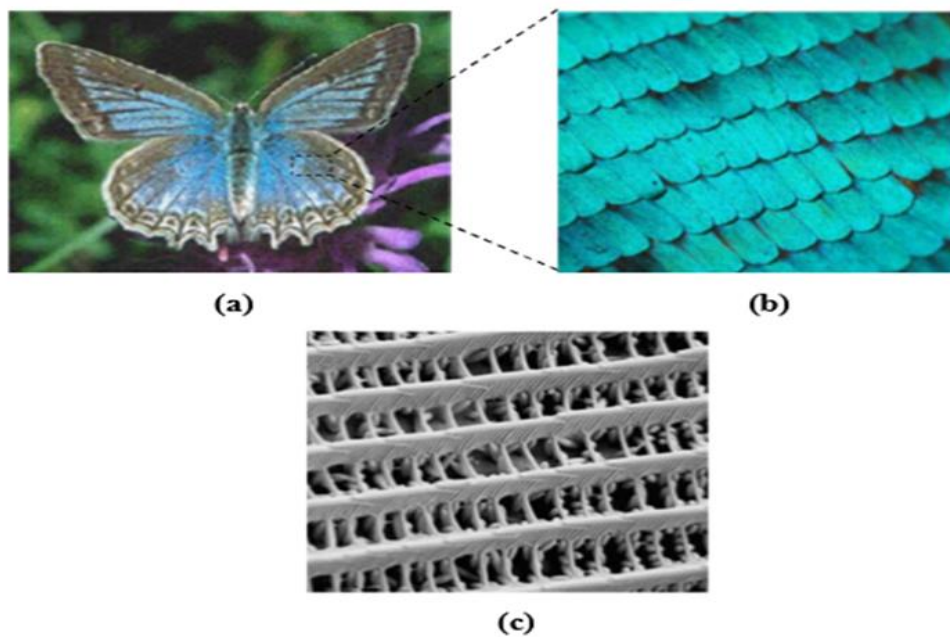
Le nombre de directions de la périodicité de l'indice optique indique le type de cristal photonique, qui permet d'obtenir des bandes interdites photoniques. Cette variation de l'indice de réfraction conduit à l'apparition d'une bande de fréquences, pour laquelle la lumière ne peut pas se propager.

### **1. 3 Cristaux photoniques naturels :**

Dans le monde naturel, les couleurs sont utilisées pour communiquer et pour naviguer. C'est également le cas des cristaux photoniques, dont on a constaté qu'ils présentaient des changements de couleur et des propriétés optiques similaires à ceux de leurs homologues naturels. Nous allons citer ici trois exemples des cristaux photoniques naturels.

#### **1. 3. 1 Les papillons :**

Les papillons, qui sont les insectes les plus colorés et les plus fragiles de la nature, se sont adaptés à différents climats et environnements naturels. Il a été démontré que les papillons dépendent de la lumière. Ils utilisent l'interférence entre leurs ailes et la lumière environnante pour réguler leur couleur (figure 1. 2). Leurs ailes sont structurées de telle manière qu'elles peuvent refléter la couleur de leur environnement [3]. Dans l'image ci-dessous, l'étude des ailes au microscope a révélé qu'elles étaient composées d'écailles (petite plaque qui recouvre la peau) et que ces paramètres variaient continuellement et périodiquement. Les papillons morpho, par exemple, vivent en Amazonie.



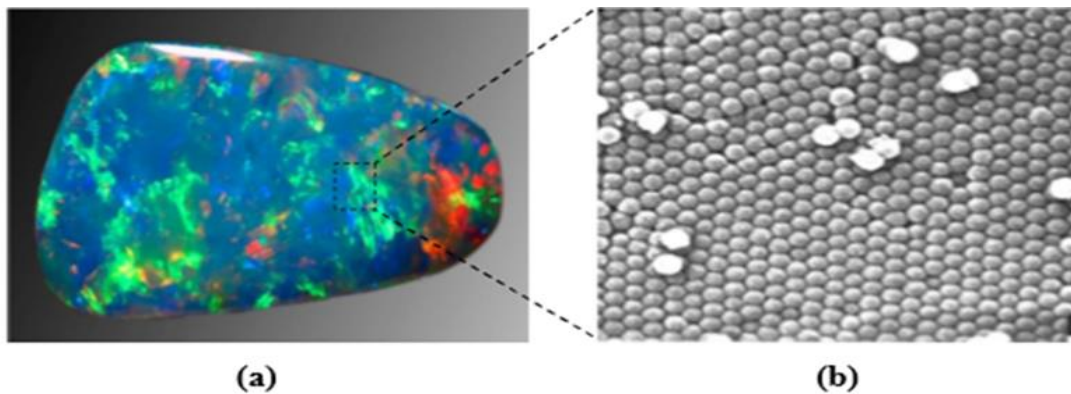
**Figure 1. 2:** (a) Photographie d'un papillon Morpho, les images (b) et (c) présentent l'agrandissement par microscope d'une aile de papillon [4].

Il s'est avéré que ce type de structure naturelle représentait un cristal à bande interdite photonique capable de réfléchir la lumière pour des longueurs d'onde spécifiques de différentes directions.

#### **1. 3. 2 Les opales:**

Les opales sont des roches naturelles formées par une combinaison de microbilles de silice et d'organismes marins qui sont morts et ont été enterrés dans le sol (figure 1. 3). On peut

les trouver sous forme de globules et de croûtes de différentes couleurs. On les appelle des réseaux de diffraction [5].

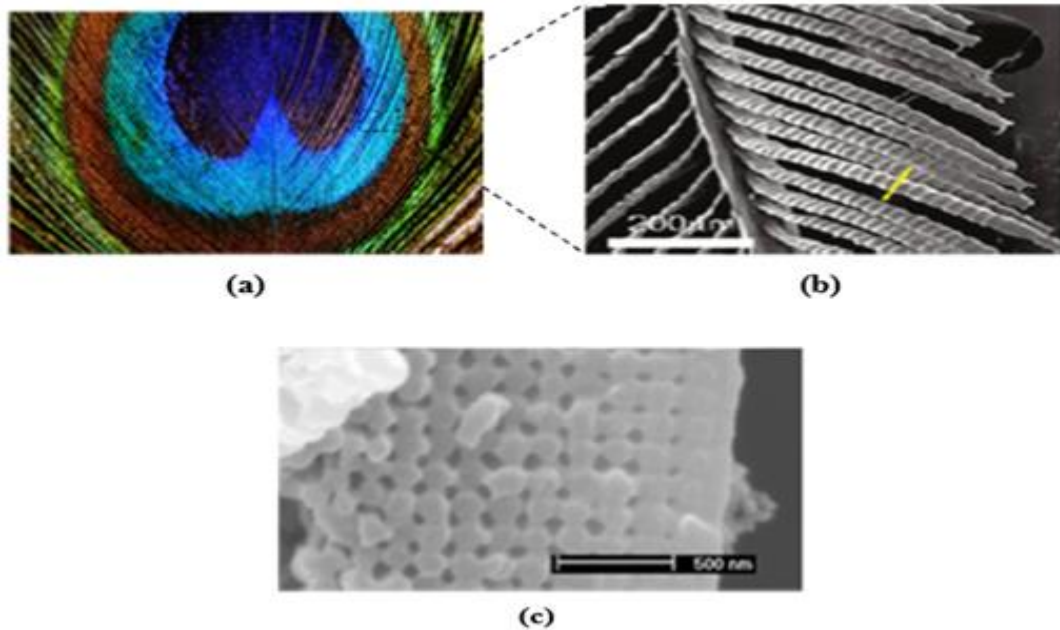


**Figure 1. 3:** (a) Une image d'opale naturelle, (b) Image au microscope de sa structure [6].

### 1. 3. 3 Les oiseaux:

Les couleurs brillantes des oiseaux leur permettent de signaler leur identité et leur emplacement. Cela est possible grâce à la structure des plumes et aux pigments présents à la surface de structures physiques microscopiques qui perturbent la façon dont la lumière est réfléchi sans être absorbée [7].

En effet, les plumes reflètent certaines longueurs d'onde de la lumière, qui sont ensuite transmises à l'œil de l'observateur (figure 1. 4). Ce phénomène est similaire à celui des cristaux photoniques, un type de matériau qui peut absorber et réémettre la lumière de différentes manières. Des recherches ont montré une relation entre la longueur d'onde de la lumière réfléchi par une plume, son angle d'observation et sa couleur chatoyante [8].



**Figure 1. 4:** (a) Exemple d'une plume de paon; (b) Image macroscopique montre l'agrandissement de la plume qui contient des barbules dont chaque barbule est décomposée en une suite de cuvettes ; (c) l'agrandissement des cuvettes [8].

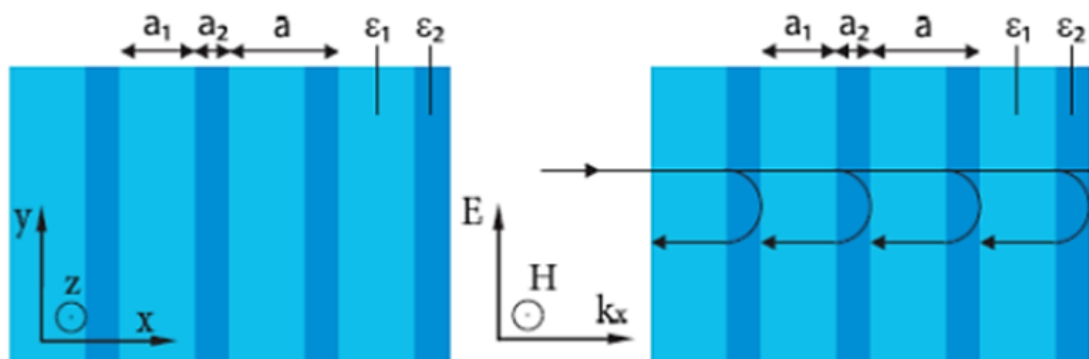
#### 1. 4 Cristaux photoniques artificiels:

##### 1. 4. 1 Cristaux photoniques unidimensionnels (CPs-1D):

Les cristaux photoniques unidimensionnels sont les plus anciennes structures étudiées et sont principalement utilisés comme miroirs diélectriques, ou miroirs qui réfléchissent la lumière [9]. En 1887, Lord Rayleigh a démontré qu'une bande interdite pouvait être produite dans un milieu à constante diélectrique croissante en modulant l'épaisseur des couches successives.

Les réseaux de Bragg ont été utilisés dans plusieurs applications, notamment les convertisseurs de mode, les filtres sélectifs, les multiplexeurs et les lasers à bande étroite [10].

Et dans la figure suivante, une structure simple d'un cristal photonique unidimensionnel de deux couches alternées de matériaux homogènes avec les permittivités  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  et les épaisseurs  $a_1$  et  $a_2$ .



**Figure 1. 5:** (a) Le schéma d'un miroir de Bragg, (b) Schémas des réflexions sur des mailles successives à  $\lambda = \lambda_B$  (longueur d'onde de Bragg) [11].

Pour réaliser les miroirs des cavités laser, comme les VECSELS [12], ceci est fait grâce à la propriété des bandes interdites photoniques.

### **1. 4. 1. 1 Propriétés géométriques et physiques d'un CP-1D :**

**a-Facteur de remplissage:** C'est le rapport entre le volume d'un matériau solide dans la cellule élémentaire de son cristal et son volume.

$$\mathbf{f} = \frac{v_i}{a} \quad (1. 1)$$

Avec :

$v_i$  : Volume occupé par le matériau de permittivité  $\varepsilon_i$ .

$a$ : Volume de cellule.

**b- Contraste d'indice:** C'est le rapport entre les indices des deux matériaux.

$$\delta = \frac{n_h}{n_1} \quad (1. 2)$$

Avec :

$n_h$  : Indice de réfraction du matériau de haut indice.

$n_1$  : Indice de réfraction du matériau de bas indice.

Pour qu'un miroir fonctionne comme un filtre, le contraste d'indice  $\delta$  doit être suffisamment important entre les deux types de couches diélectriques qui composent le miroir.

Le miroir de Bragg ne reflète que les rayons se déplaçant dans un cône d'espace, la bande interdite n'est pas complète et il est nécessaire de structurer la permittivité du matériau le long de plusieurs dimensions de l'espace pour créer une bande interdite complète [13].

### **1. 4. 2 Cristaux photoniques bidimensionnels (CPs-2D) :**

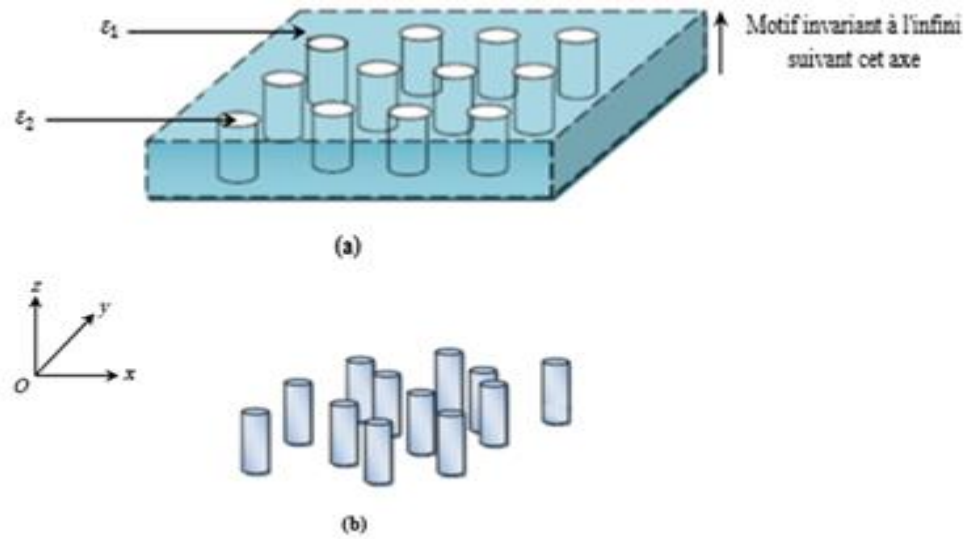
Les cristaux photoniques bidimensionnels sont constitués de trous disposés dans une matrice diélectrique ou semi-conductrice. La disposition de ces trous crée une bande d'énergie interdite d'énergie dans le plan ou dans l'espace qui contrôle la propagation de la lumière à des longueurs d'onde spécifiques. CP-2D se compose souvent des tiges parallèles identiques enfermées dans une matrice de différents matériaux diélectriques ou semi-conducteurs [14]. Vue de dessus, ces réseaux forment un motif régulier lorsqu'ils sont vus d'en haut (figure 1. 6).

De plus, dans ces structures, il existe deux types de configurations qui peuvent être utilisées :

- **Structure connectée:** un motif de base à faible indice gravé dans une matrice à l'indice de réfraction plus élevé, comme dans le cas des trous d'air insérés dans une matrice diélectrique.

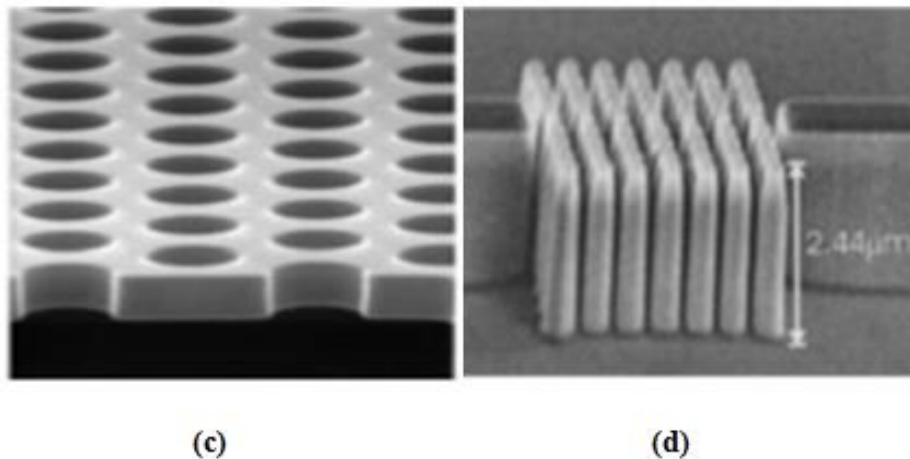


- Structure déconnectée: Une structure dont le motif de base à l'indice  $n$  dans l'espace inter-motif. Ils sont constitués de tiges diélectriques ou métalliques orientées périodiquement dans l'air ou la mousse, tels que la représentation 1. 6 :



**Figure 1. 6:** Représentation de CP-2D: (a) Structure connectée; (b) Structure déconnectée [15].

Un cristal photonique parfait présente une périodicité dans la direction de la propagation et une longueur infinie dans cette direction.



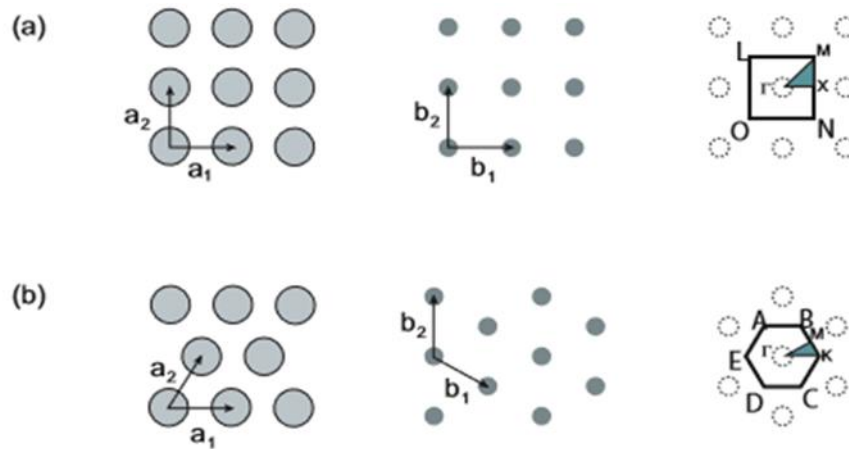
**Figure 1. 7:** (c) Image au microscope électronique à balayage (MEB) ressemblant à un trou CP dans une tranche de silicium [16] ; (d) Image MEB d'une tige CP préfabriquée Barreaux d'GaAs sur une couche d'alumine à faible indice de réfraction [17].

### a-Facteur de remplissage:

L'espace direct et l'unité élémentaire dans cette structure est le rapport de la surface occupée par les particules élémentaires à la surface de l'unité [18] [19], et le facteur de remplissage d'air est exprimé par la relation suivante [20] :

$$f = \frac{A_{\text{demotif}}}{A_{\text{maille élémentaire}}} \quad (1.3)$$

La figure 1. 8 présente une illustration de l'espace direct et réciproque pour un CP-2D à maille carrée et rectangulaire.



**Figure 1. 8:** Représentation spatiales directs et réciproques de CP-2D : (a) carré ; (b) Triangulaire [21].

Le tableau 1. 1 expose le calcul de facteur de remplissage respectivement pour un réseau carré et triangulaire.

**Tableau 1. 1:** Caractéristiques géométriques principales des réseaux bidimensionnels carré et triangulaire [22].

	Réseau carré	Réseau triangulaire
Espace direct	$a_1 = a(0, 1)$ $a_2 = a(1, 0)$	$a_1 = a\left(\frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ $a_2 = a\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$
Espace réciproque	$b_1 = \frac{2\pi}{a}(1, 0)$ $b_2 = \frac{2\pi}{a}(0, 1)$	$b_1 = \frac{2\pi}{a}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$ $b_2 = \frac{2\pi}{a}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, -\frac{1}{2}\right)$
Facteur de remplissage	$f = \frac{\pi R^2}{a^2}$	$f = \frac{2\pi R^2}{\sqrt{3}a^2}$

**b-Contraste d'indice :**

Le contraste d'indice est la différence entre les indices de réfraction de deux matériaux [23]. Il est exprimé généralement par l'équation suivante :

$$\Delta_n = n_h - n_l \quad (1.4)$$

Avec:

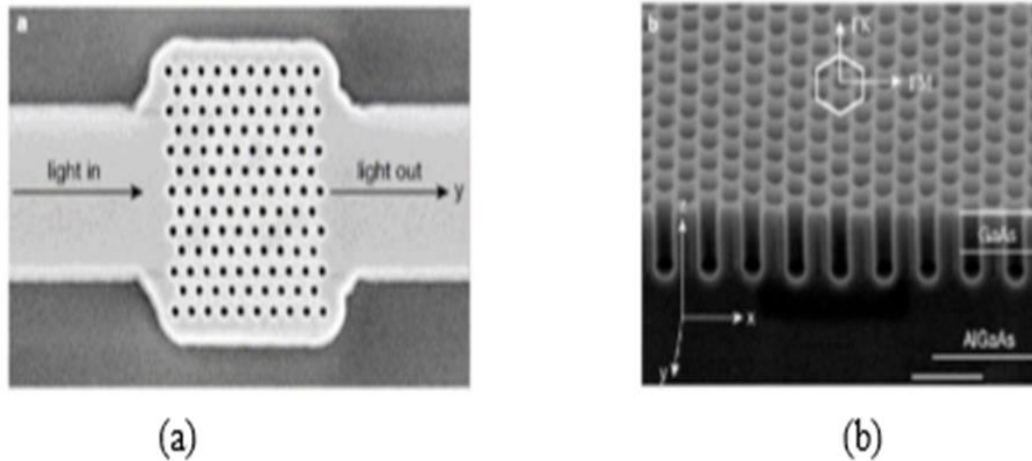
$n_h$  = L'indice de réfraction du matériau de haut indice (high index).

$n_l$  = L'indice de réfraction du matériau de faible indice (low index).

**b. 1: Fort contraste :**

Un contraste élevé ( $n_2 \gg n_1$ ) est nécessaire pour assurer une bonne focalisation de la lumière.

Les guides d'ondes à contraste élevé sont des membranes semi-conductrices flottantes couches de silicium en suspension dans l'air au-dessus d'une couche de dioxyde de silicium ou de couches de GaAs déposées dessus Couche  $Al_xO_y$ .



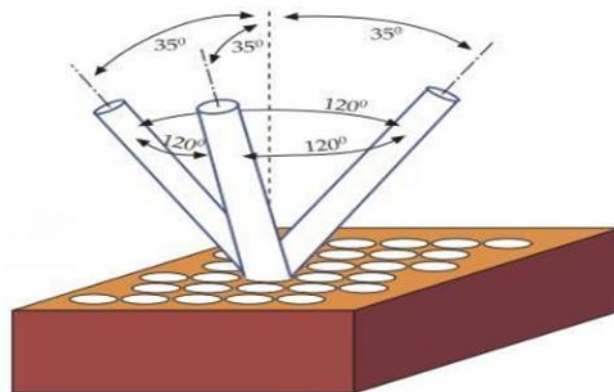
**Figure 1. 9:** Structure photonique 2D générée sur le GaAs déposé ( $n = 3,6$ ) sur la couche AlGaAs ( $n=2,9$ ) [24].

**b. 2: Faible contraste :**

La différence d'indice entre les deux milieux est faible, qui comprise entre  $[0,1-0,2]$  est appelée approche substrat [25]. Ainsi, la lumière sera sévèrement limitée et les pertes de conduction et de propagation peuvent être importantes dans certaines situations.

**1. 4. 3 Cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D) :**

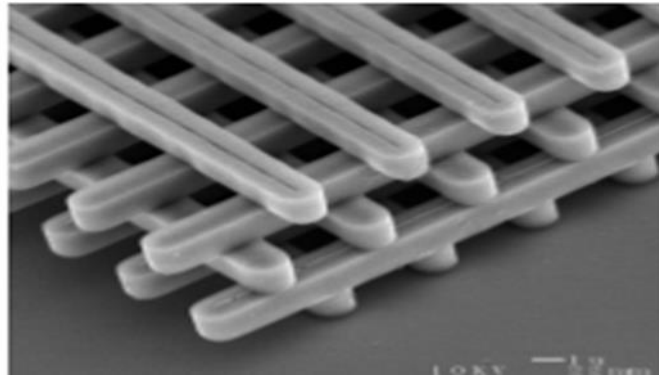
Les cristaux photoniques tridimensionnels sont les seules structures qui permettent de recevoir l'énergie de la bande interdite dans toutes les directions spatiales qu'elle permet contrôle de la propagation de la lumière. Le premier cristal photonique 3D a été développé en 1990 par KM Ho et al. [26]. Il est composé de billes de silicone disposées en structure diamant. La structure 3D des micro-ondes a été publiée par E.yablonovitch en 1993 [27].



**Figure 1. 10:** Structure de la Yablonovite [28].

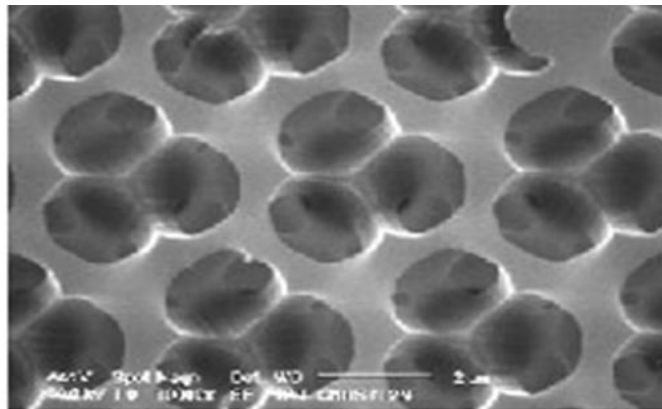
Il existe une infinité de géométries possibles pour des structures tridimensionnelles, on cite comme exemple :

**1/Structure «ouvrage en bois»:** Ces structures 3D sont similaires à celle montrée sur la figure 1. 11 est obtenu en superposant des bandes de silicium polycristallin dans des tranchées de dioxyde de silicium en couches successives. Après la construction de la structure, la silice est retirée pour la préserver Si/Air un cristal photonique tridimensionnel avec un indice de contraste suffisamment élevé pour ouvrir la bande énergies interdites omnidirectionnelles [29].



**Figure 1. 11:** Une structure tas de bois fabriquée par UV dans du silicium (d'après Lin et al [29]).

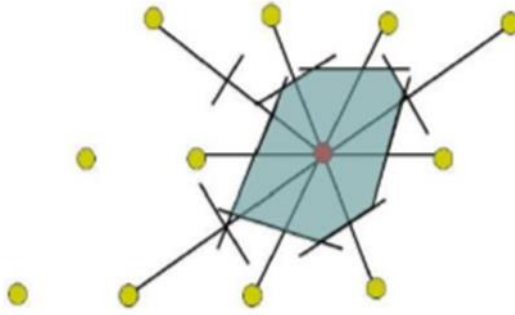
**2/Structure «diamants »:** Pour une bande interdite complet, les matériaux avec de telles structures sont disposés selon le système cristallin du diamant. La géométrie de ces matériaux sont basés sur l'architecture du diamant illustrée à la figure 1. 12.



**Figure 1. 12:** Image MEB d'un CP 3D de type opale inversée [30].

### **1. 5 La zone de Brillouin :**

La zone de Brillouin est la région qui divise l'espace réciproque associé aux cristaux, on utilise les plans de Bragg pour la définir car il y en a une infinité, dans cet espace ces régions dotent les propriétés système du réseau réciproque, et dans l'ordre indique la première zone, la deuxième zone, la troisième zone, etc...et cette zone est par définition la maille de Weigner-Seitz [31] [32].



**Figure 1. 13:** Zone de Weigner-Seitz.

Cette région a deux propriétés importantes:

- Chaque emplacement spécifie un vecteur d'onde lié par un vecteur de fréquence.
- Des conditions de diffraction existent aux limites de région, définies par la relation

suivante :

$$\vec{K} \cdot \vec{g} = \frac{1}{2} |\vec{g}|^2 \quad (1.5)$$

Avec :

$\vec{K}$ : Vecteur d'onde de la première zone de Brillouin.

$\vec{g}$ : Vecteur de réseau réciproque.

La zone de Brillouin est utilisée pour reconstruire la première zone avec l'utilisation des symétries du réseau réciproque.

### **1. 6 Diagramme de dispersion:**

La dispersion caractérise le milieu de propagation d'onde et aussi elle donne les informations sur la lumière et la propagation de cette dernière. Les électrons sont autorisés à se disperser dans certaines directions appelées bandes, et cela prend un comportement dans le cristal pour une tension périodique, et c'est dans le cas de la physique du solide interdites (ou gap). Logiquement avec la physique du solide, la description théorique d'un cristal photonique peut être effectuée à l'aide d'un diagramme de bande et fournit ainsi des informations de propagation onde électromagnétique. Il existe deux types de propagation:

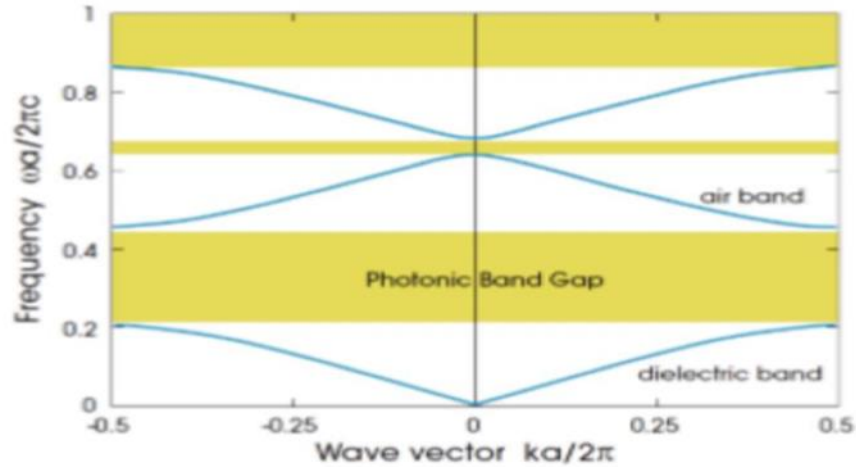
- dans le plan (in plane avec  $k_z=0$ ).
- hors le plan (off plane avec  $k_z \neq 0$ ).

Avec:  $z$  et  $k_z$  sont respectivement l'axe parallèle aux cylindres (trous) et la constante de propagation suivant cet axe.

Le diagramme de dispersion représente la fonction  $\omega(\vec{K})$  avec:  $\omega$  c'est la pulsation et  $\vec{K}$  c'est le vecteur d'onde.

**1. 6. 1 Diagramme de bande d'un CP-1D:**

La figure 1. 14 montre un exemple de diagramme de bande d'un miroir de Bragg calculé selon la méthode des ondes planes [33] à partir de deux couches diélectriques de permittivité  $\epsilon_1= 13$  et une couche de perméabilité à l'air  $\epsilon_2=1$ .



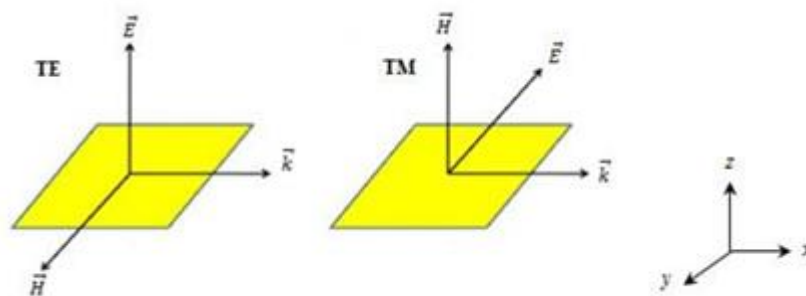
**Figure 1. 14:** Diagrammes de bandes d'un miroir de Bragg (1D) [33].

**1. 6. 2 Diagramme de bande d'un CP-2D :**

Dans les systèmes bidimensionnels, on distingue deux types de polarisations indépendantes des champs électromagnétiques (figure 1. 15) :

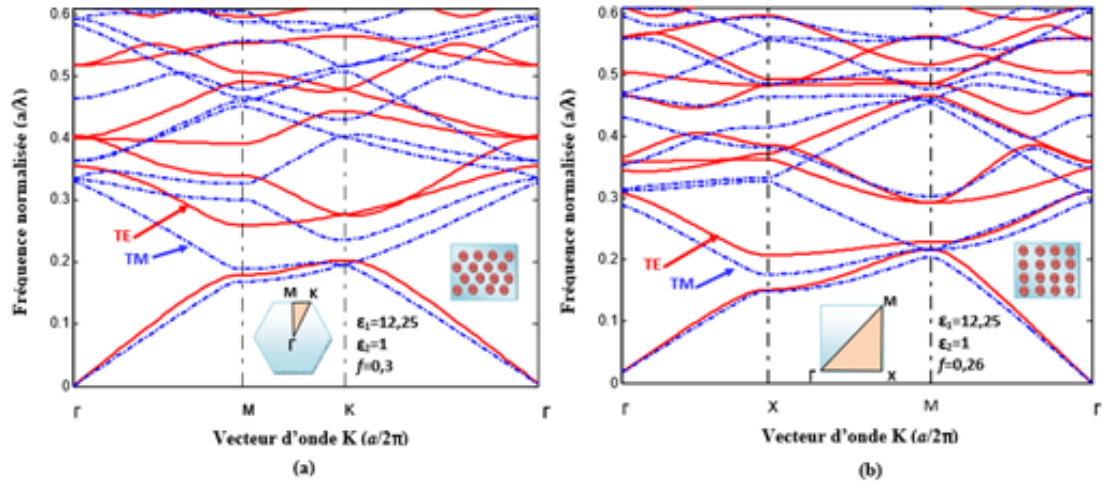
Les modes électriques transversaux (TE): Il y a un champ dans le plan de périodicité champ électrique et magnétique perpendiculaire à ce plan ( $\vec{H}$  est aligné dans le plan de périodicité et le champ  $\vec{E}$  n'a qu'une seule composante perpendiculaire au plan. Le champ a une forme  $(H_x, H_y, E_z)$ ).

Les modes magnétiques transversaux (TM): Dans le plan de périodicité y a le champ magnétique et le champ électrique aussi perpendiculaire. Le champ est de la forme  $(E_x, E_y, H_z)$ .



**Figure 1. 15:** Les modes de polarisation TM, TE.

La figure 1. 16 présente deux diagrammes de bandes d'un CP-2D connecté à mailles triangulaire et carrée.

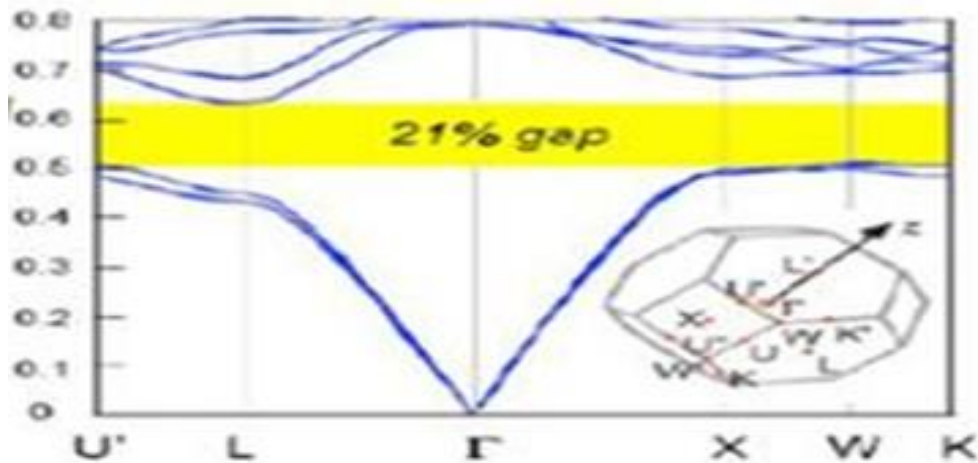


**Figure 1. 16 :** Figure 1.16 : le diagramme de bande d'une CP 2Ds des trous d'air dans une matrice diélectrique Indice de silicium dans les polarisations TE (lignes rouges) et TM (lignes pointillées bleues) ; (a)un réseau triangulaire, (b) un réseau carré [34].

La structure étudiée correspond à une matrice bidimensionnelle de trous d'air  $n_{air}=1$  dans du silicium  $n_{Si}= 3,5$ ). Le diamètre des trous est égal à  $0,288a$  dans les deux structures avec un facteur de remplissage  $f=0.26$  pour le réseau carré et  $f=0.30$  pour le réseau triangulaire. Dans le cas de réseau triangulaire, une bande interdite photonique (BIP) est observée pour la polarisation TE pour  $\frac{a}{\lambda}=0,21-0,27$ . Pour la polarisation TM, aucune bande interdite n'apparaît [34].

### 1. 6. 3 Diagramme de bande d'un CP-3D :

La figure 1. 17 expose un exemple d'un diagramme de bande CP-3D présentant une bande interdite omnidirectionnelle de 21% avec un gap complet TE et TM qui sont assez complexe et le coin de la zone de Brillouin irréductible marqués dans l'encadré.



**Figure 1. 17:** Diagramme de bande des CP-3D [35].

Pour des structures du type « tas de bois » les bandes interdites tridimensionnelles sont complètes dans le proche infrarouge [36].

### **1. 7 Les défauts dans les cristaux photoniques :**

Il existe deux principaux types de défaut pour les cristaux solides dans le but de créer un ou plusieurs modes qui ne propagent pas mais l'insertion des défauts introduit des modes propagatifs dans la BIP [37].

#### **1. 7. 1 Les défauts ponctuels :**

Il existe des manières pour créer des défauts, en modifiant les caractéristiques d'une cellule dans la taille, la forme ou la permittivité de trou.

##### **I. 7. 1. 1. Défauts additifs :** C'est l'ajout des éléments au réseau initial [38] :



**Figure 1. 18:** Stratégies des défauts additifs.

##### **I. 7. 1. 2. Défauts lacunaires:** Ce type de défaut revient à enlever des éléments au réseau initial [39] :



**Figure 1. 19:** Stratégies des défauts lacunaires.

##### **I. 7. 1. 3. Défaut de substitution:** Ces défauts consistent à modifier des éléments au réseau initial [40].



**Figure 1. 20:** Stratégies des défauts de substitution.

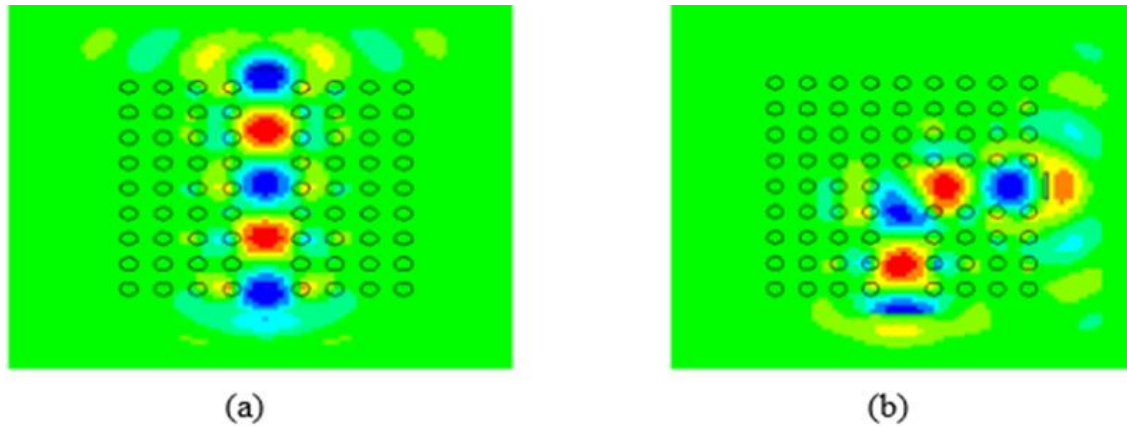
#### **1. 7. 2 Les défauts linéaires:**

Ils sont aussi appelés défauts étendus capables de réaliser un guidage diffractif des ondes



pour tous les dimensions c'est-à-dire la lumière va se propager le long de guide. L'intérêt des guides d'ondes BIP c'est qu'ils présentent de faibles pertes au niveau de courbures.

La figure 1. 21 montre la cartographie du champ dans un guide d'onde rectiligne et à courbure extrême à 90° pour un CP-2Dconnecté à maille carrée.



**Figure 1. 21:** Représentation de la propagation du champ dans un CP carré à défaut linéaire: (a) guide d'onde rectiligne, (b) guide d'onde avec des coudes extrêmes à 90° [41].

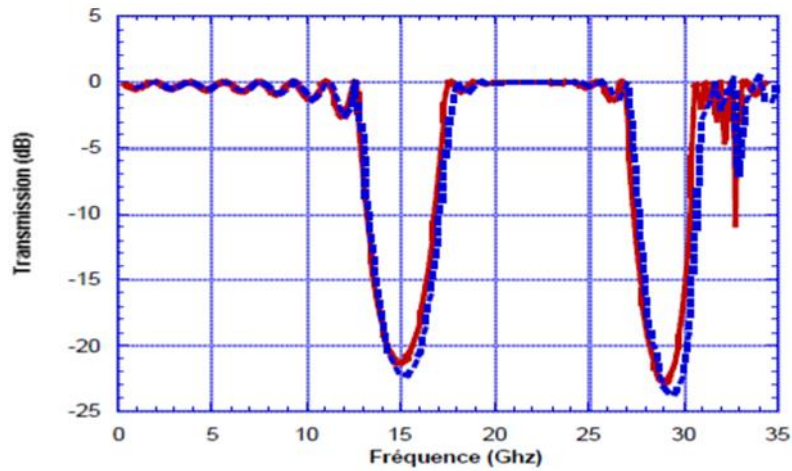
### **1. 8 Les méthodes d'analyse des cristaux photoniques :**

#### **1. 8. 1 Méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD):**

Où la méthode des différences finies dans le domaine temporel c'est une approche numérique permettant la solution des équations de Maxwell qui ont été appliquées pour la première fois par Yee en 1996 pour approximer les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles qui apparaissent dans les équations. Cette approche permet d'étudier des réseaux de taille finie grâce aux conditions aux limites d'utilisation. L'exécution en parallèle se prête à cette méthode sur des processeurs comme une grappe, dans un supercalculateur ....[42].

#### **1. 8. 2 Méthode de matrice de transfert (TMM) :**

Cette méthode permet de calculer les coefficients de réflexion et de transmission des cristaux de taille finie [43]. La figure 1. 22 illustre la réponse en transmission en dB obtenue par l'utilisation du code de Reynolds et qui l'a comparé par la méthode des éléments finis.

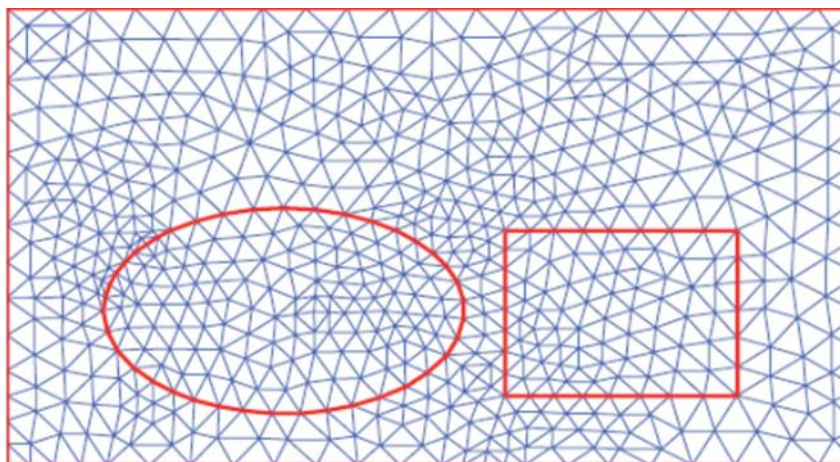


**Figure 1. 22:** Courbes de transmission calculées avec la méthode matricielle transmet éléments finis et HFSS pour un réseau carré 3,5 d'un diamètre de 5 mm et grille  $p=7\text{mm}$  avec polarisation TM [44].

### 1. 8. 3 Méthode des éléments finis (FEM):

C'est la méthode la plus utilisée, capable de résoudre des problèmes géométriques, et sa formulation nécessite une procédure standardisée qui est répétée lors de la résolution de problèmes. Il s'agit d'un problème d'une nature différente et offre également des opportunités pour développer des programmes et en cas particulier, les problèmes de domaines géométriques, peut être facilement traitée par cette méthode. La plupart des méthodes d'éléments finis utilisent des techniques en exploitant les équations de Maxwell [45] [46].

Le FEM utilise un maillage non structuré pour présenter le domaine qui se décompose en plusieurs éléments, les bi et tridimensionnels sont très utilisés ce qui est définie dans la figure 1. 23 [47] le maillage s'adapte aux structures courbes.



**Figure 1. 23:** Maillage triangulaire adaptatif [47] [48].

## 1. 9 Domaines d'application :

### 1. 9. 1 Les guides :

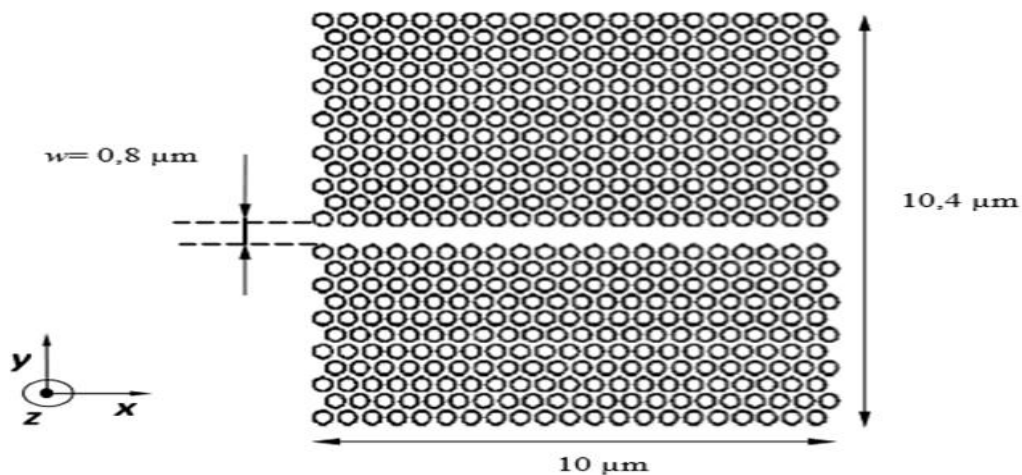
Les guides d'ondes sont apparus en 1994 sous l'impulsion de Joannopoulos, Meade et al. [49] et ont été produit en 1999. Des instructions sont fournies dans ces guides de cristaux

photoniques et la réflexion interne totale due à la propagation des modes de Bloch entraînés à travers la bande Interdite, cette propagation guidée est limitée aux interférences latérales par la loi de la réfraction aux interférences du guide.

**1. 9. 1. 1. Guide  $W_1^k$  A:**

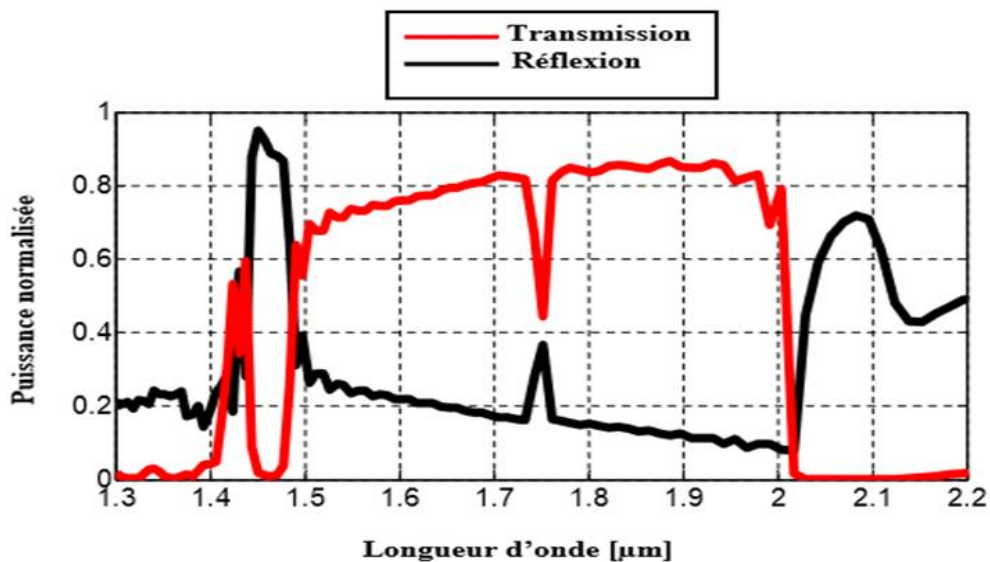
Guides d'ondes à une rangée a été obtenu en omettant la ligne des événements trous carrée ou triangulaire ; le conducteur peut être considéré comme un guide d'onde dans ce cas monomode.

La Figure 1. 24 montre un exemple de fibre monomode CP-2D avec une cellule unitaire triangulaire [50].



**Figure 1. 24:** Guide mono-rangée avec les caractéristiques suivantes: le pas de 0.04  $\mu\text{m}$ ,  $\epsilon=10.5$ ,  $f=44\%$ ,  $a=0.48\mu\text{m}$ ,  $r=0.167\mu\text{m}$  [52].

La figure 1. 25 est une représentation de la réponse spectrale de transmission et en réflexion du guide illustré dans la figure I. 24[51].

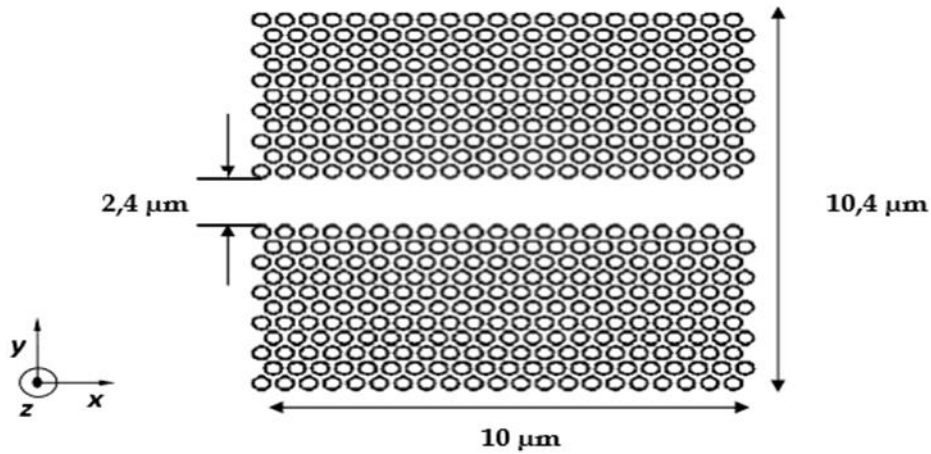


**Figure 1. 25 :** La réponse spectrale de transmission et en réflexion d'un guide  $W_1^k$  Avec le pas de 0.04 $\mu\text{m}$  [52].

On remarque que cette transmission est sur une largeur de bande [1.3-2.2]  $\mu\text{m}$  et la quantité de transmission maximale enregistrée est de 82%.

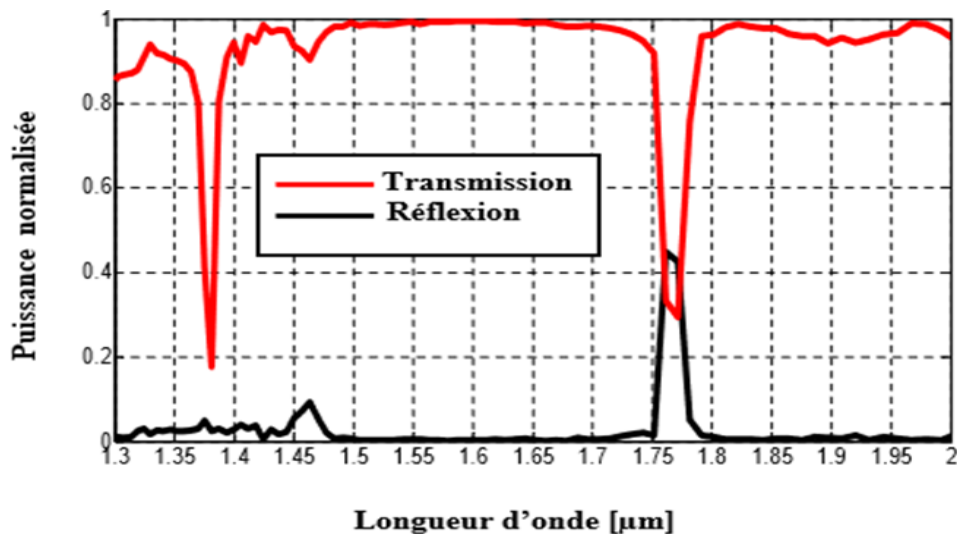
**1. 9. 1. 2. Guide  $W_3^k A$ :**

Un guide d'ondes est défini en omettant n rangées de trous, notées guide d'ondes  $W_n$ , de l'exemple de dessin I.26, illustre l'exécution de 3 rangées sautés de points triangle. Parmi eux Exemple, la structure fait 21 rangées de long et 11 de large de part et d'autre du défaut en taille  $(10.4*10) \mu\text{m}$  [52].



**Figure 1. 26:** Guide  $W_3^k A$  avec maille triangulaire, pas de  $0.04\mu\text{m}$ ,  $\epsilon=10.5$ ,  $f=44\%$ ,  $a=0.48\mu\text{m}$ ,  $r=0.16\mu\text{m}$  [52].

La figure 1. 27 montres la réponse spectrale en termes de transmission et en réflexion du guide donné sur la figure I. 26. La simulation est faite sous FDTD-2D [52].



**Figure 1. 27:** La réponse spectrale de transmission et en réflexion de ce guide avec le pas de  $0.04\mu\text{m}$  [52].

Selon la figure 1. 27, en remarque que la transmission maximale enregistrée à  $1.55\mu\text{m}$  est de 100% d'où l'absence des pertes de propagation.

**1. 9. 2 Les filtres à cristaux photoniques :**

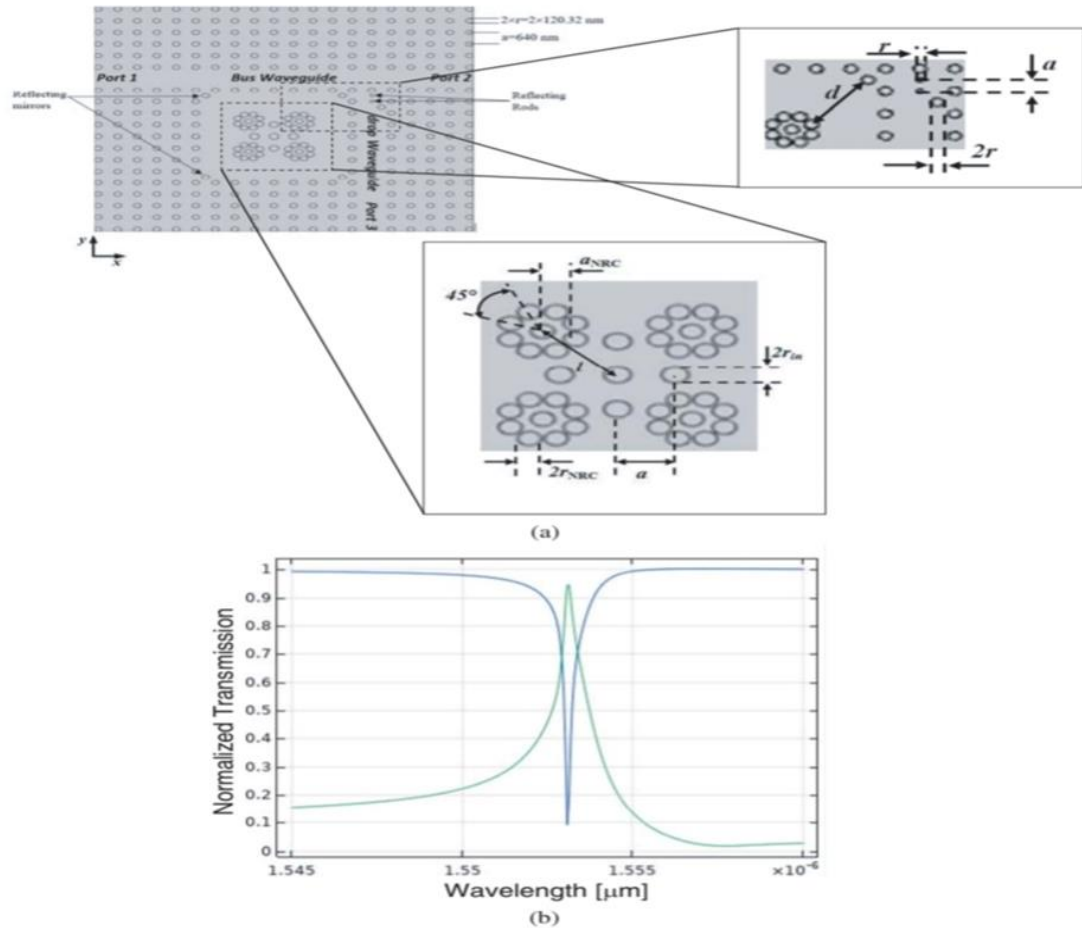
**1. 9. 2. 1. Conception Drop Filtre:**

À cette étude, la structure cristalline photonique 2D considérée est un réseau carré de tiges diélectriques en GaAs cylindrique intégrées dans un fond d'air. Les paramètres de la tige

sont: indice de réfraction  $n = 3,28$  et rayon  $r = 0,188 \times a$ , où  $a = 640$  nm est le réseau de la structure cristalline photonique définie par la distance entre eux.

La résolution horizontale du milieu de deux barres adjacentes,  $a$  est le racine 20 de la résolution verticale à 20.

Structure d'un filtre séparateur de canaux en forme de T basée sur PCRR (CDF) selon la figure 1. 28.



**Figure 1. 28 :**(a) PCRR à anneau, (b) Spectres de transmission normalisés à deux ports de sorties 2 et 3 pour PCRR. Les paramètres de conception du NRC-QSRR proposé:  $a=640$ nm,  $r=120.32$ nm,  $r_{in}=151.3$ nm,  $a_{NRC}=551.36$ nm,  $r_{NRC}=130.34$ nm,  $d=1608.36$  nm,  $l=1169.61$ nm.

Dans cette configuration, le résonateur annulaire est créé en retirant la tige diélectrique carré  $7 \times 7$  et le remplacer par quatre trous espacés séparés chacun par un rayon d'ouverture =  $0,2356 \times 1$ .

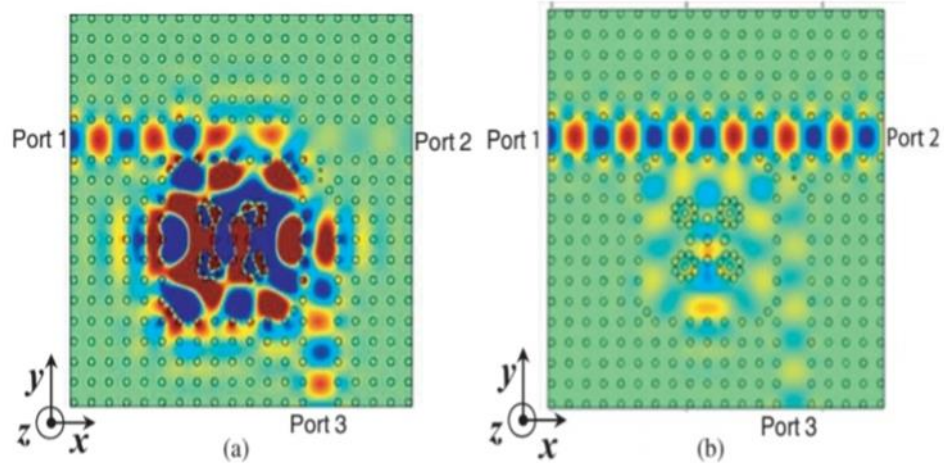
Le guide d'onde du bus d'entrée est créé en supprimant une ligne horizontalement rangée entière de tiges diélectriques et enlèvement vertical de toute la rangée de tiges diélectriques pour créer l'alignement du guide d'onde inférieur. Pour améliorer l'efficacité de l'extraction et sélectivité spectrale rapportée technique examinée par Kumar et al.

Il y a quatre tiges réfléchissantes dans chaque coin des quatre côtés de l'évidement rayon et indice de réfraction que toute autre tiges de structure photonique. L'introduction de contraintes locales élimine les modes de propagation contrastés dus aux angles aigus résonateurs. Une

sélection rigoureuse de leurs paramètres (rayon et position) améliore propriétés CDF.

Les ondes optiques entrent dans la structure par le port 1 et sortent par le port 2, mais pendant la résonance de la longueur d'onde optique, Ils sont transmis à travers l'anneau de résonance au guide de gouttelettes et sortent par le port 3.

La figure 1. 29 montre le modèle de champ électrique d'un résonateur en anneau aux longueurs d'onde de  $1,553 \mu\text{m}$  et  $\pm 1,556 \mu\text{m}$ , respectivement. À la longueur d'onde de résonance  $\lambda = 1,553 \mu\text{m}$ , l'efficacité d'extraction dépasse 99% avec un facteur de qualité de 1411.

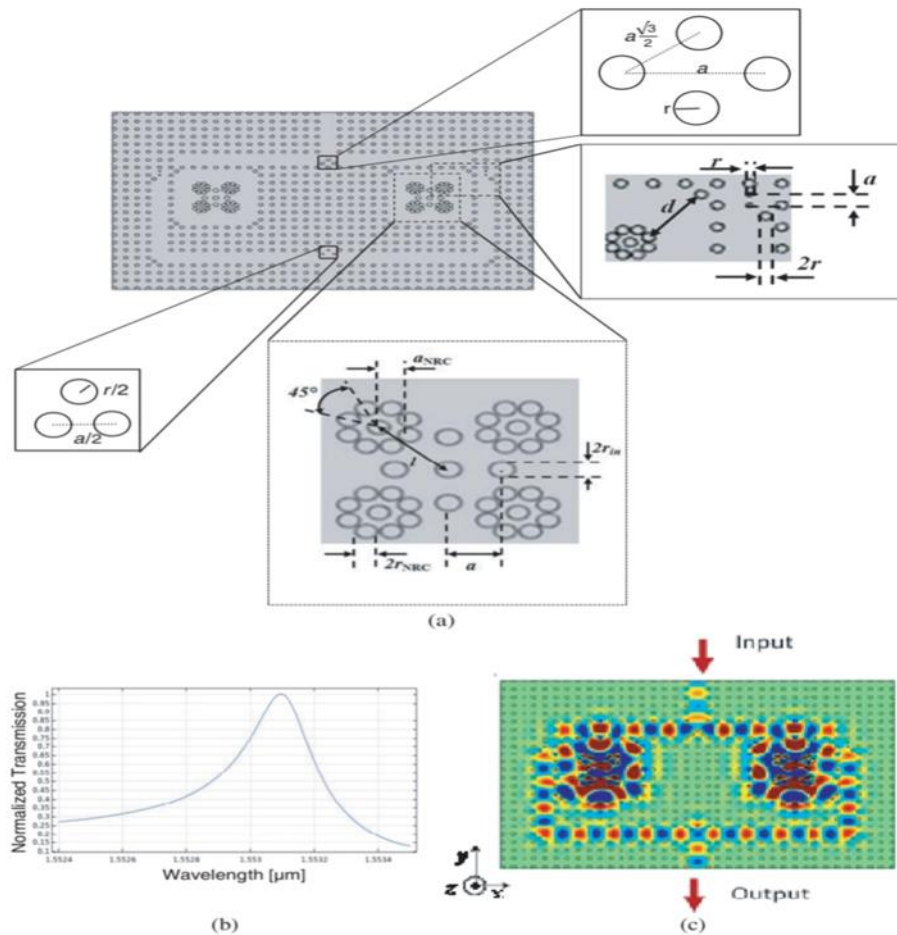


**Figure 1. 29:** Modèle de champ électrique du résonateur en anneau à (a)  $\lambda = 1,553 \mu\text{m}$  (la longueur d'onde de résonance). (b)  $\lambda = 1,556 \mu\text{m}$  (la hors résonance) [53].

La composante transverse de l'onde électromagnétique  $E_z$  est représenté autour des longueurs d'onde  $\lambda = \pm 1,553 \mu\text{m}$  et  $\lambda = 1,556 \mu\text{m}$ , où les impulsions positives sont rouges et négatives sont bleues [53].

#### **a-filtre Drop de canal à cristal photonique à double anneau :**

Deux résonateurs à anneau unique étudiés précédemment sont utilisés ensemble pour créer un résonateur à double anneau, comme illustré à la Fig. 1. 30(a). Aux fins, afin d'optimiser la transmission du mouvement, trois bielles à  $r/2$  rayons sont placées en correspondance avec la jonction de guide. Il contient un ensemble de tiges  $41 \times 25$  avec les mêmes rayons que le résonateur. Le PCRR en forme de fleur et ses paramètres importants tels que l'efficacité ont été proposés et conçus Transmission, performances de chute, facteur de qualité et longueur d'onde de résonance relevés. L'efficacité de transmission de ce filtre à gouttelettes est illustrée à la Fig1. 30(b). L'efficacité énergétique du CDF est d'environ 100 %. En résonance on observe que la longueur L'onde de travail du est de  $1 553 \mu\text{m}$  [53].



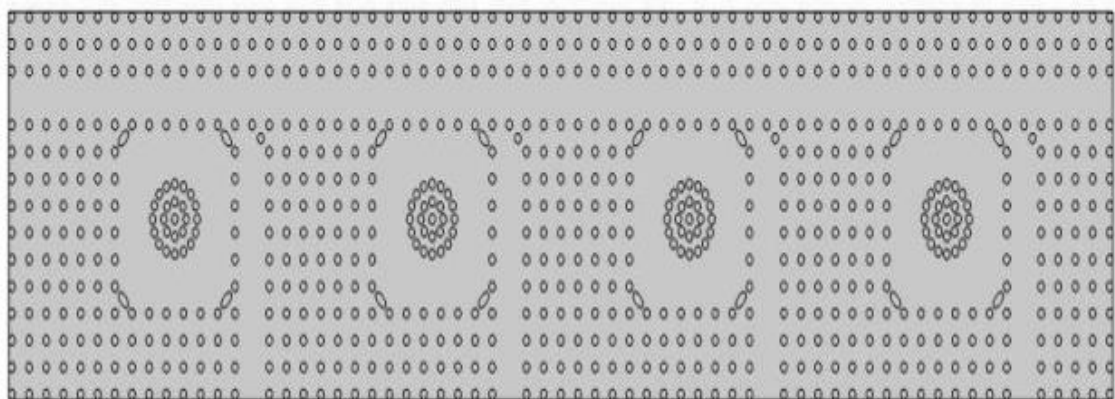
**Figure 1. 30 :**(a) CDF PCRR à double anneau. Les paramètres de conception du NRC-QSRR proposé:  $a = 640$  nm,  $r = 120,32$  nm,  $r_{in} = 151,3$  nm,  $a_{NRC} = 551,36$  nm,  $r_{NRC} = 130,34$  nm,  $d = 1608,36$  nm,  $l = 1169,61$  nm. (b) Spectres de transmission normalisés. (c) La distribution du champ électrique à (a)  $\lambda = 1553$  nm (la longueur d'onde de résonance) [53].

### 1. 9. 3 Démultiplexeur :

#### 1. 9. 3. 1. Conception d'un démultiplexeur 1.31μm :

Dans cet exemple de démultiplexeur, c'est un ensemble de filtres regroupés dans une même structure pour extraire des plusieurs longueurs d'onde.

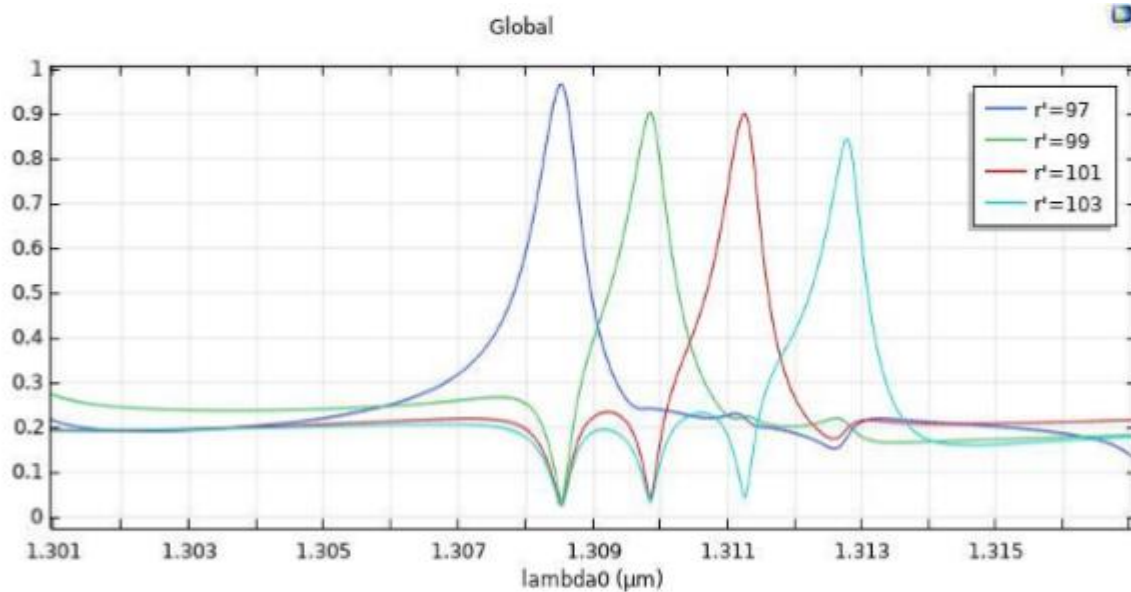
La structure comporte quatre résonateurs avec des différents rayons comme le montre la figure 1. 31.



**Figure 1. 31 :** Présentation schématique d'un démultiplexeur à quatre anneaux pour  $\lambda = 1.31\mu\text{m}$  [54].

Il existe quatre anneaux carrés basés sur CP-2D avec des rayons différents, à partir de cette figure, le phénomène de filtrage apparaît à chaque longueur d'onde, confirme qu'il s'agit bien d'un démultiplexeur.

La figure 1. 32 illustre la réponse spectrale de transmission pour les paramètres  $r'=97\text{nm}$ ,  $r'=99\text{nm}$ ,  $r'=101\text{nm}$  et  $r'=103\text{nm}$ .



**Figure 1. 32 :** La réponse spectrale de transmission pour,  $r'=97\text{nm}$ ,  $r'=99\text{nm}$ ,  $r'=101\text{nm}$  et  $r'=103\text{nm}$  [54].

### 1. 9. 4 Coupleur directionnels :

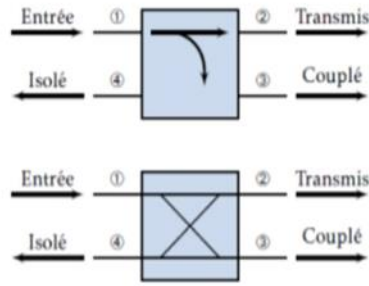
Les coupleurs directionnels sont des dispositifs passifs principalement utilisés pour domaine de la technologie radio. Ils couplent une certaine puissance. Le signal électromagnétique de la ligne de transmission au port permet au signal d'être utilisé d'autres circuits. Une propriété clé des coupleurs directionnels est qu'ils ne couplent que la puissance circule dans un seul sens. Les coupleurs directionnels sont conçus pour la méthode de répartition uniforme de la puissance entre les deux ports s'appelle un coupleur hybride [55].

Un coupleur directionnel se compose généralement de deux lignes les transports couplés sont placés suffisamment près les uns des autres pour que l'énergie passe à travers l'un est couplé à l'autre. Cette technique est privilégiée aux fréquences micro-ondes où la conception des lignes de transmission est souvent utilisée pour atteindre de nombreux éléments de circuit.

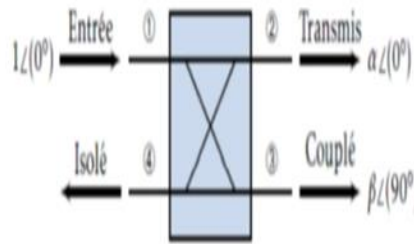
#### a / Coupleur symétrique $\theta = \phi = \pi/2$ :

Le coupleur symétrique est montré à la Figure 1. 33, n'importe quel port peut être utilisé pour l'entrée. La sortie sera toujours du côté opposé de l'entrée, et le port isolé sera toujours du même côté que l'entrée. Dans ce cas, on choisit  $\theta = \phi = \pi/2$ , ce qui veut dire que les termes d'amplitude ont la même phase [4].





**Figure 1. 33 :** Deux symboles communs pour des coupleurs directionnels, et convention de flux de puissance [55].



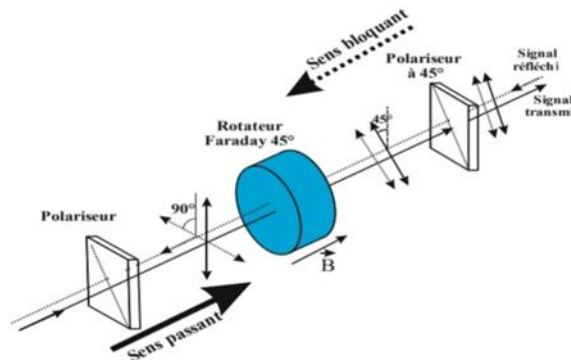
**Figure 1. 34:** Coupleur symétrique.

La matrice S du coupleur symétrique est:

$$s = \begin{bmatrix} 0 & \alpha & j\beta & 0 \\ \alpha & 0 & 0 & j\beta \\ j\beta & 0 & 0 & \alpha \\ 0 & j\beta & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$

**1. 9. 5 Isolateur :**

L’isolateur optique en espace libre représenté sur la figure 1.35. Il utilise la combinaison d'un stub magnéto-optique de deux polariseurs qui effectuent une rotation de Faraday de 45° pour laisser passer la lumière dans un sens et la bloquer dans l'autre sens. Cela garantit une transmission lumineuse unidirectionnelle et évite les reflets gênants [56].



**Figure 1. 35:** Principe de fonctionnement d’un isolateur optique en espace libre.

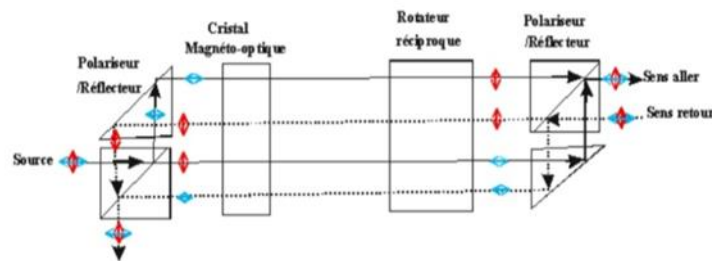
Les isolateurs optiques sont principalement caractérisés par leur rapport d'isolation, qui mesure la capacité de l'isolateur à bloquer la lumière dans le sens retour par rapport à la lumière dans le sens aller. Le taux d'isolation est exprimé en décibels (dB) et est calculé en prenant le rapport du coefficient de transmission dans le sens aller par rapport au coefficient de transmission dans le sens retour.

Les pertes d'insertion, quant à elles, mesurent les pertes de puissance qui se produisent lors de l'insertion l'isolateur optique dans une chaîne optique. Ces pertes peuvent être dues à des phénomènes tels que le couplage de puissance ou les pertes de propagation. Dans le cas d'un isolateur optique en espace libre, les pertes d'insertion typiques sont d'environ 0,3 à 0,5 dB.

Le rapport d'isolement, qui est le rapport de transmission entre le sens aller et le sens retour, est généralement compris entre 35 et 44 dB pour les isolateurs optiques en espace libre.

La sélection du matériau magnéto-optique utilisé dans un isolateur optique dépend de la longueur d'onde de la lumière et des performances souhaitées. Certains matériaux couramment utilisés comprennent les verres paramagnétiques, les grenats de terbium et de gallium (TGG), les grenats yttrium fer (YIG) et les grenats bismuth fer gadolinium (GBIG).

La figure 1. 35 montre que l'isolation est lié à la direction de la polarisation incidente, pour résoudre ce problème, il existe des structures plus complexes qui sont indépendantes polarisation de la lumière.



**Figure 1. 36:** Principe de fonctionnement d'un isolateur optique en espace libre indépendant de la polarisation [56].

Donc les deux polarités correspondent la méthode est tirée de la Figure 1-34. Ils sont traités séparément et recombinaés par un polariseur sortie. Les commutateurs de polarisation d'entrée et de sortie ne fonctionnent que pour polarisations orthogonales, rotateur inverse de  $45^\circ$  requis [56].

### 1. 10 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons décrits les cristaux photoniques qui sont des matériaux possédant un constant diélectrique périodiquement modulée dans une, deux ou trois directions de l'espace et qui permettent de manipuler le comportement des photons à l'échelle de la longueur d'onde. Nous avons souligné que ces matériaux sont capables d'interdire la propagation de la

lumière dans certaines directions et pour des énergies appelées par la BIP. Cette dernière est une propriété intéressante pour réaliser de nombreuses fonctions optiques.

Le chapitre suivant sera consacré tout particulièrement aux convertisseurs en cristaux photoniques 2D.

## **Références bibliographiques:**

- [1]- E. Yablonovitch, «Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics»,Physical Review Letters ,vol. 58, n° 120, pp. 2059-2062, 1987.
- [2]- E. Yablonovitch, T.J. Gmitter and K.M. Leung, «Structure de la bande photonique: Le cas cubique à face centrée utilisant des atomes non sphériques»,PhysicalReviewLetters, vol. 67, n° 117, p. 2295, 1991.
- [3]- O. Graydon, G.J. Parker, and R. Sambles.« Nature’s nanostructures colour wings and stones»,Opto and Laser Europe, 51:31–36, Jun 1998.
- [4]- <http://www.nano-ecole.fr/idf/les-couleurs-du-papillon-morpho-quoi-de-nano>.
- [5]- Sarah Radia, « Contribution à la conception des nouvelles topologies de démultiplexeurs en cristaux photoniques à plusieurs canaux pour télécommunications optiques », Thèse de Master, Université de AboubakrBelkaid-Tlemcen-, 2020.
- [6]- Florence Benoit, « Développement de cristaux photoniques par voie sol-gel pour des applications laser de puissance », Thèse de doctorat, Université François Rabelais de Tours, 2015.
- [7]- Ms-Tel.Sidi-Kada+Ziani,«Conception d’un circulateur optique à haute performances pour les applications proche infra-rouge», 07juillet 2021.
- [8]- <https://ricochets.info/2016/11/14/la-vie-est-bleue-comme>.
- [9]-L. Rayleigh. « On the maintenance of vibrations by forces of double frequency, and on the propagation of waves through a medium endowed with a periodic structure», Philosophical Magazine, 24(147):145–159, 1887.
- [10]- Saidani Asma, « Application des méthodes stochastiques pour l’optimisation des filtres passe-bande à base des cristaux photoniques unidimensionnels », mémoire master, Université de AboubakrBelkaïd-Tlemcen, 2014.
- [11]- J.B. Bai, J.Q. Wang, X.Y. Chen, J.Z Jiang, H. Li, Y.S. Qiu, Z. Qiang, “Characteristics of 45° photonic crystal ring resonators based on square-lattice silicon rods”, Optoelectronics Letters, vol. 6, pp. 203–206, 2010.
- [12]- T. E. Sale, Vertical Cavity Surface Emitting Lasers. Research Studies Press, Somerset, UK, 1995.
- [13]- LALLAM FARAH, «Conception des Nouvelles Topologies des Démultiplexeurs Sélectifs à plusieurs canaux en Longueurs d’ondes à base de Cristaux Photoniques Bidimensionnels CPs-2D», Thèse de doctorat, Université AboubakrBelkaïd-Tlemcen-, Février 2019.
- [14]- Barbara Wild, « Etude expérimentale des propriétés optiques des cristaux photoniques bidimensionnels et de leur accordabilité », Thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2006.
- [15]- V.VIGNERAS, H. ROUSSEL, J.P PARNEIX, W. TABBARA « Modélisation et mesure de la réponse électromagnétique de structures BIP bidimensionnelles », JNM 2001, Poitiers, 16-18 mai 2001.
- [16]- S. J. McNab, N. Moll, and Y. A. Vlasov, «Ultra-low loss photonic integrated circuit with membrane-type photonic crystal waveguides», Opt. Express, vol. 11, p. 2927–2939, 2003.

- [17]- P. Bienstman, S. Assefa, S. G. Johnson, J. D. Joannopoulos, G. Petrich, and L. A. Kolodziejski, «Taper structures for coupling into photonic crystal slab waveguides», J. Opt. Soc. Am., vol. 20, n° %1B, p. 1817–1821, 2003.
- [18]- Yablonovitch, T. J. Gmitter et K.M. Leung, «Photonic band structure: the facecentered-Cubic case employing non-spherical atoms», Physical Review Letters, vol. 67, n° %12259-2298, p. 17, 1991.
- [19] [20]- D. Felbacq, E. Centeno, « Theory of diffraction for 2D photonic crystals with a boundary », Optics communications, Vol.199, pp. 39-45, November 2000.
- [21][34]-ABRI BADAoui Hadjira, “Etude et Conception des Micro - composants à Base des Cristaux Photonique Bidimensionnels”, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Décembre 2012.
- [22]- L. Bigot, «Fibres à cristal photonique: 10 ans d’existence et un vaste Champ d’applications», Journal de laboratoire de physique des lasers, atomes et molécules, 2007.
- [23]- B. Wild, «Etude expérimentale des propriétés optiques des cristaux photoniques bidimensionnels et de leur accordabilité», Thèse de doctorat en Physique, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2006.
- [24]- V. Mizeikis, S. Juodkasis, A. Marcinkevicius, S. Matsuo, H. Misawa, ‘Tailoring and characterization of photonic crystals’, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 2, p.35-69, (2001).
- [25]- Lydie Ferrier, ‘Micro-nanostructures à base de cristaux photoniques pour le contrôle 3 D de la lumière’, thèse doctorat, Ecole Centrale de Lyon, (2008).
- [26]- K. M. Ho, C. T. Chan, and C. M. Soukoulis, “Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures”, Phys. Rev. Lett., Vol.65, p.25, 1990.
- [27]- Yablonovitch, T. J. Gmitter et K.M. Leung,, «Photonic band structure: the facecentered-Cubic case employing non-spherical atoms,» Physical Review Letters, vol. 67, n° %12259-2298, p. 17, 1991.
- [28]- R. D. M. John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn, photonic Crystals: Modeling the flow of light, Princeton. 2008.
- [29]- M. PLIHAL, A.A. MARADUDIN, «Photonic band structure of two- dimensionalsystems: The triangularlattice,» Physical Review B, vol. 44, pp. 8565-8571, October 1991.
- [30]- A. Blanco, E. Chomski, S. Grabtchak, M. Ibisate, S. John, S.W. Leonard, C. López, F. Meseguer, H. Mínguez, J.P.Mondia, G. Ozin, O. Toader and H.M.vanDriel, "Large scale synthesis of a silicon.photonic crystal with a complete three-dimensional bandgap at 1.5 micrometers", Nature 405, 437(2000).
- [31]- Sedik Kheffache, «Propagation d’ondes élastiques dans les cristaux phononiques bidimensionnels», Mémoire de magister, Université de Tizi-Ouzou, 28, Sept 2011.
- [32]- S. Kheffache, «Propagation d’ondes élastiques dans les cristaux phononiques bidimensionnels,» thèse de doctorat,UNIVERSITE DE TIZI-OUZOU, Septembre 2011.
- [33]- F. Lallam, H. AbriBadaoui, M. Abri and A. Fedouch,, «Design of a Novel Photonic Crystal

1.31/1.55  $\mu\text{m}$  Biband Filter for Near Infrared Application,» *Optica Applicata*, vol. 48, n° 13, pp. 341-348, 2018.

[35]- B. Rahima, «Étude du couplage dans les guides d'onde à cristaux photoniques,» mémoire de magister, université de CONSTANTINE, 11 Novembre 2009.

[36]- Fleming, S. Y. Lin et J. G., «a three-dimensional optical photonic crystal,» *IEEE Journal of Microwave Technologie* 17, p. 1944, 1999.

[37][39][40]- G. Tayeb, D. Maystre, Rigorous theoretical study of finite size two dimensional photonic crystals doped by microcavities, *J. Optical Society of America A*, vol. 14, pp. 3323–3332, 1997.

[38]- Riad MOUKHTARI, « Contribution à L'étude et La Conception Des Cavités à Cristaux Magneto Photoniques », Thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf – M'sila, 30 Mai 2018.

[41]- C. Gohle, B. Stein, A. Schliesser, Th. Udem et T. W. Hänsch « Frequency comb vernierspectros copy for broadband, high-resolution, high-sensitivity absorption and dispersionspectra », *Phys. Rev. Lett.* 99(26):263902(1–4), 2007.

[42]- J.-J. BONNEFOIS, «modélisation d'effets non linéaires dans les cristaux photoniques, application à la limitation optique,» thèse de doctorat, université de PARIS, 30 Novembre 2006.

[43]- D. Botteldooren, «Acoustical finite-difference time-domain simulation in a quasi-Cartesian grid» *J Acoust Soc*, vol. 95, n° 14, pp. 1924-1931, 1996.

[44]- S. Wang, «Finite-difference time-domain approach to underwater acoustic scattering problems» *J Acoust Soc Am*, vol. 99, pp. 1924-1931, 1996.

[45]- F. Anibal Fernandez and Yilong Lu, «Microwave and optical waveguide analysis by the Finite» *Research studies press Ltd*, 1996.

[46]- G.L. Maile, «Three-Dimensional Analysis of Electromagnetic Problems by Finite», Thèse de doctorat, université de CAMBRIDGE, 1979.

[47]- OYHENART Laurent, «Modélisation, réalisation et caractérisation de cristaux photoniques tridimensionnels», thèse de doctorat, université de BORDEAUX, 13 Décembre 2005.

[48]- Bostan, Cazimir Gabriel, «CONCEPTION ET FABRICATION DE COMPOSANTS DE CRISTAUX PHOTONIQUES QUASI-2D BASÉS SUR LA TECHNOLOGIE SILICIUM-SUR-ISOLATEUR.», thèse de doctorat, Université de TWENTE, 25 Février 2005.

[49]- J.-C. Tolédano, « Bases physiques de la plasticité des solides », livre, Ecole Polytechnique France, 11, juill 2007.

[50][51][52]- ABRI BADAoui, Hadjira, «Étude et conception des micro composants à base de cristaux photoniques bidimensionnels», Thèse Doctorat, 28 nov 2013.

[53]- L. Mokhtari, H. A. Badaoui, M. Abri, M. Abdebasset, F. Lallam, and B. Rahmi, «Proposal of a New Efficient or/Xor Logic Gates and all-optical Nonlinear Switch in 2D Photonic Crystal Lattices », *Progress in Electromagnetics Research C*, Vol. 106, 187-197, 2020.

[54]- Deddouche M, Benaissa M, « Résonateurs en cristaux photonique: filtrage et démultiplexage », Thèse Master, 9 septembre 2020.

[55]- BenallalImene, « coupleurs directifs en cristaux photoniques », Thèse Master, 26.06.2022.

[56]- Hadi Amata, «Faisabilité d'un isolateur optique intégré en verre », thèse Doctorat, 01.octobre .2012.

[57]- LOMBARDET, Benoît, «étude et réalisation des cristaux photoniques pour l'optique intégrée», thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de LAUSANNE, n°13254, 2005.

## *Chapitre 2*

### *Convertisseur Analogique Numérique à base des cristaux*



## **2. 1 Introduction :**

La conception de dispositifs optiques est un processus complexe qui nécessite une compréhension approfondie des propriétés optiques des matériaux et des méthodes de fabrication. Des simulations numériques et des techniques de fabrication avancées sont souvent nécessaires pour produire des dispositifs optiques avec des propriétés optiques exceptionnelles pour des applications telles que les systèmes d'imagerie, les télécommunications et les capteurs.

De plus, la technologie des cristaux photoniques est encore en développement et n'a pas encore atteint un niveau de maturité suffisant pour une utilisation commerciale généralisée.

Dans ce chapitre, on traite une brève introduction à la conversion analogique- numérique et les principes fondamentaux de convertisseur et on conclure par des exemples des applications de cette théorie.

## **2. 2 Théorie de la conversion analogique-numérique:**

### **2. 2. 1 Définition de la théorie de la conversion :**

La conversion analogique-numérique (CAN) est le processus de conversion d'un signal analogique en un signal numérique. Les signaux analogiques sont continus et peuvent prendre une infinité de valeurs différentes dans une plage donnée. Les signaux numériques, en revanche, sont des nombres entiers qui représentent une plage discrète de valeurs.

Cette théorie couramment utilisée dans de nombreux domaines, notamment dans les systèmes de contrôle industriel, les instruments de mesure, les dispositifs de traitement de signal, les systèmes de communication, les ordinateurs et bien d'autres applications [1] [20].

### **2. 2. 2 Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement d'un convertisseur A/N (CAN) dans un réseau de fibre optique repose sur la conversion d'un signal analogique en signal numérique par échantillonnage du signal optique [2].

Voici les étapes de fonctionnement d'un CAN dans un réseau de fibre optique :

- Échantillonnage optique : Le signal optique analogique est échantillonné à une fréquence donnée à l'aide d'un photo détecteur. L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'un oscillateur optique qui génère un train d'impulsions optiques périodiques qui est utilisé pour échantillonner le signal optique.
- Conversion optique-électrique : Le signal optique échantillonné est converti en signal électrique par un module de réception optique. Le signal électrique est alors traité par le circuit électronique du convertisseur pour être amplifié, filtré et adapté à la norme de signal électrique requise.
- Conversion analogique-numérique : Le signal électrique est converti en signal numérique par un convertisseur analogique-numérique. Le signal numérique est ensuite traité par des circuits électroniques pour être stocké, traité ou transmis.

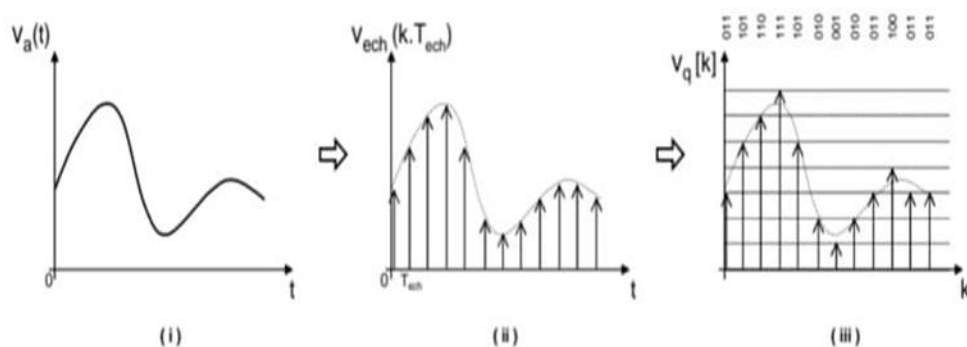
- Conversion électrique-optique : Lorsque le signal numérique doit être transmis sur le réseau de fibre optique, il est converti en signal optique par un module d'émission optique. Le signal optique est alors transmis sur une liaison optique vers l'équipement optique destinataire.
- Traitement du signal optique : Le signal optique est ensuite traité par l'équipement optique destinataire pour être détecté, amplifié et décodé.

Le principal avantage de l'utilisation d'un convertisseur A/N dans un réseau de fibre optique est sa capacité à convertir des signaux analogiques en signaux numériques pour permettre le traitement et la transmission de données numériques sur le réseau de fibre optique. Et sont souvent utilisés dans les systèmes de télécommunications, les centres de données, les équipements de mesure et les systèmes de contrôle industriels [3].

La conversion A/N implique plusieurs étapes. L'échantillonnage est la première étape, qui consiste à prélever des échantillons du signal analogique à des fréquences régulières pour obtenir une série de valeurs discrètes. Ensuite, chaque échantillon est ensuite quantifié en une valeur numérique en fonction de sa plage de tension. Cette étape consiste à diviser la plage de tension d'entrée en plusieurs niveaux discrets, puis à assigner une valeur numérique à chaque niveau après cette valeur obtenue pour chaque échantillon est ensuite codée en binaire, c'est-à-dire en une séquence de 0 et de 1, qui peut être stockée et traitée par un ordinateur ou un autre système numérique. Enfin, la conversion est terminée par l'étape de codage qui représente chaque valeur numérique par un ensemble de bits [4] [5].

Le choix d'un CAN dépend de plusieurs facteurs, tels que la résolution, la vitesse de conversion, la précision et le coût. Une conversion analogique-numérique de haute qualité est essentielle pour garantir la précision et la fiabilité du système numérique qui traite les signaux numériques.

La figure 2. 1 présente les trois étapes d'un CAN de la sortie numérique sur 3 bits:

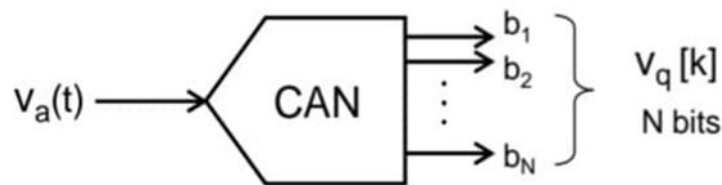


**Figure 2. 1 :** (i) Signal analogique, (ii) Signal échantillonné, (iii) Signal quantifié [6].

Dans la figure 2. 1 distingue un signal analogique  $V_a(t)$  continue en temps(i) avec une amplitude est échantillonné à une période d'échantillonnage constante  $T_{ech}$ . Alors, on capte un signal échantillonné  $V_{ech}(K, T_{ech})$  discret en temps et continu en amplitude (ii). Puis le signal est quantifié et on capte un signal numérique  $V_q[K]$  discret en temps et en amplitude (iii) et cette étape est liée à la résolution du CAN (son nombre de bits).

Dans le cas général, un CAN peut avoir différentes résolutions (nombre de bits utilisés pour représenter chaque échantillon), des taux d'échantillonnage variables, et des méthodes de quantification différentes (linéaire, logarithmique, etc.). Les CAN peuvent également avoir des fonctionnalités supplémentaires telles que l'amplification de signal, la filtration et la correction d'erreur.

La figure suivante 2. 2 présentes le cas général d'un CAN à N bits :



**Figure 2. 2 :** Convertisseur analogique numérique [6].

### 2. 3 Les caractéristiques des CANs :

Ces dispositifs ont des caractéristiques dynamiques uniques en raison de leur conception basée sur des cristaux photoniques, qui offrent une réponse non linéaire à la lumière.

Voici quelques-unes des caractéristiques dynamiques importantes des CAN à cristaux photoniques : Temps de conversion rapide [7] [8] :

- Les CAN à cristaux photoniques peuvent avoir des temps de conversion très rapides, allant jusqu'à plusieurs gigahertz. Cela est dû à la nature non linéaire de la réponse des cristaux photoniques à la lumière, qui permet une conversion plus rapide que les convertisseurs linéaires traditionnels.
- **Faible consommation d'énergie** : Les CAN à cristaux photoniques peuvent avoir une consommation d'énergie inférieure à celle des convertisseurs analogique-numérique traditionnels. Cela est dû à leur conception basée sur des matériaux optiques qui nécessitent peu d'énergie pour fonctionner [21].
- **Grande bande passante** : Les CAN à cristaux photoniques peuvent avoir une bande passante élevée, ce qui leur permet de traiter des signaux à haute fréquence. Cela est dû à la nature non linéaire de la réponse des cristaux photoniques, qui permet une réponse plus rapide à des signaux à haute fréquence.
- **Sensibilité à la polarisation** : Les CAN à cristaux photoniques peuvent être sensibles à

la polarisation de la lumière incidente. Cela signifie que la conversion peut varier en fonction de l'orientation de la lumière incidente, ce qui peut être un défi pour les applications de mesure précise [22].

En raison de ces caractéristiques dynamiques uniques, les CAN à cristaux photoniques sont utilisés dans des applications de traitement du signal à haute vitesse, telles que les communications optiques, la spectroscopie et la mesure de distance. Cependant, leur utilisation est encore limitée en raison de la difficulté de fabrication et de leur sensibilité à la polarisation.

## **2. 4 Architectures de convertisseurs analogique-numérique :**

Il existe plusieurs types des convertisseurs A/N, on les citer comme le suivant :

### **2. 4. 1 Architecteurs Flash :**

L'architecture Flash à base de cristaux photoniques est une méthode pour réaliser des convertisseurs analogique-numérique (CAN) à haute vitesse et à haute résolution utilisant des cristaux photoniques. Cette architecture tire parti de l'effet Kerr optique non linéaire dans les cristaux photoniques pour réaliser une conversion rapide et précise de signaux analogiques en signaux numériques [9][23].

Dans un CAN à architecture Flash classique, une série de comparateurs est utilisée pour comparer le signal analogique en entrée à une série de tensions de seuil connues. Chaque comparateur est associé à un bit de sortie du CAN, de sorte que si le signal d'entrée est supérieur à la tension de seuil associée à un comparateur, ce bit de sortie sera activé.

### **2. 4. 2 Architecteur Wilkinson rampe :**

L'architecture Wilkinson rampe est une technique de conversion analogique-numérique (CAN) à base de cristaux photoniques qui permet une conversion à haute vitesse et haute résolution des signaux analogiques en signaux numériques. Dont le signal analogique est converti en un signal optique par un modulateur optique, qui est ensuite envoyé dans un circuit à cristaux photoniques accordable. Le circuit à cristaux photoniques est polarisé de manière à être sensible à la polarisation de la lumière incidente, et il est accordé à une fréquence spécifique pour permettre la conversion à temps d'intégration [9].

### **2. 4. 3 Architecteur SAR :**

L'architecture SAR à base de cristaux photoniques offre une conversion rapide et précise des signaux analogiques en signaux numériques avec une résolution élevée. Cependant, la mise en œuvre de cette architecture nécessite des technologies avancées pour la réalisation des éléments optiques à cristaux photoniques et des circuits à cristaux photoniques accordables [9].

#### **2. 4. 4 Architecteur Sigma-delta :**

L'architecture Sigma-Delta est une technique de conversion à haute résolution et haute précision utilisée dans les CANs à base de cristaux photoniques. Cette architecture utilise une boucle de rétroaction pour supprimer les erreurs de quantification et obtenir une résolution élevée [9] [24].

#### **2. 4. 5 Architecteur pipeline :**

L'architecture pipeline est une technique de conversion) à haute vitesse utilisée dans les CANs à base de cristaux photoniques. Cette architecture permet de diviser le processus de conversion en plusieurs étapes pour augmenter la vitesse de conversion [9].

### **2. 5 Application des CANs à base des cristaux photoniques:**

#### **2. 5. 1 Convertisseur analogique-numérique 2 bits entièrement optique utilisant des cavités à base de cristaux photoniques [25]:**

La structure proposée a un port d'entrée et deux ports de sortie, qui génèrent des codes binaires à 2 bits à partir du signal d'entrée optique. La structure peut prendre en charge une fréquence d'échantillonnage maximale de 52 GS/s et l'empreinte totale de la structure est d'environ  $924 \mu m^2$ .

#### **2. 5. 1. 1. Conception du circuit :**

##### **1. Démultiplexeur non linéaire :**

##### **a- analyse de la bande interdite :**

Le démultiplexeur proposé est non linéaire à 3 canaux, en réseau carré 2D de 40 tiges diélectriques dans la direction X et 46 dans la direction Z.

Les paramètres sont définies tels que :

- Indice de réfraction :  $n=3.46$ .
- Le rayon :  $r=0.26*a$ .
- Le constant de réseau du PhC : 725 nm.

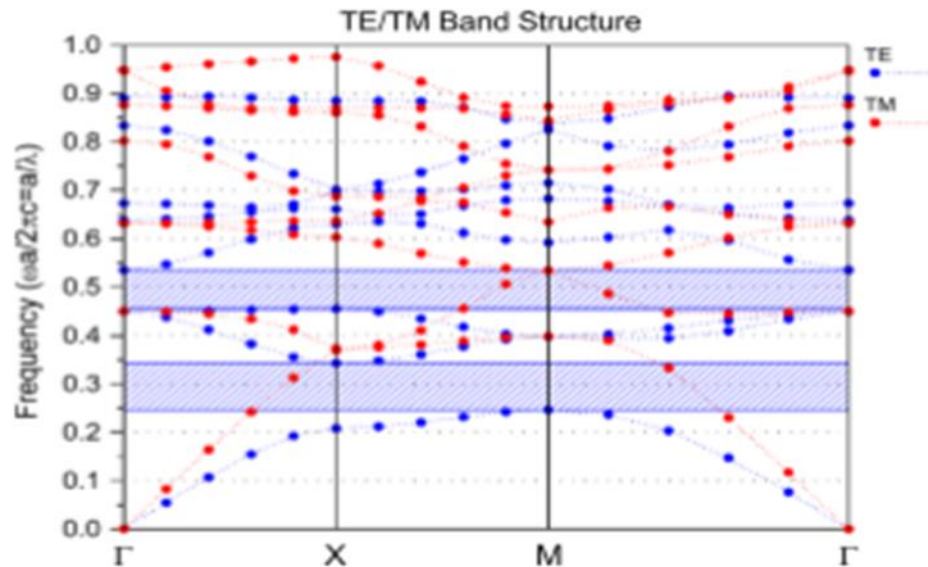


Figure 2. 3 : Diagramme de structure de bande de la structure fondamentale [25].

Par l'utilisation de la méthode d'onde plane (PWE) (Johnson et Joannopoulos 2001), on remarque que la structure fondamentale prend une charge de bande photonique dans les régions suivantes :  $0,45 < a/\lambda < 0,54$  ce qui est égal à  $1342 \text{ nm} < \lambda < 1611 \text{ nm}$  pour le mode TM.

Pour la réalisation de ce démultiplexeur, les auteurs ont utilisé un guide d'onde d'entrée et trois de sortie avec des cavités résonnantes sont constituées de deux tiges d'angle et de deux tiges intérieures défectueuses. La figure 2. 4 et 2. 5 suivante illustre la structure de démultiplexeur et ses spectres de sortie.

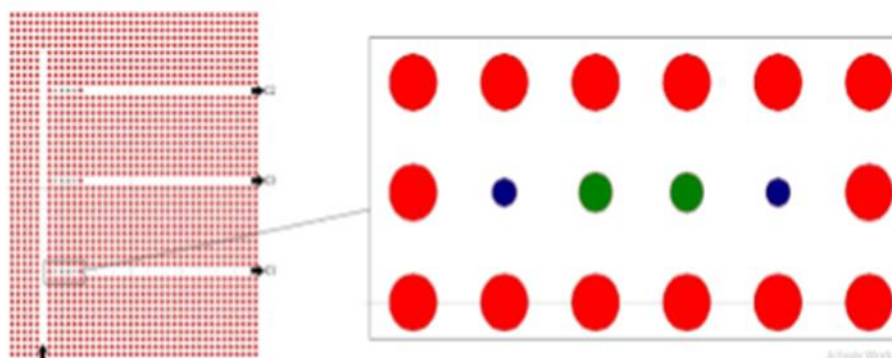
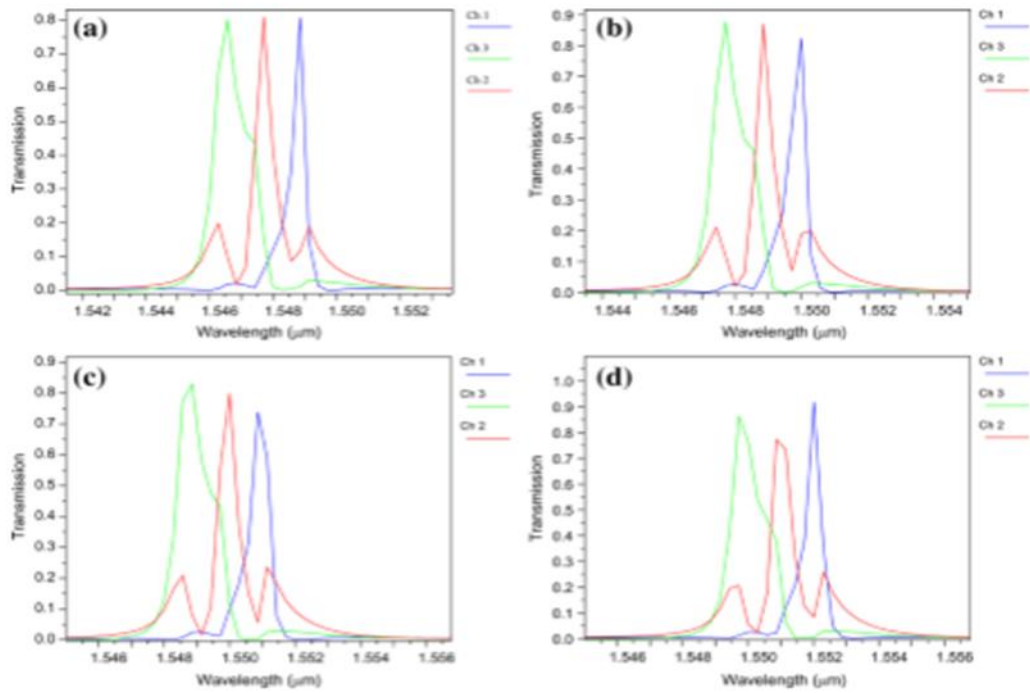


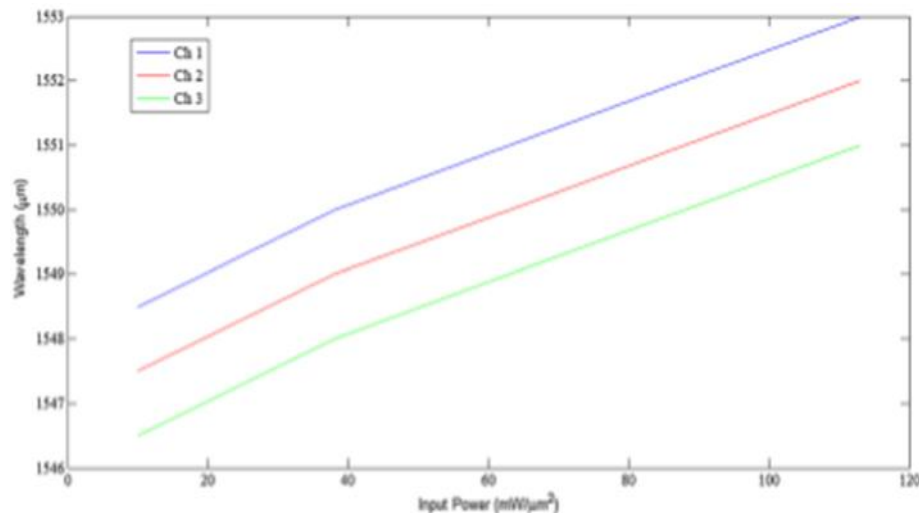
Figure 2. 4 : Démultiplexeur non linéaire avec cavité résonnante(Les bâtonnets de coin: bleu et de défaut interne : vert) [25].



**Figure 2. 5 :** Spectres de sortie du démultiplexeur lorsque la puissance d'entrée à (a)  $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , (b)  $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , (c)  $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$ , (d)  $0.75P_0 < P_{in} < P_0$  [25].

Le démultiplexeur non linéaire a trois modes de résonance comme il est représenté sur la figure 2. 5 (a).

On remarque que ces modes sont à  $\lambda_1 = 1548,5$  nm,  $\lambda_2 = 1547,5$  nm et  $\lambda_3 = 1546,5$  nm pour les premier, deuxième et troisième ports de sortie lorsque la puissance d'entrée est dans la plage  $0 < P_{in} < 0,25P_0$ .



**Figure 2. 6 :** Variation des longueurs d'onde de résonance des canaux de sortie pour différentes valeurs de puissance d'entrée [25].

La figure 2. 5 et 2. 6 indique que les modes de résonance se déplacent vers des longueurs d'onde plus élevées lorsqu'ils ont augmenté la puissance d'entrée.

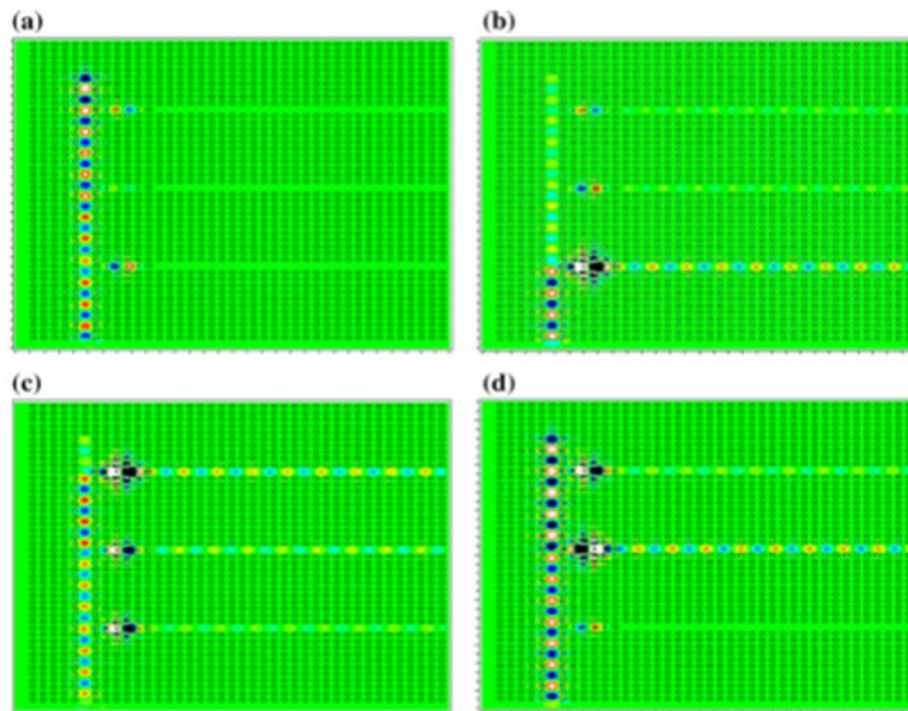
La simulation du démultiplexeur non linéaire a été faite avec une longueur d'onde centrale égale 1550 nm et une intensité optique ( $P_{in}$ ) inférieure à  $P_0 = 0,1 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ .

Le tableau 1 représente la longueur d'onde centrale des modes de résonance des ports de

sortie pour différentes valeurs de puissance d'entrée.

**Tableau 2. 1:** Puissance de sortie normalisée du démultiplexeur non linéaire pour différentes valeurs de l'intensité optique.

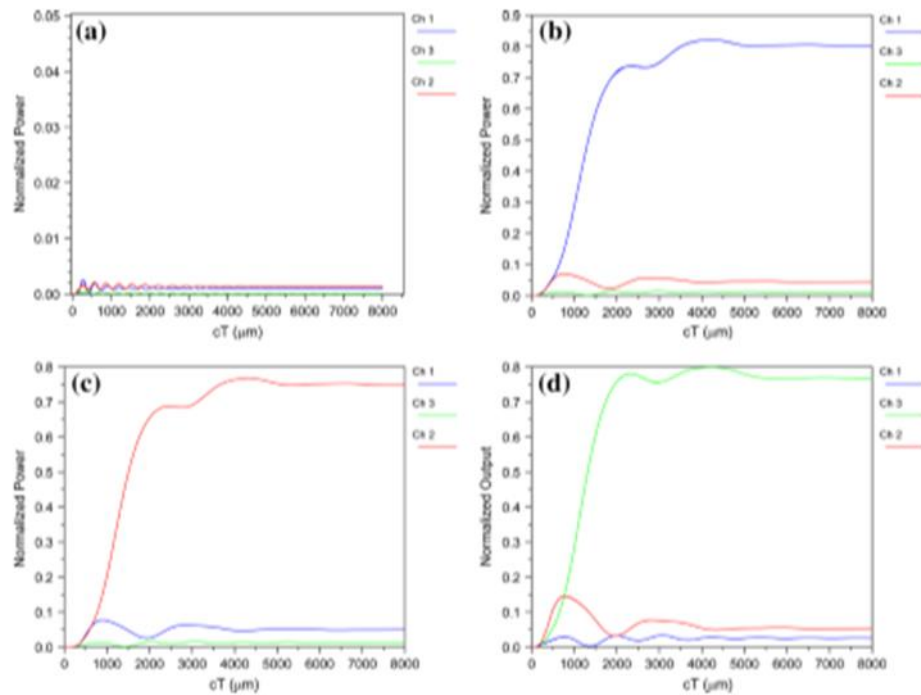
Pin	Ch1(%)	Ch2(%)	Ch3(%)
$0 < P_{in} < 0.25P_0$	2	2	1
$0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$	80	5	2
$0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$	5	75	2
$0.75P_0 < P_{in} < P_0$	3	5	75



**Figure 2. 7 :** Comportement optique du démultiplexeur non linéaire pour l'intensité optique étant à (a)  $0 < P_{in} < 0,25P_0$ , (b)  $0,25P_0 < P_{in} < 0,5P_0$ , (c)  $0,5P_0 < P_{in} < 0,75P_0$  et (d)  $0,75P_0 < P_{in} < P_0$  [25].

On remarque que, la longueur d'onde centrale du faisceau d'entrée ne coïncide avec aucune des cavités résonnantes et tous les ports de sortie sera inférieure à 5 %, lorsque l'intensité optique est à  $0 < P_{in} < 0,25P_0$  (Figure 2. 8a) et tous les ports de sortie seront désactivés ce qui est montrée dans la Figure 2. 7a.





**Figure 2. 8 :** Puissance de sortie normalisée du démultiplexeur non linéaire pour l'intensité optique étant à (a)  $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , (b)  $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , (c)  $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$  et (d)  $0.75P_0 < P_{in} < P_0$  [25].

Si l'intensité optique appliquée sur le dispositif proposés est entre  $0.25 \cdot P_0$  et  $0.5 \cdot P_0$  c-à-dire  $0.25 \cdot P_0 < P_{in} < 0.5 \cdot P_0$ . Le faisceau optique sort vers le port Ch1, comme il est remarquable sur la figure 2. 7(b) et qui présent la propagation des ondes électromagnétiques vers Ch1. Le niveau de puissance normalisé au niveau des ports de sorties est illustré sur la figure 2. 8. Tel que au niveau de ports Ch1 la transmission normalisée est présenté par le tracé en bleu et au niveau de port Ch3 et Ch2 par le tracé en vert et rouge respectivement.

Alors on remarque d'après la figure 2. 8(b) que la transmission normalisée, au niveau de port Ch1 est de 80.5% et pour Ch2, Ch3 égale à 3%, et 2% respectivement.

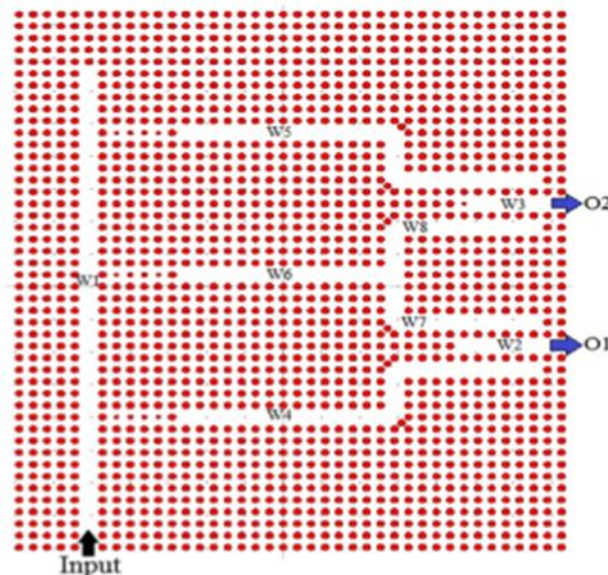
Lorsque l'intensité optique injecté au démultiplexeur est entre  $0.5 \cdot P_0$  et  $0.75 \cdot P_0$  ( $0.5 \cdot P_0 < P_{in} < 0.75 \cdot P_0$ ), l'onde optique sort vers le port Ch3 et la transmission normalisée au niveau de port Ch2 égale 75% et à Ch1, Ch3 égale 5% et 2% respectivement, comme illustre la figure 2. 7(c) et 2. 8 (c).

Et pour une intensité d'excitation située entre  $0.75 \cdot P_0$  et  $P_0$  le faisceau optique se propage vers le port de sortie Ch3. Par conséquent le dernier sera actif comme illustre 2. 7(d). La transmission normalisée au niveau de Ch3 égale 75% et au niveau de Ch1, Ch2 égale à 3% et 5% respectivement comme présente la figure 2. 8(d)

## 2. ADC tout optique :

Pour terminer la conversion A/N final, les auteurs ont ajouté une section qui peut convertir les niveaux quantifiés en code binaire à 2 bits en créant des guides d'ondes supplémentaires à l'intérieur de la structure.

La figure 2. 9 définit l'esquisse finale du CAN 2 bits proposé :



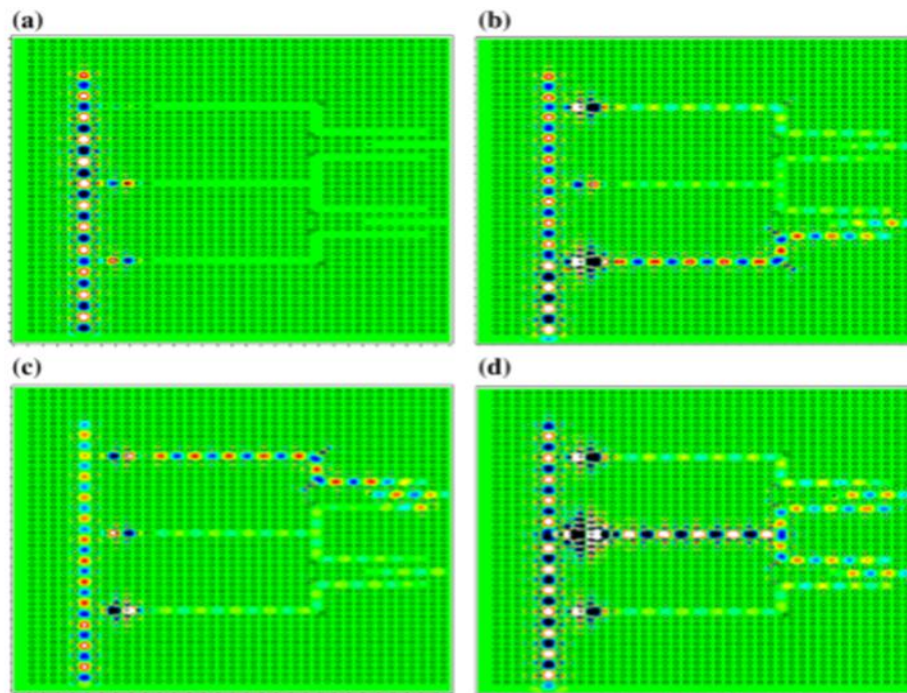
**Figure 2. 9** : Le croquis final de l'ADC proposé [25].

La structure comporte :

- Un port d'entrée (input) et deux ports de sortie O1 et O2. O1 est représentatif du bit le moins significatif (LSB) et O2 est représentatif du bit le plus significatif (MSB).
- Trois cavités résonnantes et des guides d'onde intermédiaires entre les guides d'ondes d'entrées W1 et W2, W3 de sorties, tel que la première cavité résonnante est reliée avec le guide d'onde de sortie W2 par l'intermédiaire de guide d'onde W4. La deuxième cavité est reliée avec les guides d'ondes W2 et W3 par le guide d'onde W6 a été divisé en deux parties via un séparateur en forme de T.
- Le séparateur résultant a deux branches étiquetées : W7 et W8 (W7 rejoint W4 à l'avant de W2, W8 rejoint W5 à l'avant de W3).

#### **a- La fonctionnalité de la structure proposée :**

Un ADC optique à 2 bits, dans cette structure, l'intensité optique est supérieure à  $0,25 \cdot P_0$  ( $P_0 = 0,1 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ ) considérée comme logique 1 et l'intensité optique moins  $0,05P_0$  considérée comme logique 0.



**Figure 2. 10 :** Comportement optique du CAN optique proposé pour l'intensité optique étant à **(a)**  $0 < P_{in} < 0.25P_0$ , **(b)**  $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ , **(c)**  $0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$  et **(d)**  $0.75P_0 < P_{in} < P_0$  [25].

On remarque que, l'intensité optique du signal d'entrée est à  $0 < P_{in} < 0,25P_0$  ( $P_0 = 0,1 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ ), les deux ports de sortie seront désactivés et le code généré sera "00" (Figure 2. 10a), donc aucune des cavités résonnantes ne couplerait le faisceau optique du port d'entrée à leurs guides d'ondes de sortie correspondants.

La première cavité seulement laissera tomber le faisceau optique de W1 dans W4 à  $0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$ . Le faisceau optique se propage vers le port de sortie on à travers les guides d'onde W4 et W7. Ainsi, O1 sera allumé et O2 sera éteint, et le code généré sera "01" (Figure 2. 10b).

Et lorsque l'intensité optique d'entrée  $P_{in}$  est situé entre  $0.5 * P_0$  et  $0.75 * P_0$  ( $0.5 * P_0 < P_{in} < 0.75 * P_0$ ), seule la deuxième cavité laissera tomber le faisceau optique de W1 dans W5. Et le faisceau abandonné trouve son chemin vers O2 via W5 et W8. O2 sera allumé et O1 sera éteint, et le code généré sera "10" (Figure 2. 10c).

Si l'intensité d'entrée  $P_{in}$  est située entre  $0.75 * P_0$  et  $P_0$  ( $0.75 * P_0 < P_{in} < P_0$ ), seule la troisième cavité laissera tomber le faisceau optique de W1 dans W6. Le faisceau optique abandonné trouve son chemin vers O1 et O2 via W5, W7 et W8. O1 et O2 seront allumés et le code généré sera "11" (Figure 2. 10d).

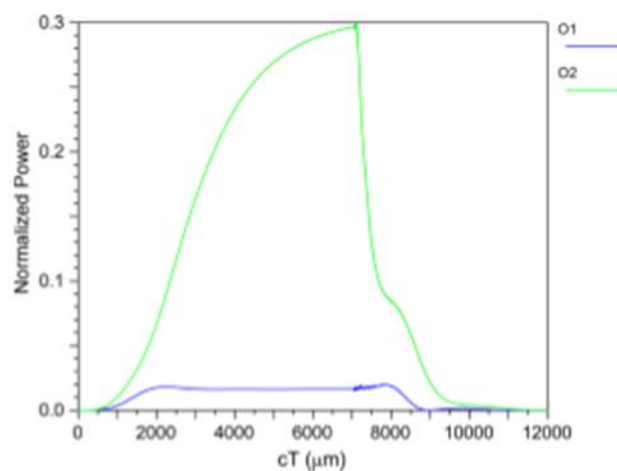
Le tableau 2. 2 présente le tableau de vérité et les états de fonctionnement de CAN proposé.

**Tableau 2. 2 :** États de fonctionnement du CAN proposé.

Pin	O2	O1
$0 < P_{in} < 0.25P_0$	0	0
$0.25P_0 < P_{in} < 0.5P_0$	0	1
$0.5P_0 < P_{in} < 0.75P_0$	1	0
$0.75P_0 < P_{in} < P_0$	1	1

Le tableau 2 indique l'état de fonctionnement d'un convertisseur A/N 2 bits qui est capable de générer des codes binaires 2 bits standard à partir de l'intensité optique du signal analogique d'entrée.

La figure suivante (2. 11) illustre la réponse temporelle de la structure pour le troisième cas.



**Figure 2. 11 :** Réponse temporelle de la structure utilisée pour le calcul des temps de retard [25].

La figure 2. 11 montre que le temps maximum pour que le port de sortie O2 atteigne  $0.25P_0$  (14 ps). Et aussi montre qu'à  $cT = 8560 \mu\text{m}$ , la puissance de sortie diminue à  $0,05 P_0$  (5,2 ps), et la période de temps minimum pour l'impulsion d'entrée doit être supérieur à 19,2 ps.

Donc le taux d'échantillonnage maximal sera d'environ 52 GS/s. L'empreinte totale de l'ADC optique proposé est d'environ  $924 \mu\text{m}^2$ .

### **2. 5. 2 Conception d'un convertisseur numérique-analogique (DAC) entièrement optique intégré [26] :**

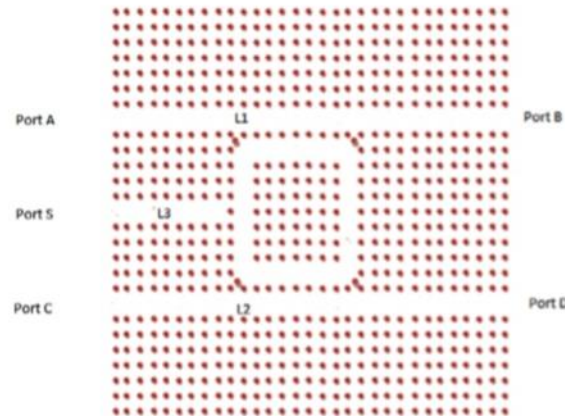
La structure proposée est basée sur un résonateur annulaire à cristal photonique (PCRR), combine l'effet Kerr non linéaire avec le PCRR. La taille globale du CNA optique 3 bits proposé est un cristal photonique à matrice carrée 2D de  $44 \mu\text{m} \times 37 \mu\text{m}$  constitué de tiges de silicium avec un indice de réfraction  $n = 3,4$ .

Pour prendre en charge le fonctionnement global du CNA optique proposé, les auteurs ont utilisé la méthode de domaine temporel à différence finie (FDTD) et d'expansion d'onde

plane (PWE).

### 1/ Le résonateur annulaire à cristal photonique (PCR):

La figure 2. 12 illustre la structure du résonateur annulaire à cristal photonique(PCR) qui a été créé en supprimant une matrice de 9x 9 rangées de diélectrique, il produit une résonance à la longueur d'onde  $\lambda = 1550$  nm [26].

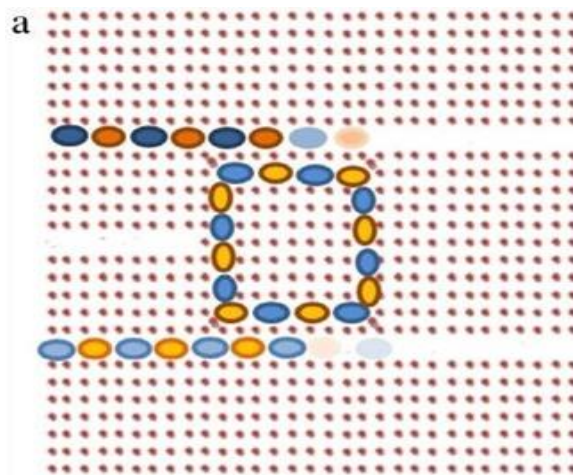


**Figure 2. 12** : La structure schématique du PCR [26].

Avec les paramètres :

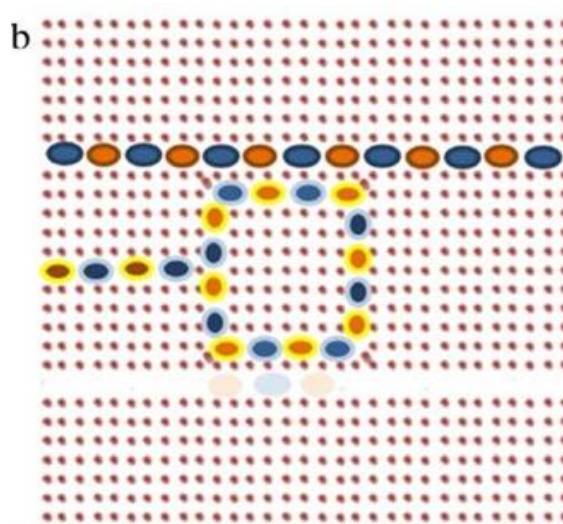
- Le rayon de la tige :  $r=0,21 * a$ .
- La constante de réseau de la structure :  $a = 630$  nm.

Le phénomène de base de ce PCR dépend du signal du port de contrôle (S), avec le signal de polarisation d'entrée optique retiré du port A, couplé dans l'anneau et appliqué au port (C) avec  $S = 0$  (0 mW) comme il est indiqué en la figure 2. 13.



**Figure 2.13** : Modèle de champ PCR à (a)  $S=0$ [26].

Cela augmente l'intensité du champ du résonateur en anneau et empêche le couplage entre l'entrée de polarisation du port A et le résonateur en anneau. Figure 2.14 [26].

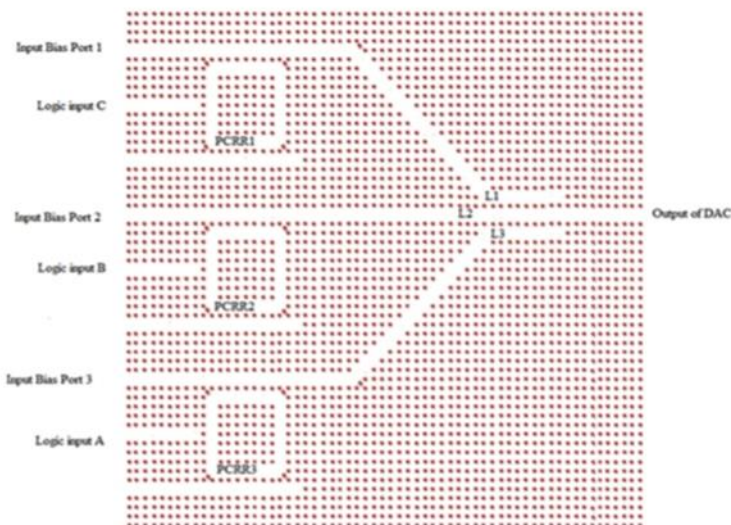


**Figure 2. 14** : Modèle de champ PCRR à (b)  $S=1$  [26].

La longueur d'onde de résonance du résonateur en anneau est décalée et ne chute pas à des intensités optiques élevées en raison de l'effet non linéaire de Kerr sur l'indice de réfraction [10,11].

**2/ Convertisseur numérique-analogique (CNA) à 3 bits entièrement optique dans les cristaux photoniques 2D intégrés :**

La figure 2. 15 illustre le convertisseur numérique-analogique 3 bits entièrement optique utilisant un PhC 2D carré de dimensions  $44 \mu\text{m} \times 37 \mu\text{m}$ .



**Figure 2. 15** : Structure globale d'un CNA optique à 3 bits utilisant des cristaux photoniques à réseau carré 2D intégrés [26].

Tout les paramètres géométriques pour concevoir la structure proposée sont :

- Constant de réseau « a » entre deux bâtonnets adjacents : 630 nm.
- Le rayon du bâtonnet est «  $0,21a$  » = 132 nm.
- Le rayon du bâtonnet cylindrique de silicium : 220 nm.

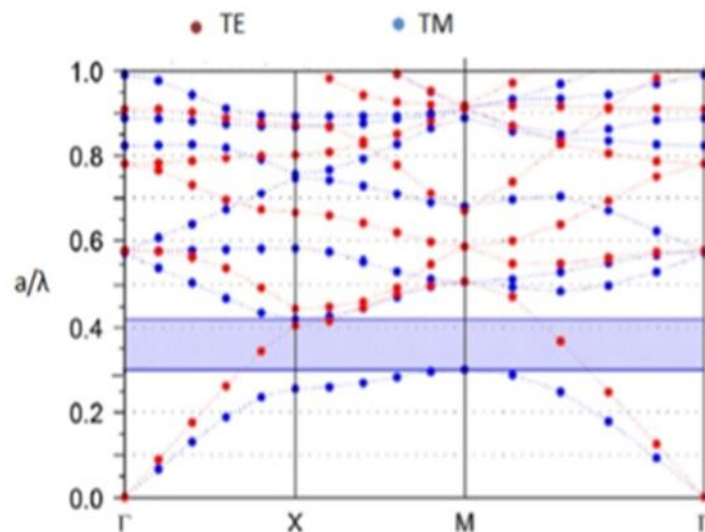
Ce convertisseur composé de trois PCRR trois guides d'ondes (L1, L2, L3) pour l'acheminement de chaque sortie de PCRR vers la sortie du CNA et des tiges supplémentaires

sont placées aux coins du PCRR et du guide d'ondes pour éliminer la dispersion.

Les trois ports de polarisation (Port 1, Port 2, Port 3) et trois bits d'entrée de code binaire optique (A, B, C). Pour alimentation de CNA, les ports de polarisation sont excités par des signaux optiques d'intensités respectives de 10 mW, 20 mW et 40 mW, correspondent aux bases de facteur 20, 21 et 22.

Les méthodes d'expansion d'onde plane (PWE) [12] et de domaine temporel à différence finie (FDTD) [13] sont utilisées pour calculer et tracer les bandes PC-Gab le long des lignes les plus symétriques ( $\Gamma$ X, XM,  $M\Gamma$ ) dans toute la structure.

#### a-analyse de la bande Gab :



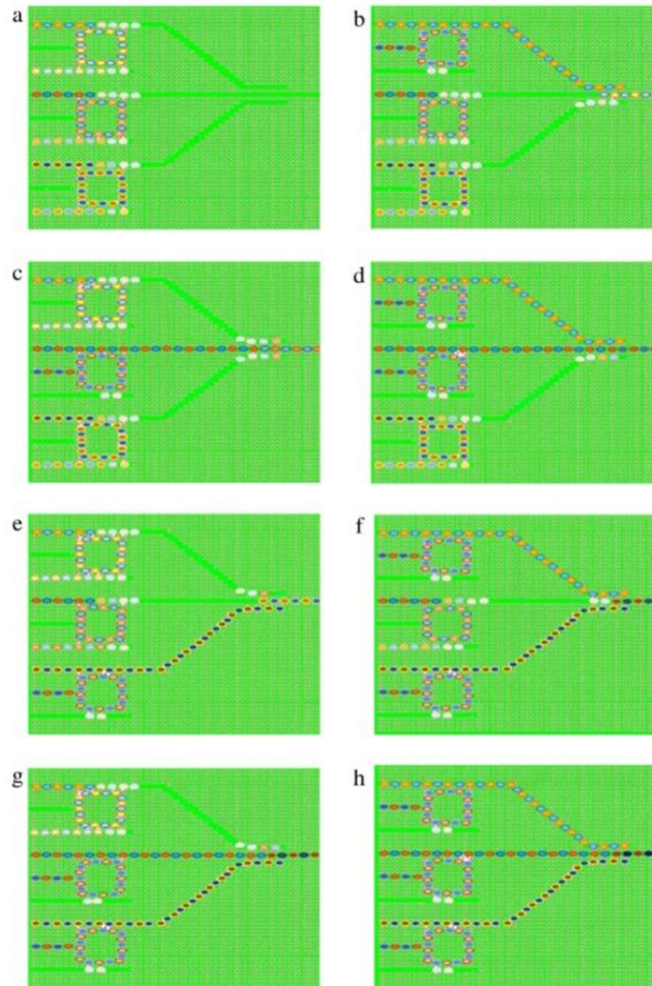
**Figure 2. 16 :** Diagramme de la structure de la bande Gab pour les bâtonnets de cristaux photoniques de silicium à réseau carré d'un rayon de 0,21a [26].

On remarque que la bande interdite photonique appartient à l'intervalle  $a/\lambda = [0.31, 0.43]$  correspondant à la plage de longueurs d'onde  $1465 \text{ nm} < \lambda < 2032 \text{ nm}$ , et le type de polarisation de l'onde électromagnétique (EM) est la polarisation électrique transverse (TE) qui est basée sur la plage de bande interdite.

### 3. La réalisation de la structure et les modèles de champ électrique à l'état stable de tous les DAC optiques :

L'entrée logique empêche l'entrée de polarisation du port de se coupler à son résonateur en anneau (PCRR) et autorise le signal optique du port de polarisation à travers le guide d'ondes vers le port de sortie, lorsque l'entrée logique numérique est égale à 1 (100 mW) ou 0 (0 mW) avec une longueur d'onde de  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , lorsque le résonateur en anneau (PCRR) est rejetée et la sortie CNA optique totale est obtenue en additionnant le flux de puissance optique qui subit une perte due à la somme du couplage PCRR et du couplage du guide d'ondes.

Pour décrire et réaliser le fonctionnement global du CNA optique à 3 bits proposé, les auteurs ont étudié toutes les séquences binaires d'entrée numériques pour 3 bits (ABC) de (000) à (111) comme suite :



**Figure 2. 17 :** Modèle de champ électrique en régime permanent de tous les CNA optiques pour tous les cas d'entrée binaire **(a)** ABC =000, **(b)** ABC =001 **(c)** ABC =010, **(d)** ABC =011, **(e)** ABC =100, **(f)** ABC =101, **(g)** ABC =110, **(h)** ABC =111[26].

A partir de la figure 2.17, on remarque que :

État 0 : à ABC = 000, les signaux optiques de tous les ports de polarisation sont abandonnés vers les résonateurs en anneau PCRR1, PCRR2 et PCRR3, comme le montre la figure 2. 17(a). Ensuite, aucun signal optique n'est dirigé vers la sortie du CNA à travers les guides d'ondes, qui devient égale à 0 mW.

État 1 : à ABC = 001, l'entrée logique numérique C = 1 (100 mW) empêche le couplage du signal optique du port de polarisation 1 dans PCRR1 et le fait passer par le guide d'ondes L1 vers la sortie du CNA, et les signaux optiques des ports de polarisation 2 et 3 sont rejetés dans les résonateurs en anneau PCRR2, PCRR3 et PCRR4.

Les signaux optiques des ports de polarisation 2 et 3 sont rejetés dans les résonateurs en anneau PCRR2 et PCRR3, comme le montre la figure 2. 17(b). Dans ce cas, la sortie analogique équivalente de l'entrée binaire 000 due à la sommation de tous les guides d'ondes est égale à la valeur de la sortie analogique de l'entrée binaire 000. de tous les guides d'ondes est égale à 8,82 mW.

État 2 : à ABC = 010, l'entrée logique numérique B = 1 (100 mW) empêche le couplage



du signal optique du port de polarisation 2 dans le PCRR2 et le fait passer par le guide d'onde L2 vers la sortie du CNA, et les signaux optiques des ports de polarisation 1 et 2.

Les signaux optiques des ports de polarisation 1 et 3 sont rejetés dans les résonateurs en anneau PCRR1 et PCRR3, comme le montre la figure 2. 17(c). En outre, la sortie analogique équivalente de l'entrée binaire analogique équivalente de l'entrée binaire 010 devient égale à 17,2 mW.

État 3 : à  $ABC = 011$ , les entrées logiques numériques  $C = 1$  (100 mW) et  $B = 1$  (100 mW) empêchent le couplage du signal optique des ports de polarisation 1 et 2 dans le PCRR1 et le PCRR2 respectivement, et ces signaux optiques sont acheminés à travers le guide d'ondes L1 et L2 sont acheminés à travers les guides d'ondes L1 et L2 vers la sortie du DAC. En outre, le signal optique du port de polarisation 3 est envoyé vers les résonateurs en anneau PCRR3 comme le montre la figure 2. 17(d). La sortie analogique équivalente de l'entrée binaire 011 devient analogique équivalente de l'entrée binaire 011 devient égale à 26 mW.

État 4 : à  $ABC = 100$ , l'entrée logique numérique  $A = 1$  (100 mW) empêche le couplage du signal optique du port de polarisation 3 dans le PCRR3 et le fait passer par le guide d'ondes L3 vers la sortie du CNA, et les signaux optiques des ports de polarisation 1 et 2.

Les signaux optiques des ports de polarisation 1 et 2 sont rejetés dans les résonateurs en anneau PCRR1 et PCRR2, comme le montre la figure 2. 17(e). Dans ce cas, la sortie analogique équivalente de cette entrée binaire devient analogique équivalente de cette entrée binaire est égale à 32,8 mW.

État 5 : Pour  $ABC = 101$ , les entrées logiques numériques  $C = 1$  (100 mW) et  $A = 1$  (100 mW) empêchent le couplage du signal optique des ports de polarisation 1 et 3 dans le PCRR1 et le PCRR3 respectivement, et ces signaux optiques sont acheminés à travers le guide d'ondes L1 et L3 vers la sortie du CNA, comme le montre la figure 2. 17(f). De même, le signal optique du port de polarisation 2 est vers les résonateurs en anneau PCRR2, et la sortie analogique équivalente à cet état d'entrée devient égale à 44,5 % à cet état d'entrée devient égale à 44,5 mW.

État 6 :  $ABC = 110$ , les entrées logiques numériques  $B = 1$  (100 mW) et  $A = 1$  (100 mW) empêchent le couplage du signal optique des ports de polarisation 2 et 3 dans le PCRR2 et le PCRR3 respectivement, et ces signaux optiques sont acheminés à travers le guide d'ondes L2 et L3 vers la sortie du CNA, comme le montre la figure 2. 17(g). En outre, la sortie analogique équivalente de l'entrée binaire 011 est égale à 51,1 mW.

État 7 : à  $ABC = 111$ , toutes les entrées logiques numériques empêchent le couplage de tous les signaux optiques de tous les ports de polarisation dans les PCRR, donc la somme de puissance de tous les signaux optiques dirigés vers le port de sortie du convertisseur numérique est égale à 59 mW, comme le montre la figure 2. 17(h).

Le tableau 3 montre également les sorties analogiques équivalentes pour tous les cas d'entrées binaires 3 bits et les sorties associées à la longueur d'onde de résonance de 1550 nm et

le pourcentage d'erreur absolue à  $n = 3$  bits :

**Tableau 2. 3:** Sorties analogiques équivalentes d'un convertisseur numérique-analogique optique à 3 bits.

Entrée binaire ABC	Sortie analogique du DAC en mw	Puissance de sortie relative	Résultat relatif souhaité(RRS)	Erreur%
000	0	0	0	0
001	8.82	0.149	0.1428	4.34
010	17.2	0.291	0.2857	2.03
011	26	0.44	0.428	2.96
100	32.8	0.555	0.5714	2.17
101	44.5	0.754	0.7143	5.55
110	51.1	0.864	0.8571	0.81
111	59	1	1	0

Tel que la puissance relative égale à :

$$\text{Relative sortie} = \frac{\text{puissance de sortie à chaque état}}{\text{puissance de sortie max à 111}} \quad (2.1)$$

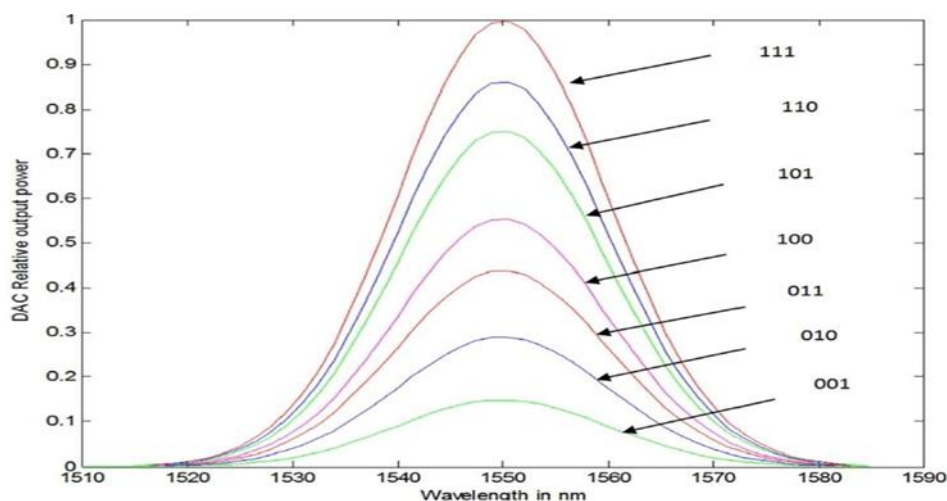
Ce résultat relative souhaitée (DRO) à  $n = 3$  bits, est définie par la relation suivante :

$$\text{DRO} = \frac{\text{Nombre équivalent décimale}}{2^{n-1}} \quad (2.2)$$

Le pourcentage d'erreur absolue à  $n = 3$  bits qui est calculé par la relation suivante :

$$\text{Erreur absolue} = \left| \frac{\text{DRO} - \text{sortie relative}}{\text{DRO}} \right| * 100 \quad (2.3)$$

Dans le tableau 2, on remarque que la valeur moyenne d'erreur est 2.3%. C'est considéré comme la tolérance d'un CNA optique hautes performances.



**Figure 2. 18 :** Spectre de transmission normalisé du CNA optique [26].

La figure 2. 18 montres le spectre de transmission normalisé du signal de sortie du CNA pour l'entrée binaire numérique.

**Tableau 2. 4 :** Perte d'insertion du CNA optique pour différents états de l'entrée binaire (001-111).

Entrée binaire ABC	Entré en mW	Sortie en mW	Parte d'insertion en dB
001	10	8.82	-9.28
010	20	17.2	-8.53
011	30	28	-8.75
100	40	32.8	-7.44
101	50	44.5	-9.59
110	60	51.1	-8.24
111	70	59	-8.03

On remarque que la longueur d'onde de résonance dépend de la structure de l'anneau et varie avec l'intensité de la puissance d'entrée non linéaire Effet Kerr. Dans les calculs, le coefficient non linéaire d'un Kerr non linéaire est supposé être de  $8,5 \times 10^{-17} m^2/W$ .

Le tableau 4 montre la perte d'insertion de sortie du CNA pour toutes les entrées binaires de 001 à 111. La perte d'insertion peut être définie par la relation suivante [14] :

$$\text{Perte d'insertion} = 10 \log \left( \frac{P_{\text{entré}} - P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entré}}} \right). \quad (2. 4)$$

Le rapport marche/arrêt est considérablement réduit ce qui provoque des pertes d'insertion très élevé.

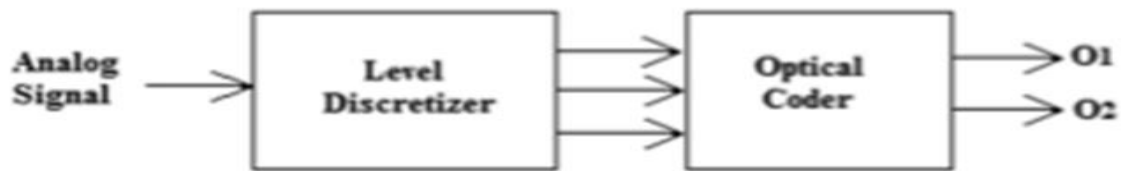
Le DAC optique basé sur PhC proposé est plus facile à fabriquer que le CNA optique de Nishitani et al et peut être mis à l'échelle jusqu'à  $N$  bits. Le CNA optique proposé [15] et Jayanta et al [16].

Le CNA optique proposé est essentiel dans les systèmes de communication numérique optique et les réseaux optiques car il convertit les signaux numériques optiques discrets en signaux analogiques optiques dans le domaine optique. La conception globale présente un faible taux d'erreur (2,3 %) et une perte d'insertion acceptable (-9 dB).

### **2. 5. 3 Une nouvelle proposition pour un Convertisseur analogique-numérique basé sur des structures à cristaux photoniques [27] :**

Commençons par concevoir un démultiplexeur non linéaire à 3 ports. Un codeur optique a ensuite été utilisé pour générer un code binaire standard à 2 bits à partir de niveaux discrets d'un démultiplexeur non linéaire. La structure finale a été obtenue en combinant des démultiplexeurs non linéaires équipés d'un codeur optique. La structure proposée à un taux d'échantillonnage maximum de 200 GS/s et une empreinte totale de 806  $\mu m$ .

**1/ Processus de conception :**



**Figure 2. 19:** Représentation du schéma fonctionnel de l' ADC [27].

Cette figure illustre un schéma fonctionnel d'un ADC optique 2 bits typique composé de deux blocs principaux.

Le premier block un discrétiseur pour générer quatre niveaux discrets du signal d'entrée analogique égaux à '0', '1', '2' et '3'.

Le deuxième bloc est un codeur pour générer un code binaire standard à 2 bits à partir des niveaux discrétisés du premier bloc.

**2. 1 Discrétisation du niveau optique :**

La réalisation nécessite un démultiplexeur optique à 3 voies avec une matrice de 70\*21 trous d'air disposés dans un hexagone pour concevoir le démultiplexeur requis.

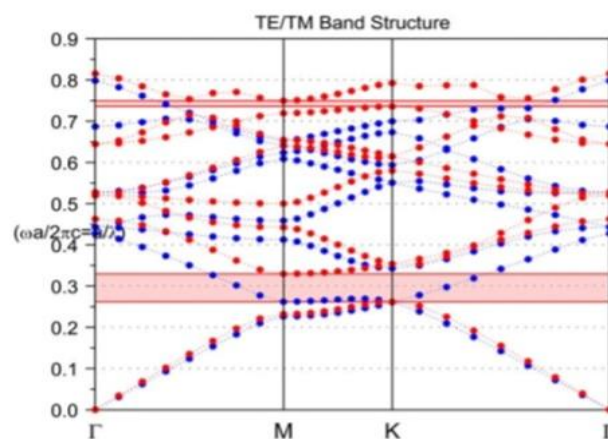
Le substrat diélectrique a été fabriqué en prenant en sandwich un matériau Si entre deux couches de matériau Si O2 [17].

Les hauteurs des couches supérieure et inférieure de Si et Si O2 sont de 255 nm, 200 nm et 1000 nm.

Les paramètres utilisés sont :

- L'indice de réfraction :  $n = 2,78$ .
- Le rayon des trous d'air :  $r = 0,3a$ .

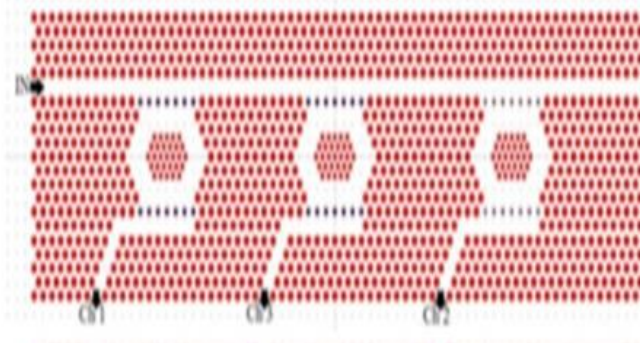
La figure 2. 20 illustrée la structure de bande de la structure fondamentale PhC de base a deux PBG en mode TE qui a été obtenue par l'utilisation de la méthode d'expansion d'onde plane (PWE) [18].



**Figure 2. 20 :** Structure de bande du PhC [27].

Le premier BIP pour le mode TE est  $0,22 < a/\lambda < 0,33$  pour le mode TM. En considérant  $a = 460 \text{ nm}$ , le PBG est  $1390 \text{ nm} < \lambda < 2010 \text{ nm}$ .

Le démultiplexeur à trois ports se compose d'un guide d'ondes d'entrée, de trois guides d'ondes de sortie et de trois anneaux résonnants (figure 2. 21).



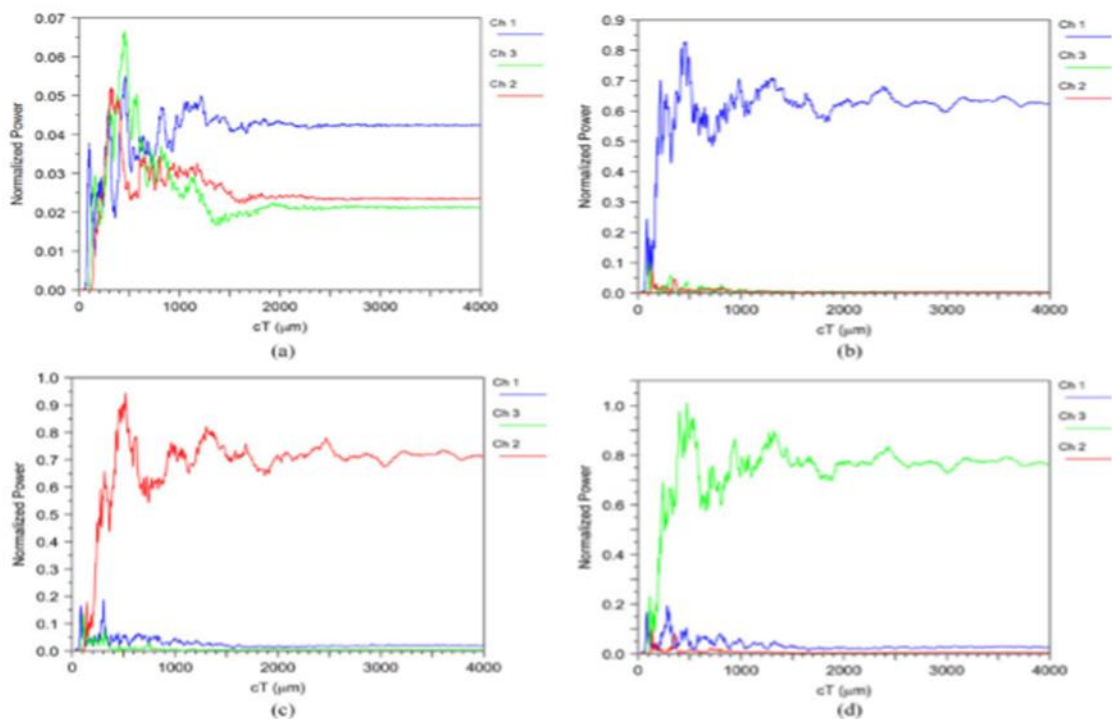
**Figure 2. 21** : Démultiplexeur à trois ports proposés [27].

Les paramètres nécessaire [19] pour créer une structure dépend de l'intensité optique du signal d'entrée sont, les trous adjacents entre le guide d'onde d'entrée et l'anneau résonnant et le trou entre le guide d'onde de sortie et l'anneau résonnant :

- L'indice de réfraction linéaire est  $n_0 = 1,5$ .
- Le coefficient de Kerr  $n_2 = 10^{-16} \text{ m}^2/\text{W}$  [19].

Ce dernier permet de contrôler l'indice de réfraction du défaut par l'intensité lumineuse.

Les valeurs de puissance optique d'entrée ( $P_{in}$ ) sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 2. 22** : Diagramme de sortie du discrétiseur de niveau optique pour l'intensité optique étant à (a)  $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , (b)  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , (c)  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , et (d)  $3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$  [27].

La quantité de puissance normalisée de Ch1, Ch2 et Ch3 est représentée respectivement

par les courbes bleue, rouge et verte.

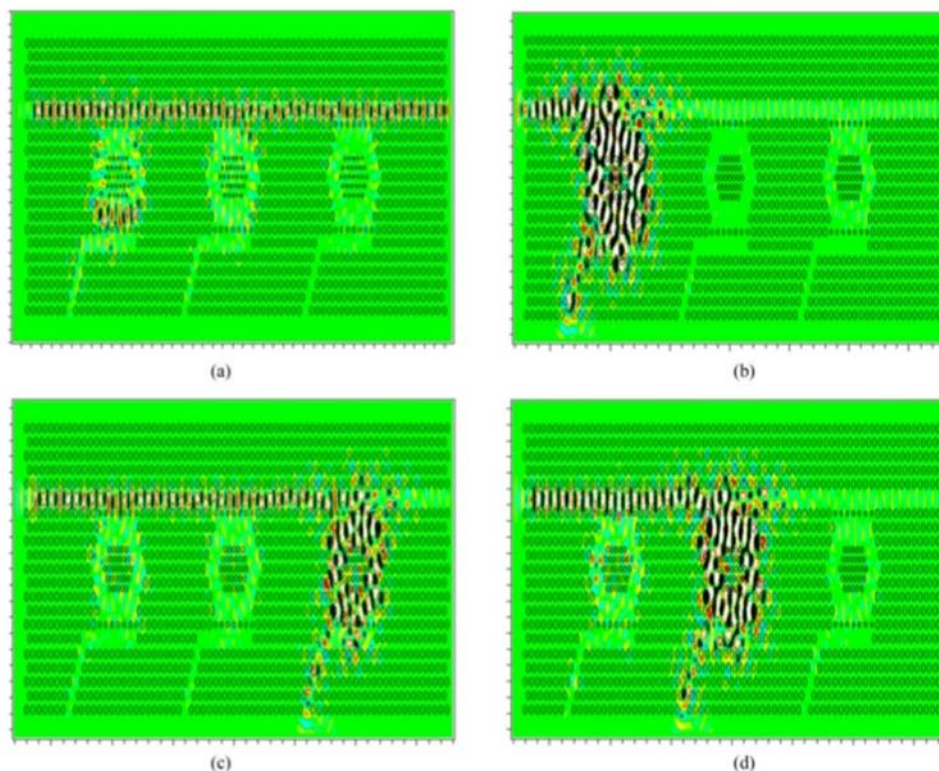
En résultat, la puissance normalisée à tous les ports de sortie est inférieure à 5 % (voir les figures 2. 22(a) et 23(a)).

Lorsque l'intensité optique d'entrée est à  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , le premier anneau couple le faisceau optique dans son guide d'onde de sortie correspondant et Ch1 sera allumé (2. 22(b)) la puissance normalisée pour Ch1 est d'environ 60%.

Lorsque l'intensité optique d'entrée est à  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , le deuxième anneau couple le faisceau optique dans son guide d'onde de sortie correspondant et Ch2 sera activé, (2. 22(c)), la puissance normalisée pour Ch2 est d'environ 70%.

Enfin, lorsque l'intensité optique d'entrée est à  $3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$ , le troisième anneau couple le faisceau optique dans son guide d'onde de sortie correspondant et Ch3 sera activé (2. 22(d)), la puissance normalisée pour Ch1 est d'environ 70 %.

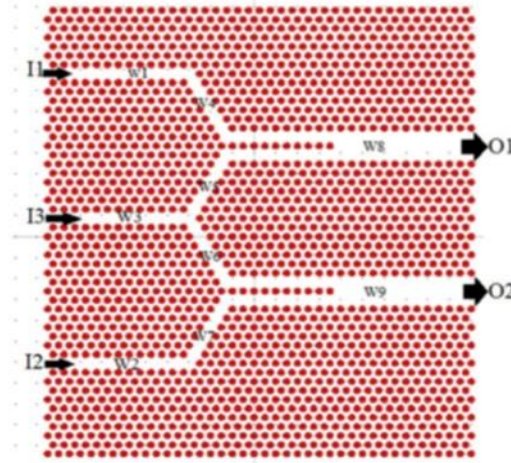
La distribution du champ optique à l'intérieur de la structure pour différentes valeurs de l'intensité optique d'entrée est illustrée à la figure 2. 23.



**Figure 2. 23 :** Comportement optique du discrétiseur de niveau optique pour l'intensité optique étant à  
(a)  $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , (b)  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , (c)  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , et  
(d)  $3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$  [27].

## 2. 2 Codeur optique :

Le bloc proposé est un codeur pour générer un code de 2 bits , doit avoir 3 ports d'entrée et 2 ports de sortie dans un réseau hexagonal  $40*50$  , constitué de 9 guides d'onde , des entrées W1,W2,W3 et des sorties W8,W9( figure 2. 24).



**Figure 2. 24 :** Codage optique [27].

- I1, I2 et I3 sont les ports d'entrée.
- O1 et O2 sont les ports de sortie.

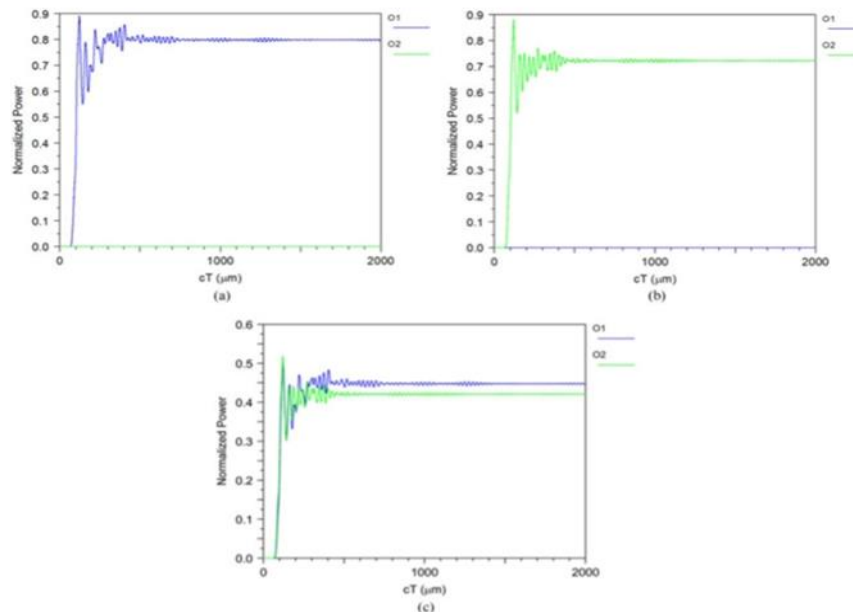
Si tous les ports d'entrée sont éteints, les deux sorties seront éteintes et le code produit sera '00'.

Donc si I1 = 1, alors O1 = 1, O2 = 0 et le code produit est '01'.

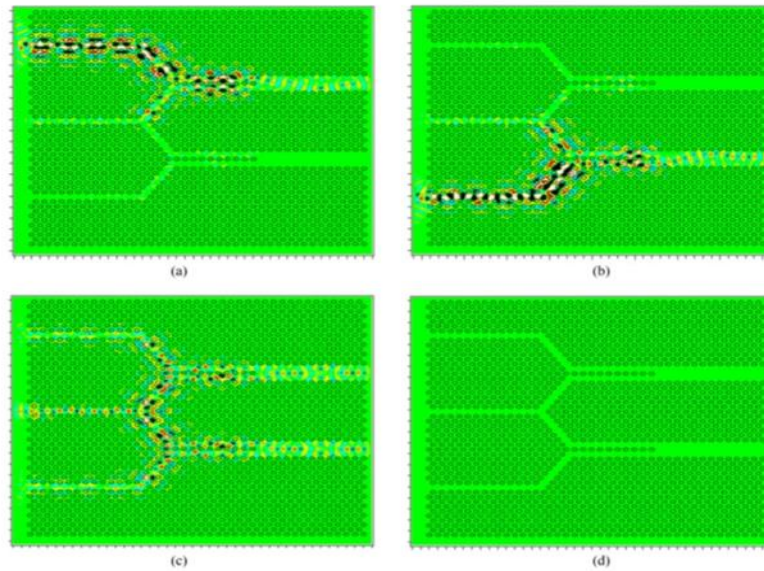
Donc si I2 = 1, alors O1 = 0, O2 = 1 et le code produit est '10'.

Donc si I3 = 1 alors O1 = O2 = 1 et le code produit est '11'.

Ce qui est illustré dans la figure 2. 25 et 26 suivante :



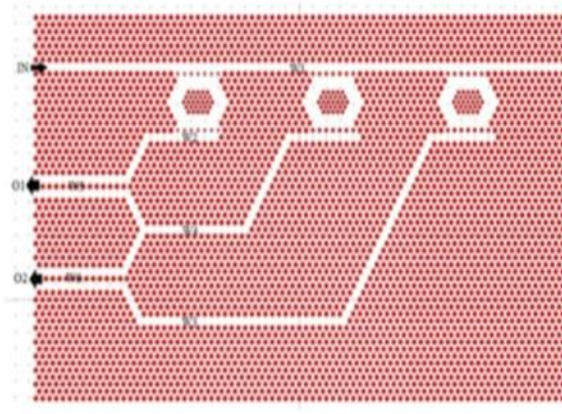
**Figure 2. 25:** Diagramme de sortie du codeur optique lorsque (a) I1, (b) I2 et (c) I3 sont activés [27].



**Figure 2. 26 :** Comportement optique du codeur optique lorsque (a) I1, (b) I2 et (c) I3 sont activés. (d) Toutes les entrées sont OFF [27].

### 2. 3 CAN optique :

En combinant un discrétiseur de niveau (démultiplexeur non linéaire) et un codeur, pour la réalisation final de CAN de 2 bits dans un réseau hexagonal  $70*70$  avec les mêmes paramètres. Premièrement, la création d'un démultiplexeur non linéaire et un codeur optique, ensuite la connexion le port de sortie du démultiplexeur au port d'entrée de l'encodeur et connecté Ch1, Ch2 et Ch3 à I1, I2 et I3 (figure 2. 27).



**Figure 2. 27 :** Schéma final de l'CAN optique proposé [27].

### 3. Simulation et résultats :

Les structures ont été testées pour des intensités lumineuses allant de 0 à  $16 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ . Les résultats obtenus ont montré qu'à des intensités lumineuses inférieures à  $4 \text{ W}/\mu\text{m}^2$  aucun des anneaux résonnants ne pouvait laisser échapper d'ondes lumineuses.

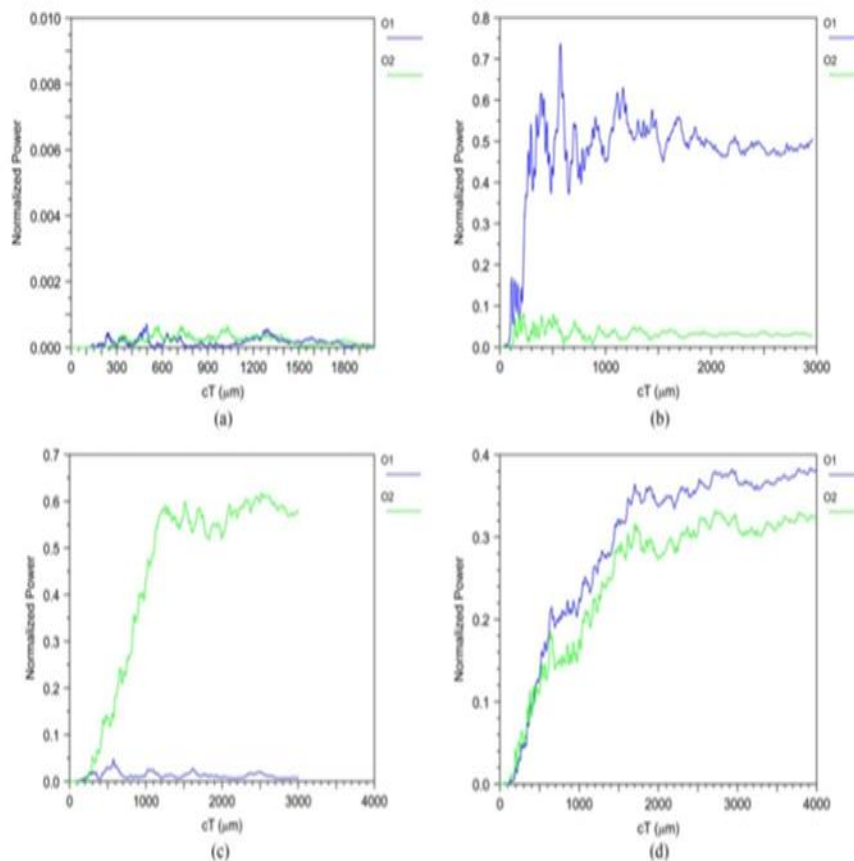
L'intensité lumineuse est comprise entre  $4 \text{ W}/\mu\text{m}^2$  et 8, en augmentant l'intensité lumineuse, donc les modes de résonance des anneaux résonnants augmenteront progressivement.

Le premier anneau laissera tomber des ondes optiques comprise entre  $8\text{W}/\mu\text{m}^2$  à

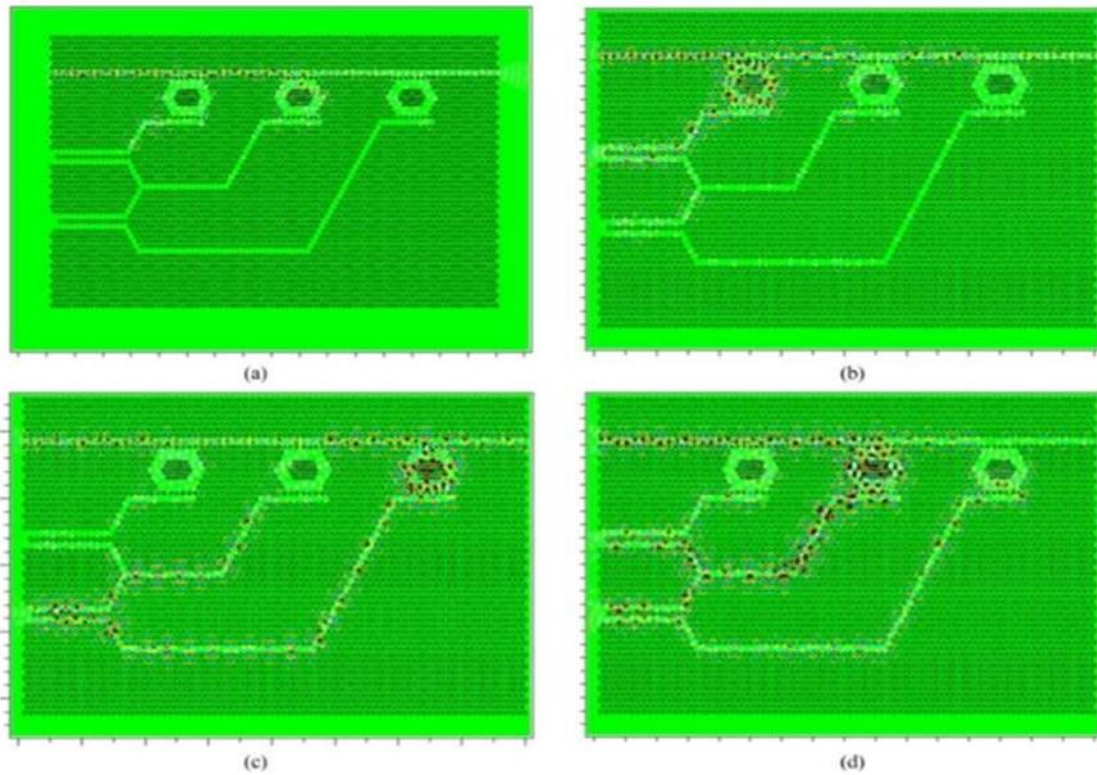


$12\text{W}/\mu\text{m}^2$  et  $12\text{W}/\mu\text{m}^2$  et  $16\text{W}/\mu\text{m}^2$ , les deuxième et troisième anneaux laisseront tomber les ondes optiques respectivement par conséquent, nous devons calculer les diagrammes de sortie pour ces intensités optiques.

Lorsque l'intensité optique du signal d'entrée est à  $0 < P_{in} < 1 * P_0$  ( $P_0 = 4 \text{ W}/\text{mm}^2$ ), il n'y a pas d'anneaux résonnants couplant les faisceaux optiques des ports d'entrée à leurs guides de sortie et si elle est sur  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , le premier anneau couplera le faisceau optique de W1 à W2, et déplacera vers O1 en passant par W2 et W5. Pour l'intensité est sur  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , le faisceau lumineux optique sera de W1 à W3, et traverse W3 et W6 vers O2 et atteint O2 pour s'allumer.



**Figure 2. 28:** Diagramme de sortie de l'ADC optique pour l'intensité optique étant à (a)  $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , (b)  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , (c)  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , et (d)  $3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$  [27].



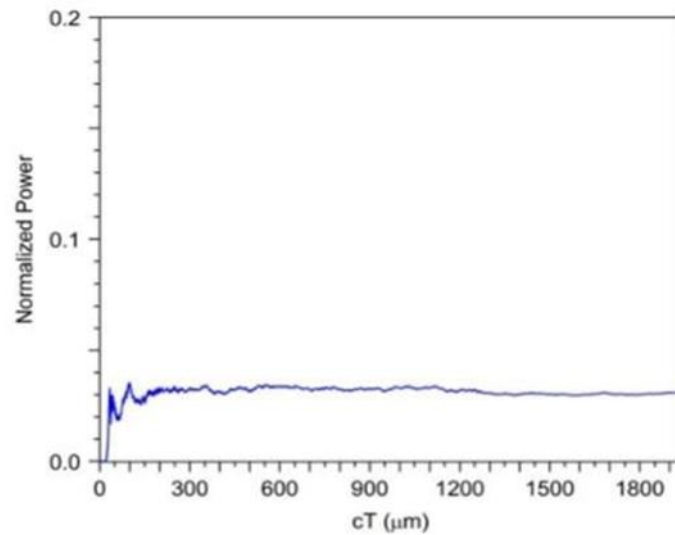
**Figure 2. 29** : Comportement optique de l'ADC optique pour l'intensité optique étant à **(a)**  $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , **(b)**  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$ , **(c)**  $2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$ , et **(d)**  $3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$  [27].

Les états de fonctionnement sont illustrés à la Figure 2. 26 et répertoriés dans le Tableau 2. 5 :

**Tableau 2. 5** : États de fonctionnement de l'CAN proposé.

Entrée	Puissance de sortie(%)		Niveau logique	
	O2	O1	O2	O1
$0 < P_{in} < 1 * P_0$	0	0	0	0
$1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$	5	52	0	1
$2 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$	60	5	1	0
$3 * P_0 < P_{in} < 4 * P_0$	30	35	1	1

En remarque que si l'intensité de l'entrée est entre  $0 < P_{in} < 1 * P_0$ , le niveau logique est '00' '01' lorsque l'intensité est entre  $1 * P_0 < P_{in} < 2 * P_0$  et à  $3 * P_0 < P_{in} < 3 * P_0$  le niveau logique est '11' (le code résultant) donc c'est le troisième anneau combinera les rayons de W1 à W4, et les rayons traverseront W4, W5 et W6 vers O1 et O2, activant ainsi O1 et O2.



**Figure 2. 30 :** Quantité de puissance réfléchie vers le port d'entrée [27].

La figure 2. 30 illustre la quantité de puissance réfléchie dans le cas le plus défavorable, et montre aussi que la qualité de puissance normalisée réfléchie vers le port d'entrée est inférieur à 5%.

La structure proposée par Farhad MehdiZadeh al est capable de générer des signaux binaires de 2 bits à partir de l'intensité de la puissance normalisée des entrées.

Le temps maximal nécessaire pour que le signal de sortie atteigne son état stable est d'environ 5ps. Par conséquent, le taux d'échantillonnage maximal est d'environ 200 Gs/s.

CAN optique génère un code binaire à 2 bits à partir de l'intensité optique du signal d'entrée avec un démultiplexeur non linéaire qui agit comme un discrétiseur de niveau et un encodeur optique. La structure supportée des taux d'échantillonnage jusqu'à 200 GS/s et une surface totale d'environ 806 μm.

## **2. 6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons défini la théorie de la conversion numérique du signal et le principe de fonctionnement du convertisseur analogique-numérique(CAN) a base de cristaux photonique. Nous avons aussi cité ces caractéristiques, et on a conclure ce chapitre par quelques exemple des applications très récentes pour avoir un aperçu de fonctionnement du convertisseur.

## **Références bibliographiques :**

- [1]- <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Cristal-photonique.html>.
- [2][5]-<https://www.maxicours.com/se/cours/conversion-d-un-signal-analogique-en-signal-numerique/>.
- [3][4]-[https://cache.media.education.gouv.fr/file/Programmer\\_en\\_physique\\_chimie/95/7/RA18\\_Lycee\\_PHCH\\_conversion-analogique-numerique\\_1064957.pdf](https://cache.media.education.gouv.fr/file/Programmer_en_physique_chimie/95/7/RA18_Lycee_PHCH_conversion-analogique-numerique_1064957.pdf).
- [6]- [www.emse.fr/dutertre/enseignement.html](http://www.emse.fr/dutertre/enseignement.html) -2009.
- [7] - H. Yu et al., "A Photonic Crystal Based Analog-to-Digital Converter with High Precision and Low Energy Consumption," in *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 29, no. 14, pp. 1183-1186, July15, 2017, doi: 10.1109/LPT.2017.2716739.
- [8]- D. H. Kim and J. H. Shin, "Optical filter design based on photonic crystal structures for the ADC system," in *2012 International Conference on Information Science and Applications (ICISA)*, 2012, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICISA.2012.6221371.
- [9]- Samir BARRA, « Contribution à la Conception d'un Convertisseur Analogique-Numérique en Technologie CMOS » , Thèse Doctorat, 2013.
- [10]- T.A. Moniem, All optical XNOR gate based on 2D photonic crystal ring resonators, *Quantum Electron.* 47 (2) (2017) 169–172.
- [11] -T.A. Moniem, M.H. Saleh, Fuzzy logic membership implementation using optical hardware components, *Opt. Commun.* 285 (21–22) (2012) 4474–4482.
- [12] -S.G. Johnson, J.D. Joannopoulos, Block-iterative frequency-domain methods for maxwell's equations in a plane wave basis, *Opt. Express* 8 (2001) 173–190.
- [13] -S.D. Gedney, *Introduction To Finite-Difference Time-Domain (FDTD) Method for Electromagnetics*, Morgan and Claypool, Lexington KY, 2010.
- [14] -S. Zhang, *Traveling-Wave Electro Absorption Modulators*, University of California, Santa Barbara, CA, 1999.
- [15]- T. Nishitani, T. Konishi, H. Furukawa, K. Itoh, All-optical digital-to-analog conversion using pulse pattern recognition based on optical correlation processing, *Opt. Express* 13 (25) (2005)10310–10315.
- [16]- Jayanta Kumar Rakshit, JitendraNath Roy, Silicon micro-ring resonator-based alloptical digital-to-analog converter, *Photonic Netw.Commun.* (2016). <http://dx.doi.org/10.1007/s11107-016-0664-x>.
- [17]- A. Rostami, F. Nazari, H. A. Banaei, and A. Bahrami, "A novel proposal for DWDM demultiplexer design using modified-T photonic crystal structure," *Photon.Nanostruct.Fundam. Appl.*, vol. 8, no. 1, pp. 14–22, Jan. 2010.
- [18] -S. Johnson and J. Joannopoulos, "Block-iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in a planewave basis," *Opt. Exp.*, vol. 8, no. 3, pp. 173–190, Jan. 2001.

[19]- B. Miao, C. Chen, A. Sharkway, S. Shi, and D. W. Prather, “Two bit optical analog-to-digital converter based on photonic crystals,” *Opt. Exp.*, vol. 14, no. 17, pp. 7966–7973, Aug. 2006.

[20]-<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/electronique-conversion-analogique-numerique-can-1233/>.

[21]-<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271421002326>.

[22]-<https://hal.science/hal-00274921>.

[23]-<https://jnog2014.sciencesconf.org/45295/v5.pdf>.

[24]-<https://www.arrow.com/fr-fr/research-and-events/articles/fundamental-principles-behind-the-sigma-delta-adc-topology>.

[25]-Mehdizadh, F., Soroosh, M., Alipour-Benaie, H. et al. All optical 2-bit analog to digital converter using photonic crystal based cavities. *Opt Quant Electron* 49, 38(2017). <https://doi.org/10.1007/s11082-016-0880-8>.

[26]-Tamer A. Moniem, Eman S. El-Din. Design of integrated all optical digital to analog converter (DAC) using 2D photonic crystals. *Optics Communication* 402(2017) 36-40 .<http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2017.05.028>.

[27]- Mehdizadeh F., Soroosh M., Alipour-Banaei,H et al . A Novel Proposal for All Optical Analog-to-Digital Converter Based on Photonic Crystal Structures, Volume 9, Number 2, April 2017.

## *Chapitre 3*

### *Résultats et simulations*

---

### **3. 1 Introduction :**

Les cristaux photoniques sont des structures périodiques à bande interdite, c'est-à-dire une gamme de fréquences dans laquelle la propagation de la lumière est interdite. Cette propriété est exploitée dans de nombreuses applications des cristaux photoniques, comme les guides d'ondes, les filtres optiques, les lasers, etc.

Pour obtenir une fréquence acceptable dans cet intervalle, il est nécessaire d'introduire des défauts dans la structure périodique du cristal. Ces défauts sont causés par une modification locale de la géométrie cristalline, qui entraîne des modifications des propriétés optiques du matériau.

Ces défauts peuvent être conçus pour former des guides d'ondes ou des cavités pour capturer et manipuler la lumière. Par exemple, en faisant varier la taille ou la position des motifs dans une structure périodique, des guides d'ondes peuvent être créés qui confinent la lumière le long d'un chemin donné. De même, en créant des cavités dans un cristal, il est possible de piéger la lumière et de créer des modes de résonance de fréquences spécifiques.

La conception de ces défauts dans les cristaux photoniques peut être réalisée à l'aide de techniques de modélisation et de simulation telles que COMSOL Multiphysics pour prédire et optimiser les propriétés optiques des structures modifiées. Une fois que les défauts ont augmenté, ils peuvent être fabriqués expérimentalement à l'aide de techniques nano structurées telles que la lithographie par faisceau d'électrons ou la lithographie par faisceau d'électrons focalisé, peuvent être utilisées pour créer des dispositifs fonctionnels à base de cristaux photoniques.

#### **3. 1. 1 Définition du logiciel COMSOL:**

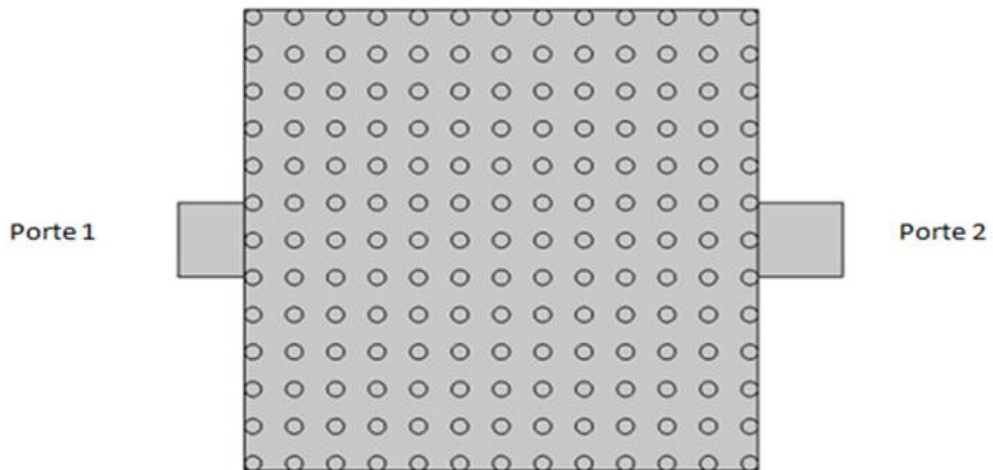
COMSOL Multiphysics est un logiciel de simulation multi physique utilisé pour résoudre des problèmes complexes dans divers domaines de l'ingénierie et des sciences. Il offre une plateforme de modélisation et de simulation avancée qui permet de prendre en compte plusieurs phénomènes physiques simultanément.

Le logiciel COMSOL utilise une approche basée sur les équations aux dérivées partielles (EDP) pour résoudre les modèles physiques. Il offre un environnement convivial et intuitif qui permet de construire des modèles en utilisant une interface graphique, sans nécessiter de programmation complexe. Les utilisateurs peuvent définir la géométrie du modèle, spécifier les propriétés des matériaux, définir les conditions aux limites, et choisir les équations physiques pertinentes à résoudre.

Et à notre étude on utilise la version 5.4 du logiciel COMSOL pour la simulation des phénomènes liés aux matériaux et pour la technologie de la photolithographie.

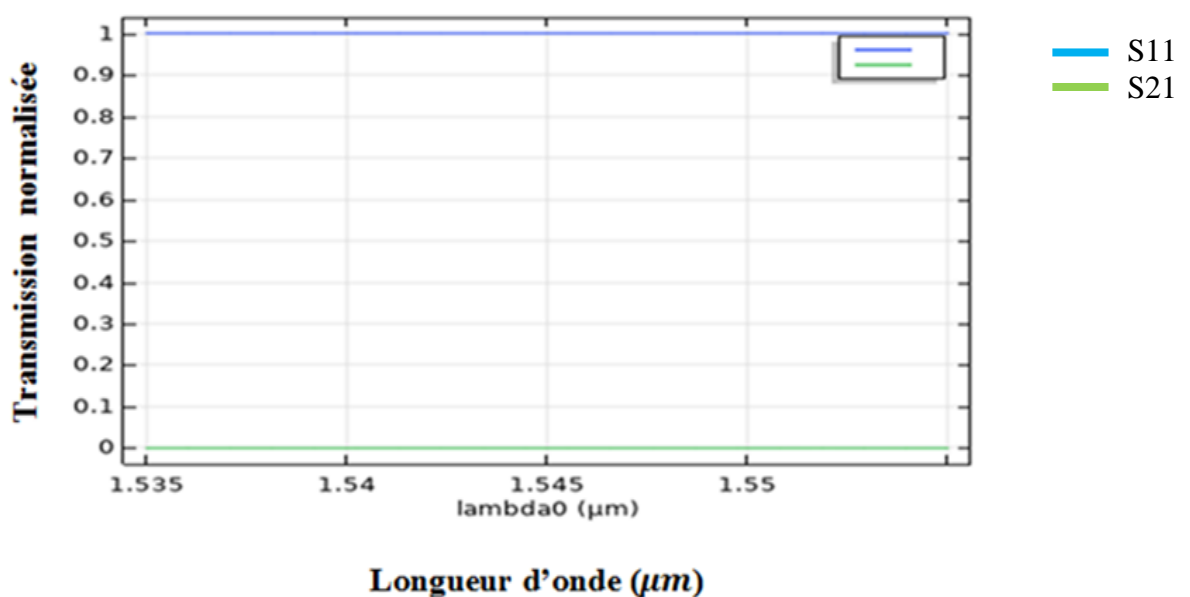
### 3. 2 Étude des structures bidimensionnelles sans défaut à maille carré :

Dans notre travail, nous avons concentrées sur une structure bidimensionnelle déconnectée à maille élémentaire carrée de tige en GaAs immergée dans l'air avec l'indice de réfraction de  $n = 3,37$ . La figure 3.1 illustre une structure photonique à maille carrée sans défaut de taille  $13 \times 13$  avec une constant de réseau égal à  $0.60 \mu\text{m}$  et le rayon de tiges diélectriques est de  $0.12 \mu\text{m}$ .



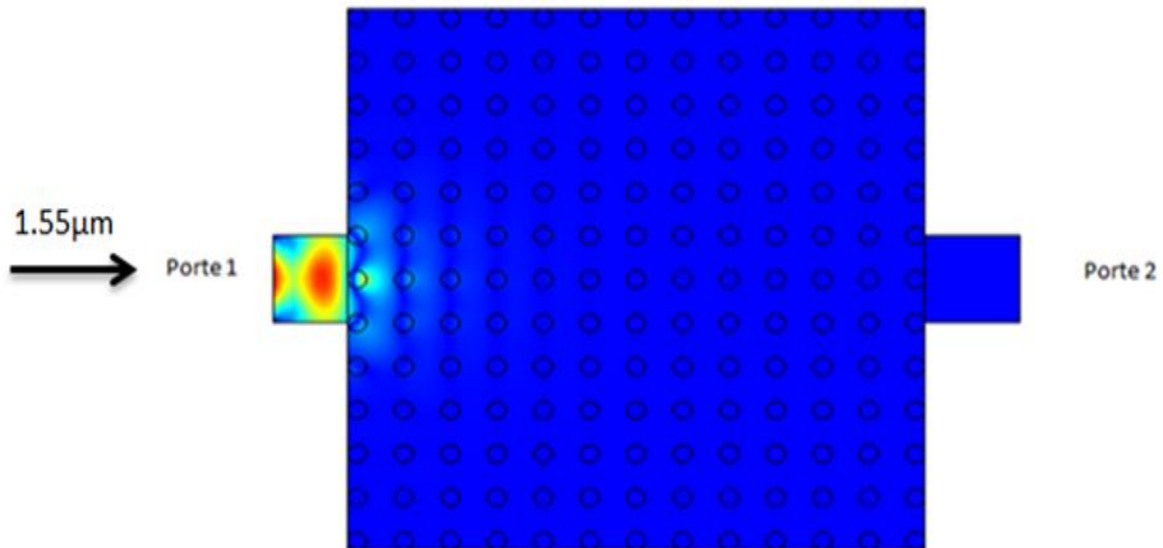
**Figure 3. 1 :** Représentation schématique de la Structure carré sans défaut,  $a=0.6 \mu\text{m}$ ,  $r=0.12 \mu\text{m}$ .

Les résultats de la simulation sous le logiciel COMSOL représenté la réponse spectrale de la transmission et de réflexion d'un CP-2D en fonction de la longueur d'onde dans la figure 3. 2:



**Figure 3. 2 :** Réponse spectrale de la transmission et la réflexion d'un CP-2D dans un réseau carrée.





**Figure 3. 3 :** Représentation de la propagation du champ électrique d'un CP-2D à maille carrée sans défaut.

On remarque qu'il y a une réflexion totale à l'entrée de la structure sur la bande de longueur d'onde [1.535, 1554]  $\mu\text{m}$ . Ce qui confirme qu'il a une absence de guidage.

#### **a/Analyse de diagramme de bande :**

Parmi les propriétés des cristaux photoniques, c'est la capacité d'influencer la propagation de la lumière dans des espaces et des directions spécifiques pour une gamme de fréquence spécifique. Cette propriété est appelée la bande interdite photonique (BIP).

Pour cela, nous avons choisis une longueur d'onde de 1.55 $\mu\text{m}$ (ou 1550nm) et les paramètres suivants : rayon  $r=0.12\mu\text{m}$  et constante du réseau  $a=0.6\mu\text{m}$ . La fréquence normalisée est définie comme le rapport de la constante de réseau sur la longueur d'onde soit  $a/\lambda=0.6/1.55=0.387$ . Le tracé est créé à l'aide de la méthode d'onde plane PWE dans logiciel COMSOL Multiphysique selon la direction ( $\Gamma$ -M-X- $\Gamma$ ) en mode TE (Figure 3. 4).

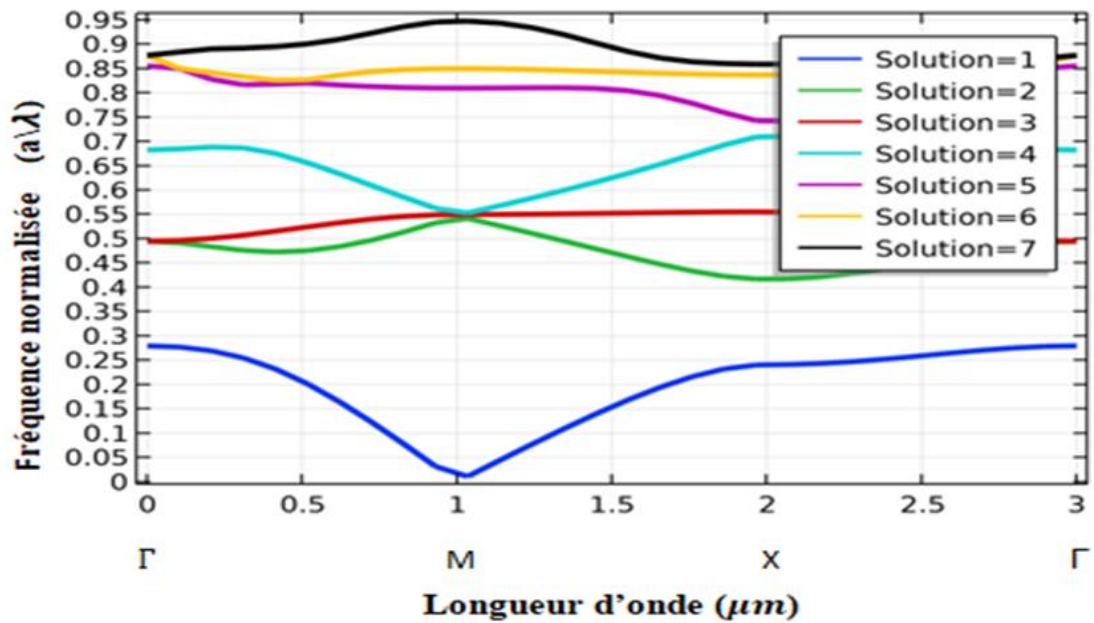


Figure 3. 4 : Diagramme de bande pour  $r=0.12\mu\text{m}$ ,  $a=0.6\mu\text{m}$ .

Le diagramme de bande interdite (Figure 3. 4) montre l'ouverture d'une large bande interdite pour les fréquences normalisées  $0,29 < a/\lambda < 0,41$ , ce qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre  $1463.41\text{nm} < \lambda < 2068.96\text{ nm}$ .

### 3.3 Structures bidimensionnelles avec défaut à maille carrée :

La présence de ces défauts linéaires peut avoir des effets sur les propriétés de propagation de la lumière ou des ondes à l'intérieur du guide d'onde. Cela peut entraîner des changements dans la réflexion, la transmission ou la dispersion des ondes, ainsi que des perturbations dans le profil du champ électromagnétique.

#### 3.3.1 Conception d'un guide à maille carrée :

La structure présentée en dessous (Figure 3. 5) illustre un guide d'onde après avoir retiré un seul rangé (mono-rangée  $w_1^k A$ ) de la structure proposé précédemment.

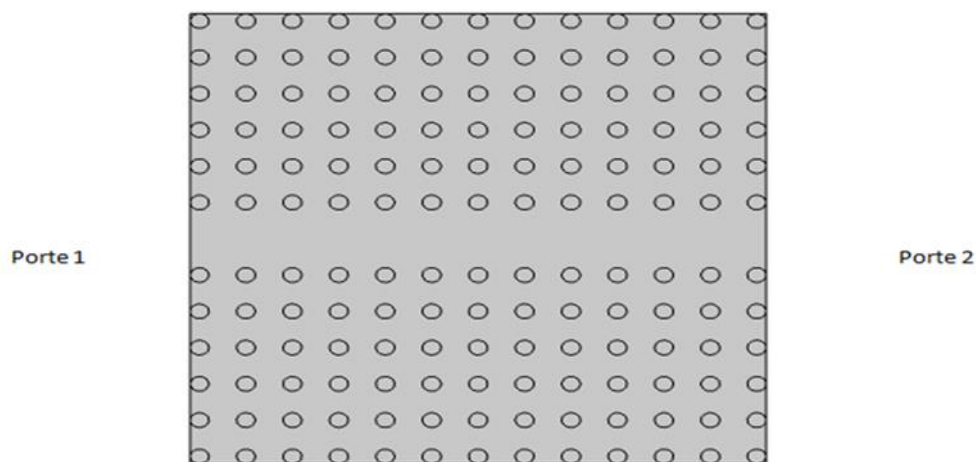
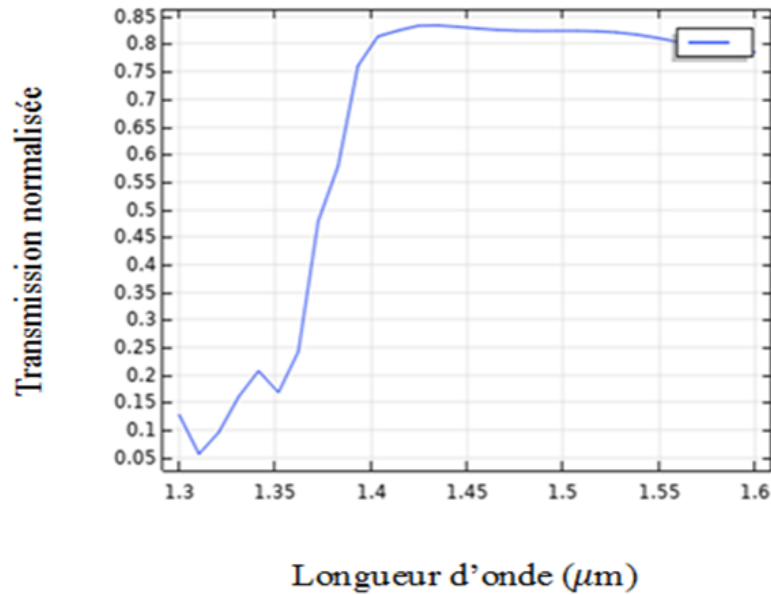


Figure 3. 5 : Représentation d'un guide d'onde mono-rangé  $w_1^k A$ ,  $a=0.6\mu\text{m}$ ,  $r=0.12\mu\text{m}$ .

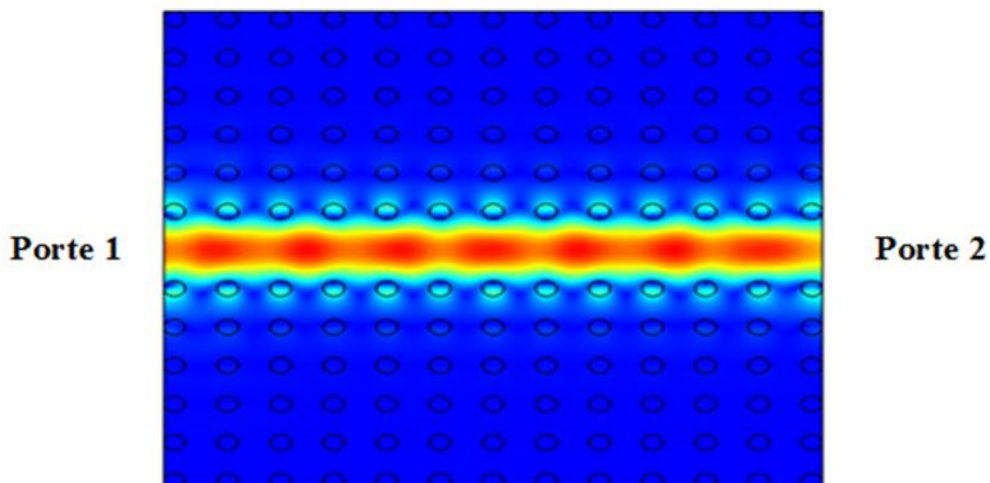
Les résultats de la simulation d'un guide d'onde basé des CP-2D sont présentés dans la figure 3. 6.



**Figure 3. 6 :** La réponse spectrale de la transmission d'un guide  $W_1^K A$ , à l'intervalle  $[1.535, 1.554]$  μm.

On remarque que la réponse spectrale approche à son niveau maximal à l'ordre de 85%, ce dernier conduit à l'apparition du mode sans défaut et qu'il existe le phénomène de guidage à cette longueur d'onde ce qui assure que la création des défauts détermine une bande de fréquence autorisée dans la bande BIP.

La structure 3. 7 présentes la répartition spatiale du champ électrique du guide  $W_1^K A$  à maille carré.

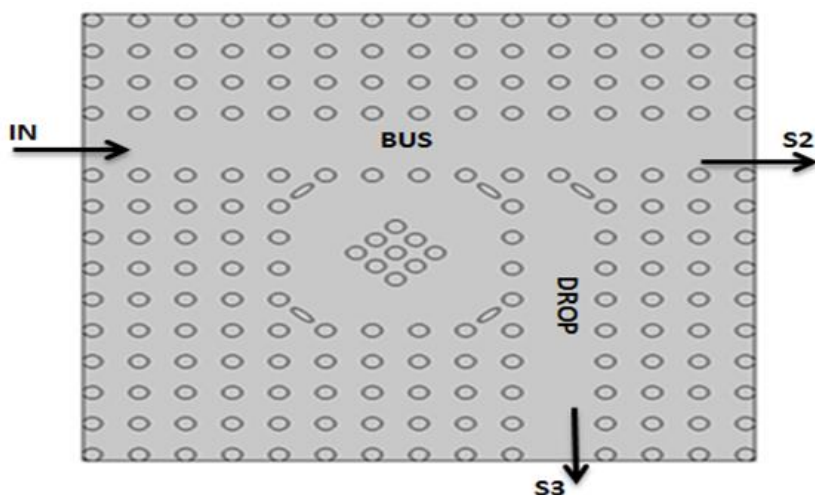


**Figure 3. 7 :** Répartition spatiales du champ électrique d'un guide  $W_1^K A$  à base de CP-2D pour la longueur  $\lambda=1.55$  μm.

A l'entrée de la structure, on remarque clairement qu'il y a une propagation de la lumière via le défaut de ligne ce qui signifie que la lumière est idéalement guidée dans ce guide d'onde.

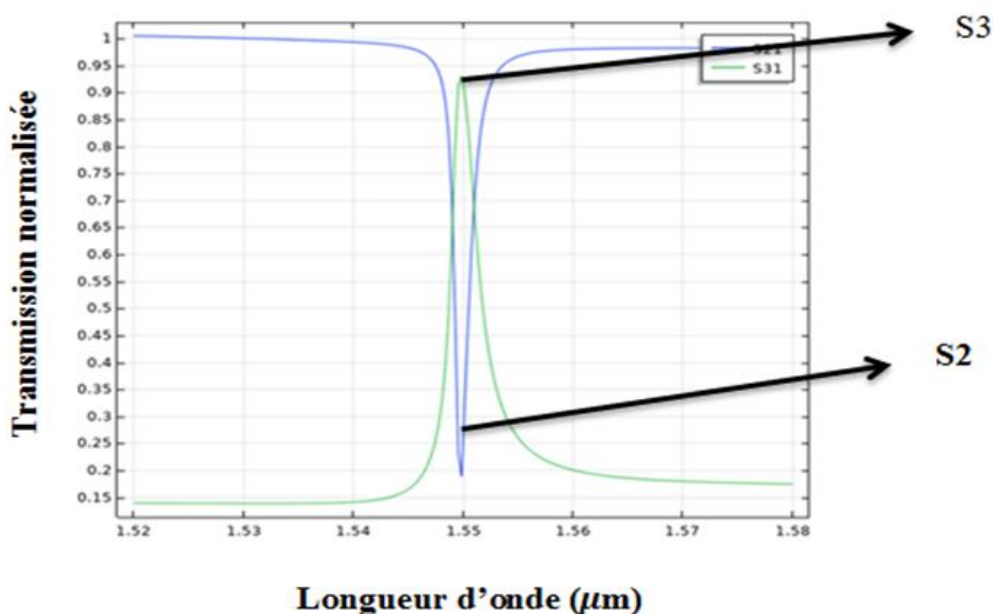
### 3. 4 Simulation d'un résonateur en anneau:

La structure illustrée dans la figure 3. 8 est un résonateur en anneau. Est un réseau de  $15 \times 15$  des tiges diélectriques de GaAs qui se compose d'un guide d'onde **Bus** et un guide d'onde **Drop** avec un port d'entrée **IN** et deux ports de sortie **S2**, **S3**, tel que le port **IN** c'est l'entrée de guide d'onde **BUS** et **S2** son sortie, bien que le port **S3** indique la sortie de guide **Drop**. L'étude fait avec les mêmes paramètres utilisé précédemment ainsi que la fréquence normalisée :  $a/\lambda=0.387$ .

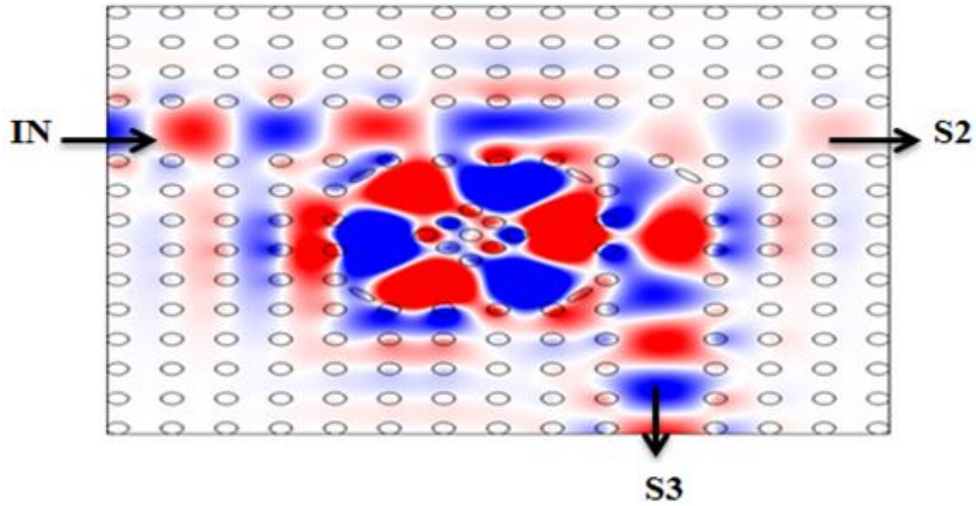


**Figure 3. 8:** Structure à maille carré d'un seul anneau :  $a=0.6 \mu\text{m}$ ,  $r=0.12 \mu\text{m}$ ,  $n=3.37$ .

Nous avons excité le résonateur par une gamme de longueurs d'onde entre  $[1.52, 1.58] \mu\text{m}$ . La figure 3. 9 présente le résultat de simulation et la réponse spectrale de résonateur en anneau. On peut remarquer que tous les longueurs d'ondes sort vers le port **S2** sauf que la longueur d'onde  $1.55 \mu\text{m}$  sort vers le port **S3**, et la transmission normalisée obtenu est de 94%.



**Figure 3. 9 :** La réponse spectrale de résonateur à l'intervalle  $[1.52, 1.58] \mu\text{m}$ .

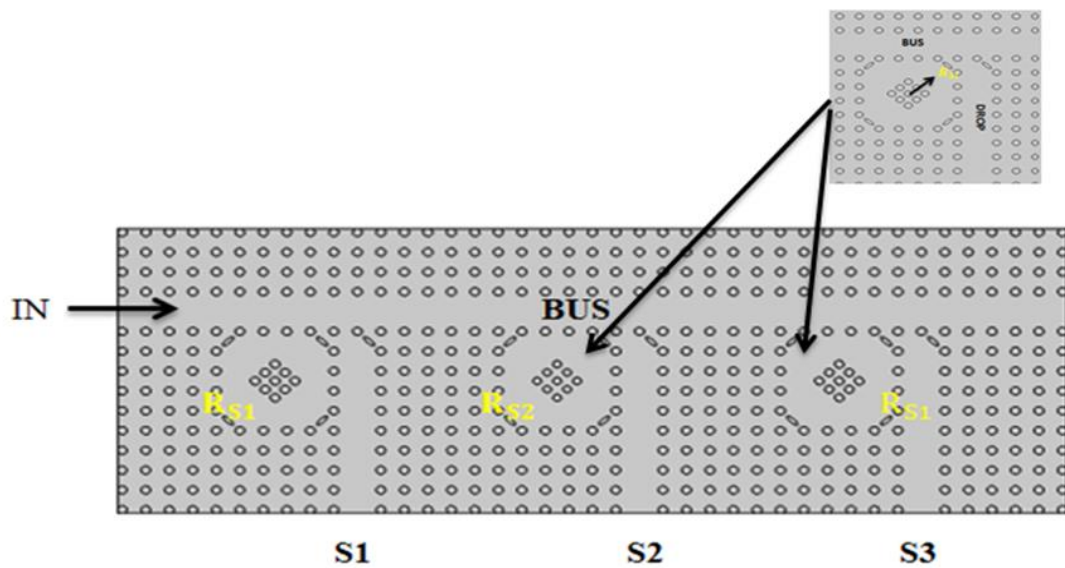


**Figure 3. 10 :** Représentation de la répartition de champ électrique.

La figure 3. 10 représente la répartition du champ électrique, selon cette structure on remarque que qu'il y a un transfert de la lumière vers le port **S3**, en considération de couplage entre le guide d'onde et le résonateur, le signal est totalement acheminé du guide **Bus** vers le guide **Drop** en passant par le résonateur en anneau.

### 3. 5 Conception d'un démultiplexeur:

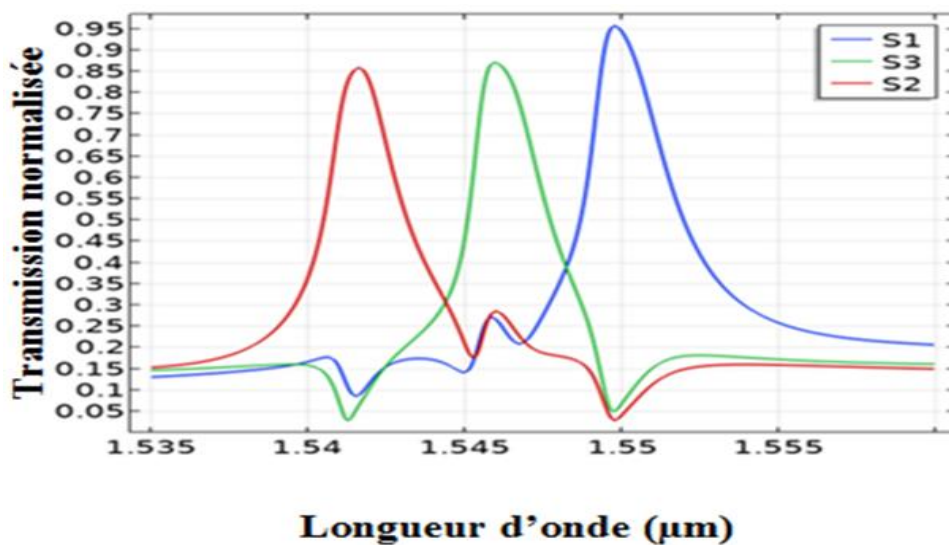
Le démultiplexeur est une série de filtres regroupés dans une même structure pour extraire plusieurs longueurs d'onde simultanément. Pour notre étude nous avons proposé un démultiplexeur à trois résonateurs des rayons des tiges différents et d'un guide d'onde Bus. La structure CP utilisée est un réseau de  $41 \times 15$  des tiges de GaAs, qui résulte une taille de  $209.433 \mu m^2$ .



**Figure 3. 11:** Schéma d'un démultiplexeur à base de CP-2D à 3 résonateurs avec  $a=0.6 \mu m$ ,  $r=0.12 \mu m$ ,  $n=3.37$ .

Comme la montre la figure 3. 11, le démultiplexeur se compose d'un port d'entrée **IN**, de 3 ports de sortie **S1**, **S2** et **S3**, un guide d'onde **BUS** et 3 guide **Drop** couplés par 3 résonateur  $R_{Si}$ , chacun de ces résonateurs possède un rayon de tige interne unique qui est proportionnel à l'intensité appliquée au démultiplexeur où  $R_{S1}=124.2\text{nm}$ ,  $R_{S2} =129.54\text{nm}$ ,  $R_{S3}=132.90\text{nm}$  correspondent aux ports de sortie  $S_i$  avec  $i$  varie de 1 à 3 avec des différents longueur d'onde pour cette variation où  $\lambda_1=1.55\mu\text{m}$ ,  $\lambda_2=1.542\mu\text{m}$  et  $\lambda_3=1.547\mu\text{m}$ .

La figure 3. 12, montre la réponse spectrale liée à la transmission du démultiplexeur à trois anneaux basés sur un CP-2D carré avec des rayons différents. De ce graphe, le phénomène de filtre se produit pour chaque longueur d'onde, ce qui confirme qu'il s'agit bien d'un démultiplexeur.



**Figure 3. 12 :** La réponse spectrale de transmission pour,  $R_{S1}=124.2\text{nm}$ ,  $R_{S2}=129.54\text{nm}$  et  $R_{S3}=132.90\text{nm}$ .

Les résultats de la simulation sont donnés sur le tableau suivant :

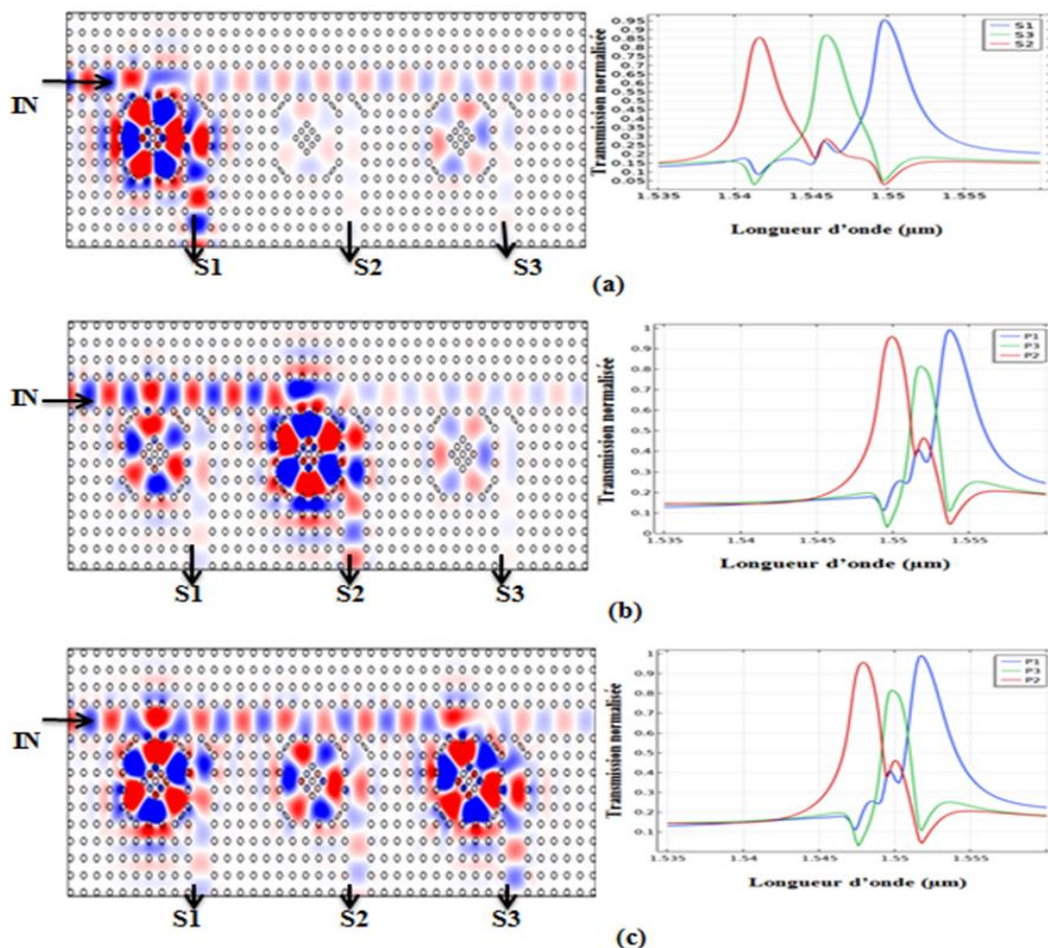
**Tableau 3. 1:** Résultats de simulation du démultiplexeur pour  $1.55\mu\text{m}$ .

Ports	S1	S2	S3
$E_{eff}(\%)$	95	85	86
<b>R (nm)</b>	124.56	129.54	132.90
<b><math>\lambda</math> (µm)</b>	1.55	1.542	1.547
<b><math>\Delta\lambda(\mu\text{m})</math></b>	0.004	0.0025	0.003
<b>Q</b>	387.5	616.8	515.66

Nous avons introduit dans le démultiplexeur trois signaux optique, avec des intensités différentes tell :  $P1=100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ ,  $P2=1100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ ,  $P3=2100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$  et la différence entre elle est uniforme avec un pas de  $1000\text{w}/\mu\text{m}^2$ .

Les distributions des ondes optiques à l'intérieur du démultiplexeur non linéaire avec

différentes intensités d'entrées sont illustrés à la figure 3. 13.



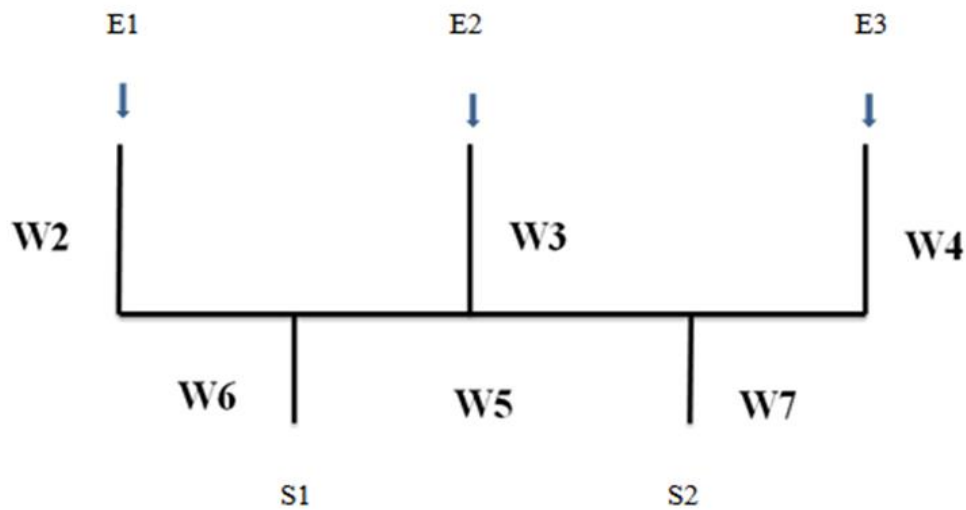
**Figure 3. 13** : Spectres de sortie du démultiplexeur lorsque la puissance d'entrée est :  
 (a)  $P1=100w/\mu m^2$ , (b)  $P2=1100w/\mu m^2$ , (c)  $P3=2100w/\mu m^2$ .

À la figure 3. 13, montrent qu'à chaque fois que nous changeons l'intensité d'entrée, un seul port de sortie est actif, et l'onde se déplace d'un port à l'autre en raison de la non-linéarité diélectrique du matériau qui est généralement défini par  $n = n_0 + \gamma * I$  avec  $n_0$  indice de réfraction linéaire,  $\gamma$  coefficient de Kerr non linéaire et  $I$  c'est l'intensité du signal d'entrée.

### 3. 6 Conception d'un convertisseur analogique- numérique :

#### 3. 6. 1 Codeur optique :

Le codeur optique proposé pour générer un code de 2 bits à partir des niveaux discrétisés obtenus à partir du premier bloc. Le codeur doit avoir trois ports d'entrée E1, E2, E3 et deux ports de sortie S1, S2 et de six guides d'ondes, W2, W3 et W4 sont les guides d'entrée, W6 et W7 sont les guides de sortie, le guide W5 relie W2 et W3 à W6 et W3 et W4 à W7 respectivement (Figure 3. 14).



**Figure 3. 14 :** Principe de fonctionnement d'un codeur optique.

Donc, le fonctionnement de codeur 2 bits est comme suite :

**Cas 1 :** pour que tous les portes d'entrée E1, E2, E3 sont éteints, les deux portes de sortie S1, S2 désactivée par conséquence l'état logique résulte est '00'.

**Cas 2 :** pour E1 est allumé et E2, E3 sont éteints, S1 est active et S2 désactivé, par conséquence, l'état logique résulte '10'.

**Cas 3 :** pour E3 est allumé et E1, E2 sont éteints, S2 est active et S1 est désactivé, par conséquence, l'état logique résulte '01'.

**Cas 4 :** pour E1, E3 sont éteints et E2 est allumé, S1, S2 sont activés, par conséquence, l'état logique résulte '11'.

Le tableau qui suit résume l'état logique de codeur optique de 2 bits :

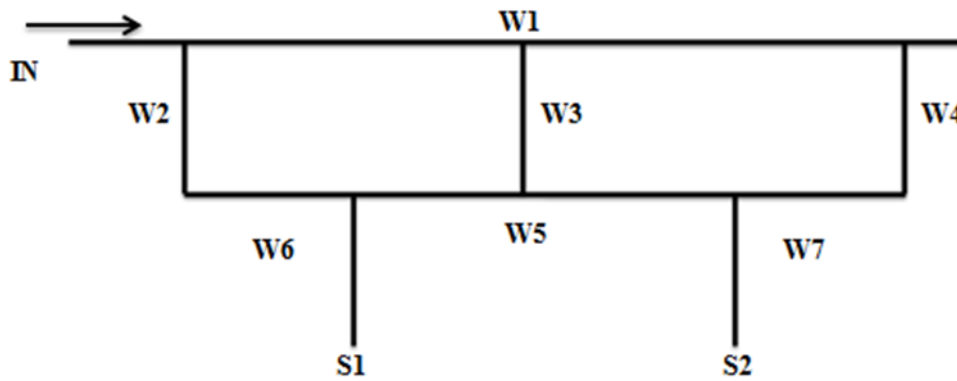
**Tableau 3. 2 :** États de travail de la proposition de codeur.

E1	E2	E3	S1	S2
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	0	1	1

### 3. 6. 2 CAN optique :

Pour notre travail, en combinant un démultiplexeur à 3 port de sorties et un codeur 2 bits à maille carré avec les mêmes paramètres structurels (indice de réfraction=3.37, rayon= 0.12µm et un constant de réseau=0.6µm).

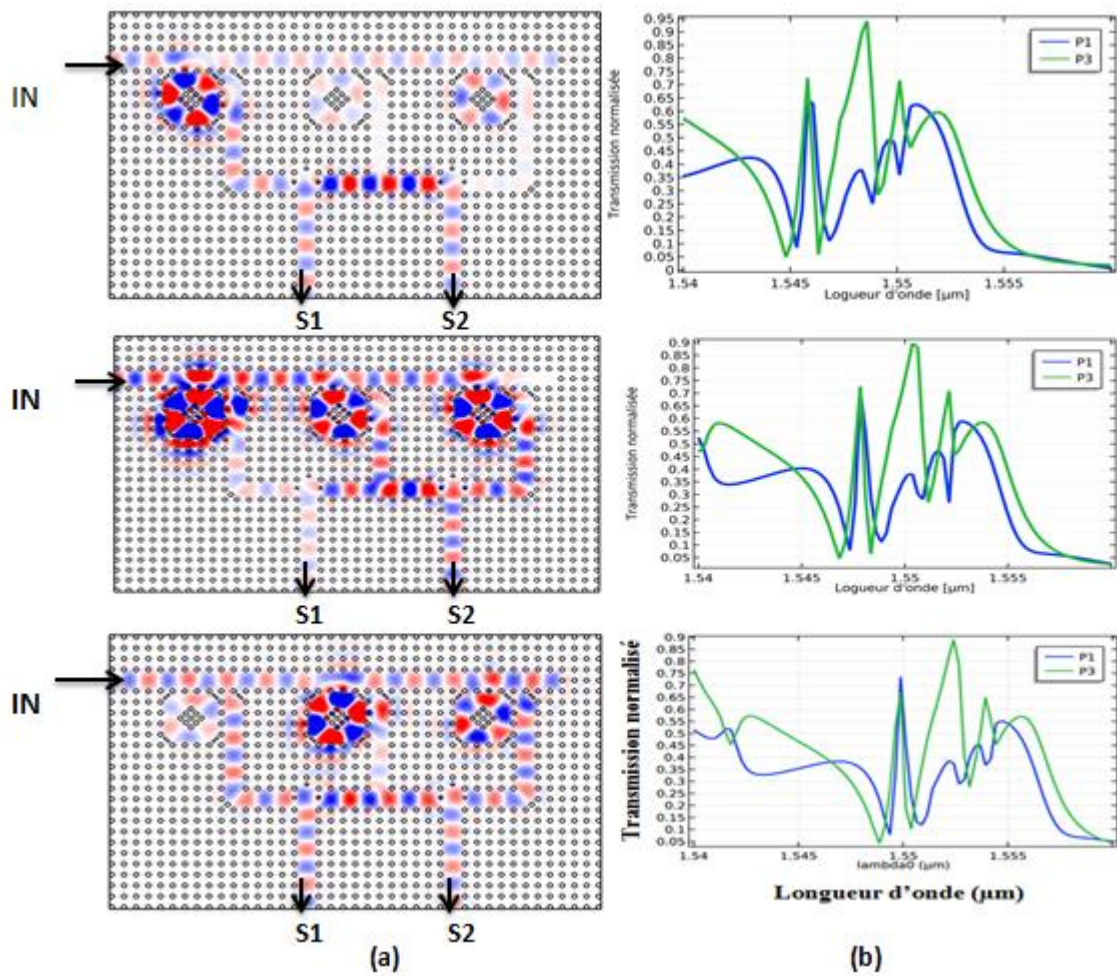




**Figure 3. 15 :** Principe de fonctionnement d'un convertisseur.

Lorsque le signal d'entrée  $P < 100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ , aucune des anneaux résonants ne couple le faisceau optique d'entrée à leurs guides d'onde de sortie correspondants, les deux ports de sortie seront donc éteints, et à  $100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ , le premier anneau couplera le faisceau optique de W1 dans W2 et le faisceau se déplacera vers S1 en passant par W2, W5, W6 de sorte que S1 sera allumé, mais il n'y a aura pas de faisceau optique dans S2, en augmentant l'intensité optique de signal à  $1100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ , le faisceau dépose de W1 dans W4 par le deuxième anneau, puis se dirigera vers S2 à travers W4, W5, W7 et allumer S2, cependant, il n'y a aura pas le faisceau dans le S1, enfin, lorsque l'intensité du signal d'entrée est  $P = 2100 \text{ w}/\mu\text{m}^2$ , le troisième anneau couplera le faisceau optique de W1 dans W3 et se déplacera vers S1 et S2 à travers W3, W5, W6, W7 et par conséquent S1 et S2 seront allumés.

Les résultats de cette étude sont représentés à la figure 3. 16 suivantes :



**Figure 3. 16:** (a) Comportement optique de CAN proposé pour les différentes puissances  $P1=100w/\mu m^2$ ,  $P2=1100w/\mu m^2$ ,  $P3=2100w/\mu m^2$ , (b) Les spectres du sortie normalisée d'un CAN.

**Tableau 3. 3 :** États de fonctionnement de CAN optique proposé.

Pin (entrée)	S1	S2
$0 < Pin < 100$	0	0
$Pin = 100$	1	0
$Pin = 1100$	0	1
$Pin = 2100$	1	1

### 3. 7 Conclusion :

Dans notre étude, nous avons utilisé le logiciel COMSOL pour simuler les performances de différents composants optiques basés sur les cristaux photoniques 2D (CP-2D) gravés sur GaAs, nous avons d'abord étudié un guide d'onde de type  $W_1^k$  A avec une structure en maille carré. Les résultats ont montré que l'introduction de défauts étendus dans ces structures permettait un bon guidage de la lumière, ensuite nous avons proposé un résonateur en anneau

qui permet de diriger la lumière à la longueur d'onde désirée tout en bloquer les autres longueurs d'onde et un démultiplexeur non linéaire à trois canaux et nous avons constatés que la position des longueur d'onde dépendait du rayon relatif de l'anneau intérieur, en variant ce rayon pour obtenir n'importe quelle fréquence située dans la bande interdite. Enfin, nous avons proposé structure d'un nouveau CAN optique capable à générer des codes binaires de 2 bits à partir du signal d'entrée, cette structure composée d'un démultiplexeur non-linéaire et un codeur, ce composant est utilisé pour convertir un signal analogique en un signal numérique aussi pour des nombreux domaines, tels que les télécommunications, l'automatisation et bien d'autres.

## **Conclusion générale**

## ***Conclusion générale :***

Le découvert des cristaux photoniques a été une avancée majeure dans le domaine des circuits miniaturisés et des hautes fréquences. Les cristaux photoniques sont des structures périodiques qui permettent de contrôler et de manipuler la propagation de la lumière à des échelles de longueur d'onde, l'une des propriétés les plus importantes des CPs est la présence de bandes interdites qui sont des plages des fréquences pour lesquelles la propagation de la lumière est interdite, similaire à la BIP des semi-conducteurs dans l'électronique. Cela signifie que les CPs peuvent être conçus pour bloquer sélectivement certaines fréquences de lumière tout en permettant le passage des autres.

Notre travail concerne la conception d'un convertisseur analogique-numérique à base des cristaux photoniques non linéaire pour les futures systèmes optiques, en utilisant le logiciel COMSOL.

Dans le premier chapitre, nous avons étudié le principe de fonctionnement de base des cristaux photoniques avec la caractéristique intéressante qui est le contrôle la propagation de la lumière, et aussi compris la structure périodique 2D car il est la meilleure structure pour le guidage du signal pour plusieurs applications telles que les filtres, les guides d'onde, démultiplexage et les convertisseurs(CAN), c'est notre étude principale.

Le deuxième chapitre comporte une généralité sur les convertisseurs photoniques et leurs principes de fonctionnement, nous avons exposé quelques applications très récentes avec leurs résultats.

Dans le dernier chapitre de ce mémoire, l'étude été appliquée sur les cristaux photoniques gravées sur GaAs, nous avons présenté les structures avec et sans défauts à maille carrée de façon qu'en remarque la différence sur les réponses spectrales simulée en termes de transmission et de réflexion aussi bien que la répartition du champ électrique. Nous avons étudié le convertisseur CAN optique capable à générer des codes binaires de 2 bits à partir du signal d'entrée, cette structure composée d'un démultiplexeur non-linéaire à 3 canaux et un codeur, ce composant est utilisé pour convertir un signal analogique en un signal numérique.

Cette étude donne la possibilité de contrôle la propagation de la lumière pour les futurs systèmes optiques.