

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de Technologie
DEPARTEMENT d'Electronique
N° :2017/ ME01/ 97/ 482



DOMAINE : Science et Technologie
FILIERE : Electronique
OPTION : MICRO Electronique

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

Hamidat badreddine

Abdelli yahia

Intitulé

***Etude et conception des capteurs à cristaux
Photoniques pour des applications biomédicales***

Soutenu devant le jury composé de:

Dr	D. Khedrouche	Université M'SILA	Président
Prof	A. Hocini	Université M'SILA	Rapporteur
Dr	M. Bouras	Université M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017

Remerciements

Avant tout, nos remerciements en premier lieu, à DIEU qui nous a donné la foi, le courage et la patience de parvenir à finir ce modeste travail.

Je tiens à remercier particulièrement nos parents ; mon succès demeurée loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et de patience.

*Nous tenons à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude à mon promoteur **Prof. Abdesselam HOCINI**, je le remercie pour ses conseils; ses précieux commentaires qui m'ont permis de surmonter mes difficultés, et de progresser dans cette présente étude.*

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

*Nos remerciements vont aussi, à Mlle **Dr. Ahlam Harhouz** et **Mr. Riad MOUKHTARI** pour la documentation, l'accompagnement tout au long de ce travail et les conseils prodigués.*

J'exprime ma reconnaissance aux membres de jury pour bien vouloir accepter de présider et examiner ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années des études.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour Leurs soutiens moraux ou matériels, dans la réalisation de ce projet.

إهداء

إلي كل من أضاء بعلمه عقل غيره
أو هدى بالجواب الصحيح حيرة سائليه
فأظهر بسماحته تواضع العلماء
وبرحابته سماحة العارفين
اهدي هذا العمل المتواضع إلى أبي الذي لم يبخل علي يوماً بشيء
وإلى أمي التي ذودتني بالحنان والمحبة
أقول لهم: أنتم وهبتموني الحياة والأمل والنشأة على شغف الاطلاع والمعرفة
وإلى اخي عيسي و اخواتي لينا، مريم، ايمان، شيماء، والكتكوتة اروى
وإلى أسرتي جميعاً
إلى كل احبابي عبد الصمد، بزيط، وليد، بدر، وإلي كريمة، نسبية، عفاف
إلي كل اعضاء مخبر تحليل الإشارة والأنظمة
ثم إلى كل من علمني حرفاً أصبح سنا برقه يضيء الطريق أمامي

عبدلي يحي

اهداء

إلى من علمني النجاح والصبر

إلى من افتقده في مواجهة الصعاب

ولم تمهله الدنيا لأرتوي من حنانه.. أبي

وإلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها

من علمتني وعانت الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه

وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها ليخفف من آلامي .. أمي

وإلى إخوتي وأسرتي جميعاً

إلى زملائي وزميلاتي

إلى كل أعضاء مخبر تحليل الاشارة والأنظمة

ثم إلى كل من علمني حرفاً أصبح سنا برقه يضيء الطريق أمامي

حميدات بدرالدين

SOMMAIRE

I.1. Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les cristaux photoniques	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Définitions :	3
I.3. types des cristaux photoniques :	4
I.3.1. structure périodique unidimensionnelle 1D :	4
I.3.2. structure périodique bidimensionnelle 2D :	5
a. Le réseau carré :.....	6
b. Le réseau triangulaire :	6
c. Le réseau hexagonal :	7
I.3.3. cristaux photoniques tridimensionnels 3D:.....	8
I.4. Caractéristique géométrique et physique :	10
I.4.1. Le contraste d'indice Δn :.....	10
I.4.2. La période:	10
I.4.3. Le facteur de remplissage f :	11
I.5. La bande interdite photonique :	11
I.5.1. zone de Brillouin :.....	11
I.5.2. Diagramme de bandes :.....	12
I.6. Des défauts :.....	13
I.6.1. Les défauts ponctuels :.....	13
I.6.2. Les défauts étendus	14
I.7. Les applications des cristaux photoniques :.....	15
I.7.1. Cavités.....	15
I.7.2. Guides d'onde à cristaux photoniques :	16
I.7.3. Couplage cavité / guide dans un cristal photonique 2D:.....	16
II.7.4. Filtre et Multiplexeur:.....	17
II.7.5. Les fibres optiques	18
I.8. les Méthodes numériques :.....	19
I.8.1. La méthode des ondes planes (PWM):.....	19
I.8.2. La méthode FDTD :	19
I.9. conclusion:	20

Chapitre II : Généralités sur les capteurs

II.1.introductions	21
II.2.Généralités sur les capteurs.....	22
II.2.1.Définition.....	22
II.2.2. Différents types d'un capteur :.....	22
II.2.2. 1.capteur actifs :	22
II.2.2. 2.Capteurs passifs	23
II.2.3. Caractéristiques métrologiques d'un capteur.....	24
* Etalonnage	24
* Sensibilité :.....	24
* Temps de réponse ou rapidité :	25
* Résolution (Précision).....	25
* Linéarité.....	25
* Réversibilité.....	25
* Sélectivité.....	25
* Fiabilité.....	25
II.3. Grandeurs d'influence	25
II .4. Les biocapteurs	26
II .4. 1. Définition.....	26
II .4. 2. Caractéristiques des biocapteurs.....	27
* Sélectivité.....	27
* Sensibilité.....	27
* Reproductibilité	27
* Exactitude	27
* Limite de détection	27
II .4.3 . Pluridisciplinarité du domaine des biocapteurs	28
II .4.4 . Classification des biocapteurs.....	28
3. Classement par espèce(s) détectée(s).....	28
II.5. Biocapteurs optiques.....	29
II.6. Capteurs à fibres optiques.....	30
II .7. Capteurs à cristaux photoniques :	31
II.7.1. Capteurs d'indice de réfraction (RI) à base de CPs (RI-based PhC sensors)	32
a) Capteur RI de température.....	33
b) Capteur RI microfibre	33

c) Capteur RI de pression	34
d) Capteurs RI à base des guides ondes à CP	34
II.8. Conclusion	35

Chapitre III : résultats et interprétation

III.1. Introduction	36
III.2. Représentation du logiciel R SOFT CAD	36
III.2.1. environnement de CAD	36
III.2.2. Le simulateur « BandSOLVE»	36
III.2.3. Le simulateur « FULL WAVE»	37
III.2.4. Fenêtre de programme de CAD	37
III.2.5. Générer la structure de réseau	38
III.2.6. Présentation des autres applications	38
III.4. Description de la structure étudiée	39
III.4.1. Etude des bandes interdites	40
III.4.2. guide d'onde " défaut linéique "	42
III.4.3. Couplage cavité / guide dans un cristal photonique 2D :	43
III.4.4. Optimisation de la structure :	44
III.4.5. Etude de la résonance de la cavité en fonction du nombre de trou fonctionnalisé	44
III.4.5.1. La première étape (" étude un seul trou qui fonctionnalise "):	44
III.4.5.2. La deuxième étape (" étude de quatre trous qui fonctionnalisent "):	48
III.5. conclusion :	50
Conclusion général	51

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les cristaux photoniques

Figure I.1: Représentation schématique des cristaux photoniques unidimensionnel (1D),bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D)	3
Figure I.2: Plume de paon. L'encadré de droite est une image prise au microscope électronique à balayage (MEB) de la coupe d'une barbule verte. La structure de cristal photonique 2D est composée de piliers de mélanine liés par de la kératine ainsi que de trous d'air	4
Figure I.3: Structure périodique unidimensionnel	5
Figure I.4: Structure périodique 2D connectée	5
Figure I.5 : Structure périodique 2D déconnectée	6
Figure I.6 : Le réseau carré	6
Figure I.7 : Le réseau triangulaire	7
Figure I.8 : Structure graphite	8
Figure I.9 : Structure Nitrure de Bore	8
Figure I.10 : (a) La Yablonivite: les trous de ce cristal ont été percés dans un bloc de plexiglas et forment un réseau FCC (b) Image MEB (Microscopie Electronique à Balayage) d'un cristal photonique du type tas de bois fabriquée par lithographie UV dans du silicium.»	9
Figure I.11 : (a) Les opales directes ; (b) Les opales inverses	10
Figure I.12: Un cristal photonique unidimensionnel	11
Figure I .13: Réseau réel, réciproque, première zone de Brillouin et zone de Brillouin irréductible pour les réseaux 2D (a) triangulaire et (b)carré	12
Figure I.14 : Représentation des polarisations TE et TM dans un BIP 2D	12

Figure I.15 : Diagramme de bande d'un BIP 2D en polarisation TM et TE	13
Figure I.16 : (a) Défaut lacunaire ; (b) et (c) Défauts de substitutions.....	14
Figure I.17 : Spectre de transmission d'un cristal hexagonal de tiges diélectriques avec ou sans défaut lacunaire	14
Figure I.18 : Exemple de guide W1 à cristal photonique hexagonal de trous d'air sur un substrat de silicium sur isolant	15
Figure I.19: cavités sur membrane suspendue , (a)cavité triangulaire (b)cavité hexagonale, Entourées par un cristal photonique triangulaire	15
Figure I.20 : Différents Composants A Base De Défauts Linéaires a) Guide Droit, b) Virage A 120 et c) Jonction Y	16
Figure I.21 : Dispositifs passifs et actifs associant guide et cavité d'un même cristal photonique	17
Figure I.22: Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (insertion ou extraction d'une certaine longueur d'onde)	18
Figure I.23: Exemple de filtre Add-Drop réalisé sur un substrat SOI. Les longueurs d'onde résonnantes de l'anneau peuvent se coupler d'un guide à l'autre	18
Figure I.24: Exemple de fibre à cristal photonique	19

Chapitre II : Généralités sur les captures

Figure II.1: Définition d'un capteur	22
Figure II.2: Courbe d'étalonnage d'un capteur	24
Figure II.3 : Schéma général d'un biocapteur partant d'une solution `a analyser en contact avec la surface fonctionnalisée du biocapteur. Celle-ci reconnaît un élément spécifique, la partie transduction transforme le signal physique en un signal électrique.....	27

Figure II.4 : Pluridisciplinarité du domaine des biocapteurs	28
Figure II.5 : (a) Représentation schématique d'un interféromètre Mach-Zender (b) Représentation schématique d'un interféromètre de Young	30
Figure II .6 : (a) Vu eau microscope électronique à balayage d'une microcavité à cristal photonique intégrée entre deux guides d'ondes (b) Spectres de transmission normalisés de la microcavité montrée en (a) avec cinq différents indices de réfraction allant de $n = 1,446$ jusqu' à $n = 1,454$	32
Figure II.7 : a) Détection de surface (b) Détection homogène	33
Figure II.8 : conception de la capteur de pression à base d'un cristal photonique bidimensionnel.....	34
Figure II.9 : Schéma du capteur d'ADN à base de PhC caractérisé par des guides d'ondes monomodes d'entrée et de sortie de 500 nm de largeur	35

Chapitre III : Résultats et interprétation

Figure III.1: La fenêtre de programme de R Soft CAD, montrant la barre de menus au dessus, les barres des outils supérieurs et gauches, et la ligne d'état au fond	37
Figure III.2: a) Arrangements de disposition de la rangée XZ. b)Disposition de rangée dans la fenêtre de CAD	38
Figure III.3: a) Structure verticale. b) Structure étudiée	40
Figure III.4: Carte des bandes interdites d'un réseau hexagonale pour les deux polarisations TM et TE.....	41
Figure III.5 : (a) Diagramme de dispersion du CP-2D dans la membrane Si (un réseau triangulaire de trous d'air remplis par l'eau désionisé ($t_{\text{trous}} = 1.33$, $a=0.35$, $r=0.11$, $f=31\%$	

calculé par la PWE (b) la présentation du spectre de transmission calculé par la FDTD- 2D	42
Figure III.6: (a)structure d'une guide (b) spectre de transmission	43
Figure III.7: structure d'un couplage cavité et guide et spectre de transmission d'une pour le paramètre de maille $a=0.35$ et $r=0.11$	43
Figure III.8: structure de référence et cavité globale et les trous de nommage comme suit: H1 , H2 , H3 , H4 , H5 et H6	44
Figure III.9: spectre de transmission de la structure pour l'infiltration de chaque trou séparément	45
Figure III.10: Spectres de transmission du biocapteur pour les trois conceptions (H1, H2 et H3 infiltré séparément avec le polymère)	46
Figure III.11 Le décalage de la longueur d'onde résonnante en fonction de l'indice de réfraction dans la plage de 1.33 a 1.45 pour trois trous H1, H2 et H6 infiltré séparément avec le polymère	46
Figure III.12 Spectre de transmission du premier capteur biomédicale proposé, calculé par la FDTD pour $n=1$ et $n=1.33$	47
Figure III.13: les trois conceptions du capteur biomédical proposé (a) <i>G1</i> (H1.H2. H4. H5), (b) <i>G2</i> (H1.H3.H4.H6), (c) <i>G3</i> (H2.H3.H5.H6)	48
Figure III.15 : spectre de transmission G1 par rapport longueur d'onde λ_0	49

LISTE DE TABLEAU

Chapitre II : Généralités sur les captures

Tableau II.1: Capteurs actifs : principes physiques de base23

Tableau II.2: Type de matériau utilisé et caractéristique électrique des capteurs passifs.....24

Chapitre III : Résultats et interprétation

Tableau III.4.1.2. Le facteur de qualité de la cavité H6 pour différent indice de réfraction "H6"47

Tableau III.4.1.4. Le facteur de qualité de la cavité H6 pour différent indice de réfraction " G1 "49

Introduction général

Les matériaux à bandes interdites photoniques ont été définis comme des structures artificielles qui présentent une modulation périodique de la constante diélectrique dans une ou plusieurs directions. Selon le nombre de directions, ces structures sont désignées par l'appellation de cristaux photoniques à une, deux ou trois dimensions.

Le développement de la photonique a connu un essor considérable au cours des dernières décennies, tant sur le plan de la compréhension des phénomènes physiques liés à la propagation de la lumière, que sur le plan de réalisation technologique de nouvelles structures photoniques de dimensions de plus en plus réduites. On voudrait citer par exemple les cristaux photoniques. La réalisation de ces composants « à bandes interdites » repose sur une structuration périodique à une échelle submicronique de matériaux diélectriques. Ils ont rendu possible la manipulation de signaux lumineux à une échelle du même ordre de grandeur que leur longueur d'onde d'opération. En effet, des microcavités (voire des nano-cavités) à base de cristaux photoniques ont permis le confinement de la lumière dans des volumes de plus en plus petits. Ce confinement a ouvert la voie à de nouvelles perspectives en électrodynamique quantique en guidage et stockage de la lumière, ainsi qu'à la favorisation de phénomènes non linéaires (dus à l'interaction entre la lumière et la matière).

En somme, les propriétés optiques remarquables de ces structures ont conduit à la conception de nouveaux dispositifs photoniques qui ont mené à des applications dans divers secteurs de l'industrie et des hautes technologies, tel que les télécommunications, l'optoélectronique ou la bio-détection [1]

Le développement des capteurs miniaturisés, biocompatibles, avec une réponse en temps réel et une simple utilisation, est devenu un enjeu majeur pour répondre aux besoins actuels dans des domaines aussi variés que la médecine (détection d'agents pathogènes), la métrologie (capteurs de pression, de température, de déformation,), la sécurité (détection de gaz toxiques) et l'agro-alimentaire (analyses microbiologiques), avec un niveau d'exigence de plus en plus élevé. L'analyse en temps réel doit être privilégiée, la réponse doit être facile à lire et extrêmement rapide. Les dispositifs doivent être compacts et doivent pouvoir être intégrés dans des systèmes de détection électronique intégrés ou embarqués à coût réduit. En particulier, les dispositifs optiques intégrés sur puce offrent un fort potentiel pour le développement de transducteurs génériques, compatibles avec la détection parallèle sur une gamme spectrale ajustable [2]. La détection simple, rapide et efficace de molécules chimiques ou biologiques est devenue un enjeu important pour les

Introduction général

secteurs de la santé, de l'environnement, de l'agriculture, ou encore de l'agro-alimentaire. Parmi les bio-capteurs actuels, ceux qui exploitent une détection optique présentent une sensibilité particulièrement élevée. On peut distinguer deux types es de détections optiques : la détection utilisant des marqueurs fluorescents, et la détection sans marqueurs, qui exploite les modifications des propriétés optiques du dispositif liées au greffage d'une bio-molécule [3]

Dans le secteur biomédical, le mariage de la biologie et de l'optique occupe une place de plus en plus importante dans la métrologie actuelle car il présente des potentialités très intéressantes pour répondre à de nombreuses exigences.

Pour aboutir à notre but nous avons subdivisé ce travail en 3 chapitres :

Le premier chapitre sera consacré aux cristaux photoniques, leurs définitions, leurs différents types et leurs principes de fonctionnement. Le deuxième chapitre sera consacré en totalité à la notion de capteurs. En effet dans ce chapitre, nous allons donner suivant les grandeurs à mesurer un aperçu sur les différents types de capteurs existant. Puis nous allons parler des capteurs et biocapteurs à cristaux photoniques ; leurs principe et leurs applications.

Dans le troisième chapitre, premièrement, nous allons présenter l'outil de simulation RSoft et ses modules Fullwave et BandSOLVE. Par la suite, nous donnerons les résultats du design et de conception que nous avons. Notre travail sera consacré à l'étude et la conception de capteur biomédical à indice de réfraction (RI) à base de cristaux photoniques. Nous tenterons d'améliorer la sensibilité et le facteur de qualité d'une structure optimale proposée à base du couplage guide-cavité, par l'étude de l'influence d'un certain nombre de modifications apportées au capteur biomédical. Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

I.1. Introduction

Les cristaux photoniques (CP) ou matériaux à Bande Interdite Photonique sont des structures dont le constant diélectrique varie de manière périodique à l'échelle de la longueur d'onde, sur une 1D ou plusieurs directions de l'espace (BIP 1D, 2D et 3D). Le premier chapitre a pour objet de présenter brièvement les notions de base concernant les cristaux photoniques, les cavités à cristaux photoniques. Nous commencerons par une présentation générale des cristaux photoniques, en insistant sur la notion de bande interdite photonique, les différents types des cristaux photoniques et les différentes stratégies de défaut dans les CP avec quelques applications des CP dans les domaines d'optique et de télécommunications.

I.2. Définitions :

La notion de "cristaux photoniques" a été proposée pour la première fois en 1987 [4,5]. Le premier cristal photonique a été réalisé en 1991 [6]. Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans une, deux ou trois dimensions. Ce milieu périodique produit sur la lumière qui se propage dans le cristal photonique un effet analogue à celui du potentiel périodique sur les électrons dans un cristal. De même qu'il existe pour des électrons des bandes d'énergie permises et des bandes interdites, il existe des bandes photoniques d'états permises et des bandes photoniques interdites. Une bande photonique correspond à un mode qui se propage dans le cristal photonique. Une bande interdite photonique correspond à un intervalle d'énergie où la propagation de la lumière est interdite dans certaines directions du cristal photonique. Les cristaux photoniques offrent la possibilité de contrôler la propagation de la lumière et ceci, sur la dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde dans le matériau. C'est notamment cette propriété qui les rend intéressants pour de nombreuses applications.

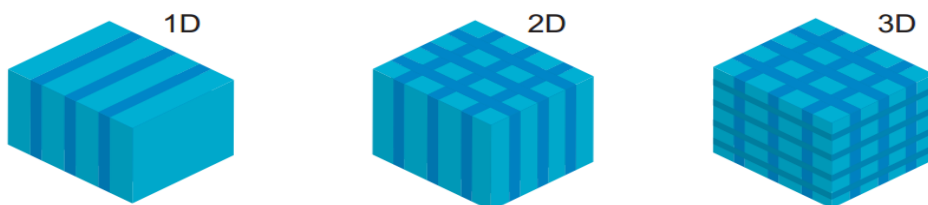


Figure I.1: Représentation schématique des cristaux photoniques unidimensionnel (1D), bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D)

Les cristaux photoniques existent dans la nature à l'état minéral et biologique. Les opales sont des minéraux composés d'arrangements de sphères de silice hydratée. Leurs feux sont dus à la diffraction de la lumière par leur structure de cristal photonique tridimensionnel. L'origine de la coloration de nombreuses espèces animales et végétales provient aussi de motifs périodiques. La coloration bleue des ailes de papillons morpho et des feuilles de certaines variétés de Sélaginelle en sont des exemples[7]. Les couleurs bleu, vert, jaune et marron des plumes de paons proviennent de la diffraction par des cristaux photoniques 2D à nombre et longueur de maille variables (**Figure I.2**)[8].

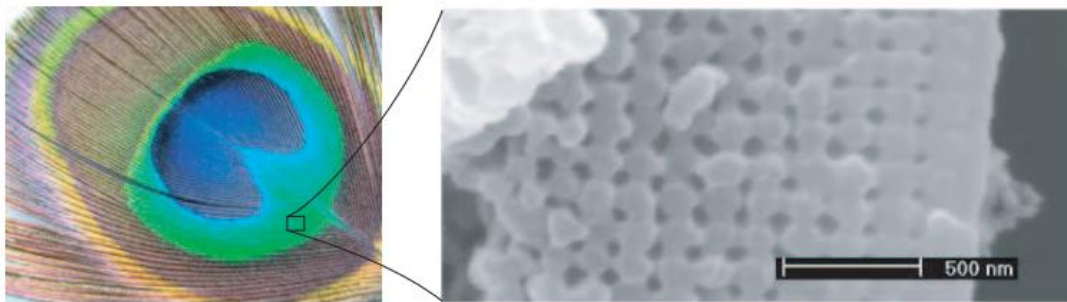


Figure I.2: Plume de paon. L'encadré de droite est une image prise au microscope électronique à balayage (MEB) de la coupe d'une barbule verte. La structure de cristal photonique 2D est composée de piliers de mélanine liés par de la kératine ainsi que de trous d'air.

I.3. types des cristaux photoniques :

I.3.1. structure périodique unidimensionnelle 1D :

Ces structures sont couramment utilisées sous le nom de réseau de Bragg [9]. Elles sont généralement réalisées par un empilement de couches d'indice de réfraction différent et d'épaisseur optique $l/4$, l étant la longueur d'onde guidée autour de laquelle le matériau doit interdire la propagation des ondes électromagnétiques sous une incidence normale. Les réseaux de Bragg ont prouvé leur utilité dans de nombreuses applications : convertisseurs démodes pour fibres optiques, filtres sélectifs de longueur d'onde, multiplexeurs [10].

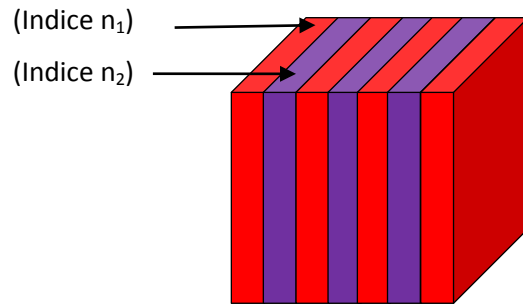


Figure I.3: Structure périodique unidimensionnel

I.3.2. structure périodique bidimensionnelle 2D :

Les structures périodiques bidimensionnelles [11,12] sont des structure périodiques suivant Deux directions de l'espace et infinies suivant la troisième. Il existe deux types de ces structures :

- Les structures dites « connectées » (**Figure I.4**) : les motifs élémentaires sont d'indice n_1 inférieur à l'indice n_2 de la matrice diélectrique.

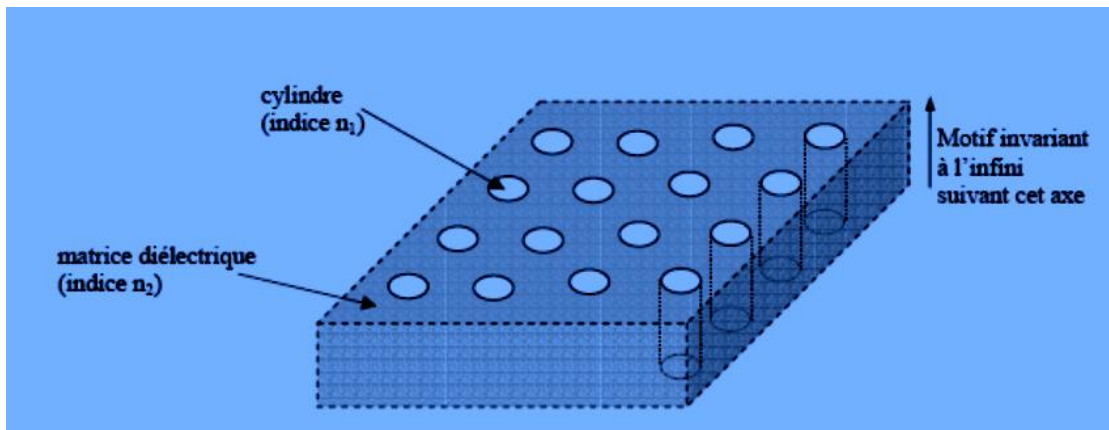


Figure I.4: Structure périodique 2D connectée

- Structures dites « déconnectées » (**Figure I.5**) : les motifs élémentaires sont d'indice n_1 supérieur à l'indice n_2 de l'espace inter motifs. Elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air ou de la mousse [13].

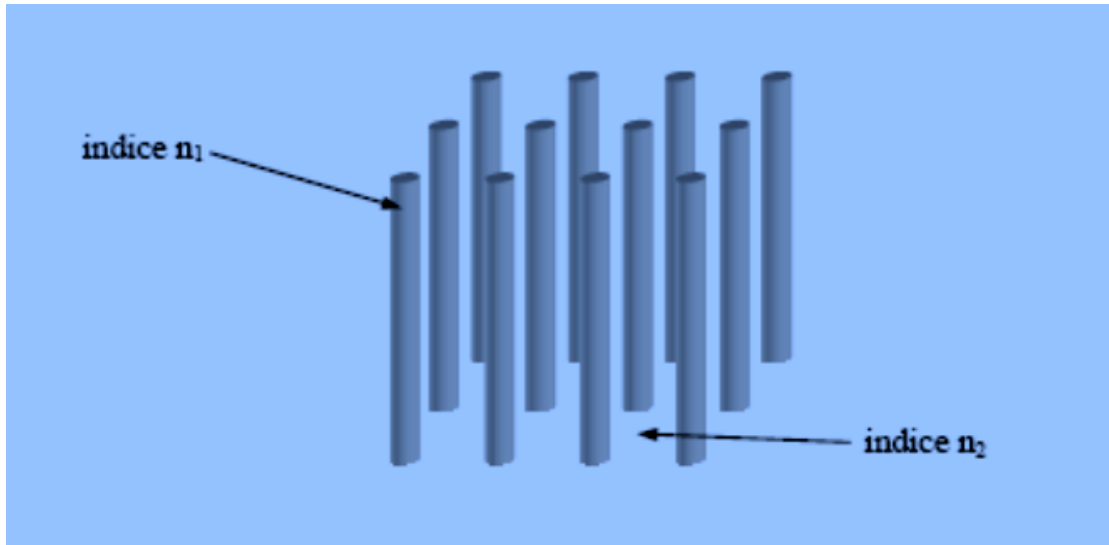


Figure 1.5 : Structure périodique 2D déconnectée

La structure périodiques à deux dimensions se regroupent principalement suivant trois familles :

a. Le réseau carré :

Les nœuds du réseau sont situés sur un carré de côté « a » (*Figure 1.6*). Il a été montré que ce type de réseau est très sensible à l'angle d'incidence et à la polarisation de l'onde électromagnétique [14]. Il est ainsi difficile d'obtenir une bande interdite totale, c'est-à-dire une bande interdite qui empêche la propagation quelle que soit la polarisation.

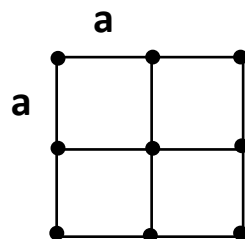


Figure 1.6 : Le réseau carré

b. Le réseau triangulaire :

Le réseau triangulaire, est le réseau 2D de plus haute symétrie dès lors que l'on se limite à un seul « atome » par maille. La zone de Brillouin est un hexagone. Chaque nœud du réseau est espacé de son proche voisin d'une même distance « a » (*Figure 1.7*). Cette structure est moins sensible à l'angle d'incidence que le réseau carré mais la bande interdite complète reste difficile à obtenir.

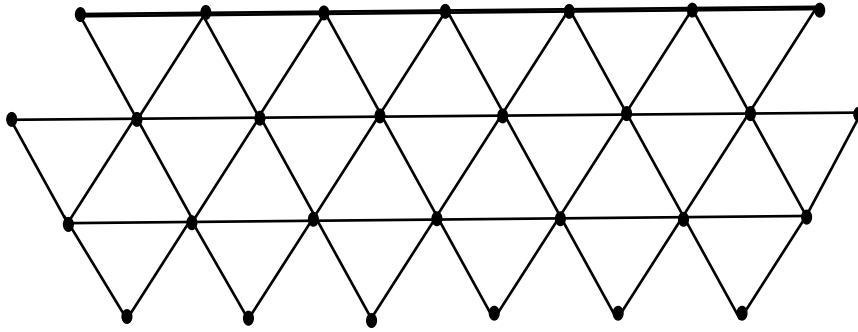


Figure I.7 : Le réseau triangulaire [15]

On peut imaginer des structures où les parties diélectriques sont déconnectées les unes des autres et des structures où les parties diélectriques sont connectées entre elles. Cependant, de part de sa géométrie, la structure « connectée » de trous dans le diélectrique offre un bon compromis lorsque le diamètre des trous est proche de la période du réseau. Dans ce cas, en effet, les parois des trous deviennent si fines que les parties diélectriques restantes sont presque déconnectées. Une telle structure présente bien une bande interdite « complète ».

Différentes réalisations expérimentales ont permis de le vérifier, d'abord dans l'infrarouge moyen, puis plus récemment aux longueurs d'onde des télécommunications optiques.

c. Le réseau hexagonal :

- **La structure graphite:**

Sur un réseau hexagonal, si tous les nœuds sont identiques et espacés de « a », alors on appelle cette structure « graphite » car elle est similaire à la structure cristalline du graphite (*Figure I.8*). À la différence du réseau triangulaire, il s'agit d'un réseau à deux « atomes » par maille. Le réseau réciproque est aussi un réseau hexagonal et la zone de Brillouin irréductible est la même que pour le réseau triangulaire avec les directions principales notées TM et TE . La possibilité d'une bande interdite complète avait été prédite pour la première fois dans le cas d'un réseau de tiges diélectriques cylindriques [16].

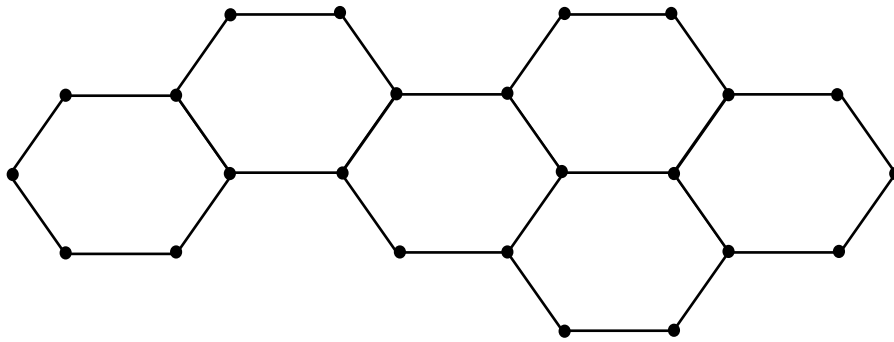


Figure I.8 : Structure graphite .

- **La structure nitrure de Bore:**

Si un nœud diffère de son suivant par sa nature ou sa dimension, on obtient ainsi la structure cristalline du Nitrure de Bore (*Figure I.9*). Celle-ci permet d'obtenir de larges bandes interdites.

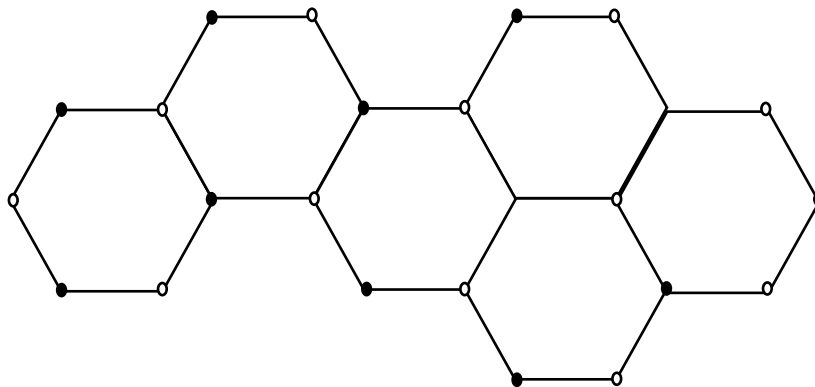


Figure I.9 : Structure Nitrure de Bore

I.3.3. cristaux photoniques tridimensionnels 3D:

Les cristaux photoniques tridimensionnels suscitent encore beaucoup d'intérêts. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué par K.M. Ho et al [17]. Il était formé de sphères de silicium arrangées selon une structure diamant. En 1993 E. Yablonovite fabriquait un cristal photonique en perçant des trous dans un bloc de plexiglas selon trois directions qui simulent les directions cristallines $\langle 110 \rangle$ d'un cristal diamant. Ce cristal photonique s'appelle d'après son inventeur "la Yablonovite" (*Figure I .10:(a)*) [18].

Avec ce cristal photonique, le concept de la bande interdite photonique a été démontré expérimentalement pour la première fois. De nombreuses méthodes de fabrication des cristaux photoniques tridimensionnels ont été proposées. Les plus prospectées sont les suivantes:

La structure périodique de ces cristaux photoniques tridimensionnels est bâtie en déposant par couches successives des rubans de silicium poly cristallin dans des tranchées de silice. Cette fabrication, de très longue durée, se fait plan sur plan. Après avoir construit la structure, la silice est retirée pour obtenir un cristal photonique tridimensionnel Si/air dont le contraste d'indice est suffisant pour ouvrir une bande d'énergie interdite Omnidirectionnelle (**Figure I.10** : (b)).

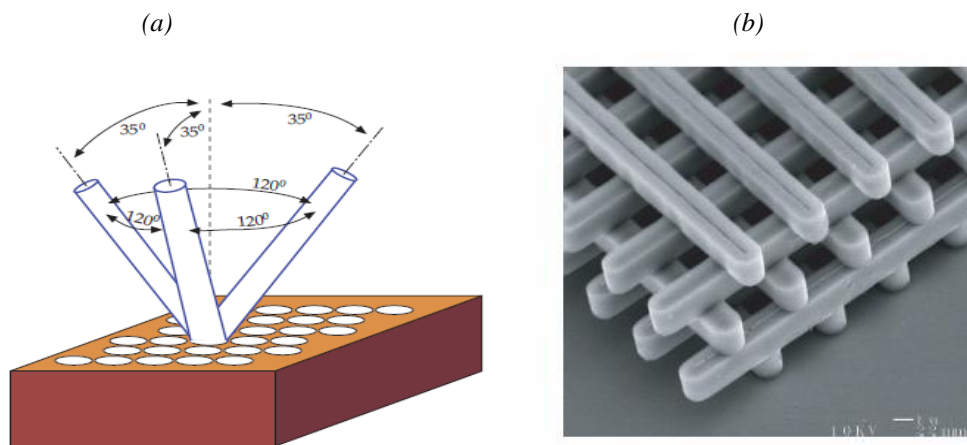


Figure I.10 : (a) La Yablonovite: les trous de ce cristal ont été percés dans un bloc de plexiglas et forment un réseau FCC (b) Image MEB (Microscopie Electronique à Balayage) d'un cristal photonique du type tas de bois fabriquée par lithographie UV dans du silicium.»

Et aussi les opales sont obtenues chimiquement par auto-organisation. La première opale a été obtenue par sédimentation de sphères de silice en solution: par sédimentation, ces sphères s'arrangent selon un réseau cubique à faces centrées (FCC). Le nombre important de défauts dans les premières opales a été fortement réduit grâce à des techniques de croissance auto-organisées proposées par Y.A. Vlasov (**Figure I.11**) [19] . La plupart de ces cristaux ne présentent pas de bandes d'énergie interdites, à cause du faible contraste d'indice. Cependant, ces structures servent d'empreinte pour la réalisation d'opales inversées à partir de l'infiltration d'un matériau de haut indice dans les interstices qui séparent les sphères. Ces dernières sont ensuite dissoutes chimiquement pour aboutir à la structure finale de sphères d'air dans une matrice de haut indice .

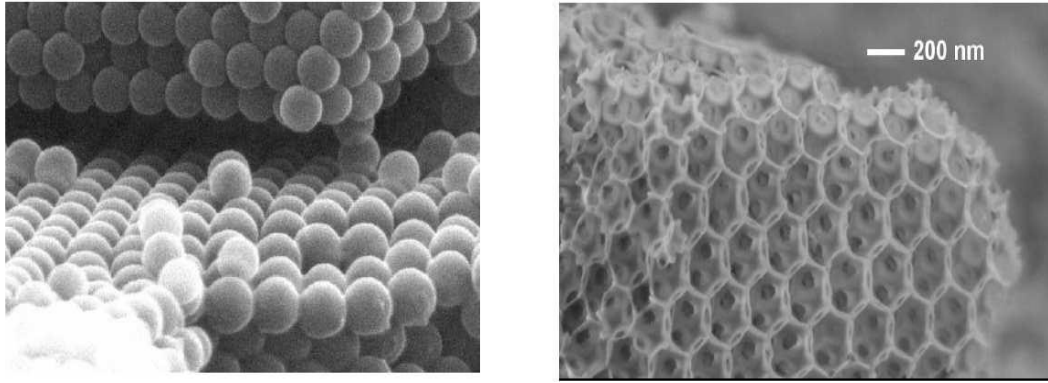


Figure I.11 : (a) Les opales directes ; (b) Les opales inverses [20].

I.4. Caractéristique géométrique et physique :

Un cristal photonique est caractérisé par: les différents matériaux qui le composent, le système cristallin selon lequel ces matériaux sont organisés et les volumes relatifs qu'ils occupent dans la cellule élémentaire du cristal. Les quantités représentatives de ces différentes caractéristiques sont:

I.4.1. Le contraste d'indice Δn :

Le contraste d'indice Δn est la différence entre les indices de réfraction des deux matériaux [21], qui peut être comparé à la hauteur de la barrière de potentiel de la physique du solide. Il est donné par l'équation (I.1):

$$\Delta n = n_h - n_l \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

avec:

n_h : l'indice de réfraction du matériau de haut indice.

n_l : l'indice de réfraction du matériau de faible indice.

I.4.2. La période:

Le choix de ces paramètres géométriques dépend du domaine de fréquence étudié. Ces paramètres influent sur les propriétés de la bande interdite photonique ouverte. Par exemple , pour un cristal photonique unidimensionnel, la période $a=(a_1+a_2)$ avec a_1 l'épaisseur de la couche de permittivité ϵ_1 et a_2 l'épaisseur de la couche de permittivité ϵ_2 .

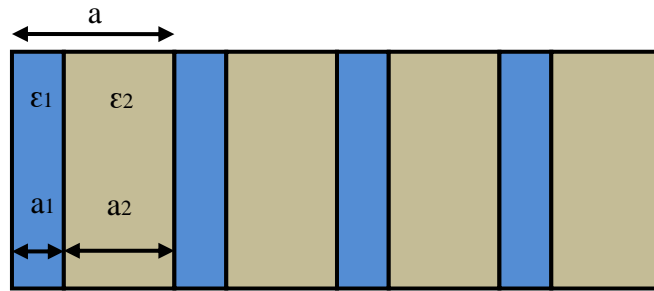


Figure I.12: Un cristal photonique unidimensionnel.

I.4.3. Le facteur de remplissage f :

Pour un cristal photonique bidimensionnel planaire composé de trous d'air percés dans une matrice diélectrique, le facteur de remplissage en air f désigne le rapport entre l'aire du motif (ici un disque: $A_{motif} = \pi r^2$) et l'aire de la cellule élémentaire du réseau considéré [22]:

$$\frac{A_{motif}}{A_{maille\ élémentaire}} \dots\dots\dots (I.2)$$

Dans le cas de motifs circulaires de rayon r dans un cristal carré de période a ($A_{maille\ élémentaire} = a^2$), on peut définir le facteur de remplissage dans l'air :

$$f = \pi \left(\frac{r}{a}\right)^2 \dots\dots\dots (I.3)$$

Dans le cas de motifs circulaires de rayon r dans un cristal triangulaire de période a

$$f = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \left(\frac{r}{a}\right)^2 \dots\dots\dots (I.4)$$

L'influence de ces différents paramètres sur le comportement d'une structure photonique (sur le diagramme de bandes) peut être comprise par analogie avec un potentiel périodique induit de l'arrangement des atomes dans un semi-conducteur.

I.5. La bande interdite photonique :

I.5.1. zone de Brillouin :

Pour calculer les diagrammes de bandes il faut considérer pour chaque cristal, toutes les directions de propagation possibles. Comme en physique du solide [23], on montre que pour certaines symétries du cristal, on peut limiter l'étude aux vecteurs d'ondes k situés à l'intérieur d'une zone restreinte appelée zone de Brillouin irréductible. Le vecteur k varie le long des directions de hautes symétries de cette zone qui fait partie du réseau réciproque.

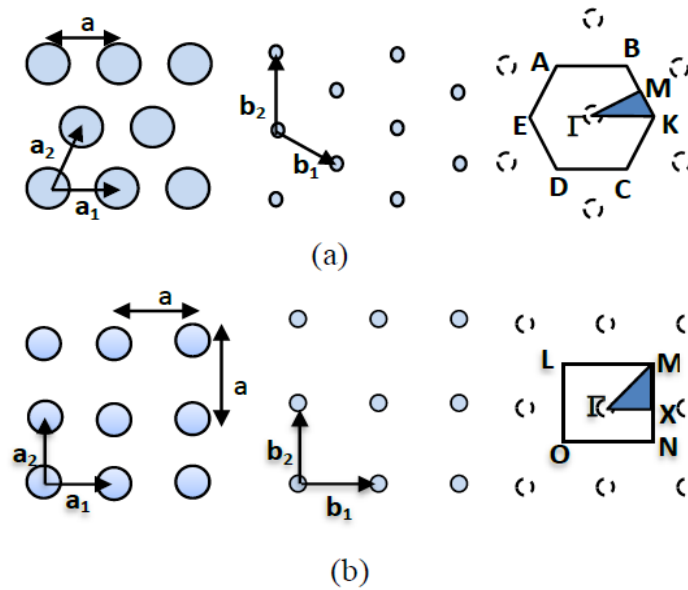


Figure I.13: Réseau réel, réciproque, première zone de Brillouin et zone de Brillouin irréductible pour les réseaux 2D (a) triangulaire et (b) carré.

I.5.2. Diagramme de bandes :

Un cristal BIP bidimensionnel [24,25] est une structure dont la permittivité diélectrique est modulée périodiquement dans deux dimensions et reste homogène dans la troisième. Ces structures périodiques sont par exemple composées de cylindres diélectriques parallèles. Elles présentent une relative simplicité géométrique qui facilite les modélisations théoriques et les études expérimentales.

Pour étudier le comportement d'une onde électromagnétique incidente sur une telle structure deux polarisations sont possibles :

La polarisation électrique TE correspond au cas où le champ électrique E est parallèle aux cylindres infinis. Alors que celle magnétique TM correspond au cas où E leur est perpendiculaire (*Figure I.14*).

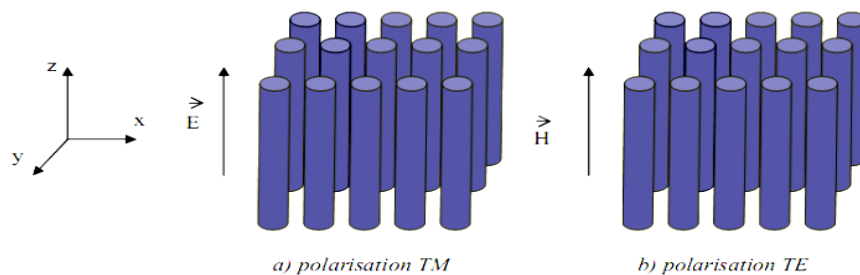


Figure I.14 : Représentation des polarisations TE et TM dans un BIP 2D

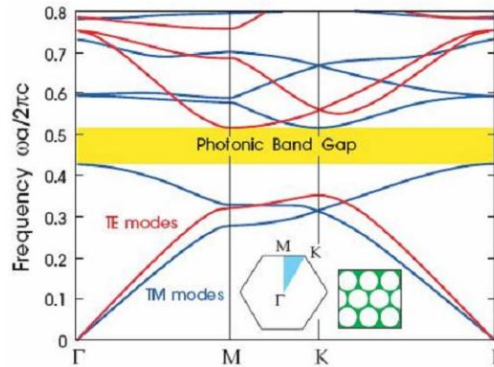


Figure I.15 : Diagramme de bande d'un BIP 2D en polarisation TM et TE [26].

I.6. Des défauts :

Les défauts dans les cristaux photoniques peuvent localiser des modes. Dans des cristaux 1D, on peut confiner la lumière dans un plan défaut. Dans des cristaux 2D on peut localiser la lumière dans un défaut linéaire. Finalement en 3D, on peut confiner la lumière a un défaut localise, donc en un point du réseau.

Dans le cas d'un réseau de trous, le défaut peut consister en l'absence d'un ou plusieurs trous. Il existe principalement deux types de défauts, les défauts ponctuels (cavités) et les défauts linéaires (guide d'ondes). Il reste néanmoins possible de jouer sur plusieurs paramètres pour obtenir une grande variétés de défauts (variation de la taille des trous et de leurs formes par exemple) [27].

I.6.1. Les défauts ponctuels :

Les défauts ponctuels sont créés en modifiant les caractéristiques d'une cellule du Réseau. Pour reprendre la terminologie de la physique du cristal, on peut réaliser alors des défauts lacunaires ou de substitution (**Figure I.16**). Cela correspond à une microcavité à l'intérieur du cristal photonique. Pour les cristaux photoniques constitués de trous dans un matériau diélectrique, (structure connectée), nous pouvons agir sur la géométrie de ces trous [28] .

Les modes électromagnétiques introduits par le défaut sont appelés modes de défaut. Les caractéristiques de ces défauts ont été étudiées par plusieurs chercheurs. La transmission dans ces structures a été étudiée par Joannopoulos et al, qui ont montré théoriquement que les propriétés des modes de défauts peuvent être contrôlées en modifiant la taille et le type de défauts [29] .

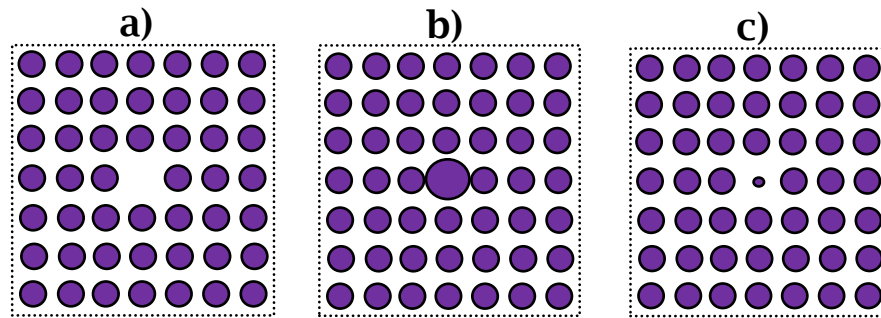


Figure I.16 : (a) Défaut lacunaire ; (b) et (c) Défauts de substitutions .

La figure I.17 présente le spectre de transmission calculé d'un cristal 2D de symétrie hexagonale et formé de tiges diélectriques, où le défaut est dû à une tige manquante. Si le spectre de transmission reste, pour une grande part, identique à celui du cristal sans défaut avec une bande interdite comprise entre 0.9 et $1.3\mu\text{m}$ de longueur d'onde, la présence du défaut se traduit par un pic de transmission étroit et unique à $1.1\mu\text{m}$. On a donc affaire, dans ce cas, à une cavité uni modale, pour autant que l'on puisse se restreindre à un système bidimensionnel. Le caractère uni modal n'a tout son sens que dans le cas tridimensionnel[30] .

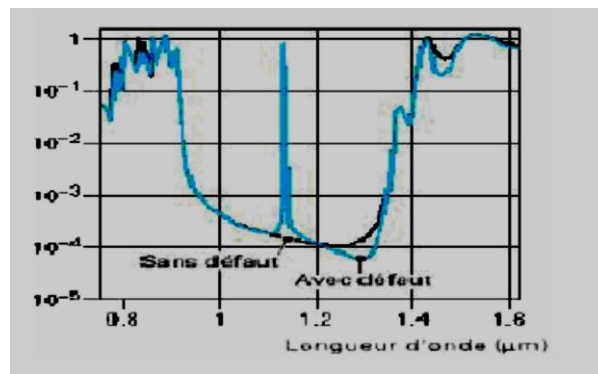


Figure I.17 : Spectre de transmission d'un cristal hexagonal de tiges diélectriques avec ou sans défaut lacunaire .

I.6.2. Les défauts étendus

Parmi les défauts étendus, de dimension 1,2 ou 3, existent les défauts 1D (W1) (**Figure I.18**). L'exemple de base est celui du guide d'onde linéaire W1 dans un cristal photonique 2D. Une façon de réaliser un tel guide consiste à omettre une ou plusieurs lignes de trous [31] .

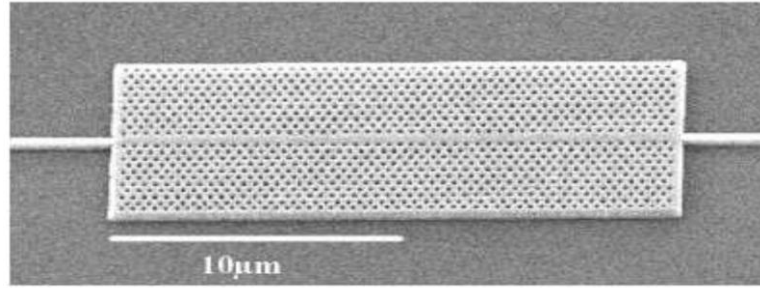


Figure I.18 : Exemple de guide W1 à cristal photonique hexagonal de trous d'air sur un substrat de silicium sur isolant [32] .

I.7. Les applications des cristaux photoniques :

La majorité des applications qui repose sur la bande interdite photonique sont réalisées en introduisant des défauts dans la structure.

I.7.1. Cavités

Les premières cavités avec des cristaux photoniques bidimensionnels sont réalisées en 1996, ces cavités sont élaborées en incluant des mono défauts sur le réseau cristallin photonique. Il est montré que ce dispositifs présentent un facteur de qualité élevé pour les modes résonants grâce à l'excellente propriété de réflexion du cristal, tout cela sur des cavités à grande dimension possédants plusieurs modes.

Les cavités sur membrane suspendue (entourée d'air semblent donner les meilleurs résultats) avec des dimensions très petites, sont illustrées dans la figure I.19, une cavité triangulaire et une autre hexagonale plongées dans un cristal photonique triangulaire.

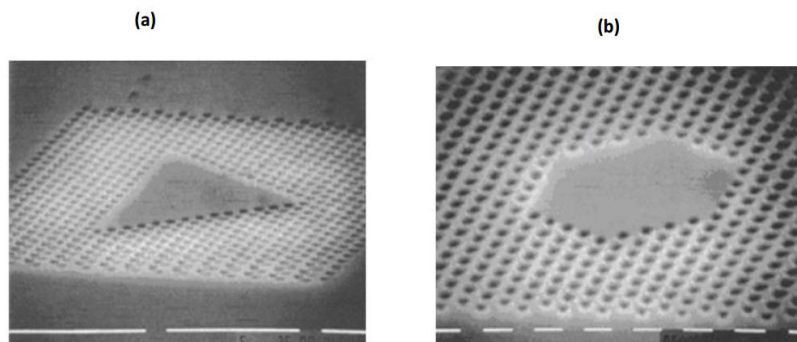


Figure I.19: cavités sur membrane suspendue , (a)cavité triangulaire (b)cavité hexagonale, Entourées par un cristal photonique triangulaire.

I.7.2. Guides d'onde à cristaux photoniques :

En introduisant un défaut linéaire (omission d'une ou de plusieurs rangées de trous) dans le cristal photonique, il est possible de guider la lumière selon une direction choisie. Un photon restera confiné dans le guide si son énergie est située à l'intérieur de la bande interdite. Des composants divers sont réalisables à partir de défauts linéaires (*Figure I.20*). La transmission au travers de ces dispositifs peut être optimisée en modifiant la taille ou la forme des trous au niveau du virage ou de la jonction, afin de minimiser le couplage entre le mode guidé et les modes rayonnés au niveau des courbures [33].

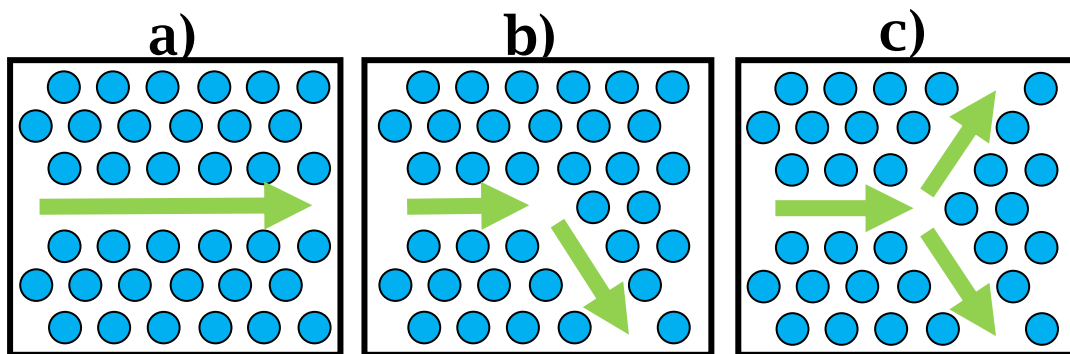


Figure I.20 : Différents Composants A Base De Défauts Linéaires a) Guide Droit, b) Virage A 120 et c) Jonction Y

I.7.3. Couplage cavité / guide dans un cristal photonique 2D:

Une fonction de filtre Fabry-Pérot a été intégrée à un guide W1 en insérant des motifs dans le guide. Une cavité mono défaut a été dans un premier temps utilisée et a permis d'obtenir une transmission résonnante. Il semble toutefois que cette cavité ne soit pas la mieux adaptée pour un couplage optimal avec le mode fondamental du guide. Dans l'objectif d'améliorer le couplage entre le guide et la cavité résonnante, la cavité ponctuelle a été remplacée par une cavité linéaire, orientée suivant l'axe du guide. Cette cavité présente des caractéristiques naturellement proches du guide lui-même (profil de champ, constante de propagation). Des calculs FDTD 2D montrent un taux de couplage de l'ordre de 80% obtenu pour une cavité linéaire composée de seulement 2 motifs. Ce type de cavité linéaire est donc très bien adapté à un couplage avec des guides de largeurs similaires. La plupart des longueurs d'ondes guidées seront réfléchies à l'extrémité du guide, sauf quelques unes, qui seront couplées à la cavité (*Figure I.21*). Cette approche permet plutôt

de réaliser des dispositifs de type Fabry-Pérot (si un second guide est placé face à la cavité).

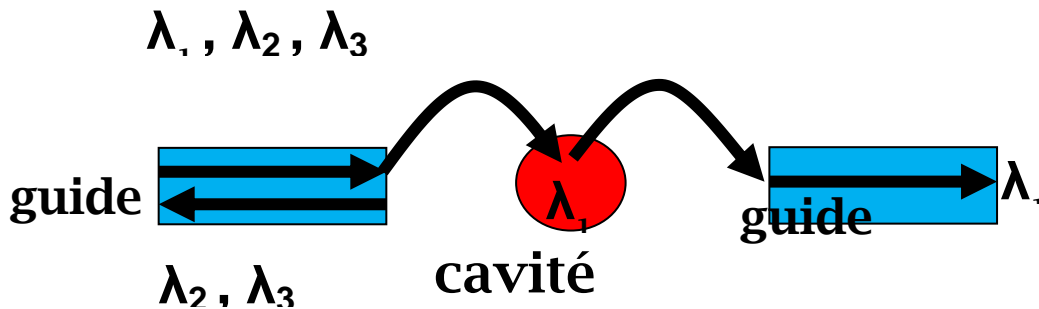


Figure I.21 : Dispositifs passifs et actifs associant guide et cavité d'un même cristal photonique [34].

II.7.4. Filtre et Multiplexeur:

Le multiplexage en longueurs d'ondes (WDM, Wavelength Division Multiplexing) est une fonction particulièrement importante en optique intégrée. L'objectif est d'insérer ou d'extraire des longueurs d'onde bien précises dans un flux de données. Cette fonction réalisée à l'aide de cristaux photoniques permet d'envoyer plusieurs longueurs d'ondes différentes dans une même fibre optique (plusieurs informations en même temps). Ce dispositif peut être réalisé en utilisant la sélectivité d'une cavité résonante couplée par recouvrement des ondes évanescentes à des guides d'onde.

Une première proposition théorique fut donnée par S. Fan et al. en 1998 [35]. en suite, Chutinan et al, ont réalisé un filtre du type «Add-Drop» dont le schéma est reporté sur la Figure I.22, Ce filtre permet l'extraction hors du plan ou l'insertion dans un guide d'une longueur d'onde précise (WDM monocanal). Le facteur de qualité mesuré du mode résonnant dans ce cas est de 400 et l'on peut espérer une efficacité de couplage de 50 % entre la cavité et le guide. Ce type de dispositif est appelé un filtre.

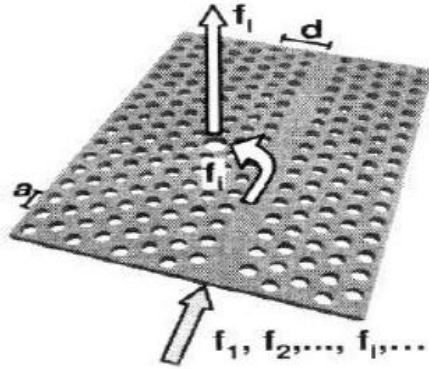


Figure I.22: Schéma de principe d'un dispositif de multiplexage (insertion ou extraction d'une certaine longueur d'onde) [36].

Cette fonction peut aussi être réalisée dans le plan en basant sur le couplage entre deux guides comme il est montré sur la figure I.23. Dans ce cas, le processus de couplage est néanmoins très complexe; il dépend de la symétrie et de la dégénérescence des modes résonnants. De plus, la taille du défaut (de la cavité résonnante) doit être très bien contrôlée afin de sélectionner les longueurs d'onde désirées.

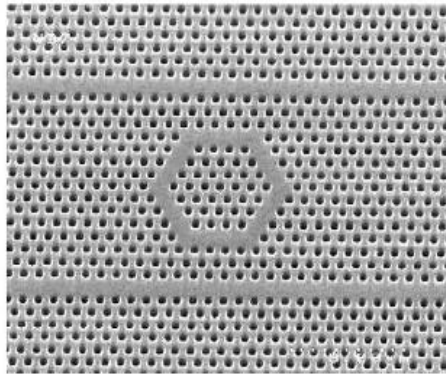


Figure I.23: Exemple de filtre Add-Drop réalisé sur un substrat SOI. Les longueurs d'onde résonnantes de l'anneau peuvent se coupler d'un guide à l'autre [37].

II.7.5. Les fibres optiques

Un nouveau type de fibre est apparue en 1996, ce dispositif est appelé couramment la fibre à cristaux photoniques ou PCF (Photonic Crystal Fiber). La première PCF à guidage par réflexion totale interne a été fabriquée par une équipe de l'université de Bath en Angleterre [38]. Ce dispositif est constitué d'un cœur de silice pure entouré d'un arrangement régulier de canaux d'air de dimensions microscopiques, disposés parallèlement à l'axe (**Figure I.24**).

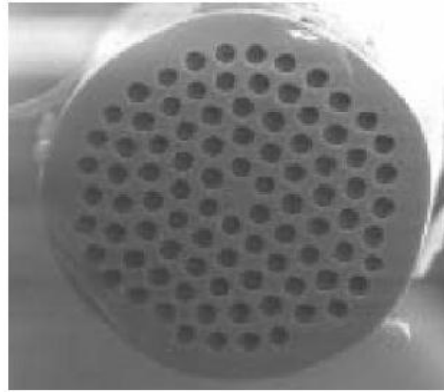


Figure I.24: Exemple de fibre à cristal photonique .

Cette fibre à cristal photonique permet le guidage d'un mode fondamental sur une très large bande spectrale. Des fibres monomodes possédant un effet de bande interdite photonique grâce à une gaine optique périodique sont également étudiées pour annuler la dispersion chromatique. Ces fibres sont capables de décaler la longueur d'onde d'annulation de la dispersion chromatique jusqu'à $0.85 \mu\text{m}$. Les fibres à cristaux photoniques sont très intéressantes pour les communications optiques à haut débit et longue portée.

I.8. les Méthodes numériques :

Il existe plusieurs méthodes numériques mentionner les plus importants de méthode:

I.8.1. La méthode des ondes planes (PWE):

La méthode des ondes planes dite technique de développement en ondes planes (PWE : Plane Wave Expansion) est l'une des méthodes les plus utilisées pour le calcul de structure de bandes photoniques, elle consiste à la résolution des équations de Maxwell dans le domaine fréquentiel. Cette technique est très efficace et bien adaptée pour calculer les diagrammes de bandes des cristaux photoniques infiniment périodiques.

Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs pour la détermination de la bande interdite photonique des structures triangulaires bidimensionnelles [39]. Elle permet d'obtenir les cartes de champ dans la structure, et donc la polarisation et les symétries des modes d'une structure photonique. La méthode PWE permet aussi d'étudier certaines structures non périodiques comme les guides à cristaux photoniques ou les cristaux photoniques planaires via une technique de «supercellule» [40].

I.8.2. La méthode FDTD :

La méthode FDTD (Finite Difference Time Domain) a été proposée initialement par K. S. Yee en 1966 [41]. C'est une méthode générale de l'électromagnétisme utilisée pour résoudre les équations de Maxwell sur une structure de profil d'indice quelconque. Son originalité réside dans la résolution directe du système d'équation dans le domaine temporel et non dans le domaine fréquentiel, ce qui permet de visualiser la propagation d'une onde électromagnétique au sein des cristaux photoniques. Cette méthode est particulièrement intéressante pour connaître la réponse spectrale d'un système et pour calculer les distributions de champ dans des structures de dimensions finies [42,43].

Le principal inconvénient de la FDTD, qui tend cependant à s'estomper avec les évolutions des capacités informatiques, est qu'elle est très lente et demande des ressources informatiques importantes car les champs sont calculés en tous points de la structure, et pour tous les incréments de temps. De plus, la durée T du calcul peut être longue pour des structures résonnantes, et le résultat peut éventuellement dépendre de la source et du milieu utilisés.

I.9. Conclusion :

Les cristaux photoniques sont des structures périodiques de matériaux diélectriques présentant une variation périodique d'indice optique. Cette variation d'indice optique se comporte comme une barrière de potentiel périodique pour les photons. Ainsi, comme dans le cas d'un électron se déplaçant dans le potentiel périodique créé par les atomes, une structure de bande apparaît, avec des bandes spectrales où la propagation est permise et d'autres où elle est interdite. En d'autres termes, on a une structure qui réfléchit la lumière pour certains intervalles de fréquence, et la laisse passer pour d'autres, dans la suite des différents types de cavités CP, présentons théoriquement des guides d'onde, démultiplexeurs.

Dans le chapitre suivant nous avons étudié les propriétés théoriques des capteurs à CP à partir de leurs caractéristiques optiques dans le but de comprendre leurs comportements et leur application en biomédecine.

II.1.introductions

Avec les progrès spectaculaires de la technologie, notamment en ce qui concerne la miniaturisation , la communication sans-fil et la puissance de calcul, les équipements informatiques deviennent de plus en plus petits ,puissants et auto nomes .Les capteurs, fruits de cette évolution technologique ,ont déjà commencé , et continueront ,à faire partie de notre environnement .[44]

Récemment, plusieurs travaux de recherches s'intéressent aux cristaux photoniques en tant qu'élément de détection en raison de leur structure de bande et du confinement de la lumière. L'application des cristaux photoniques en tant que capteurs (senseurs) constitue un domaine de recherche qui semble être très prometteur en raison de leur extrême miniaturisation (0.1 mm² de surface de détection), de leur haute sensibilité spectrale et de la possibilité de les intégrer aux MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) .Les micro capteurs chimiques et biochimiques ont connu un développement croissant ces dernières années en raison de leur faible coût, de leur portabilité et de leurs nombreux domaines d'applications qui apparaissent aussi bien dans l'industrie automobile (contrôle des émissions de gaz), que l'industrie agroalimentaire (contrôle des procédés de fabrication), l'environnement (détection des gaz toxiques), ou le biomédical.[45]

Dans ce chapitre nous présentons les notions de base sur des capteurs et dans ce cadre nous aborderons leurs principales caractéristiques et leurs différents types. La suite de ce chapitre sera consacré à la description des biocapteurs plus particulièrement les capteurs à cristaux photoniques à indice de réfraction.

II.2. Généralités sur les capteurs

II.2.1. Définition

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, exemple : une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité la déviation d'une aiguille... On fait souvent (à tort) la confusion entre capteur et transducteur : le capteur est au minimum constitué d'un transducteur.[46]

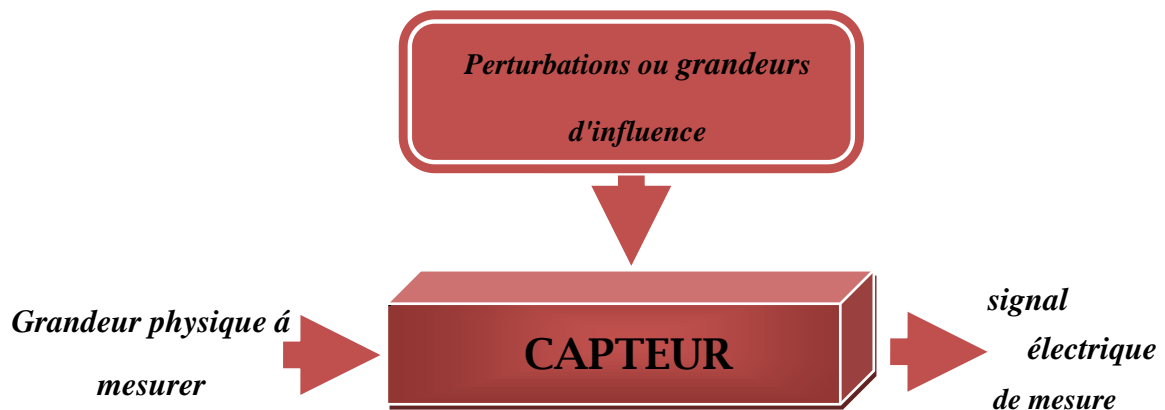


Figure II.1: Définition d'un capteur.

Les capteurs sont les éléments de base des systèmes d'acquisition de données. Leur mise en œuvre est du domaine de l'instrumentation.

Généralement, on obtient une grandeur de sortie du type électrique. Elle peut être soit : Une charge, une tension, un courant et une impédance (R, L, C).

II.2.2. Différents types d'un capteur :

Suivant l'origine du signal électrique de sortie, on peut classer les capteurs en deux types :

II.2.2. 1. capteur actifs :

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre au mesurande : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. Les plus importants parmi ces effets sont regroupés tableau II.1, dans la suite du paragraphe, on en donne une description sommaire destinée à éclairer leur mode d'application. [47]

<i>Mesurande</i>	<i>Effet utilisé</i>	<i>Grandeur de sortie</i>
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Pyroélectricité Photoémission Effet photovoltaïque Effet photo électromagnétique	Charge Courant Tension Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position(aimant)	<i>Effet Hall</i>	Tension

Tableau II.1: Capteurs actifs : principes physiques de base

II.2.2. 2. Capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (Armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable). [48]

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique	Type de matériau utilisé
Température	Résistivité	Métaux :Platine,nickel,cuivre
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement Optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de nickel
	Perméabilité	
Position (aimant)	Résistivité	Matériau magnéto résistants : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Tableau II.2: Type de matériau utilisé et caractéristique électrique des capteurs passifs

II.2.3. Caractéristiques métrologiques d'un capteur

Les caractéristiques métrologiques d'un capteur constituent les liens effectifs entre le capteur et la grandeur qu'il mesure.

❖ Etalonnage

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Très souvent l'étalonnage n'est valable que pour une seule situation d'utilisation du capteur

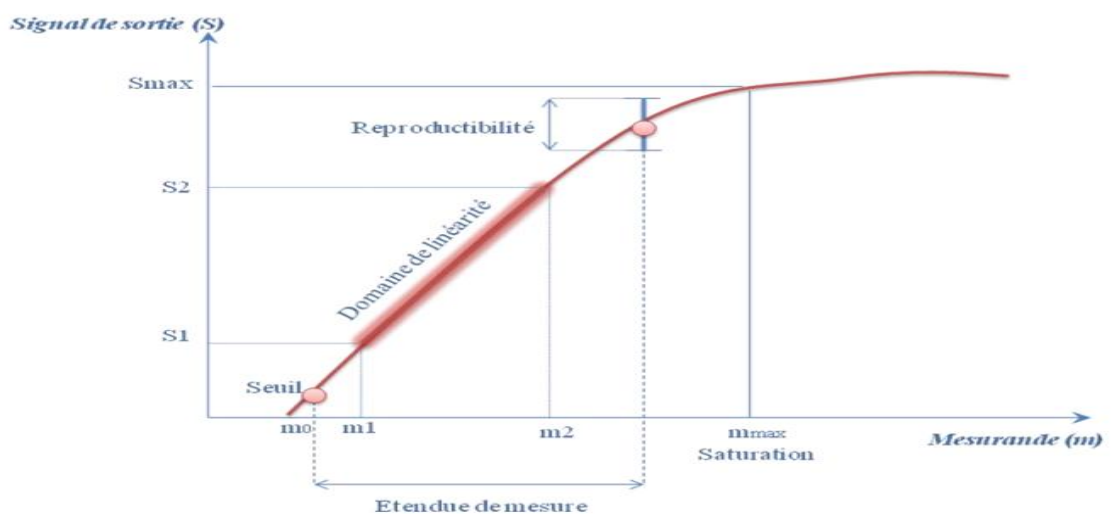


Figure II.2: Courbe d'étalonnage d'un capteur.

❖ **Sensibilité :**

C'est une spécification déterminante dans le choix d'un capteur de façon générale la sensibilité S est définie, autour d'une valeur m_i constante du mesurande, par le rapport de la variation Δs de la grandeur de sortie à la variation Δm du mesurande qui lui a donné naissance :

$$s = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_{m=m_i} \dots\dots\dots II (1)$$

La valeur de la sensibilité, dans des conditions d'emploi spécifiques est généralement fournie par le constructeur ; elle permet à l'utilisateur :

- D'estimer l'ordre de grandeur de la réponse du capteur, connaissant l'ordre de grandeur des variations du mesurande.
 - de choisir le capteur de façon que la chaîne de mesure dans son ensemble satisfasse aux conditions de mesure imposées. [50]
- ❖ **Temps de réponse ou rapidité :** La rapidité est caractérisée par le temps que met le capteur à réagir à une variation brusque de la mesurande. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique, elle correspond au temps nécessaire pour que le capteur délivre une certaine portion α de la pleine amplitude du signal. Le temps de réponse noté t_α est tel que α vaut généralement 90%. La connaissance du temps de réponse d'un capteur est un élément essentiel lors de la réalisation de mesures.
- ❖ **Résolution (Précision) :** C'est le plus petit incrément de la valeur mesurée qui puisse être significativement mesuré par le capteur. [51]
- ❖ **Linéarité :** Un capteur est dit linéaire s'il présente la même sensibilité sur toute l'étendue de sa plage d'emploi.
- ❖ **Réversibilité :** Elle définit la capacité du matériau à revenir à son état initial lorsqu'on supprime l'excitation
- ❖ **Sélectivité :** Correspond à sa capacité à détecter une substance parmi d'autres. Elle dépend de la partie sensible du capteur. [52]
- ❖ **Fiabilité :** La fiabilité est définie comme la capacité d'un capteur fonctionnant correctement, c'est-à-dire, à fournir des données avec une précision annoncée

II.3. Grandeurs d'influence :

Le capteur, de par ses conditions d'emploi, peut se trouver soumis non seulement au mesurande mais à d'autres grandeurs physiques dont les variations sont susceptibles

d'entraîner un changement de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du mesurande. Ces grandeurs physiques « parasites » auxquelles la réponse du capteur peut être sensible sont les grandeurs d'influence. Ainsi, par exemple :

- la température est grandeur d'influence pour un capteur optique comme la résistance photoconductrice ;
- il en est de même pour le champ magnétique vis-à-vis d'un capteur thermométrique comme la résistance de germanium.

Les principales grandeurs d'influence sont :

- la température, qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur ;
- la pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer dans certains éléments constitutifs du capteur des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse ;
- l'humidité à laquelle certaines propriétés électriques comme la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre composants du capteur ou entre le capteur et son environnement ;
- la tension d'alimentation - amplitude et fréquence - lorsque, comme pour le transformateur différentiel, la grandeur électrique de sortie en dépend de par le principe même du capteur.[53]

II .4. Les biocapteurs

II .4. 1. Définition :

Les biocapteurs sont composés de récepteurs biologiques naturels ou synthétiques couplés à un transducteur conventionnel permettant d'obtenir un signal physique exploitable. Le stimulus biologique est issu de la reconnaissance et fixation de l'analyte cible sur le récepteur. La reconnaissance entre la cible et le récepteur biologique est spécifique et sensible : la liaison se fait même à faible concentration.

Pour les biocapteurs de terrain, les Organismes Génétiquement Modifiés étant proscrits, on utilise des molécules de synthèse biomimétiques (polymères à empreinte moléculaire), ce qui apporte un avantage spécifique non présent naturellement. [54]

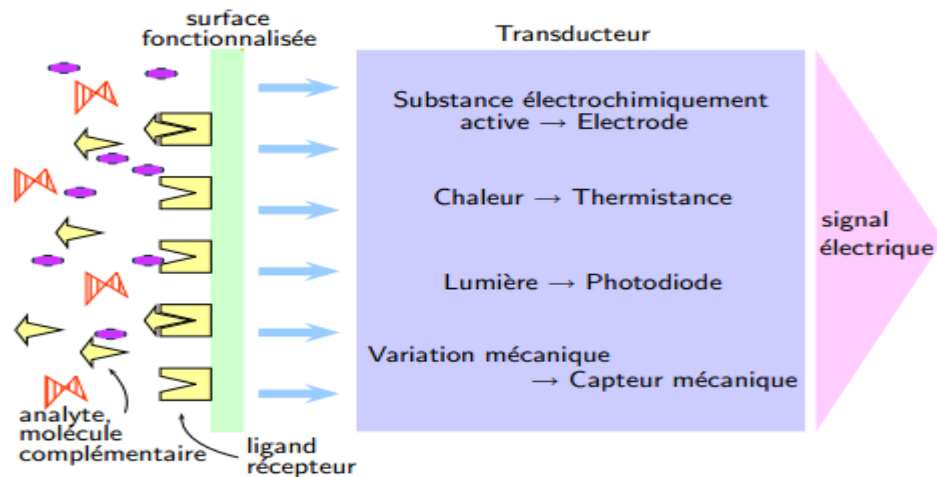


Figure II.3 : Schéma général d'un biocapteur partant d'une solution à analyser en contact avec la surface fonctionnalisée du biocapteur. Celle-ci reconnaît un 'élément spécifique, la partie transduction transforme le signal physique en un signal électrique [55]

II .4. 2. Caractéristiques des biocapteurs :

Il s'agit ici des caractéristiques qui servent à évaluer un capteur et ses qualités Analytiques. Les caractéristiques les plus utilisées sont les suivantes :

- ❖ **Sélectivité** : c'est la capacité du biocapteur à distinguer entre les mesurandes et ne fournir d'information exploitable que sur celle voulue. C'est un paramètre qui dépend principalement du composant biologique, bien que parfois le choix du transducteur puisse contribuer à la sélectivité.
- ❖ **Sensibilité** : Ce paramètre correspond au rapport entre l'accroissement de la réponse du capteur et la variation correspondante de la grandeur à mesurer.
- ❖ **Reproductibilité** : c'est parmi les paramètres les plus importants. Il indique la capacité du biocapteur à donner des réponses très voisines pour des mesures répétées de la même quantité de la grandeur à mesurer.
- ❖ **Exactitude** : C'est l'accord entre le résultat de la mesure et la valeur vraie de la grandeur mesurée et l'écart est appelé erreur absolue.
- ❖ **Limite de détection** : C'est la plus petite valeur de la grandeur à mesurer pouvant être détectée par le biocapteur d'une façon significativement différente du bruit de fond [56].

II .4.3 . Pluridisciplinarité du domaine des biocapteurs :

Des dispositifs de détection peuvent jouer un rôle clé: contrôle biologie micro-électronique et des capteurs représentent un énorme potentiel dans le diagnostic et l'industrie pharmaceutique et dans de nombreux autres domaines. La détection de polluants et de contamination de la sécurité au sol, la détection immédiate des contaminants utilisés comme armes chimiques sont également nécessaires Il peut également des capteurs qui ont des applications dans l'industrie alimentaire et le niveau de contrôle et de prévention des risques.

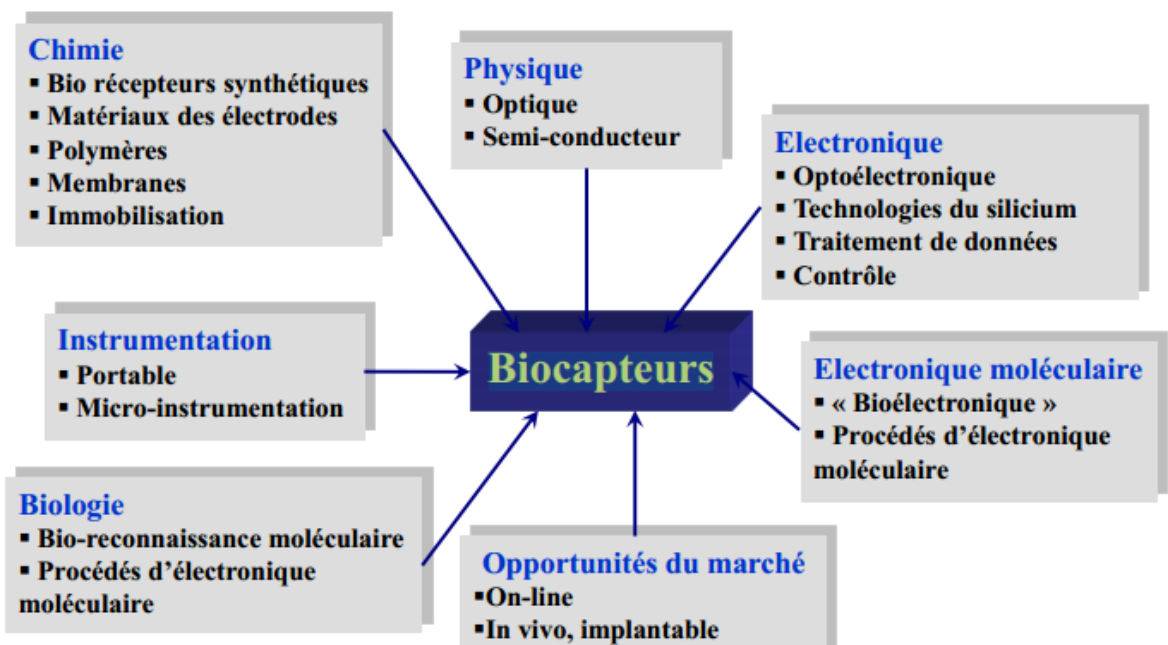


Figure II.4 : Pluridisciplinarité du domaine des biocapteurs [57]

II .4.4 . Classification des biocapteurs :

Les biocapteurs peuvent être classés selon plusieurs paramètres qui sont énumérés ci-après

1. Classement par type de reconnaissance moléculaire (bio-récepteur) : biocapteurs enzymatiques (avec une enzyme comme bio récepteur), biocapteurs immunologiques, biocapteurs microbiens...

2. Classement par type de transducteur associé :

biocapteurs électrochimiques, biocapteurs optiques, biocapteurs, calorimétrique

3. Classement par espèce(s) détectée(s) :

Les biocapteurs peuvent être classés également suivant les réactions qu'ils permettent de suivre. En effet, on peut les différencier selon le fait qu'ils permettent de suivre

directement un analyte ou une activité biologique ou indirectement `a travers par exemple le suivi d'une inhibition de l'activité catalytique par des toxiques ou métaux lourds.

II.5. Biocapteurs optiques

Au cours de ces dernières années, des progrès rapides de technologies photoniques ont considérablement amélioré les performances de détection, notamment dans les domaines de l'interaction lumière-analyte et la miniaturisation du dispositif. Cela a conduit à des améliorations considérables pour la sensibilité et la limite de détection (LD) du capteur, la grande capacité de traitement fluïdique et le temps de détection rapide

Les capteurs optiques à base de fibres optiques, à plasmons de surface, à guides d'ondes plans ou à cristaux photoniques sont souhaitables pour leur analyse fortement sensible et non destructive. Les biocapteurs optiques sont souvent fondés sur l'adsorption de l'analyte et la détection des changements d'indice de réfraction qui accompagnent l'adsorption

Le principe général de détection optique repose sur le changement d'une des propriétés de la lumière lorsque celle ci est en contact avec l'élément d'intérêt existe pour cela différentes méthodes de détection comme celles exploitant des effets Différents types de cristaux photoniques sont utilisés comme capteurs à cause de leur haute sensibilité aux variations d'indices de réfraction, par exemple:

- La technologie SPR (Surface Planson Résonance) est un phénomène optique éminent qui implique l'excitation résonnante des ondes plasmon ou électromagnétiques associées à des oscillations collectives d'électrons libres en métal sur une interface métal / diélectrique [58]

SPR est ainsi devenue l'instrument privilégié pour la mesure en temps réel de toutes les interactions biologiques.

- Captures inter férométriques

Leur principe consiste à mesurer le changement de phase de la lumière induit par la présence des molécules. Ce principe peut être implémenté entre autre sur des interféromètres Mach-Zender (IMZ)

(cf figure II.5 (a) ou de Young (IY) (cf figure II.5 (b))

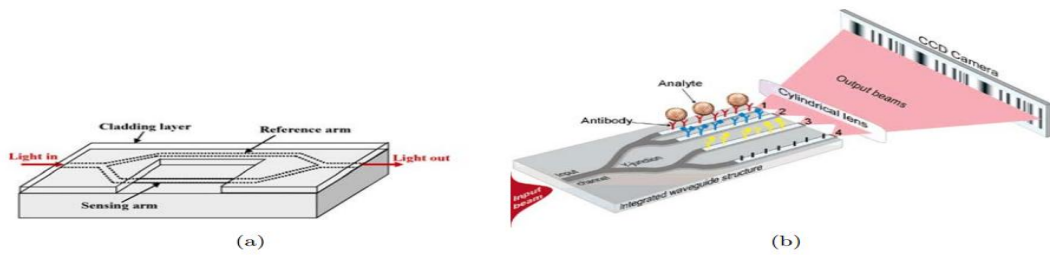


Figure II.5 : (a) Représentation schématique d'un interféromètre Mach-Zehnder (b) Représentation schématique d'un interféromètre de Young [59]

- Les fibres à cristaux photoniques, qui peuvent guider la lumière par effets de bandes interdites photoniques, non pas par réflexion totale interne, ont été utilisés dans la bio détection

II.6. Capteurs à fibres optiques

Les capteurs à fibres optiques [60,61] sont issus de la rencontre de deux technologies : les fibres optiques utilisées en télécommunication et l'optoélectronique. L'une et l'autre ont connu un développement extraordinaire ces deux dernières décennies, amélioration des performances, diminution des coûts, miniaturisation. Tout cela a permis l'émergence de ces capteurs dont le champ d'application recouvre entièrement celui des capteurs traditionnels.

Un capteur à fibre optique est un dispositif dans lequel l'information est créée dans un chemin optique par réaction de la lumière à la grandeur à mesurer, avant d'être acheminée vers le récepteur optique par l'intermédiaire d'une ou plusieurs fibres optiques. Cette définition exclue les assemblages comportant un capteur conventionnel et un système de transmission par fibres optiques. Par contre, l'élément optique sensible à la mesure, le transducteur, peut être ou non la fibre optique. Les mesures peuvent être faites de manière ponctuelle ou répartie. Pour les mesures ponctuelles le phénomène détecté ou mesuré n'est disponible qu'en un seul point. Dans l'autre cas, la grandeur physique peut être décelée sur toute la longueur de la fibre, cela avec une bonne précision et une haute résolution spatiale. On distingue également les capteurs actifs et les capteurs passifs. Dans le premier cas, la source de lumière est générée par une source optique. L'onde lumineuse qui se propage dans la fibre est modifiée directement ou indirectement par le phénomène physique dont on

veut mesurer. Dans le second cas, la lumière est générée par le phénomène physique lui-même [62].

II .7. Capteurs à cristaux photoniques

La recherche sur des capteurs se fondant sur la résonance optique est un domaine de recherche d'actualité.

La résonance Optique mène aux chute sou aux pics dans la signature spectrale .Quand les indices de réfraction sont modifiés, la longueur d'onde des chute sou les crêtes sont décelables.

Des capteurs photoniques à base de cristaux photoniques bidimensionnel sont démontré leur capacité, à la fois théoriquement et expérimentalement, à détecter des éléments biochimiques en raison du mécanisme du confinement de la lumière fourni par la bande interdite photonique. Le principe de fonctionnement de ces capteurs repose sur les variations de leurs propriétés optiques lors que l'indice de réfraction des substances à analyser changée en mesurant le décalage de la longueur d'onde de résonance dans le spectre de transmission en fonction de l'indice de réfraction du liquide.

On rapporté une démonstration expérimentale d'un capteur biochimique ultra-compact basés à un microcavité à cristal photonique à deux dimensions (figure II.6). La microcavité, fabriquée sur substrat SOI (silicone on insulter), est conçue pour avoir une longueur d'onde de résonance (λ) autour de 1,5 μm .Les spectre de transmission du capteur est mesuré avec différents indices de réfractons ambiants allant de $n=1,0$ à $n=1.5$. Une observation du changement de longueur d'onde de résonance ,pour une variation de l'indice de réfraction de Δn ambiante 0,002 a été démontrée .La correspondance entre l'indice de réfraction absolu et la longueur d'onde de résonance est en bon accord avec le calcul numérique avec une précision de 4% .L'évaporation de l'eau dans un mélange de glycéról est également utilisée pour démontrer la capacité de détection résolue dans le temps, qui perm et de connaitre les cinétiques du processus de reconnaissances temps.

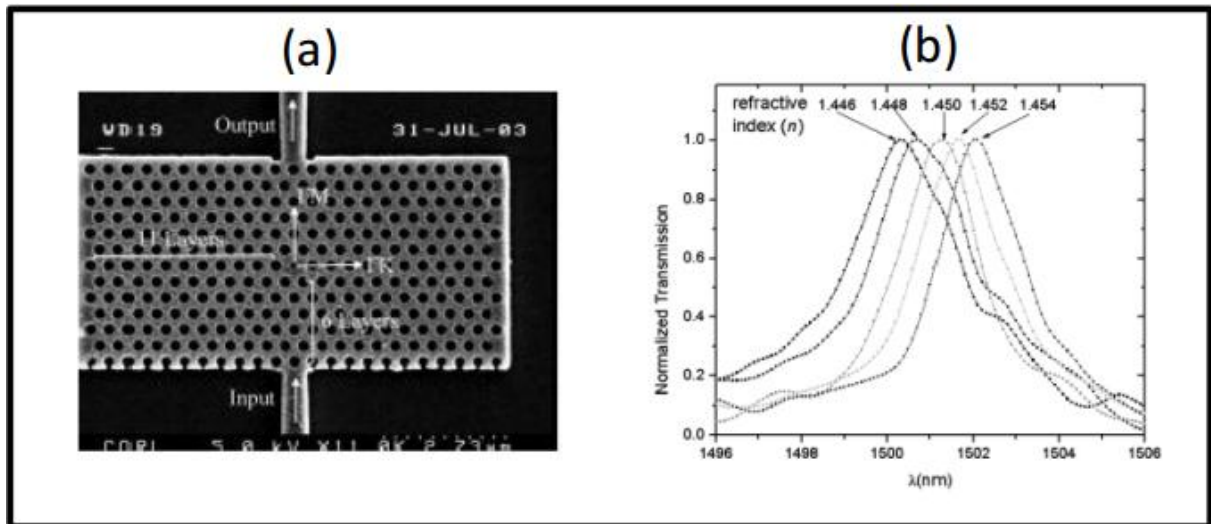


Figure II.6 : (a) Vue au microscope électronique à balayage d'une microcavité à cristal photonique intégrée entre deux guides d'ondes (b) Spectres de transmission normalisés de la microcavité montrée en (a) avec cinq différents indices de réfraction allant de $n = 1,446$ jusqu'à $n = 1,454$ [63]

II.7.1. Capteurs d'indice de réfraction (RI) à base de CPs (RI-based PhC sensors) :

Les capteurs basés sur l'indice de réfraction représentent la classe la plus diffusée des capteurs de cristaux photoniques. En fait, un grand nombre d'architectures avancées (par exemple, des microcavités intégrées et des configurations interférométriques) emploient l'indice de réfraction détectant pour la détection

Les capteurs à cristaux photoniques à base de RI présentent de nombreux avantages tels qu'une préparation minimale des échantillons sans marquage par fluorescence, une détection en temps réel, une sensibilité et une sélectivité élevées. En particulier, le principe de détection consiste à mesurer les variations de RI d'une solution en vrac (par exemple, eau désionisée ($n_{\text{eau}} = 1,33$ ou air, $n_{\text{air}} = 1$, $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$) en raison de la présence d'analytes chimiques ou de gaz généralement caractérisés par des indices de réfraction plus élevés

Les applications en milieu gazeux et aqueux ont été étudiées pour détecter les concentrations d'espèces chimiques et biologiques. En fait, en utilisant ces capteurs, il est possible de quantifier la surface de la molécule et de la protéine (par exemple, la streptavidine l'ADN, l'ARNm) ou la densité volumétrique. Récemment, des capteurs à

base de cristaux photoniques avancés convenablement conçus pour la détection d'une seule molécule ont été démontrés être capables de détecter le nombre de molécules Concentré en une solution complexe

Ces capteurs RI à base de CP peuvent fournissent deux méthodes de détection : détection homogène et détection de surface. La détection homogène consiste à mesurer la variation de l'indice de réfraction optique d'une solution aqueuse dans laquelle sont réparties, de façon homogène, les molécules cibles. Dans la méthode de détection de surface, la surface du microrésonateur est fonctionnalisée, en y accrochant des récepteurs appropriés qui permettent d'immobiliser par des liaisons covalentes les molécules cibles sur la surface [64].

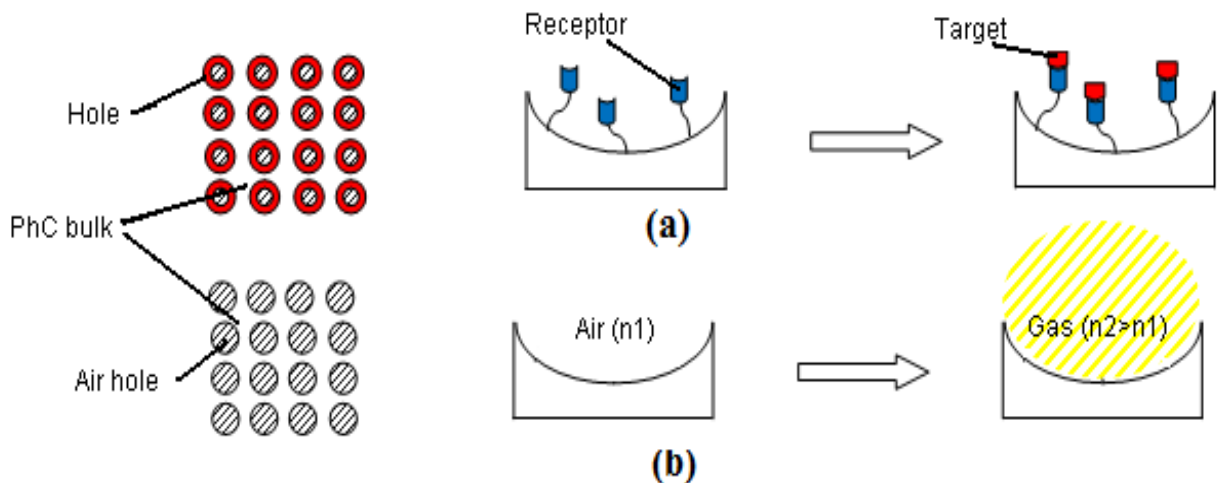


Figure II.7 : a) Détection de surface (b) Détection homogène.

a) Capteur RI de température :

En modélisant le changement de l'indice de réfraction d'un matériau ou milieu donné en fonction de la température, on peut mesurer et contrôler la température dans laquelle ce milieu et/ou matériaux est placé. On parle alors de capteur de température RI

b) Capteur RI microfibre :

Un capteur microfibre compact et à large bande a été réalisé en fonction de son rayonnement fuyant. Le capteur présente de bonnes performances dans la détection RI à différentes longueurs d'onde. C'est une technique très simple et portable Ces avantages donnent au capteur de bonnes possibilités d'applications pratiques [65]

c) Capteur RI de pression :

Il existe plusieurs types de capteurs utilisant le principe du changement du RI d'un milieu pour mesurer la force ou la pression appliquée. Un point commun entre ces différents types de capteur est l'exploitation du changement des paramètres opto-élastiques des matériaux de base constituant l'élément sensible tel que le silicium ou le germanium ou même le GaAs, quand une contrainte est appliquée.

La relation liant l'indice de réfraction du milieu à la contrainte est :

$$n = n_0 - (\sigma_1 + 2\sigma_2) * P$$

Où n_0 est l'indice de réfraction du milieu à l'équilibre,

σ_1, σ_2 , sont des constantes opto-élastiques de la couche sensible du capteur

P : la pression appliquée [66]

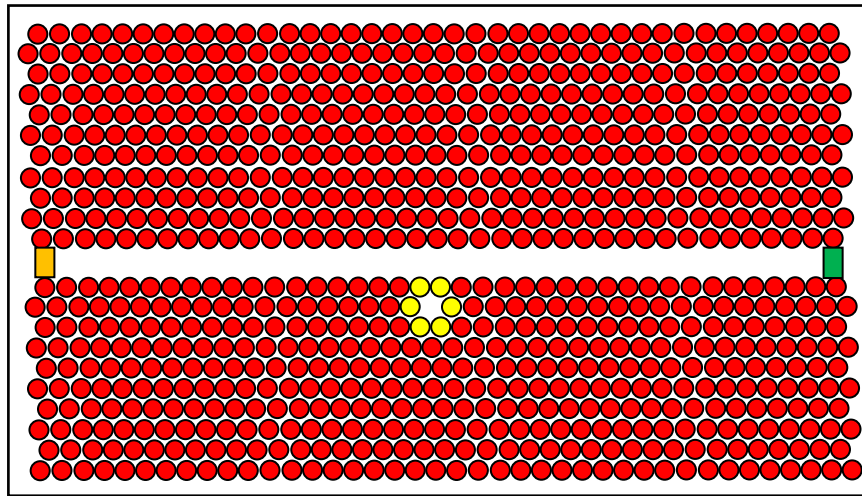


Figure II.8 : conception de la capteur de pression à base d'un cristal photonique bidimensionnel [67]

d) Capteurs RI à base des guides ondes à CP

Dans plusieurs capteurs à base de RI, le guide d'onde CP agit directement comme élément de détection sans concevoir de microcavité intégrée. Un guide d'onde CP est généralement réalisé en introduisant un défaut linéique dans la structure plane périodique. On note que, les modes de propagation sont limités par la réflexion interne totale (TIR) le long de la direction verticale et par la structure périodique latéralement.

Un autre biocapteur RI à CP a été proposé pour détecter l'ssADN, présentant une limite de détection de 19,8 nm . Ce capteur, potentiellement capable de détecter des concentrations d'analyte très faibles (par exemple, des protéines, des bactéries, de l'ADN) est fabriqué dans une plaquette SOI avec une épaisseur de couche de silicium de 250 nm et un dioxyde de silicium enterré de 3 μm d'épaisseur.

La structure est un cristal photonique 2D à réseau triangulaire de trous d'air de rayon $r=111\text{nm}$ et de périodicité $a = 390\text{nm}$. A l'entrée et à la sortie du guide d'ondes CP, la lumière est couplée ou recueillie par un guide d'ondes monomode de 500 nm de largeur, comme l'illustre la Figure II.9.

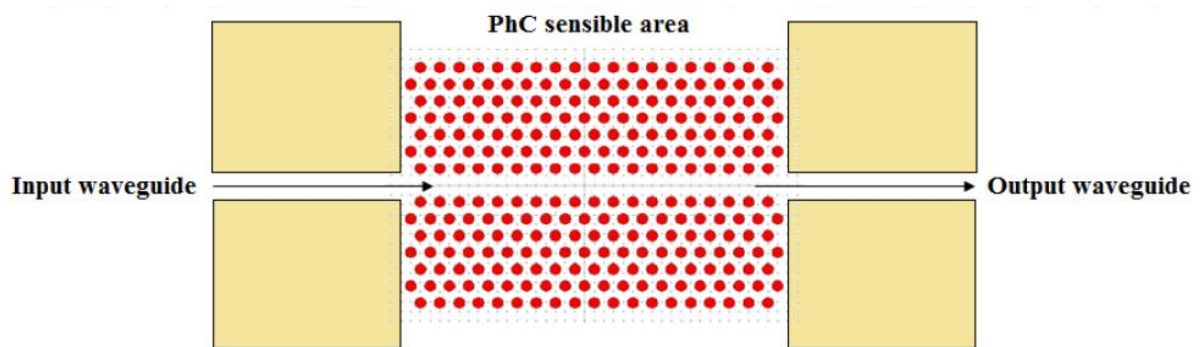


Figure II.9 : Schéma du capteur d'ADN à base de PhC caractérisé par des guides d'ondes monomodes d'entrée et de sortie de 500 nm de largeur [68]

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les concepts de base liés aux capteurs en générale et plus particulièrement aux capteurs optiques. Nous avons aussi présenté le principe de fonctionnement et la conception des biocapteurs utilisant le changement d'indice de réfraction pour la détection de mesurande (grandeur à mesurer) et en particulier nous avons pris le cas des résultats et simulation qui sera l'objet d'une étude détaillée dans le prochain chapitre.

III.1. Introduction

L'étude de matériaux et dispositifs à bandes interdites photoniques a débuté en laboratoire en 1997, avec l'objectif de modéliser et caractériser les propriétés optiques de ces structures. Ces matériaux à gaps photoniques semblent très intéressants puisqu'ils permettent une amélioration des performances de nombreux systèmes existants (guides, capteurs...). En ce qui concerne l'étude de telles structures, elle reste toujours très expérimentale, même si quelques équipes de recherche se lancent dans des études analytiques. Parmi les dispositifs divers à CPs on trouve les biocapteurs. En particulier, les CPs sont très attrayants en tant que plate-forme de détection optofluidique parce qu'ils possèdent des vides naturels qui permettent l'infiltration de fluide.

En ce qui concerne notre travail, nous nous sommes focalisés sur les cristaux photoniques membranaires utilisant un réseau de trous l'eau percés dans une membrane de Silicium sur le silice (technologie SOI). Ce type de dispositif a été largement considéré car il présente un fort confinement vertical. Ce travail comprend une proposition de biocapteur RI à CP-2D. Cette dernière est à base d'un couplage guide-cavité. Nous nous étudierons, au premier lieu, la bande interdite de la structure proposée, ainsi que les paramètres géométriques du défaut linéique. Dans la deuxième étape nous essaierons d'améliorer la sensibilité de notre structure de référence.

III.2. Représentation du logiciel R SOFT CAD

III.2.1. environnement de CAD

Le RSoft CAD est un programme de base de R Soft photonique, il permet aux chercheurs et ingénieurs de créer des systèmes pour la conception des dispositifs de guide d'onde, des circuits optiques et d'autres dispositifs photoniques. Dans le Rsoft, il existe plusieurs modules intégrés, chaque module assure une fonction bien précise, parmi ces modules se trouve :

III.2.2. Le simulateur « BandSOLVE »

Le logiciel que nous avons exploité pour modéliser les structures par la méthode des ondes planes s'appelle «BandSOLVE» développé par Rsoft. BandSOLVE est un logiciel de simulation des structures de bande photoniques. Il est basé sur la méthode des ondes planes optimisée pour les structures périodiques, idéal pour produire des diagrammes de bande des

structures à bandes interdites photoniques classiques tels que 2D et 3D et les guides à cristaux photoniques en utilisant une méthode super cellule type onde plane. A deux dimensions, il est nécessaire de considérer deux directions de propagation différente : TE (avec le champ E perpendiculaire à l'axe des trous) et TM (où E est parallèle à l'axe des trous). Ces deux polarisations sont découplées et donnent lieu à deux diagrammes de bandes indépendants. Il n'existe pas forcément une bande interdite dans les deux cas. En outre, il peut être appliqué à des structures comme les fibres à cristaux photoniques, qui sont complexes pour les autres techniques de simulation. BandSOLVE est particulièrement utile pour optimiser les propriétés des structures à cristaux photoniques . BandSOLVE est destiné pour fonctionner avec les autres modules de simulation de Rsoft tels que BeamPROP et FullWAVE, il partage le même outil de CAD avec ces modules. En particulier, le BandSOLVE est spécialement utile pour optimiser les propriétés des cristaux photoniques.

II.2.3. Le simulateur « FULL WAVE»

L'objectif de **FullWAVE** est de fournir un ensemble de simulations pour calculer la propagation de la lumière dans les guides d'ondes de géométries arbitraires. La simulation est basée sur la technique de la **FDTD** (Finité Différence Time Domain). La **FDTD** est une méthode de résolution directe des équations de Maxwell dans le domaine temporel; elle utilise l'outil numérique des différences finies. On peut obtenir les réponses en champs TE et TM simultanément.

III.2.4. Fenêtre de programme de CAD

La fenêtre de programme de Rsoft CAD comporte une barre de menus en haut de la fenêtre, une barre des outils qui porte plusieurs icônes et la ligne d'état (voir figure. III.1).

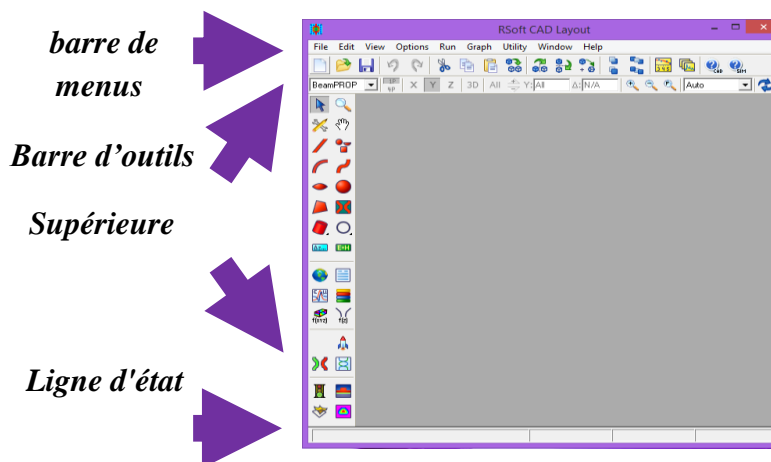


Figure III.1: La fenêtre de programme de R Soft CAD, montrant la barre de menus au dessus, les barres des outils supérieures et gauches, et la ligne d'état au fond

III.2.5. Générer la structure de réseau

Dans cette partie on va montrer comment créer un réseau en cristaux photoniques dans l'interface de CAD. Généralement, il existe plusieurs manières pour créer une structure de réseau dans l'interface de CAD. Cependant, la manière la plus facile est d'employer un des multiples utilités de disposition qui sont incluse avec Full WAVE afin d'expédier la création de ce réseau en utilisant Array Layout (figure III.2(a)). Après l'introduction des différentes données (type de réseau, forme de motif, le nombre de rangés et le nom du circuit) on clique sur le bouton **OK** pour obtenir la structure du cristal photonique qui apparaît sur la (figure III.2(b)).

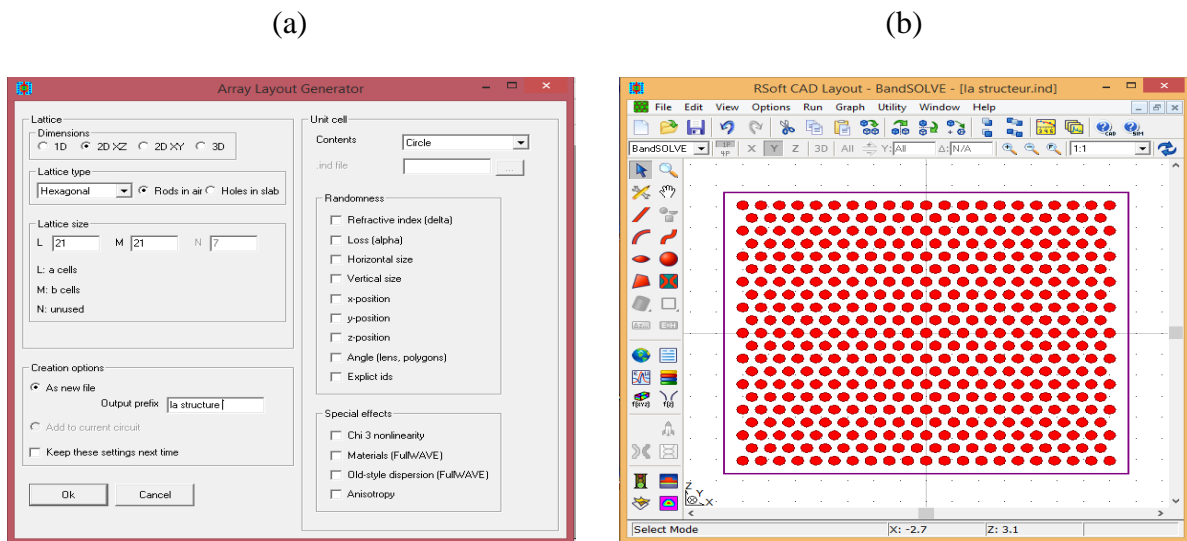


Figure III.2: a) Arrangements de disposition de la rangée XZ. b) Disposition de rangée dans la fenêtre de CAD

III.2.6. Présentation des autres applications



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



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



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



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



EDITE PATHWAYS (Editer les voies) : Cette option permet à l'utilisateur de définir des voies qui sont utilisées pour définir des positions de lancement pour l'analyse.



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



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



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



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



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

III.3. Description de la structure étudiée

Dans ce qui va suivre, nous allons étudier le cas des cristaux photoniques bidimensionnels membranaires à réseau de trous d'air triangulaire (possède la plus large bande interdite par

apport au réseau carré) dans une membrane SOI. Le CP est remplacé par un système 2D avec un fond diélectrique ayant l'indice de réfraction effective 2.825, qui correspond à l'indice effectif du mode TM guidé dans une membrane de Silicium de 230nm d'épaisseur sur une couche de silice (SiO₂) de 1400nm d'épaisseur à une longueur d'onde 1550 nm .

Dans ce qui suit tous les trous d'air de la structure est infiltré par l'eau désionisé $n_{\text{trous}} = 1.33$

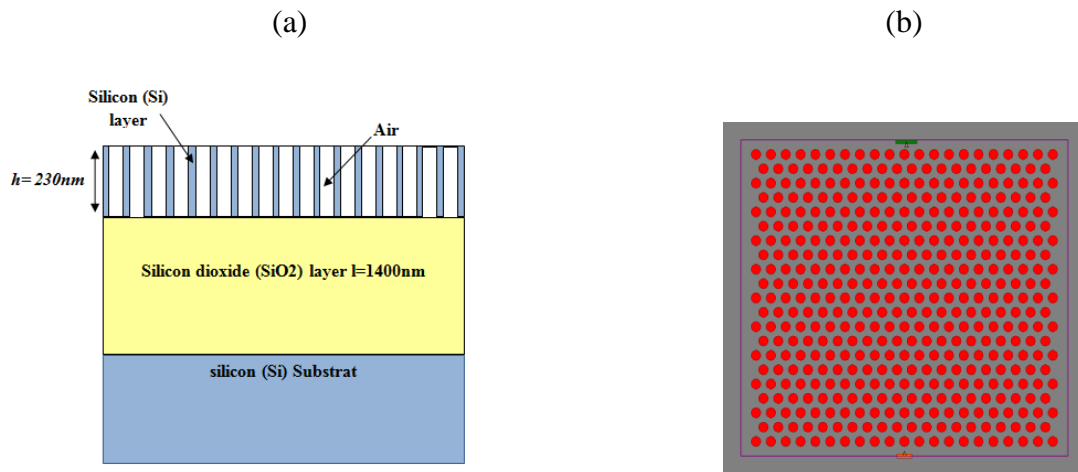


Figure III.3: a) Structure verticale. b) Structure étudiée

III.3.1. Etude des bandes interdites

Nous considérons le réseau triangulaire de trous d'airs dans une membrane de silicium ($n_{\text{eff}} = 2.825$, $a = 0.35 \mu\text{m}$ la période étant fixée de façon à obtenir une bande interdite pour au moins une polarisation à des longueurs d'ondes d'intérêt). Tous les trous d'air de la structure est infiltré par l'eau désionisé $n_{\text{trous}} = 1.33$

Les simulations seront effectuées pour les modes TE et TM pour connaître le comportement des structures à BIP. Théoriquement ce rayon varie de 0 à $0.175 \mu\text{m}$. La valeur de disparition des bandes interdites $r = a/2 = 0.175 \mu\text{m}$ n'est cependant pas significative. La figure III.4 montre la carte du bande interdite pour notre structure en deux modes TE et TM, Pour de faibles facteurs de remplissage $f(r/a)$ en air, il n'y a pas de bande interdite, il faut atteindre $r = 0.07 \mu\text{m}$ pour voir apparaître la bande interdite TM de plus basse énergie et c'est seulement pour un rayon des trous important que l'on a un recouvrement des gaps pour les deux polarisations. La plus large bande interdite est centrée autour d'une fréquence normalisée de 0,380 avec un rayon $r = 0.15 \mu\text{m}$

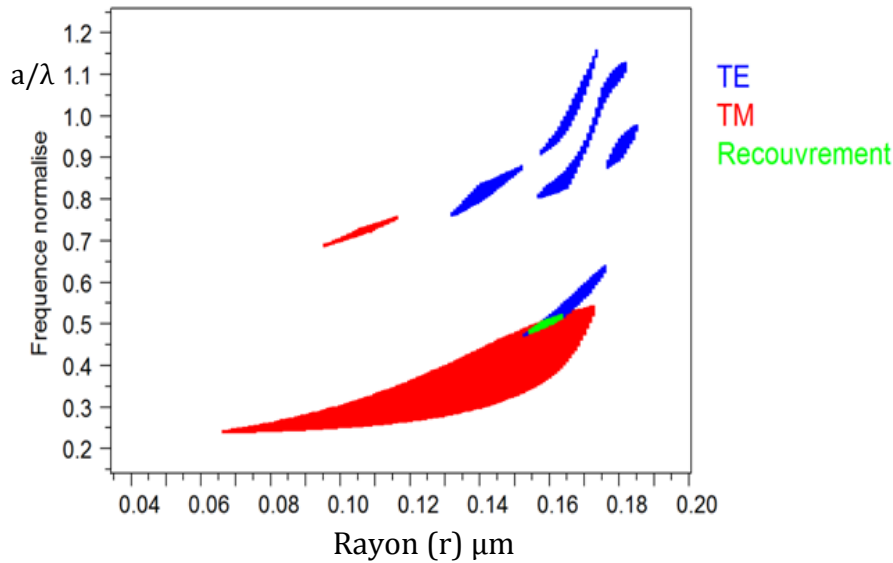


Figure III.4: Carte des bandes interdites d'un réseau hexagonale pour les deux polarisations TM et TE

En effet, pour des raisons de fabrication (risque de chevauchement des trous étant données les imprécisions de réalisation de composants pour ces dimensions), et pour limiter les pertes intrinsèques hors du plan du cristal, il est nécessaire de conserver un facteur de remplissage modéré [69].

Les valeurs typiques du facteur de remplissage sont autour de $f=31\%$. Le choix optimal du rayon r est donc fixé à $0.11\mu\text{m}$ pour ce facteur de remplissage

Les paramètres du réseau triangulaire de trous d'air remplis par l'eau désionisée sont choisis pour ouvrir une bande interdite aux alentours de la gamme de la longueur d'onde souhaitée. Typiquement, nous désirons ouvrir une bande interdite pour le mode TM aux alentours des fréquences d'intérêts. Pour cela, on opte pour un cristal de facteur de remplissage en air de 31% permettant d'obtenir une bande interdite 2D allant de 1158 nm à 1375 nm (figure III.5). Un calcul basé sur la PWE fait par le logiciel BandSolve de RSoft, permet de tracer le diagramme de bande (figure III.5 (b)) et un autre calcul FDTD fait par le logiciel FullWave de RSoft, permet de tracer le spectre de transmission (figure III.5 (b))

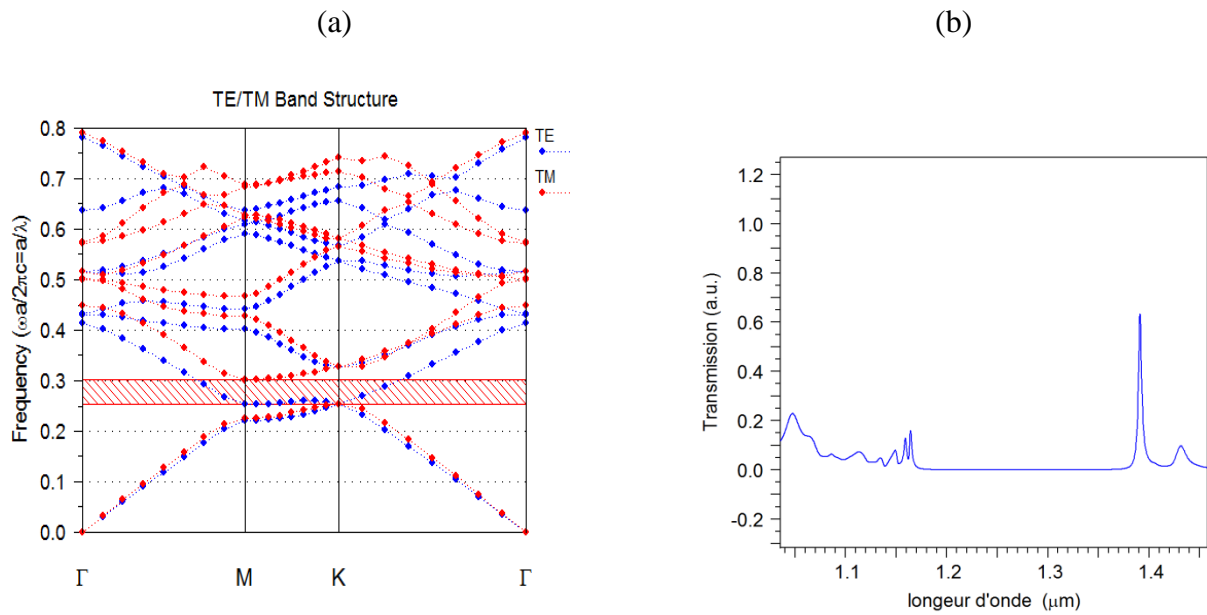


Figure III.5 : (a) Diagramme de dispersion du CP-2D dans la membrane Si (un réseau triangulaire de trous d'air remplis par l'eau désionisée ($n_{\text{trous}} = 1.33$, $a=0.35$, $r=0.11$, $f=31\%$ calculé par la PWE) (b) la présentation du spectre de transmission calculé par la FDTD- 2D.

III.3.2. guide d'onde " défaut linéique "

Nous considérons dans cette section un guide d'onde à cristaux photoniques $W1^K A$. Il est formé en enlevant une rangée de trous dans la direction ΓK du réseau triangulaire (Figure III.6(a)) .

Le calcul FDTD-2D fait par le logiciel FullWave de RSoft, permet de tracer le spectre de transmission (figure III.8 (b)). On observe une large transmission du guide droit $W1^K A$ est qui s'étale sur plus de 200 nm. On s'est limité dans ce cas, à la région spectrale de la bande interdite du cristal 2D calculée précédemment (BIP entre 1150 nm à 1375nm).

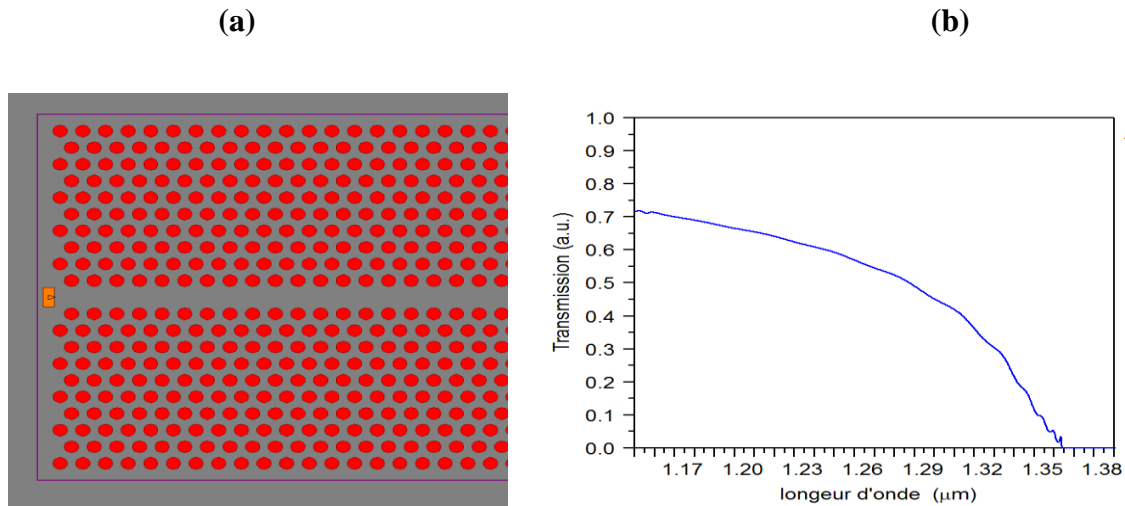


Figure III.6: (a) structure d'une guide (b) spectre de transmission.

III.3.3 Couplage cavité / guide dans un cristal photonique 2D :

La structure étudiée consiste à juxtaposer une cavité de forme quasi hexagonale parallèlement au guide $W1^K A$ pour aboutir à une interaction latérale des modes de cavité avec les modes du guide. Ce couplage permet d'extraire une ou plusieurs fréquences se propageant dans le guide. Le cristal photonique de base est le même que celui étudié précédemment. Une cavité H 1 est obtenue par l'omission d'un trou dans la troisième rangée à côté du guide. Le spectre de transmission calculé par la FDTD montre un creux de transmission qui coïncide avec la Longueur d'onde de résonance $\lambda_0 = 1,2757$

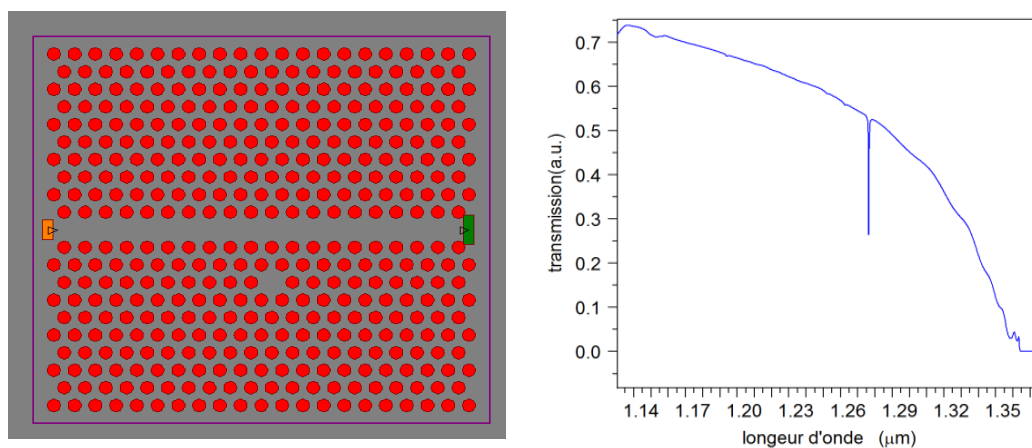


Figure III.7: structure d'un couplage cavité et guide et spectre de transmission d'une pour le paramètre de maille $a=0.35$ et $r=0.11$.

III.4. Optimisation de la structure :

La structure de référence du biocapteur est un réseau triangulaire avec une période $a=0.35\mu\text{m}$ et un rayon $r=0.11\mu\text{m}$, La structure est formée par (21×21) rangés de rempli d'eau désionisé ($n_{\text{trous}} = 1.33$). Comme un premier concept, nous avons, au premier lieu, infiltré le liquide cible dans un seul trou autour de la cavité H. donc les trous fonctionnalisés sont dénommés comme suit H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 et H_6 (à chaque fois un seul trou infiltré par un polymère $n_H = 1.45$) comme il est présenté sur la figure ci-dessous. Ensuite, nous avons infiltré les liquides cibles dans un groupe de trou de la cavité (quatre trous infiltrés G1 ($H_1.H_2.H_4.H_5$), (b) G2 ($H_1.H_3.H_4.H_6$), (c) G3 ($H_2.H_3.H_5.H_6$)).

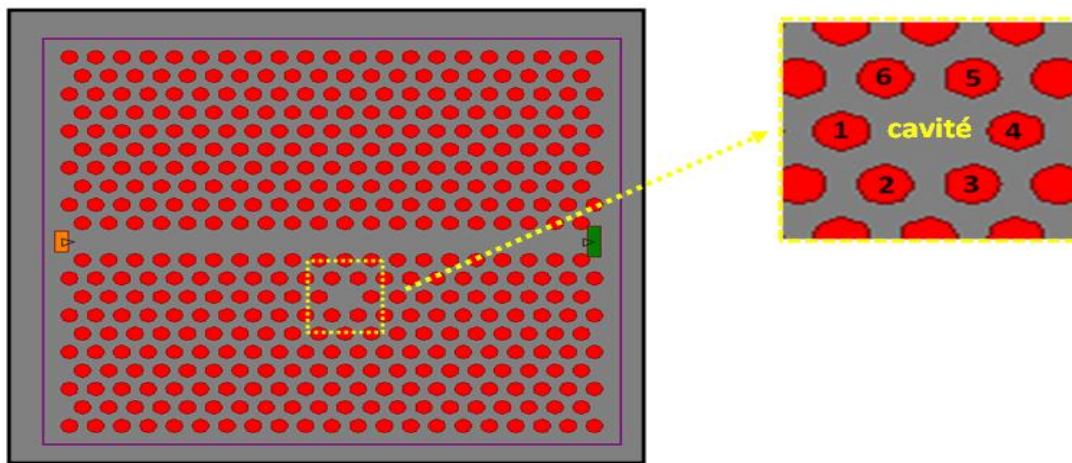


Figure III.8: structure de référence et cavité globale et les trous de nommage comme suit: H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 et H_6 .

III.4.1. Etude de la résonance de la cavité en fonction du nombre de trou fonctionnalisés

III.4.1.1 La première étape ("étude un seul trou qui fonctionnalise"):

Dans ce travail, nous remplissons chaque trou séparément par un polymère ($n=1.45$). Nous avons calculé le spectre de transmission à la sortie du guide pour chaque conception. La résonance de la cavité est extraite et comparée pour l'infiltration de chaque trou H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 et H_6 .

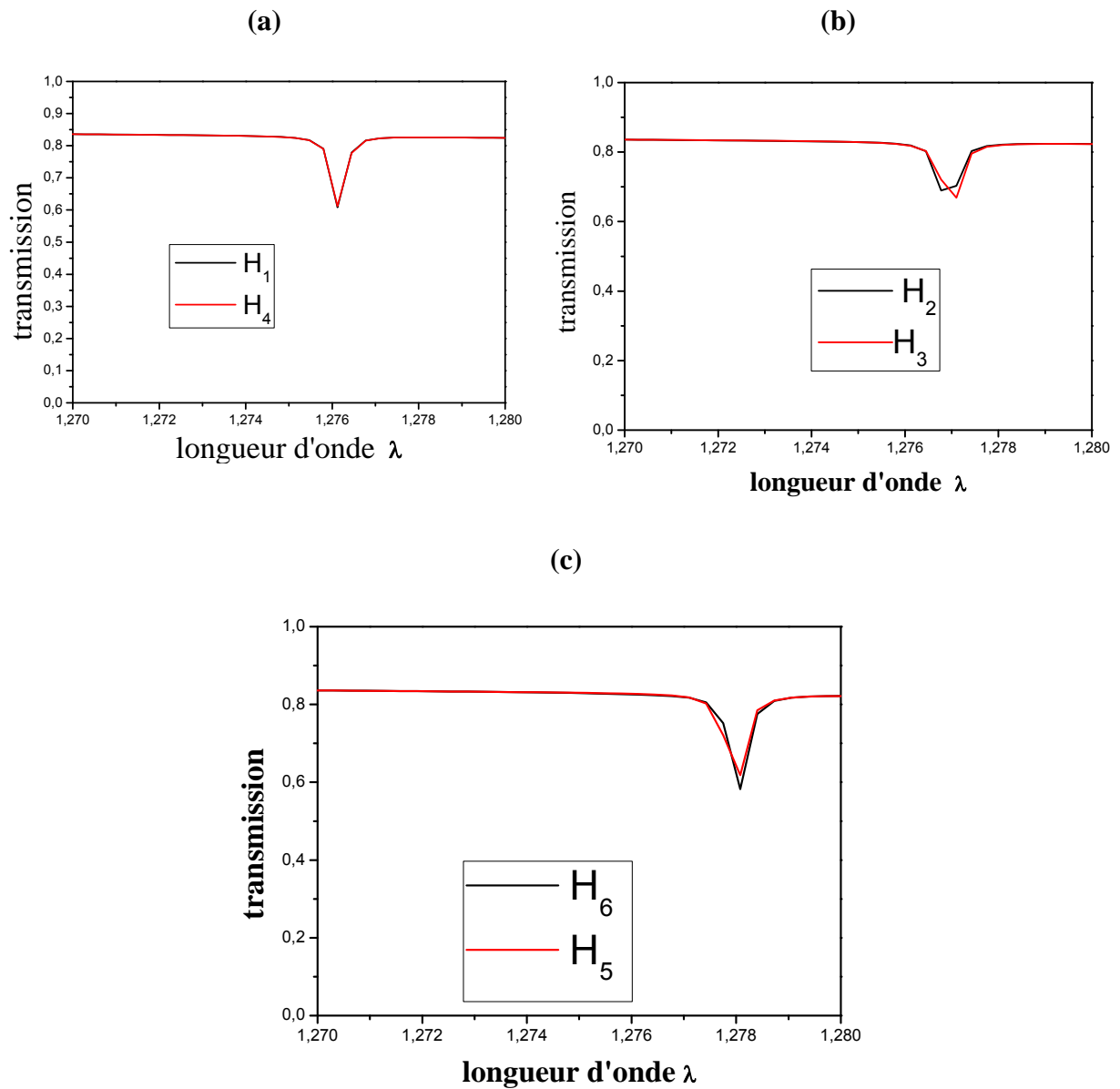


Figure III.9: spectre de transmission de la structure pour l'infiltration de chaque trou séparément.

La figure III.9 montre les spectres de transmission calculée par la FDTD de la structure pour chaque trou infiltré séparément. Il est clair que chaque deux trous fonctionnalisent de la même façon, avec λ_1 et $\lambda_4 = 1.27612 \mu\text{m}$ λ_2 et $\lambda_3 = 1.27677 \mu\text{m}$ λ_5 et $\lambda_6 = 1.27808 \mu\text{m}$.

Nous avons sélectionné les trois changements de résonance H_1 , H_2 et H_6 qui sont similaires individuellement avec les trois autres H_4 , H_3 et H_5 (voir la figure III.10)

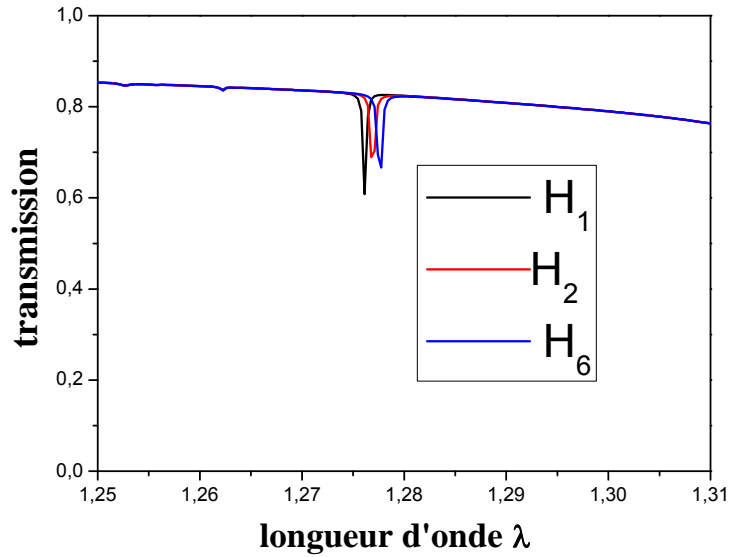


Figure III.10: Spectres de transmission du biocapteur pour les trois conceptions (H_1 , H_2 et H_3 infiltré séparément avec le polymère)

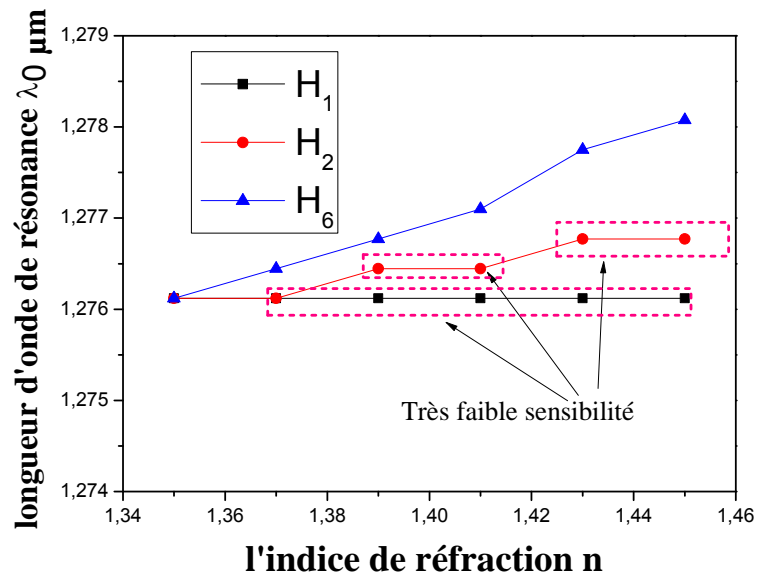


Figure III.11 Le décalage de la longueur d'onde résonnante en fonction de l'indice de réfraction dans la plage de 1.33 à 1.45 pour trois trous H_1 , H_2 et H_6 infiltré séparément avec le polymère.

D'après la figure III.11, il est clair que les structure avec H_1 et H_2 possèdent des régions à très faibles sensibilité, donc la structure optimale est la structure avec H_6 infiltré par le liquide cible.

Nous prenons la structure avec H_6 infiltré comme un notre premier capteur biomédical proposé. La cavité H_6 donne un décalage de la longueur d'onde de résonance λ_6 de 54.23 nm pour une variation d'indice 0.33. Si nous définissons la sensibilité comme $S = \Delta\lambda_0 / \Delta n$, un shift de 54.23 nm est calculé correspondant à une sensibilité de 164.35 nm/RIU (RIU refractive index unit).

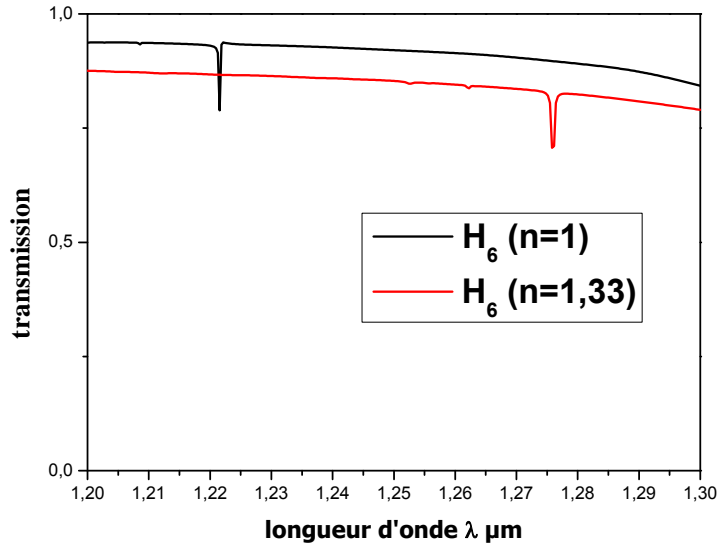


Figure III.12 Spectre de transmission du premier capteur biomédical proposé, calculé par la FDTD pour $n=1$ et $n=1.33$.

III.4.1.2. Le facteur de qualité de la cavité H_6 pour différent indice de réfraction " H_6 " :

Indice de réfraction	Longueur d'onde de résonance en μm	Facteur de qualité (Q)
1.35	1.2751	427.63
1.37	1.2751	636
1.39	1.2797	614
1.41	1.2751	626.4
1.43	1.2754	383
1.45	1.2751	628

Tableau III.1 : le facteur de qualité de la cavité H_6 pour différent indice de réfraction

III.4.1. 3. La deuxième étape (" étude de quatre trous qui fonctionnalisent ") :

Afin d'améliorer la sensibilité et le facteur de qualité du notre capteur biomédicale, nous proposons une nouvelle conception. La même chose que les précédents travaux, afin d'étudier la sensibilité du biocapteur optimale, nous avons pris les six trous H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 et H_6 que nous allons étudier, mais dans ce cas avec, nous avons infiltré quatre trous avec le liquide cible, nous prenons chaque 4 trous comme un groupe remplis séparément (figure III.13). (Quatre trou rempli par un polymère G1 (H_1, H_2, H_4, H_5), (b) G2 (H_1, H_3, H_4, H_6), (c) G3 (H_2, H_3, H_5, H_6)).

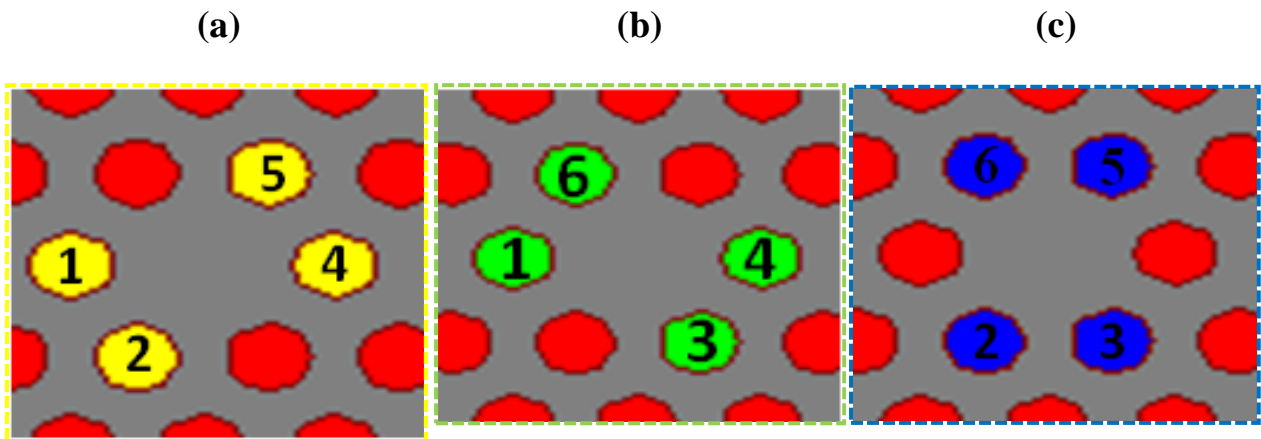


Figure III.13: les trois conceptions du capteur biomédical proposé

(a) G1 (H_1, H_2, H_4, H_5), (b) G2 (H_1, H_3, H_4, H_6), (c) G3 (H_2, H_3, H_5, H_6).

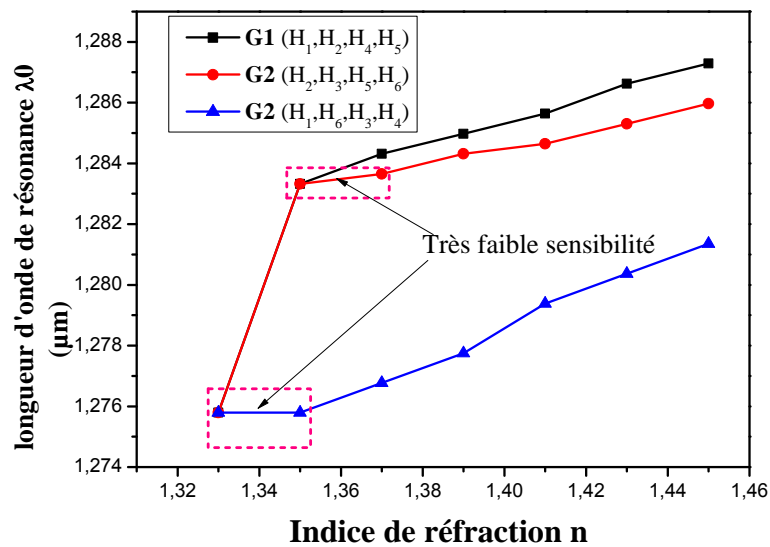


Figure III.14 : Le décalage de la longueur d'onde résonnante λ_0 en fonction de l'indice de réfraction dans la plage de 1.33 à 1.45 pour les trois groupes de trous

D'après la figure III.14, il est clair que les structure avec G2et G3 possèdent des régions à très faibles sensibilité, donc la structure optimale est la structure avec G1 infiltré par le liquide cible.

Nous prenons la structure avec G1 infiltré comme une structure optimale de notre capteur biomédical proposé. La cavité avec le groupe G1 infiltré du liquide, donne un décalage de la longueur d'onde de résonance λ_6 de 75.4 nm pour une variation d'indice 0.2 (figure III.15). Donc ce shift correspondant à une sensibilité de 377 nm/RIU (RIU refractive index unit).

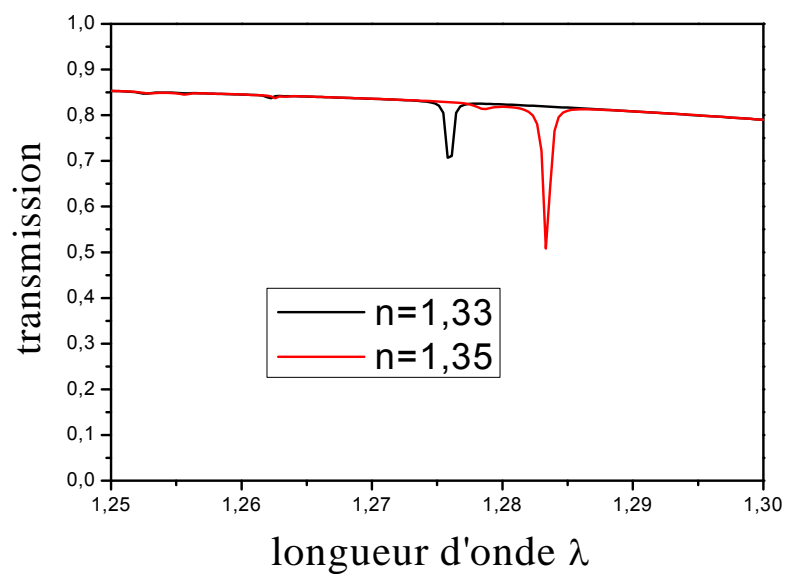


Figure III.15 : spectre de transmission G1 par rapport longueur d'onde λ_0

III.4.1.4. Le facteur de qualité de la cavité H_6 pour différent indice de réfraction " G1" :

Indice de réfraction	Longueur d'onde de résonance en μm	Facteur de qualité (Q)
1.35	1.2797	1700
1.37	1.2797	972.3
1.39	1.2797	990
1.41	1.2797	1171.6
1.43	1.2797	1182.2
1.45	1.2797	1298

Tableau III.2 : le facteur de qualité de la cavité G1 pour différent indice de réfraction

III.5. conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé des propositions de capteur biomédical RI à cristaux photoniques bidimensionnels, et plus particulièrement les CPs-2D membranaires, utilisant un réseau de trous d'air triangulaire percés dans une membrane Silicium sur une couche de SiO₂ à faible indice. Premièrement, nous avons présenté le principe d'ouverture de bandes interdites photoniques et la carte des bandes qui permet de sélectionner les paramètres du cristal et le type de structure à étudier dans le cadre de ce travail. Les paramètres du réseau triangulaire sont sélectionnés soigneusement pour ouvrir une large bande interdite à fin d'avoir une large plage de détection du biocapteur dans une gamme de fréquence souhaitée.

Le concept du de capteur biomédical proposé est basé sur couplage guide W1^KA et une cavité. En premier lieu, Nous avons remplis chaque trous de la cavité séparément par le liquide cible. Nous avons calculé le spectre de transmission à la sortie du guide pour chaque conception. La structure avec H₆ fonctionnalise donne une meilleure sensibilité par apport aux autres trous (S=164.35 nm/RIU (RIU)). Afin d'amélioré la sensibilité et le facteur de qualité du notre capteur biomédicale, nous avons proposé une nouvelle conception. Nous avons infiltré quatre trous avec le liquide cible, nous prenons chaque 4 trous comme un groupe remplis séparément; Le choix optimale de la structure est avec l'infiltration de groupe G1 (H₁.H₂. H₄. H₅). Cette structure possède une sensibilité de 377 nm/RIU (RIU refractive index unit).

Conclusion général

Les CPs sont très attrayants en tant que plate-forme de détection optofluidique car ils possèdent des vides naturels qui permettent l'infiltration de fluide. Pour cela, nous nous sommes particulièrement intéressés aux biocapteurs à indice de réfraction (RI). L'application des biocapteurs RI inclut les mesures de paramètres tels que : la température, l'humidité, la composition chimique, la détection d'ADN, des protéines, des cellules et des bactéries. Le CP dispose d'un large éventail de détection, ce qui le rend applicable dans une large gamme dynamique des mesures RI s'étendant de l'air jusqu'aux fluides très visqueux comme l'huile ou les polymères.

L'objectif de ce travail est consacré à l'étudier et à la Conception d'un capteur à cristaux photoniques bidimensionnels pour des applications biomédicales, à l'aide du logiciel Rsoft-CAD.

Dans la première partie du mémoire, nous avons présenté les principes de base des cristaux photoniques, leurs définitions, leurs différents types et leurs principes de fonctionnement. Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les notions de base sur des capteurs et dans ce cadre nous avons abordé leurs principales caractéristiques et leurs différents types. Et à la fin de ce chapitre, nous avons présenté une description des biocapteurs plus particulièrement les capteurs à cristaux photoniques à indice de réfraction.

Le dernier chapitre a été consacré à la présentation de nos résultats. Au premier lieu nous avons présenté l'outil de simulation RSoft et ses modules Fullwave et BandSOLVE. En suite, nous avons présenté des propositions de capteur biomédical RI à cristaux photoniques bidimensionnels, et plus particulièrement les CPs-2D membranaires, utilisant un réseau de trous d'air triangulaire percés dans une membrane Silicium sur une couche de SiO₂ à faible indice. Premièrement, nous avons présenté le principe d'ouverture de bandes interdites photoniques et la carte des bandes qui permet de sélectionner les paramètres du cristal et le type de structure à étudier dans le cadre de ce travail. Les paramètres du réseau triangulaire sont sélectionnés soigneusement pour ouvrir une large bande interdite à fin d'avoir une large plage de détection du biocapteur dans une gamme de fréquence souhaitée. L'introduire d'un défaut linéaire dans le cristal photonique bidimensionnel étudié, assure le confinement de la lumière dans une dimension et sa propagation dans l'autre dimension, ce qui constitue un guide d'onde permettant de traiter toute l'information sous forme lumineuse et de miniaturiser les circuits actuels.

Le concept du de capteur biomédical proposé est basé sur couplage guide W1^KA et une cavité. En premier lieu, Nous avons remplis chaque trous de la cavité séparément par

Conclusion général

le liquide cible. Nous avons calculé le spectre de transmission à la sortie du guide pour chaque conception. La structure avec H6 fonctionnalise donne une meilleure sensibilité par rapport aux autres trous ($S=164.35$ nm/RIU (RIU)). Afin d'améliorer la sensibilité et le facteur de qualité de notre capteur biomédicale, nous avons proposé une nouvelle conception. Nous avons infiltré quatre trous avec le liquide cible, nous prenons chaque 4 trous comme un groupe remplis séparément; Le choix optimale de la structure est avec l'infiltration de groupe G1 (H1.H2. H4. H5). Cette structure possède une sensibilité de 377 nm/RIU (RIU refractive index unit) et un facteur de qualité Q de 1700 .

Bibliographie

- [1] N .Adnane , « Modélisation des structures nano-plasmoniques et photoniques Applications aux phénomènes de filtrage et à la conception de capteurs bioplasmoniques » Thèse de doctorat, Université Lille 1, 2010
- [2] A . harhouz ,« contribution à l'étude et à la conception des capteur à cristaux photonique » Thèse de doctorat , Université Msila , 2017
- [3] E.Guillermain ,« Dispositifs nanophotoniques à ondes de surface en silicium poreux Technologie et application à la bio-détection » Thèse de doctorat, Université Lyon, 2007
- [4] E. Yablonovitch ,« Physical Review Letters » 58(20), 2059-2062 (1987).
- [5] S. John ,« Physical Review Letters » 58, 2059 (1987).
- [6] E. Yablonovitch, T.J. Gmitter, and K.M. Leung. «Physical Review Letters » 67(17), 2295–2298
- [7] P. Vukusic, and J.R. Sambles, « *Photonic structures in biology*», **424**(6950): p. 852-855,. Nature, 2003
- [8] Zi, J., et al., « *Coloration strategies in peacock feathers* ». **100**(22): p. 12576-12578, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003.
- [9] F. Bougriou ,«Étude Des Guides D'ondes A Cristaux Photoniques Bidimensionnels», Mémoire De Magister, Université De Mentouri Constantine, 2008
- [10] A. Kahlouche ,« Etude Des Potentialités De Couches Minces Sol-Gel Dopées Par Des Nanoparticules Magnétiques Pour La Conception Des Cristaux Magnéto-Photoniques» Thèse De Doctorat Université De M'sila
- [11] H. ROUSSEL, V.VIGNERAS, W. TABBARA , J.P PARNEIX « Etude théorique et expérimentale de structures à Bande Photonique Interdite bidimensionnelle » JNM 99, Arcachon, 5-7 Mai 1999.
- [12] G.TAYEB ,D. MAYSTRE « Rigorous theoretical study of finite size tow dimensional photonic crystal doped by micro cavities” J. Opt.Soc. Am. A 14 , p. 3323- 3332, 1997.

- [13] 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.
- [13] Y.MERLE, « Etude de la dispersion électronique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels », Thèse de doctorat n° 47-2, Université de Limoges, Novembre 2003.
- [15] Y.MERLE, « Etude de la dispersion électronique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels », Thèse de doctorat n° 47-2, Université de Limoges, Novembre 2003.
- [16] M. LOURTIOZ, D. MAYSTRE, H. BENISTY, V. BERGER, J. M. GERARD, A. TCHELNOKOV, «Les cristaux photoniques ou la lumière en cage », GET et Lavoisier, Paris, 2003
- [17] K. M.Ho, C .T .Chan, et M.Soukoulis, «Existence of a photonic gap in periodic structures », Phys. Rev. Lett., vol. 65, p. 3152, 1990.
- [18] E.Yablonovitch,T.J. Gmitter, and K.M. Leung, « Photonic band structure: the face-centered-cubic case employing non spherical atoms », Phys. Rev. Lett., vol. 67, N°17, 2295–2298, 1991.
- [19] Y.A. Vlasov, et al., « On-chip natural assembly of silicon photonic band gap crystals», Nature, vol. 414, p. 289-293, 2001.
- [20] K. VYNCK ,« Simulation des cristaux photoniques 3D à base d'opales », CINES Montpellier, Journée Jeunes Chercheurs Calculant au CINES, 2007
- [21] B. Lombardet, « Étude et réalisation des cristaux photoniques pour l'optique intégrées », Thèse de doctorat n°3254, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.
- [22] D. Felbacq, E. Centeno, «Theory of diffraction for 2D photonic crystals with a boundary», Opt. Comm., Vol. 199, pp. 39-45, 2001.
- [23] [http:// www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics](http://www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics).
- [24] E. Yablonovitch, T.J. Gmitter, R.D. Meade, A.M. Rappe, K. D. Brommer, and J. Joannopoulos. « Donor and acceptor modes in photonic band structure », Phys. Rev. Lett., Vol 67, N° 24, pp 3380–3383, 1991.
- [25] M. Nevière, E. Popov et R. Reinisch, « Electromagnetic resonances in linear and nonlinear optics: Phenomenological study of gratin g behavior through the poles and zeros of the scattering operator ». Journal of the optical society of America p. 513 (1995).
- [26] J. Pendry, «Photonic band structures. Journal of modern optics »,P209, (1994).
- [27] B.BACITA ,« Etude D'une Antenne Micro-ruban Triangulaire A Bande Interdite Photonique (BIP) 2D ». mémoire de master, Université de M'sila, 2014
- [28] S. MASSAOUDI , « Etude théorique et expérimentale des matériaux à bandes interdites photoniques bidimensionnels (BIP 2D) en Micro-Ondes: Application à l'ultra réfraction ».Université Paris XI, 2005.

- [29] J. LOURTIOZ, « Cristaux photoniques et « gaps » de photons -Propriétés et applications », Techniques de l'Ingénieur, AF 3 711, 07/2004.
- [30] X. Wang et al, « Bend-resistant large-mode-area photonic crystal fiber with a triangularcore », Applied Optics, date de publication le 20 juin 2013
- [31] J.M. LOURTIOZ, D. MAYSTRE, H. BENISTY, V. BERGER, J. M. GERARD, A. TCHELNOKOV, « Les cristaux photoniques ou la lumière en cage », GET et Lavoisier, Paris, 2003.
- [32] D. GERARD, « Etude en champ proche et en champ lointain de composants périodiquement nano structurés : cristaux photoniques et tamis à photons », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 09 juillet 2004.
- [33] N. Delphine , « Etude en champ proche optique de guides à cristaux photoniques sur SOI » , thèse de Doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, Novembre 2006.
- [34] Y. DESIERES, « Conception et études optiques de composants micro photoniques sur matériaux III-V à base de structures à bande interdite de photon », Thèse de doctorat n° 01-0081, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, Décembre 2001.
- [35] S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos et H. A. Haus, «Channel drop filters in photonic crystals», Optics Express, Vol. 3, p. 4, 1998.
- [36] A. Chutinan ,M. Masamitsu, M. Imada et S. Noda, «Surface-emitting channel drop filters using single defects in two-dimensional photonic crystal slabs», Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p.2690, 2001.
- [37] T. Charvolin, et al., « Realization of two-dimensional optical devices using photonic band gap structures on silicon-on-insulator», Microelectronic Engineering 61, p. 545, 2002..
- [38] J. C. Knight, et al., « Large mode area photonic crystal fiber», Elec. Lett., Vol. 34, pp. 1347– 1348, 1998.
- [39] M. Plihal and A. A. Maradudin, «Photonic band-structure of 2-dimensional systems—the triangular lattice», Phys. Rev. B, Vol. 44, n° 16, pp. 8565-8571, 1991.
- [40] R. D. Meade, K. D. Brommer, A. M. Rappe and J. D. Joannopoulos, « Photonic bound-states in periodic dielectric materials», Phys. Rev. B, Vol. 44, n° 24, pp. 13772-13774, 1991.
- [41] K. S. Yee, «Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media», IEEE Trans. Antennas and Propagation, 14,p. 302–307, 1966.
- [42] C. T. Chan, Q. L. Yu et K. M. Ho, « Order N spectral method for electromagnetic waves », Phys. Rev. B , Vol.51, p. 16635, 1995.
- [43] A. Taflove et S. C. Hagness, « Computational electrodynamics: The Finite-Difference Time- Domain Method », Second edition, Artech House, 2000.1999

- [44] S . Amoudache ,«Cristaux phoxoniques accordables application au domaine des capteurs»,Thèse de doctorat,Université MOULOUDMAMMERIDE ,TIZI-OUZOU 2015
- [45] F . Bougriou , « Etude theorique des materiaux a bandes interdites photoniques bidimensionnels applications dans le domaine du guidage optique et la detection»,Thèse dedoctorat ,Université constantine 1, 2013
- [46] [http:// dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/1129957/CHAPITRE03.pdf](http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/1129957/CHAPITRE03.pdf)
- [47] Asch .G et Coll, « Les capteurs en instrumentation industrielle » (7 ed),Dunod, Paris, 2006, 2010,p3
- [48] <http://technologuepro.ch12-les-differents-types-de-capteurs>
- [49] I . Hafaid ,« Etude physico-chimique de capteur a base de nanomateriaux pour des application biomédical», Thèse de doctorat ,Université lyon,2009
- [50] Asch .G et Coll, « Les capteurs en instrumentation industrielle » (7 ed),Dunod, Paris, 2006, 2010,p27.
- [51] F . Bougriou , « Etude theorique des materiaux a bandes interdites photoniques bidimensionnels applications dans le domaine du guidage optique et la detection»,Thèse dedoctorat ,Université constantine 1, 2013
- [52] A .Boughrouat ., « Modification de la sensibilité d'un QCM (Quartz Cristal Microbalance) par le dépôt dessus de films minces élaborés par plasma à partir de vapeurs de TEOS »Université MENTOURI constantine,2009
- [53] Asch .G et Coll, « Les capteurs en instrumentation industrielle » (7 ed),Dunod, Paris, 2006, 2010,p9
- [54] https://NdV.Biocapteurs_Captiven_fevrier2015
- [55] G .Matthieu,«Conception, realisation et caractérisation de biocapteurs micromécaniques résonants en silicium avec actionnement piezo´ électrique intégré : detection de l'adsorption de nanoparticules d'or», Thèse de doctorat,Université Paul Sabatier – Toulouse III 2003
- [56] M .MARRAKCHI ,« Développement et optimisation de biocapteurs`a base de biomolécules et de micro-organismes sur micro électrodes interdigitées », THESE Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2006
- [57] [https:// biocapteurs.wikispaces.com/filedetail/Cours+Biocapteurs+2012-2013.pdf](https://biocapteurs.wikispaces.com/filedetail/Cours+Biocapteurs+2012-2013.pdf)
- [58] M. Skorobogatiya and Andrei V. Kabashin , «Photon crystal wave guide-based surface plasma resonance biosensor »,Received 20 June 2006; accepted 26 August 2006; published online 6 October 2006
- [59] B .Candice , «Développement de cristaux photoniques en diamant : modélisation, technologie et application à la bio détection »Thèse de doctorat ,Université PIERRE ET MARIE CURIE 2015
- [60] S. Sumida, S. Okazaki, S. Asakura, H. Nakagawa, H. Murayama et T. Hasegawa, « Distributed hydrogen determination with fiber-optic sensor », Sens. Act. B, 108 ; pp 508–514, 2005

- [61] O. S. Wolfbeis, « Fiber-Optic Chemical Sensors and Biosensors », *Anal. Chem.*, 76 ; 3269–3284, 2004.
- [62] N. Moll, « Étude et réalisation d'un système immunocapteurs à ondes de Love : application à la détection de toxines, de virus ou de bactéries », these du doctorat, l'université bordeaux 1, 29 juin 2007
- [63] S . Amoudache ,«Cristaux phoxoniques accordables application au domaine des capteurs»,Thèse de doctorat,Université MOULOUDMAMMERIDE ,TIZI-OUZOU 2015
- [64] B.Troia, A. Paolicelli, F. De Leonardis and Vittorio M. N. Passaro « Photonic Crystals for Optical Sensing: A Review », chapter book, *Advances in Photonic Crystals*, pp242-287, 2013
- [65] F. Gao, H. Liu,* C. Sheng, C. Zhu, and S. N. Zhu., « Refractive index sensorbased on the leaky radiation of a microfiber », *Optical Society of America* 2014
- [66] N .BOUZIDI, « Etude et conception d'un capteur d'indice de réfraction (RI) à base de cristaux photoniques bidimensionnels à usage multiple » mémoire de master UniversitéMOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2016
- [67] T. Zouache* , A. Hocini, A. Harhouz, and R. Mokhtari, «Design of Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal», *Special Issue of the 6th International Congress& Exhibition (APMAS2016)*, Maslak, Istanbul, Turkey, June 1–3, 2016
- [68] <http://dx.doi.org/10.5772/53897> Photonic Crystals for Optical Sensing: A Review Chapter
- [69] J. Lourtioz, D. Maystre, H. Benisty, V. Berger, J. M. Gerard, A. Tchelnokov, « Le cristaux photoniques ou la lumière en cage », GET et Lavoisier, Paris, 2003

البلورات الفوتونية هي بنية مركبة تتميز بمعامل انكسار دوري في اتجاه واحد، اتجاهين أو ثلاثة اتجاهات من الفضاء. دورية معامل الإنكسار تؤدي إلى ظهور مجالات ضوئية ممنوعة التي لا يمكن للضوء أن ينتشر خلالها بغض النظر عن استقطابه و جهة انتشاره.

وقد أدت الاعمال المنجزة في هذا السياق إلى تحقيق محاكاة كاشف يعتمد علي البلورات الضوئية من اجل التطبيق في الميادين البيوطبية. هذا من خلال استغلال الخصائص الجيدة للضوء عبر البلورات الضوئية. والهدف من هذا العمل هو دراسة هذه الإمكانيات لتصميم وتقييم أجهزة الاستشعار التي تعتمد علي البلورات الضوئية لتطبيقها في مجال الطب الحيوي باستخدام برنامج Rsoft CAD، الغرض من تحسين هذه الاجهزة هو العثور على الشكل النهائي الذي يضمن انتقال أفضل وعامل الجودة عالي(1700) وحساسية تصل الي 377 nm /RUI

الكلمات المفتاحية : البلورات الضوئية ثنائية الابعاد، FDTD 2D، المستشعر، عامل الجودة، الحساسية

Résumé

Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice diélectrique varie périodiquement selon une ou plusieurs directions de l'espace. Cette variation périodique de l'indice optique entraîne l'apparition de bandes interdites photoniques : gammes de fréquences pour lesquelles la lumière ne peut pas se propager dans la structure, quelque soit sa polarisation et sa direction de propagation.

Les travaux qui ont été menés dans ce cadre ont effectivement aboutis à la simulation particulièrement des capteurs a cristaux photoniques pour les applications en biomédical. Cela en exploitant les propriétés fantastiques de la lumière par l'intermédiaire de structure à base de cristaux photonique. L'objective de ce travail est d'étudier ces possibilités de conception et évaluer les capteurs à cristaux photoniques (CPs) pour l'application biomédical à l'aide du logiciel Rsoft CAD .L'optimisation de la structure a pour but de trouver la forme finale du capteur qui doit garantir une meilleure transmission et un meilleur facteur de qualité $Q = 1700$, et la sensibilité du capteur $s = 377 \text{ nm / RUI}$

Mots clés : *photonique 2D , Capteur, FDTD 2D, facteur de Q, sensibilité .*

Abstract:

photonic crystal are articial material consisting of periodic arrangement in which the dielectric constanta (the rreactive index) has a peiodicity in one ,two or three dimensions.

That controlling the propagation of light for its photonic band gap and / or propagation light diffraction properties. In this work by using the software Rsoft CAD,we simulat a photonic crystal sensors for the biomedical application by expoiting the fantastic properties of light in photonic crystal . we optmized and investgated photonic crystals sensors the biomedical application to obtained the bute transmission,Q factor(=1700), and sensitivity

Of sensor $s = 377 \text{ nm / RUI}$

Key word : *2D photonic crystals, 2D FDTD Sensor, , Q factor, sensitivity*