

IV.1. Introduction :

Actuellement, les cristaux photoniques bidimensionnels permettent de réaliser un grand nombre de fonctions optiques, telles que : les guides d'ondes, les diviseurs de puissances, les filtres, les coupleurs, les démultiplexeurs, etc. Un des dispositifs clés de l'optique intégrée qui a reçu une grande considération est le filtre résonnant, car il peut agir comme un démultiplexeur pour sélectionner un canal particulier ou de plusieurs canaux multiplexés en longueur d'onde (WDM) pour les systèmes de télécommunications optiques. Un démultiplexeur est un élément ou une fonction dont l'objectif est de sélectionner une ou plusieurs bandes de fréquences parmi le spectre électromagnétique et d'en éliminer d'autres.

Dans le cas présent, nous nous intéressons uniquement à des démultiplexeurs, c'est-à-dire qui sélectionnent un ensemble de fréquences adjacentes. Il permet de sélectionner le signal désiré tout en rejetant ceux non-désirés. Pour réaliser une fonction de démultiplexage, plusieurs cavités sont reliées entre elles à l'aide du couplage. Souvent, les cavités d'un démultiplexeur fonctionnent à la même fréquence. Bien que cela ne soit pas une obligation, ces cavités sont généralement de nature identique. Les performances du démultiplexeur dépendent essentiellement de celles des cavités.

Dans cette partie, nous présentons les différentes stratégies de couplages que nous avons exploités pour améliorer les performances d'un démultiplexeur à CP, Les propriétés de ces structures photoniques sont numériquement étudiées en utilisant la méthode des différences finies dans le domaine temporel à deux dimensions (FDTD-2D).

IV.2. Etude de cavités à Cristaux Photoniques 2D :

Les défauts dans le cas des cristaux 2D sont créés, soit, par une modification locale d'indice ou un changement de taille d'un motif du cristal (défaut de substitution), soit par le déplacement d'un de ces motifs (défaut interstitiel) ou l'absence de l'un des motifs (défaut lacunaire) ou encore par l'insertion d'un motif différent (dopant). La présence d'un défaut ponctuel peut conduire à l'existence de niveaux discrets d'énergies dans une bande interdite. Dans notre cas nous utiliserons les défauts lacunaires.

IV.2.1. Cavités hexagonales

Pour réaliser des cavités hexagonales en omettant de tiges du cristal photonique dans un hexagone. Ces cavités sont communément appelées « cavité H_X » avec X le nombre de tiges omis par côté de l'hexagone.

IV.2.2. Etude de la cavité H_1 pour un défaut lacunaire

Considérons un cristal photonique à réseau triangulaire de cylindres diélectriques plongés dans l'air. Le paramètre de maille et le rayon des cylindres sont respectivement : $a = 500 \text{ nm}$ et $r = 0.18a$. L'indice de réfraction des cylindres, supposé indépendant de la fréquence, est $n = 3.42$.

La transmission en polarisation TE de ce réseau montre une bande interdite entre 1.04 et $1.68 \mu\text{m}$. (voir figure IV-1).

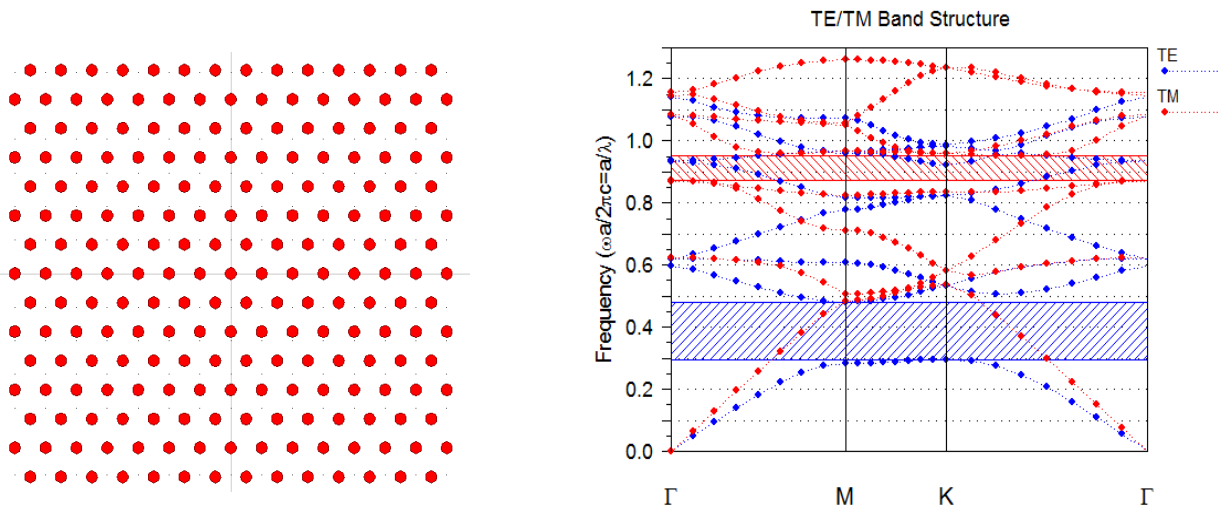


Figure IV-1: la bande interdite photonique d'un CP2D à réseau triangulaire de paramètre de maille $a=500\text{nm}$ constitué des tiges de rayon $r=0.18a$ dans une membrane de silicium en polarisation TE.

IV.3. Etude de la cavité H_1 pour un défaut de substitution

IV.3.1. Variation du rayon de la maille centrale (r) :

On reprend la même structure que précédemment, on fait varier le rayon r de la tige qui se trouve au centre de la structure (figure IV.3).

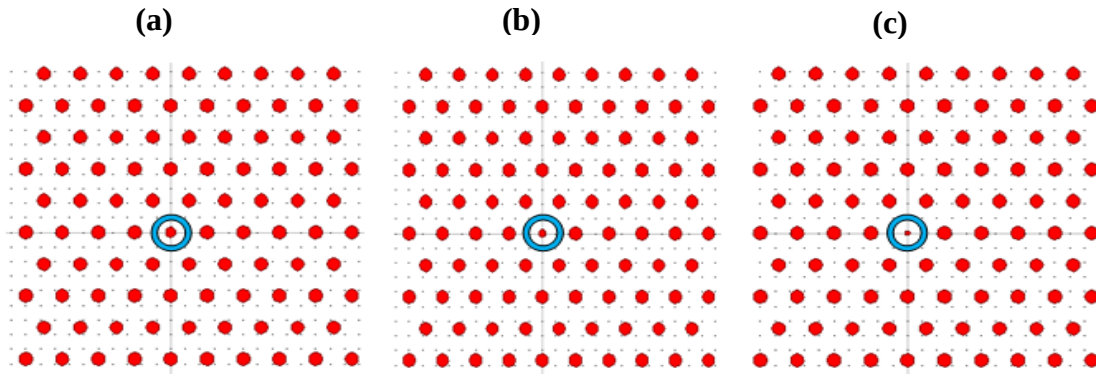


Figure IV.2: Les trois structures étudiées : (a) $r=0.07 \mu\text{m}$; (b) $r=0.05 \mu\text{m}$; (c) $r=0.03 \mu\text{m}$.

Le tableau ci dessous représente la variation de la longueur d'onde de résonance et du facteur de qualité en fonction du rayon r de tige centrale .

Rayon r en μm	Longueur d'onde de résonance en μm	Facteur de qualité (Q)
0.07	1.6404	1.80×10^7
0.05	1.4667	3.44×10^7
0.03	1.3125	2.52×10^7

Tableau IV-1 : Variation de la longueur d'onde de résonance et facteur de qualité en fonction du rayon de tige centrale (r).

On remarque que la position de la longueur d'onde de résonance dépend de la valeur du rayon r , Par conséquent quand on fait varier le rayon du défaut, on peut atteindre n'importe quelle fréquence située dans la bande interdite photonique. On remarque aussi que lorsqu'on augmente la taille du rayon r les longueurs d'ondes de résonance se décalent vers les bases valeurs et le facteur de qualité maximal pour un rayon de tige centrale égal $0.05 \mu\text{m}$ (figure IV.3, 4)

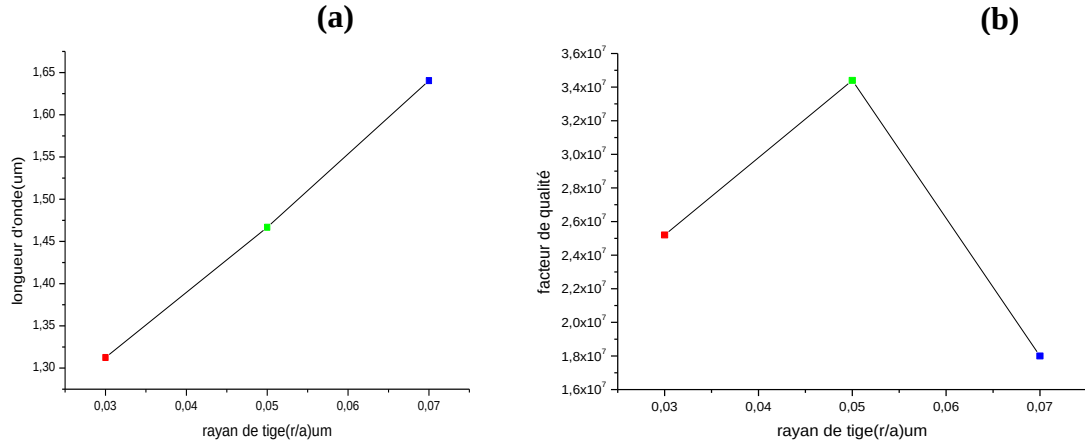


Figure IV.3 : (a) Variation de la longueur d'onde de résonance en fonction de la variation du rayon de la tige centrale , (b) variation du facteur de qualité en fonction du rayon r de la tige centrale .

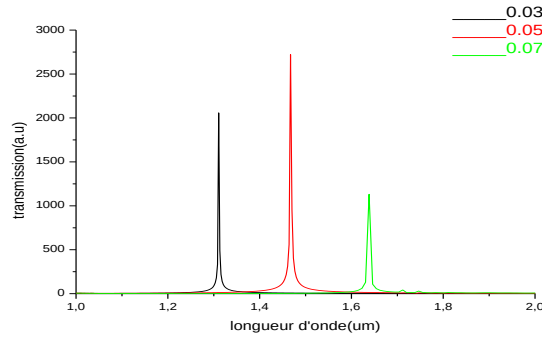
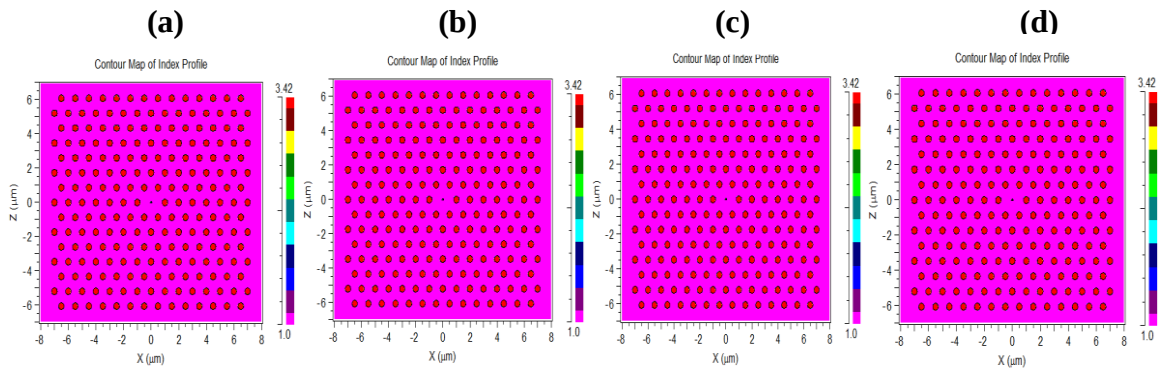


Figure IV.4 : Résonance d'une cavité H_1 pour un défaut de substitution pour des différentes valeurs du rayon r , de la tige qui se trouve au centre de la structure étudiée.

IV.4.2. Variation de l'indice de réfraction de la maille centrale :

On reprend la structure précédente et on fait varier l'indice de réfraction de la tige qui se trouve au centre de la structure (figure IV.5).



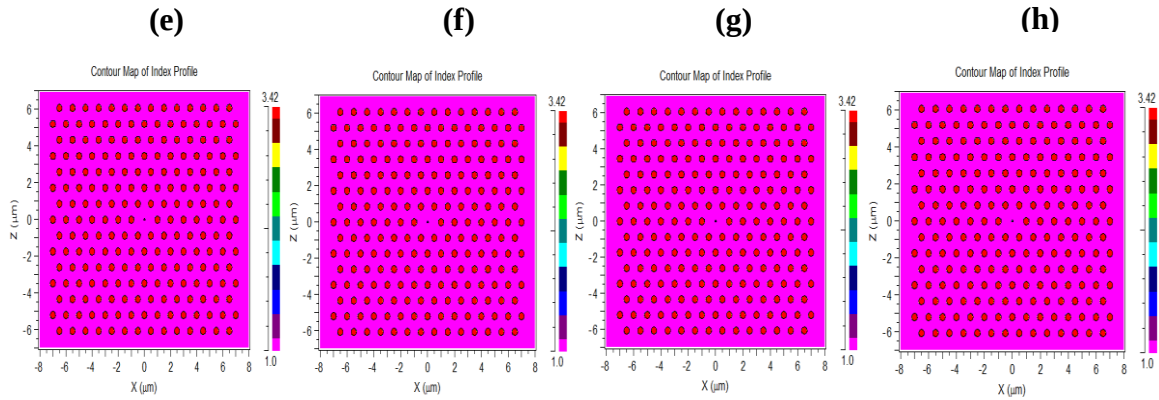


Figure IV-5: variation de l'indice de la tige centrale dans la structure étudiée : (a) $n=1.25$;

(b) $n=1.45$; (c) $n=1.65$ et (d) $n=1.85$; (e) $n=2.05$; (f) $n=2.25$; (g) $n=2.45$; (h) $n=2.65$.

Le tableau ci-dessous représente la variation de la longueur d'onde de résonance, et du facteur de qualité en fonction de l'indice de réfraction de la tige du centre.

Indice de réfraction de la tige centrale	Longueur d'onde de résonance en μm	Facteur de qualité (Q)
1.25	1.2428	1.24×10^7
1.45	1.2529	3.59×10^7
1.65	1.2644	4.19×10^8
1.85	1.2773	6.46×10^8
2.05	1.2929	1.08×10^8
2.25	1.3107	4.65×10^7
2.45	1.3316	1.98×10^7
2.65	1.3539	1.51×10^7

Tableau IV-2 : Variation de la longueur d'onde de résonance et le facteur de qualité en fonction de l'indice de réfraction de la tige centrale.

A partir du tableau on remarque que la position de la longueur d'onde de résonance dépend de l'indice de réfraction de la tige du centre. Ce qui implique que quand on fait varier l'indice de réfraction du défaut, on peut atteindre n'importe quelle fréquence située dans la bande interdite photonique, on remarque aussi que le facteur de qualité dans cette étude suit une loi aléatoire les figures IV.6 et IV.7 permettent de bien illustrer les résultats obtenus.

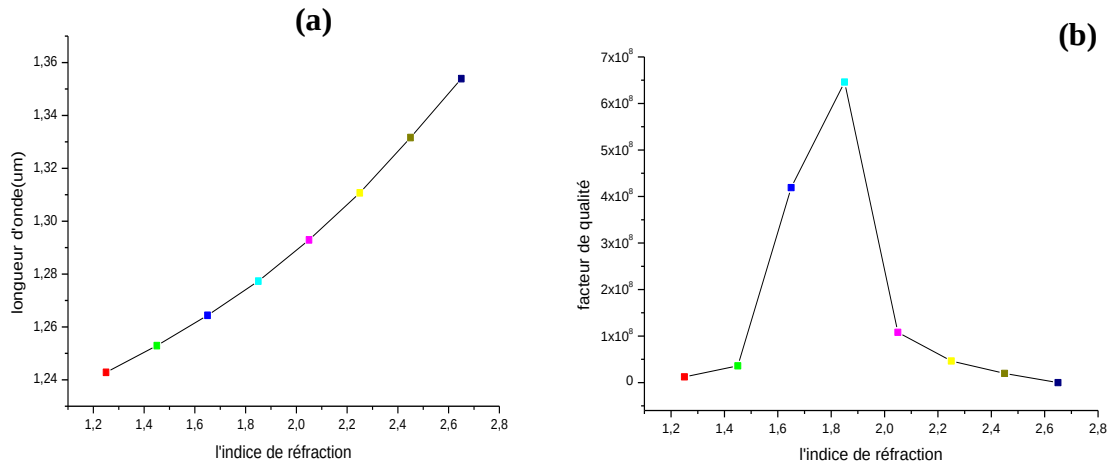


Figure IV-6 : (a) Variation de la longueur d'onde de résonance en fonction de l'indice de réfraction de la tige centrale, (b) variation du facteur de qualité en fonction de l'indice de réfraction de la tige centrale.

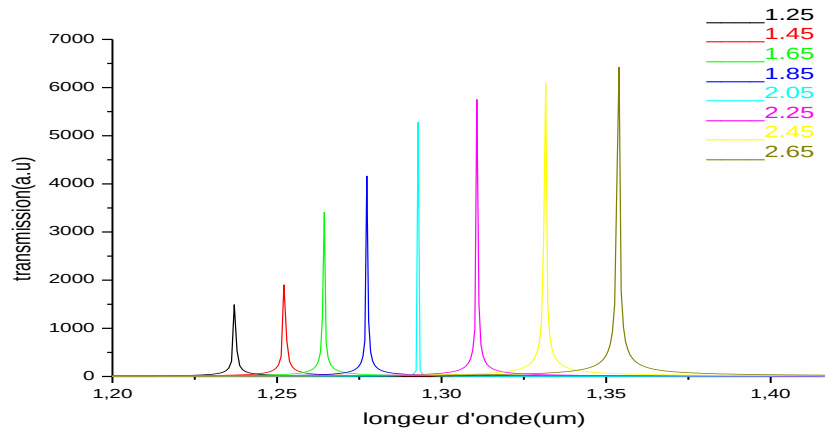


Figure IV.7: Résonance d'une cavité H1 à défaut de substitution pour des différentes valeurs de l'indice réfraction.

L'intensité du champ de ce mode est représentée sur la figure IV-8

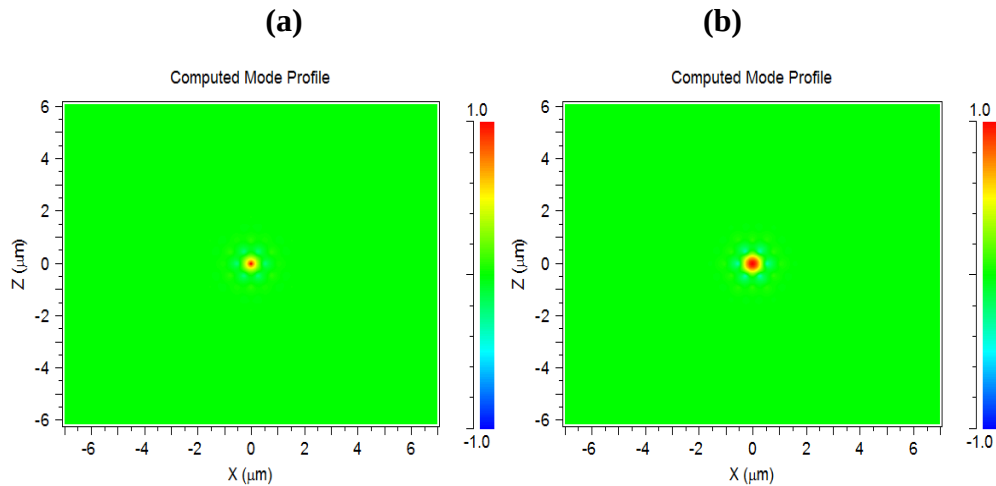


Figure IV-8: Intensité du champ dans la cavité pour (a) : $r=0.05$; (b) : $n=1.25$

IV.4. Etudes des guides à cristaux photoniques

La fonction de guidage repose naturellement sur l'idée d'introduction du défaut linéique, donc la périodicité du cristal photonique est rompue et une direction privilégiée de la lumière est imposée, c'est celle du guide.

Considérons notre structure à cristal photonique, dans laquelle on va créer un défaut linéique en omettant une rangée de tiges diélectriques, ce qui correspond à la création d'un guide W1. La structure du dispositif et sa transmission pour la gamme de fréquence associée à la BIP sont rapportées sur la figure IV-9.

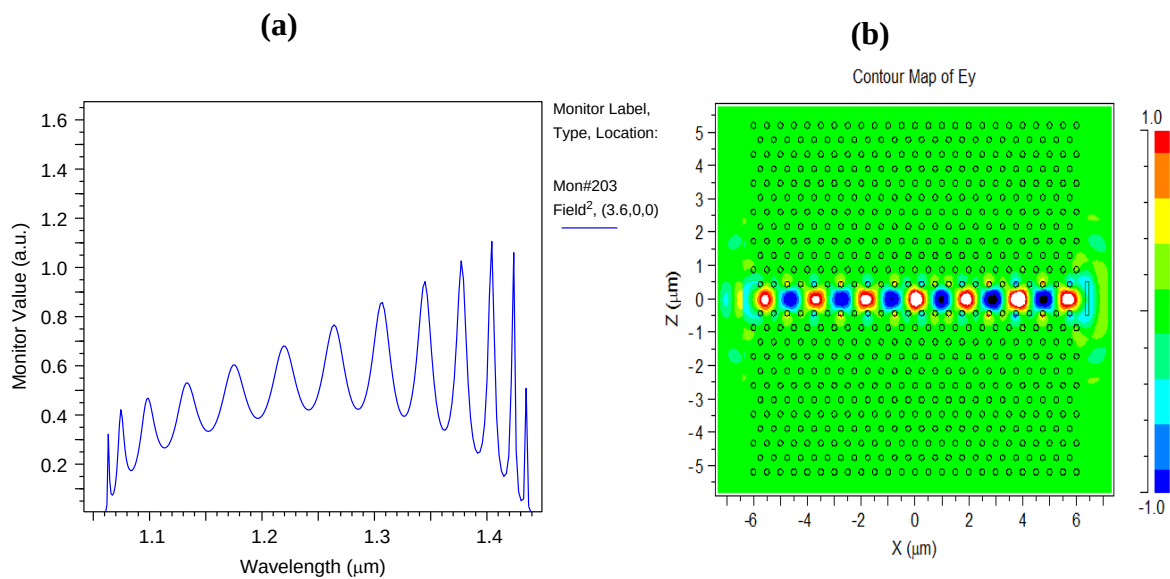


Figure IV.9 : (a) Structure d'un guide w1 et sa Transmission pour les fréquences associées a la BIP, (b) Propagation de la lumière à l'intérieur du guide.

IV.5. Etude d'un démultiplexeur à cristal photonique

Les démultiplexeur et les guides d'ondes sont à base de structure CP. Le guide d'ondes est formée en créant un défaut linéaire dans la structure du cristal photonique, la fonction de démultiplexages obtenue par le couplage entre le guide et la cavité, donc la propriété de résonance d'un démultiplexeur optique peut être modifiée en ajustant la taille ou l'indice du point de défaut.

Dans cette étude, la fréquence de résonance de la cavité optique est contrôlée par l'indice de réfraction du défaut ponctuel (la variation du n).

Notre étude est basée sur la sélection des huit longueurs d'ondes ; 1.2340 μm , 1.2348 μm , et 1.2522 μm , 1.2702 μm , 1.2856 μm , 1.2937 μm , 1.3269 μm , 1.3402 μm . Ces longueurs d'ondes sont obtenues pour les défauts substitutionnels de : rayon $r=0.05$, l'indice $n= 1.25, 1.45, 1.65, 1.85, 2.05, 2.25, 2.45, 2.65$.

Le premier démultiplexeur qui permet la sélection de la longueur d'onde de 1.2340 μm , 1.2702 μm est réalisé à partir de la cavité substitutionnelle, sa structure et sa résonance sont représentées sur la figure IV.10

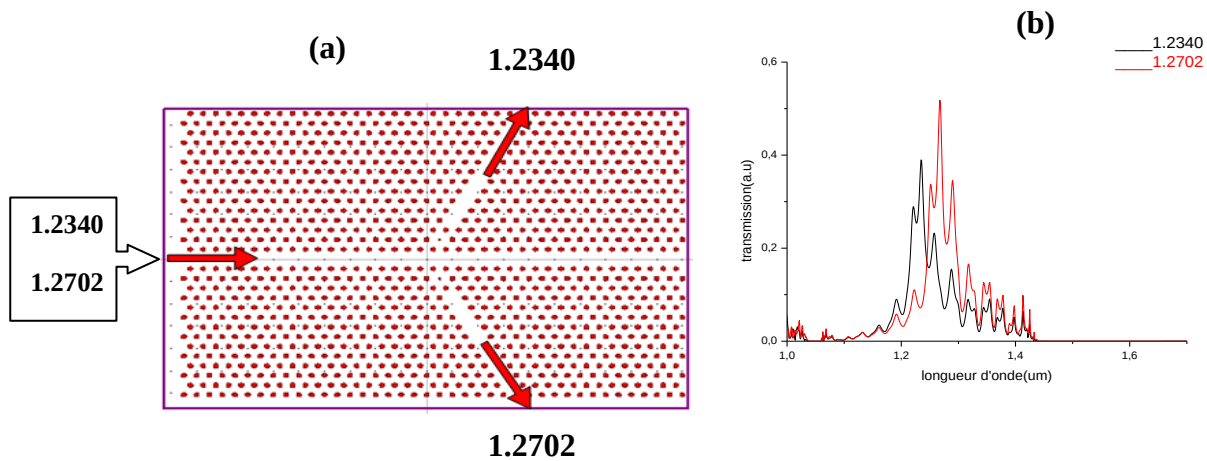


Figure IV.10 : (a) Structure d'un démultiplexeur a deux canal pour un défaut substitutionnel, (b) Spectre de transmission pour $\lambda_0 = 1.2340\mu\text{m}$ et $\lambda_0 = 1.2702\mu\text{m}$.

Le deuxième démultiplexeur qui permet la sélection de la longueur d'onde de 1.2348 μm , 1.2522 μm , 1.2340 μm , 1.2702 μm est présenté sur la figure IV.11

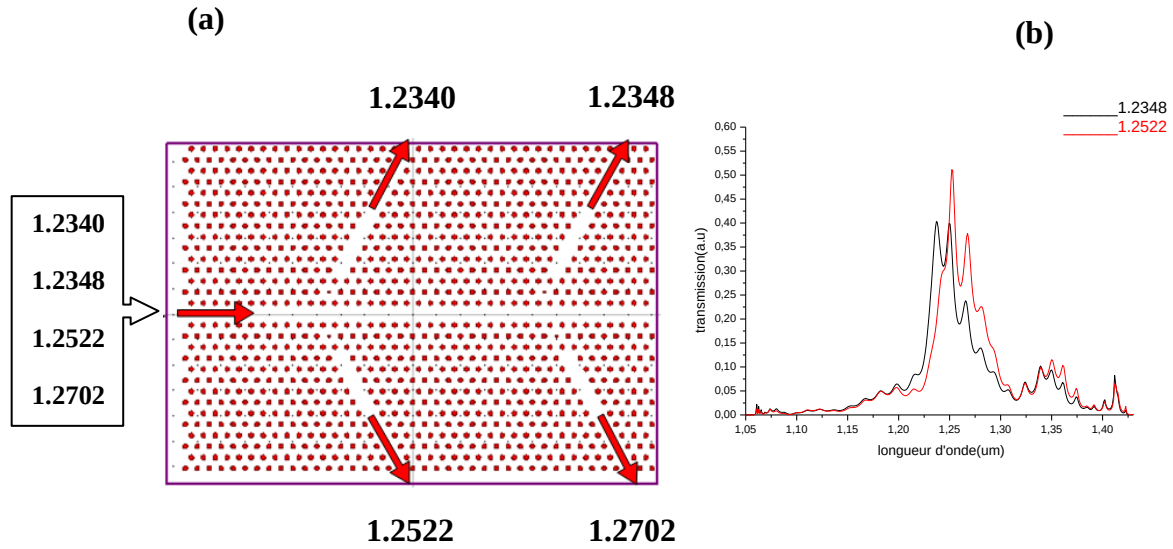


Figure IV.11 : (a) Structure d'un démultiplexeur a quatre canal pour un défaut substitutionnel, (b) Spectre de transmission pour $\lambda = 1.2348 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1.2522 \mu\text{m}$.

Le troisième démultiplexeur qui permet la sélection de la tout les huit longueur d'onde en présenté sur la figure IV.12.

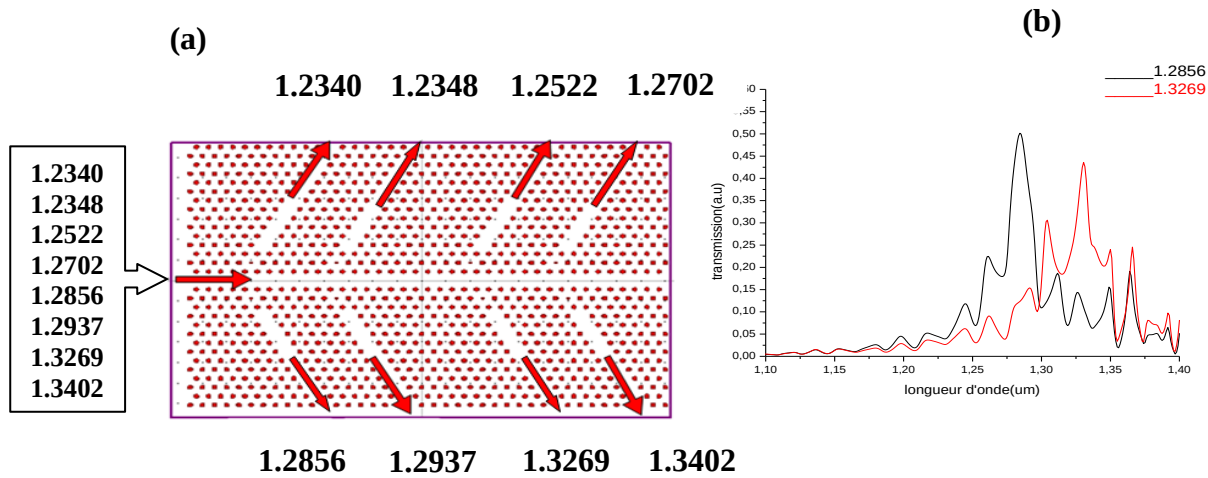


Figure IV.12 : (a) Structure d'un démultiplexeur a huit canal pour un défaut substitutionnel de, (b) Spectre de transmission pour $\lambda = 1.2856 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1.3269 \mu\text{m}$.

Le quatrième démultiplexeur qui permet la sélection de la quelques longueur d'onde en présenté sur la figure IV.13.

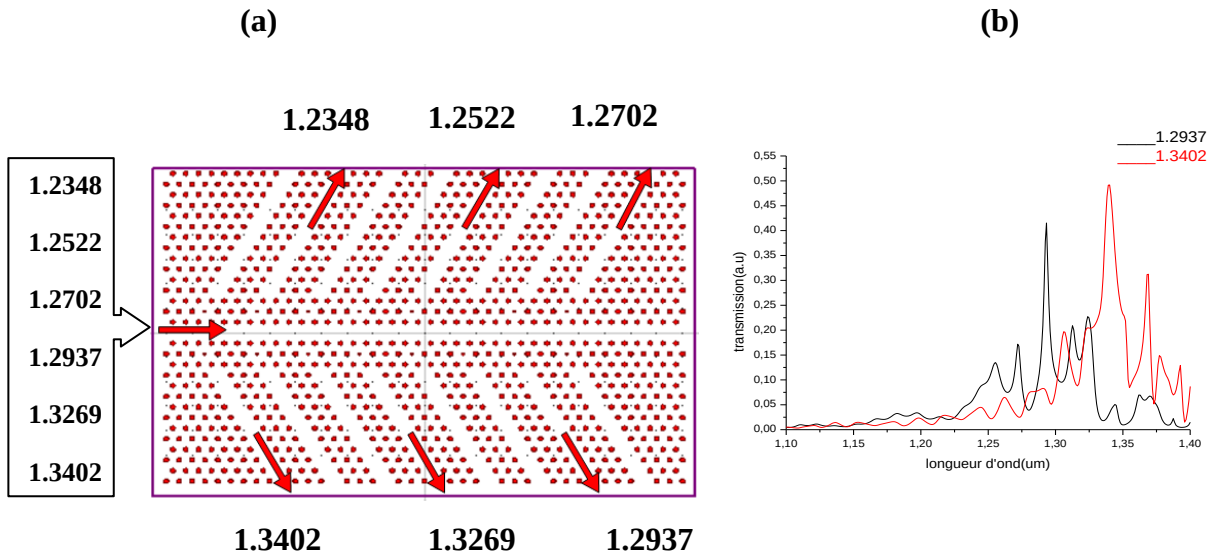


Figure IV.13 : (a) Structure d'un démultiplexeur à seize canaux pour un défaut substitutionnel de, (b) Spectre de transmission pour $\lambda = 1.2937 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1.3402 \mu\text{m}$.

La propagation de la lumière dans chaque démultiplexeur est représentée sur les figures suivant :

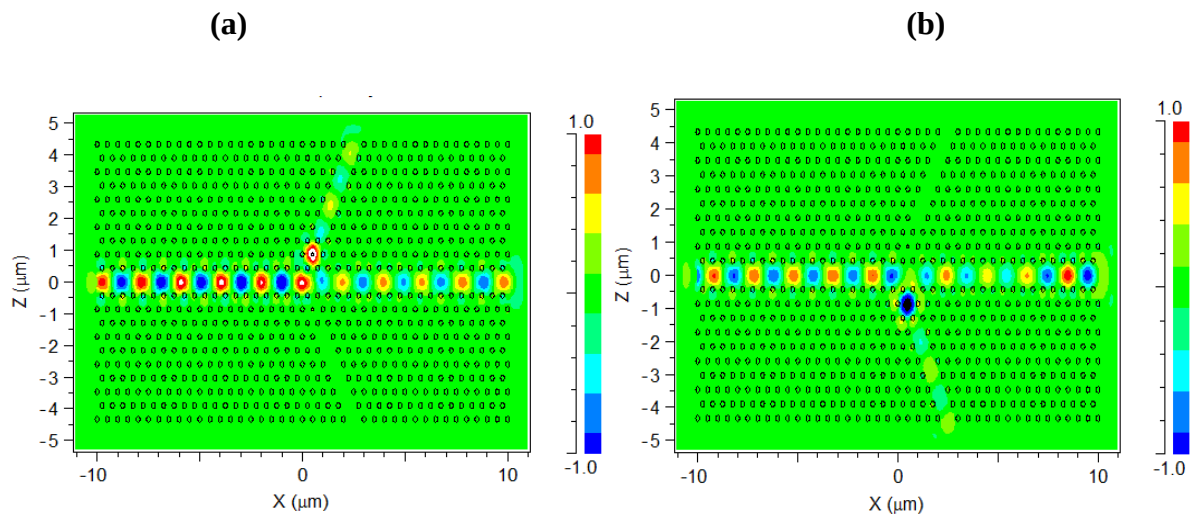


Figure IV-14: La propagation de la lumière dans un démultiplexeur à deux canaux pour: (a) $\lambda_0 = 1.2340 \mu\text{m}$; (b) $\lambda = 1.2702 \mu\text{m}$.

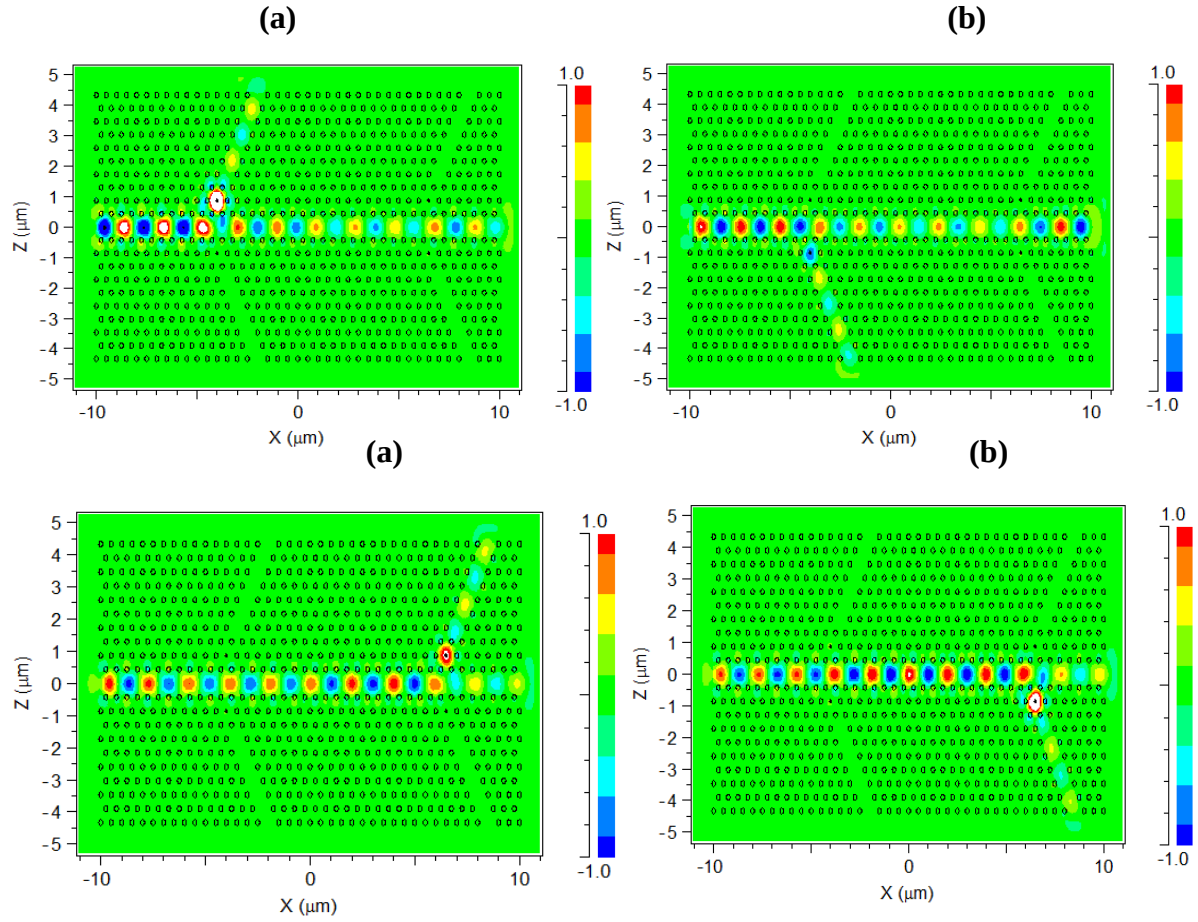
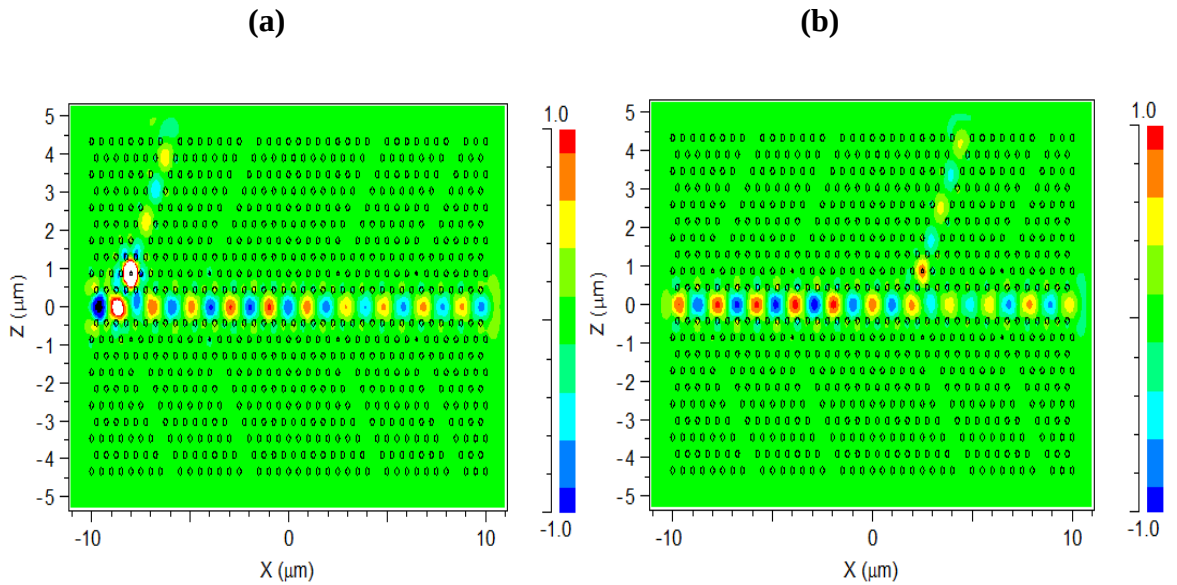


Figure IV-15: La propagation de la lumière dans un démultiplexeur a quatre canal pour : (a) $\lambda_0 = 1.2340 \mu\text{m}$, (b) $\lambda = 1.2348 \mu\text{m}$, (c) $\lambda = 1.2522 \mu\text{m}$, (d) $\lambda = 1.2702 \mu\text{m}$



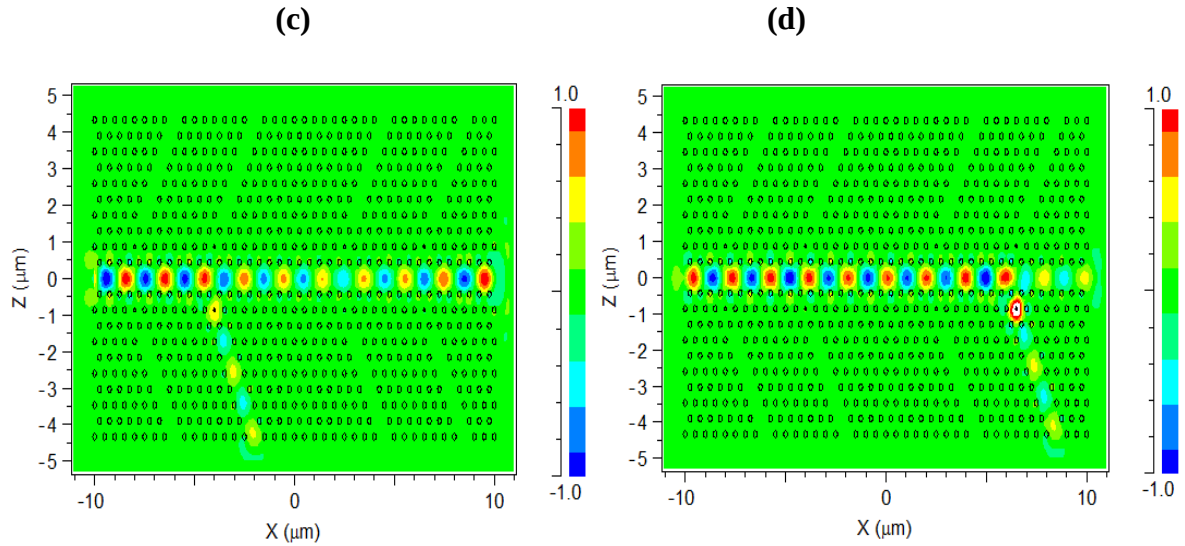


Figure IV-16: La propagation de la lumière dans un démultiplexeur a huit canal pour: (a) $\lambda_0 = 1.2340 \mu\text{m}$, (b) $\lambda = 1.2522 \mu\text{m}$ (c) $\lambda_0 = 1.2856 \mu\text{m}$, (d) $\lambda = 1.3269 \mu\text{m}$.

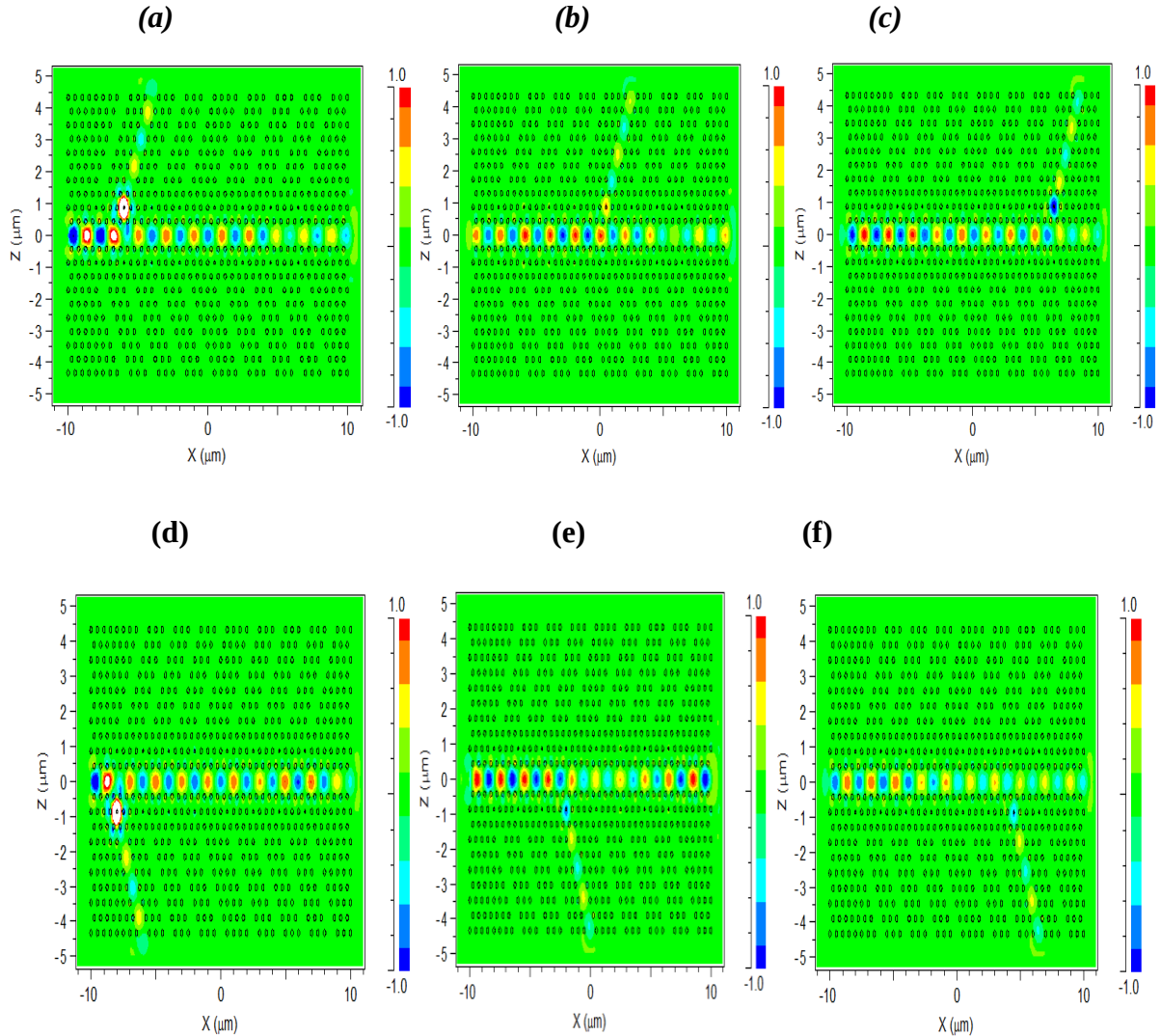


Figure IV-17: La propagation de la lumière dans un démultiplexeur a seize canal pour: (a) $\lambda_0 = 1.2340 \mu\text{m}$, (b) $\lambda = 1.2522 \mu\text{m}$, (c) $\lambda_0 = 1.2856 \mu\text{m}$, (d) $\lambda = 1.3269 \mu\text{m}$ (e) $\lambda_0 = 1.2702 \mu\text{m}$, (f) $\lambda = 1.3402 \mu\text{m}$.

Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude numérique des cavités à cristaux photoniques, formés des tiges diélectriques plongés dans l'air, le but d'augmenter les facteurs de qualité tout en conservant un volume modal le plus faible possible. Ces cavités sont basées sur un travail d'ingénierie de modes qui consiste à utiliser des défauts: en modifiant la taille de tige centrale et en change l'indice de réfraction .

Cette étude a été poursuivie par l'étude de la cavité H_1 à réseau triangulaire un défaut de substitution dans un cristal photonique bidimensionnel. Nous avons expliqué l'influence du défaut substitutionnel sur cette cavité, et nous avons montré qu'on peut atteindre n'importe quelle fréquence de résonance en ajustant ce défaut. Par la suite nous avons étudié la transmission du guide w_1 et nous avons confirmé l'existence de toutes les fréquences appartenant à la BIP. Dans a suit Nous avons étudié de démultiplexeur à cristaux photoniques bidimensionnels et améliorer le confinement et le guidage de la lumière dans ce composant.