

Université Abou Bekr Belkaid

Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS



Mémoire pour l'obtention du diplôme de

Master en Télécommunications

Option : Photonique et Réseaux Optiques de Télécommunications (PROTONS)

Thème

L'approximation analytique et l'analyse de différentes propriétés des fibres cristaux photoniques

Présenté par :

MAHROUG Maghnia KIDARI Asma

Soutenu le 25 Mai 2016 devant le jury composé de :

Président :	Mr Meriah.M	Professeur	Université de Tlemcen
Examineur :	Mr Bouregaa. M	Maître A.B	Université de Mascara
Encadreur :	Mr Debbal.M	Maître A.B	CU Ain Temouchent
Co-Encadreur :	Mr Chikh bled.M	Professeur	Université de Tlemcen

Année Universitaire 2015-2016

Remerciements

Une tâche bien difficile m'incombe ici afin de remercier en seulement quelques lignes et surtout comme il se doit toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à

L'aboutissement de ce travail de mémoire.

On tient à remercier très vivement notre Encadreur Mr. Debbal

Mohammed Maître-assistant au centre de Ain Témouchent

On tient à exprimer notre gratitude à notre Co-Encadreur Mr Chikh

Bled Mohammed professeur à l'université de technologie

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mes professeurs à la faculté des Sciences et

de la technologie Abou Bekr Belkaïd

Nos plus sincères remerciements vont également au Président Mr

Meriah et monsieur le membre du jury Mr Bourgaà d'avoir accepté

d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et les enseignants qui ont contribué à notre formation dès le début nous

avons jusqu'à la fin du cycle scolaire. Ne pas oublier, bien sûr,

profonds remerciements à tous ceux qui ont contribué de quelque

façon pour nous aider dans ce travail.

Aussi, nos parents et nos familles qui nous sont chères. Ou pas, trouvez

ici pour exprimer mes sincères remerciements et profonde

reconnaissance pour leurs sacrifices et de l'assistance, le soutien et

l'encouragement de l'éducation au mieux. Enfin, je tiens à exprimer

ma gratitude à ceux qui sont les premières personnes à remercier

Dieu.

Dédicace

Avec l'aide de dieu clément, on a pu réaliser ce modeste mémoire qui est le fruit d'un long et dur travail

Je commence mes dédicaces les plus personnels à mes parents.

A mon très cher père qui m'encourage avec soutien moral, qui a été mon ombre durant toutes les années des études et qui mérite tout mon respect.

A ma mère la prunelle de mes yeux et la joie de ma vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite...

Grand Merci à eux.

Je dédie ce travail avec grande joie et cœur ouvert à les meilleurs sœurs Chafia, Samia et Fatima qu'elles ont été toujours disponible à chaque fois que je sollicite leurs aide et leurs conseils. .

A mon frère Ali et ma belle-sœur Zahra, A mes beaux-frères Amine, Ali et Abdelwaheb.

A mes neveux et mes nièces que Dieu les garde et les protège.

A ma cousine Nawel et à toute ma grande famille.

A celui qui espère le plein succès et le bonheur de ma vie Abdelali

Je dédie également ce mémoire à mes amis les plus sincères Amina, Imane, Aida, Soumia, Asma, Ghania, Siham, Youness, Abdou, Younes. D..

A toute ma promo PROTON M2

Je ne remercie jamais assez pour sa collaboration à un moment ou un autre, Sa bonne humeur et sa sympathie, Ghefir Mohammed ElAmine.

A tout mes enseignants de la faculté des sciences et ingénieurs

A tout qui m'aime et a tout que j'aime je dédie ce travail.

A mon Binôme Asma

MAhroug .M

Dédicace

A mes très chers parents

En témoignage et en gratitude de leur dévouement et leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon éducation et mon instruction pour me voir réussir un jour ...

Que Dieu les garde...

A mes chers frères

O.ABDALAH IBRAHIM A. MOUSTAFA

En leurs souhaitant la réussite dans

Leurs études et dans leurs vies

A toute la grande famille

A mes chères amies

Mounia, Amina, Nabia, Soumia, Imene

Je tiens à remercier spécialement Mr Ghefir Mohammed ElAmine

A toute la promotion de PROTONS

A mes enseignants.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

A .Kidari

Table des matières



Remerciement	1
Dédicace	2
Table des matières	4
Table des figures.....	10
Table des tableaux	11
Introduction Général.....	13
Chapitre I Généralités sur la fibre cristaux photonique	
I. Introduction	17
II. Les types de fibre optique	17
II.1 Les fibres multimodes	18
II.2 Les fibres monomodes.....	18
III. Principe de guidage.....	19
IV. Les propriétés d'une fibre optique	20
IV.1 L'atténuation	20
IV.2 La dispersion dans les fibres optiques	20
IV.2.1 La dispersion modale de polarisation	21
IV.2.2 La dispersion intermodale	21
IV.2.3 La dispersion chromatique	22
V. Fabrication des fibres optiques	24
V.1 Méthode M.C.V.D	24
V.2 Etirage de la préforme	25
VI. Domaine d'application des fibres optiques	27
VI.1 Les télécommunications	27
VI.2 La médecine	27
VI.3 Les capteurs (température, pression, etc)	29
VI.4 L'éclairage	29
VII. Conclusion	30

Chapitre II La fibre à cristaux photonique

I. Introduction	32
II. La nouvelle fibre cristaux photonique.....	32
III. Propriétés de base des cristaux photoniques	33
IV. Type des fibres cristaux photoniques	34
IV.1Bande Interdite Photonique(BIP)	34
IV.2Réflexion totale interne modifiée (RTIM)	35
V. Guidage dans PCF	36
V.1Guidage par effet BIP	36
V.2Guidage par RTIM	37
VI. Propriétés dans les fibres cristaux photoniques	38
VI.1L'indice effectif	38
VI.2La fréquence normalisée.....	40
VI.3Atténuation	41
VI.3.1Pertes par courbure	41
VI.4Dispersion chromatique	43
VII. Les avantages et les inconvénients des fibres à cristaux photonique	44
VII.1Les avantage	44
VII.2Les inconvénients	45
VIII. Fabrication des PCF	46
IX. Applications.....	49
IX.1Amplification de signal tout-optique	49
IX.2Commutation tout-optique	49
IX.3Conversion de longueur d'onde tout optique	50
IX.4Régénération tout-optique des signaux	50
IX.5Démultiplexage tout-optique	51
X. Conclusion	52

Chapitre III Modélisation des fibres cristaux photonique

I. Introduction	54
II. Mise en œuvre	54
III. Approximation analytique	54
III.1 Le paramètre V	54
III.2 Le paramètre W	59
III.3 L'indice N_{fsm}	63
III.4 L'indice N_{eff}	68
IV. Présentation d'une interface graphique	72
IV.1 Modélisation du paramètre V	72
IV.2 Modélisation du paramètre W	73
IV.3 Modélisation Paramètre N_{eff}	71
IV.4 Modélisation Paramètre N_{fsm}	75
V. Conclusion	78
Conclusion Général	80
Bibliographies & Références	82



Chapitre I :

Figure I.1: Fibre optique (monomode/multimode).....	17
Figure I.2 : Atténuation de la fibre en fonction de la longueur d'onde (dB/nm).....	19
Figure I.3 : Principe de propagation dans une fibre optique.	20
Figure I.4 : Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique	21
Figure I.5 : La dispersion chromatique de la fibre standard	23
Figure I.6: Fabrication de préforme par le procédé MCVD. a) dépôt. b) rétreint.	25
Figure I.7: Schéma synoptique d'une tour de fibrage	26
Figure I.8 : Tour de fibrage de l'université CNRS présente dans les laboratoires de l'équipe d'optique guidée et intégrée de l'I.R.C.O.M : a) préforme et four à induction ; b) poste de contrôle et système de la fibre.	26
Figure I.9 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.	27
Figure I.10 : Un endoscope.	28
Figure I.11 : utilisation de la fibre optique dans la chirurgie	28
Figure I.12 : Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins	29
Chapitre II	
Figure II.1 : Réalisation d'une fibre microstructurée (a) assemblage macroscopique ; (b) fibre de 125 µm de diamètre typiquement, étirée à partir de la préforme (a).	33
Figure II.2 : Schéma de sections transverses d'une FMAS BIP à arrangement triangulaire ...	35
Figure II.3 : schéma descriptif d'une PCF RTI à arrangement triangulaire.....	36
Figure II.4 : Guidage par effet BIP, $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air).	37
Figure II.5 : Guidage par RTIM, $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air) (bleu=silice, noir=air)	38
Figure II.6 : Défauts ponctuels : a) Modification de la permittivité d'une tige (il vaut mieux faire la tige centrale en rouge) ; b) Absence de la tige centrale	45
Figure II.7 : Section transverse de la préforme au cours de sa réalisation, exemple d'une fibre standard ayant un cœur dopé au germanium	46
Figure II.8 : Section transverse de la préforme d'une PCF. (a) Schéma. (b) Photographie.....	47
Figure II.9 : Section transverse de la préforme d'une PCF. (a) Schéma. (b) Photographie.	47
Figure II.10 : Sections transverses : (a) d'une préforme de FMAS, (b) des PCF résultant de l'étirage de cette préforme à 4 températures différentes ($T_1 < T_2 < T_3 < T_4$).	48

Chapitre III

Figure III.1 :V en fonction de la longueur relative λ / Λ pour d/Λ de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05.....	55
Figure III.2 :V en fonction de d / Λ pour la longueur relative λ / Λ varie de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2.....	56
Figure III.3 :V en fonction de la longueur d'onde λ avec Λ variant 1,2, 3.....	57
Figure III.4 :V en fonction de pitch Λ avec λ variant.....	58
Figure III.5 :W en fonction de la longueur relative λ/Λ ,Pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05.....	60
Figure III.6 : W en fonction de d/Λ pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2.....	60
Figure III.7 : W en fonction de la longueur d'onde λ avec Λ variant, Figure (7- a) : $\Lambda=1$, Figure (7- b): $\Lambda=2$, Figure (7- c) : $\Lambda=3$	61
Figure III.8 : W en fonction de pitch Λ avec λ variant, Figure (8- a) : $\lambda =0.8$. Figure (8- b) : $\lambda =1.25$. Figure (8- c) : $\lambda =1.45$.Figure (8- d) : $\lambda =1.55$	62
Figure III 9 : N_{fsm} en fonction de la longueur relative λ/Λ Pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05.....	64
Figure III 10: N_{fsm} en fonction de d/Λ pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2.....	65
Figure III. 11 : N_{fsm} en fonction de la longueur d onde λ avec Λ variant Figure (11- a) : $\Lambda=1$, Figure (11- b): $\Lambda=2$, Figure (11- c) : $\Lambda=3$	66
Figure III.12 : N_{fsm} en fonction de pitch Λ avec λ variant Figure (12- a) : $\lambda =0.8$. Figure (12- b): $\lambda =1.25$. Figure (12- c) : $\lambda =1.45$.Figure (12- d) : $\lambda =1.55$	67
Figure III.13 : N_{eff} en fonction de la longueur relative λ/Λ pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05.....	68
Figure III. 14 : N_{eff} en fonction de d/Λ Pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2.....	69
Figure III.15 : N_{eff} en fonction de la longueur d onde λ avec Λ variant Figure (14 a) : $\Lambda=1$, Figure (14- b) : $\Lambda=2$, Figure (14- c) : $\Lambda=3$	70
Figure III. 16 : N_{eff} en fonction de pitch Λ avec λ variant Figure (15- a) : $\lambda =0.8$. Figure (15- b) : $\lambda =1.25$. Figure (15- c) : $\lambda =1.45$.Figure (15- d) : $\lambda =1.55$	71
Figure III.17 : Page d'accueil de notre interface	72
Figure III.18 Modélisation de paramètre V.....	73
Figure III.19 Modélisation Paramètre W	74
Figure III.20 Modélisation de l'indice N_{eff}	75
Figure III.21 Modélisation de l'indice N_{fsm}	76
Figure III.21 Résultat de l'interface	77

Table des tableaux

Tableau III.1 : Coefficients utilisés par [42] pour le calcul De la fréquence normalisée par la méthode analytique	55
Tableau III.2 Coefficients de l'équation empirique du paramètre W [42].....	59

Introduction Général

Les fibres optiques représentent le moyen le plus simple de transporter la lumière (photons) entre deux lieux distincts. Elles sont de ce point de vue analogue au télégraphe électrique par câble coaxial qui autorise le transport d'électrons sur de grandes distances. Elles sont constituée d'un cœur (équivalent au cuivre du câble coaxial), ou est principalement confinée la lumière, et d'une gaine optique (équivalente à la gaine isolante). Les applications les plus connus des fibres optiques aujourd'hui sont les télécommunications qui autorisent des transmissions d'informations à très grandes distances et à des débits très nettement supérieurs à ceux du câble électrique. De plus les fibres offrent l'avantage d'être insensible aux perturbations électromagnétiques. Elles sont également employées dans le domaine médical pour envoyer de la lumière (opérations par laser...) et/ou la recevoir (détection de marqueurs fluorescents, endoscopie...). Elles trouvent aussi des applications en tant que divers capteurs (tensions, température, gyroscope etc...).

De nos jours, la fibre optique en silice est devenue le support physique de communication privilégié pour les transmissions d'informations à longues distances et à hauts débits. Pour répondre aux besoins de débits toujours plus élevés, la capacité des systèmes de transmission optique peut être multipliée par l'emploi simultané de plusieurs canaux centrés sur des longueurs d'onde différentes (WDM), situées dans la plupart des cas dans la troisième fenêtre de transmission de la silice, autour de $1,55 \mu\text{m}$.

L'augmentation du débit d'une ligne de transmission optique peut se réaliser par deux moyens. Soit en augmentant le débit par canal ce qui oblige à raccourcir la durée d'un bit de signal et tend à augmenter la largeur spectrale occupée par le signal. Soit en mettant en jeu un plus grand nombre de canaux, mais comme la fenêtre de transmission est limitée par la remontée des pertes linéiques de part et d'autre, il faut densifier les canaux dans cette fenêtre (DWDM), ce qui impose une limitation de la largeur spectrale attribuée à chaque canal pour éviter toute diaphonie.

Les effets contradictoires des deux solutions proposées montrent que le débit total accessible dans une fenêtre donnée est limité. Atteindre ce débit maximal ne serait théoriquement possible que dans une liaison parfaite où le signal ne subirait aucun élargissement, ni dans le domaine temporel, ni dans le domaine spectral[1]. Dans une fibre, le premier phénomène néfaste limitant les débits de transmission est la dispersion chromatique qui traduit le fait que la vitesse de l'énergie (vitesse de groupe) dans le guide est une fonction de la longueur d'onde. Elle est due à la nature dispersive de la

silice (dispersion du matériau) d'une part, et au fait que l'onde lumineuse doit obéir à certaines conditions aux limites du cœur de la fibre pour être guidée d'autre part.

Pour pouvoir augmenter les débits de transmission il est nécessaire de concevoir des fibres dont les caractéristiques de propagation répondent à des exigences de plus en plus strictes. Les possibilités offertes par les fibres silice étirées à partir de préformes obtenues par les méthodes courantes (MCVD...) ont été très largement exploitées depuis de nombreuses années et leurs limitations ont été identifiées. Pour élargir l'éventail de performances accessibles, il faut s'intéresser aux potentialités de fibres non conventionnelles. Dans ce contexte, les fibres microstructurées air/silice (FMAS), constituées d'un arrangement de canaux d'air de section micronique parallèles à la direction de propagation dans une matrice de silice pure, apparaissent particulièrement attrayantes. En effet, il a été très rapidement démontré que le profil d'indice très particulier de ces fibres proposées pour la première fois en 1996 par l'équipe de P. Russell (alors à l'Université de Southampton)[2] leur confère des caractéristiques de propagation tout à fait originales. Les principes de guidage sur lesquels elles reposent sont soit le guidage par effet de résonance transverse pour celles présentant une structure périodique de trous convenable (fibres « à cristaux photoniques ») soit simplement le guidage par réflexion totale interne. Parmi les propriétés nouvelles de ces fibres, la première qui a été observée est la propagation monomode du signal sur une bande spectrale exceptionnellement large. La technologie de fabrication permet enfin d'envisager l'étirage de fibres à maintien de polarisation à bas coût. Toutes ces caractéristiques ont très vite suscité un très grand intérêt dans la communauté scientifique.

Notre mémoire « L'approximation analytique et l'analyse des différents propriétés des fibres cristaux photonique PCF » est divisée en trois chapitres. La première partie a pour but de donner une généralité sur la fibre optique classique qui contient les types des fibres optiques et ces propriétés ainsi que la fabrication et leurs domaines d'application.

La deuxième partie est consacré à définir et donner les propriétés de ces fibres à cristal photonique « PCF », en présentant les deux grands principes de guidage. Un confinement par réflexion totale interne dit modifié (noté RTIM) et un guidage par bande interdite photoniques (noté BIP) d'un milieu hétérogène périodique infini. Ces notions souvent exploitée par la suite pour expliciter les propriétés des FMAS. Par la suite nous avons

présenté la méthode de fabrication des PCF et les domaines d'application en précisant les avantages et les inconvénients de ces fibres considérées.

Dans la troisième et la dernière partie nous nous intéressons à une modélisation des PCF, dans le but d'étudier les différents indices de propagation, par une méthode analytique en basant sur des équations empiriques. Et nous présentons notre interface graphique que nous avons développée dans le but de nous aider à calculer les différents indices de propagation.

Chapitre I

I- Introduction

Une fibre optique est un conducteur optique transmettant des informations lumineuses, son utilisation prend de l'ampleur de jour en jour, car elle permet des débits de plusieurs Gbits/s sur de très longues distances. Elle est particulièrement adaptée à l'interconnexion des réseaux. En plus de ses capacités de transmission, ses grands avantages sont son immunité aux interférences électromagnétiques et sa plus grande difficulté d'écoute (sécurisation) contrairement aux supports électriques. Ce qui la rend attrayante dans les contextes où la confidentialité est requise. [3]

D'un point de vue technologique, une fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine en silice de quelques micromètres (μm), recouverte d'un isolant.

La fibre optique est certainement l'une des plus remarquables technologies de communication du siècle dernier, et toute porte à croire qu'elle le sera encore au cours de ce siècle. Avec toujours plus d'applications large bande telles que les applications multimédia, les réseaux de télécommunication sont de plus en plus sollicités. Face à cette évolution, seules les solutions optiques permettront d'atteindre des capacités qui se mesurent en milliards de bits d'information par seconde (Gbit/s).

II- Les types de fibre optique

Les **fibres optiques** peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les **fibres monomodes** et **multimodes**.

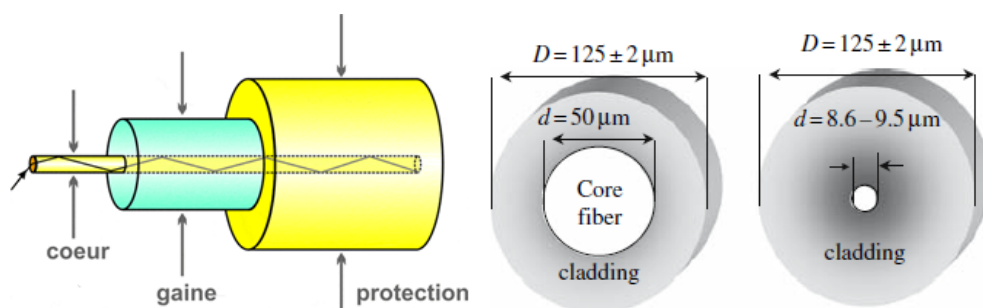


Figure I.1 : Fibre optique (monomode/multimode)

II-1 Les fibres multimodes

Les fibres multimodes (dites MMF, pour Multi Mode Fiber), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristiques de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances. La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5 μm pour le bas débit). Cependant les fibres les plus récentes, de type OM3, permettent d'atteindre le Gbit/s sur des distances de l'ordre du km. Les longues distances ne peuvent être couvertes que par des fibres optiques monomodes. [4]

II-2 Les fibres monomodes

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour Single Mode Fiber), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin). Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de 9 μm pour le haut débit).

Les bandes de transmission sont classées aujourd'hui par l'UIT-T (Union internationale des télécommunications selon la terminologie suivante :

- Bande O : de 1260 à 1360 nm (original)
- Bande E : de 1360 à 1460 nm (extended) – position du « pic d'eau »
- Bande S : de 1460 à 1530 nm (short wavelength)
- Bande C : de 1530 à 1565 nm (conventional)
- Bande L : de 1565 à 1625 nm (long)
- Bande U : de 1625 à 1675 nm (ultra long wavelength)

Les fibres G.652 (fibres unimodales) sont classées à leur tour en trois catégories (A, B et C). La G.652A est la fibre classique qui permet le transport de débit à 2,5 Gbit/s dans les bandes O, C et S. La fibre G.652B permet des canaux en DWDM (Dense Wavelength

Division Multiplexing) à 10 Gbit/s dans les bandes O, C, L et S. Les autres fibres sont peu utilisées. La G.653 (fibre à dispersion décalée) est employée au Japon et en Italie pour les transmissions dans la bande C. La G.654, à cause de son faible affaiblissement linéique, est réservée aux liaisons sous-marines pour 1300 et 1550 nm. Les fibres G.655 (fibre à dispersion décalée non nulle-NZ DSF) sont dédiées au 40 Gbit/s ou N fois 40 Gbit/s en DWDM (la G.655A avec un espacement inter canal de 200 MHz – la G.655B avec un espacement inter canal de 100 MHz et avec une limitation de 400 km – et la G.655C, en 100 MHz mais pour les liaisons supérieures à 400 km). La fibre G.656 utilise le multiplexage en longueur d'onde dans les bandes S, C et L. [4]

La fibre optique idéale devrait permettre le plus grand nombre de canaux possibles à haut débit sans dégradation, elle devrait permettre le maximum de portée. Enfin, elle devrait répondre, pour le prix minimum, aux exigences du réseau de transport, à celles du cœur de réseau et du réseau d'accès.

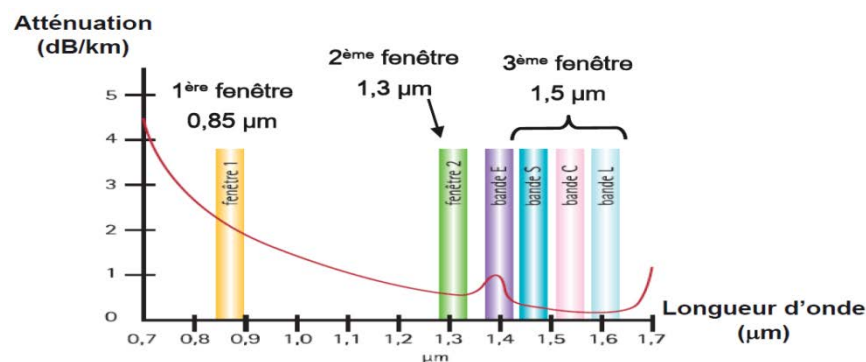


Figure I.2 : Atténuation de la fibre en fonction de la longueur d'onde (dB/km) [4]

Le dernier record en date, pour la capacité de transmissions de données sur fibre optique, a consisté à mettre sur la même fibre 140 canaux à 111 Gbit/s, soit 14 Tbit/s, multiplexés en longueur d'onde (WDM, Wavelength Division Multiplexing en anglais) sur une distance de 160 km. A titre d'exemple, NTT (NTT est l'opérateur de télécommunications leader du marché japonais) vise la mise en place d'une épine dorsale de réseau optique comprenant des canaux au débit de 100 Gbit/s, au lieu de 10 à 40 Gbit/s par longueur d'onde.

III- Principe de guidage

Le guidage de la lumière dans une fibre optique repose sur le principe de la réflexion totale à l'interface entre le cœur et la gaine optique où les indices de réfraction sont différents. [2]

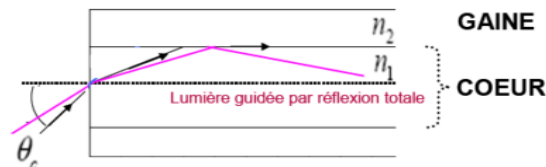


Figure I.3 : Principe de propagation dans une fibre optique.

La loi de Snell Descartes permet de relier l'angle de la lumière incident à l'angle réfracté en fonction des indices des milieux :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (I.1)$$

Pour $n_1 > n_2$, il existe un angle d'incidence θ_c , appelé angle critique, pour lequel la lumière n'est pas transmise et au-delà duquel elle est totalement réfléchi, c'est bien entendu la réflexion totale.

IV- Les propriétés d'une fibre optique

IV-1L'atténuation :

L'atténuation est proportionnelle à la distance. C'est une perte, ou atténuation se traduit en fibre optique par la perte d'énergie lumineuse dans la fibre. Elle est mesurée en dB/Km. Les longues portées utilisées avec les fibres optiques influent directement sur le signal lumineux, mais ce n'est pas la seule cause d'atténuation qui existe. [5]

IV-2 La dispersion dans les fibres optiques

Lorsqu'une impulsion se propage en régime linéaire dans une fibre optique, elle subit un phénomène de dispersion qui se traduit par un étalement temporel de celle-ci

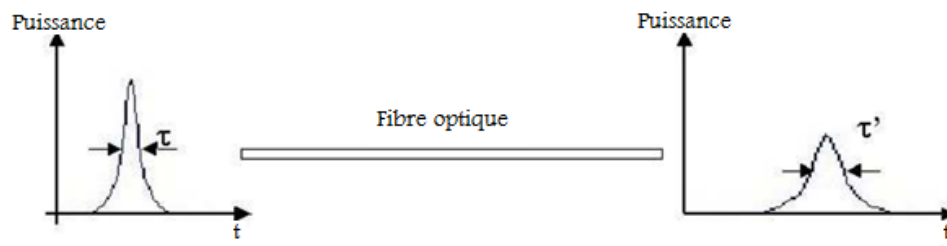


Figure I .4. Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique

Plusieurs types de dispersion existent, contribuant tous à l'étalement de l'impulsion au cours de sa propagation dans le guide, les effets de dispersion (se cumulent avec la distance).

- ✓ dispersion modale de polarisation (PMD).
- ✓ dispersion intermodale (dans le cas des fibres multimodes).
- ✓ dispersion chromatique (ou dispersion intermodale).

IV-2.1 la dispersion modale de polarisation

Le mode fondamental d'une fibre optique monomode(LP01) est une combinaison de deux modes électromagnétiques notés LPx01 et LPy01qui ne se propagent pas à la même vitesse dans la fibre si celle-ci présente une biréfringence parasite, de forme ou de contrainte. Cette variation de vitesse provoque un déphasage entre les deux composantes du mode fondamental et par conséquent, introduit un phénomène de dispersion ; la dispersion de polarisation.

IV-2.2 la dispersion intermodale

Elle n'est présente que dans les fibres multimodes car il s'agit d'une dispersion liée au fait que les modes de la structure ne se propagent pas à la même vitesse.

La cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres optiques multimodes est la dispersion intermodale. Cet élargissement est provoqué par les différences des temps de parcours des rayons (ou des modes). La dispersion intermodale « D_i » est l'élargissement temporel maximum « τ » d'une impulsion par unité de longueur de fibre. [5]

$$D_i = \frac{t_{max} - t_{min}}{L} = \frac{\tau}{L} \text{ (ps/km)} \text{ (I.2)}$$

Avec t_{max} et t_{min} respectivement le temps de parcours du mode le plus lent et celui du mode le plus rapide. Dans une fibre à saut d'indice, le rayon le plus rapide est celui dont le trajet est parallèle à l'axe de la fibre. Ce rayon est associé à l'angle θ égal à 0 et au mode appelé «mode fondamental» LP01. De même, le rayon le plus lent fait un angle θ_{max} par rapport à l'axe de la fibre avec θ_{max} défini par :

$$\theta_{max} = \arcsin \tau \left(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \right)$$

$$\tau = t_{max} - t_{min} = n_1 \cdot t_{min} \cdot \Delta \quad , \quad \text{avec } \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \quad (\text{I.3})$$

Finalement on exprime la dispersion intermodale par :

$$D_i = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} \quad (\text{I.4})$$

L'obtention d'une dispersion intermodale réduite se fait en minimisant Δ ou en utilisant une fibre à gradient d'indice. En effet, dans ce cas-là, l'indice de réfraction n_1 du cœur décroît avec le rayon de celui-ci de sorte que les rayons axiaux (à trajet court) voient un indice élevé (leur vitesse c/n est alors réduite) tandis que les rayons périphériques (à trajet long) voient un indice plus bas (vitesse accrue).

Dans le cas d'une fibre optique monomode, cette dispersion est nulle et ne sera donc pas prise en compte.

IV-2.3 Dispersion chromatique

Dans les fibres optiques monomodes dont le profil est à symétrie de révolution, la dispersion chromatique est la cause principale de l'élargissement des impulsions. Définissons quelques termes avant de commencer l'étude de cette dispersion.[5]

L'indice de groupe, N est tel que :

$$N = \frac{c}{v_g} \quad (\text{I.5})$$

Avec c : vitesse de la lumière

Soit n_e l'indice effectif de ce mode à la longueur d'onde donnée :

$$n_e = \frac{\beta}{k_0} \quad (\text{I.6})$$

On obtient

$$N = n_e + k_0 \frac{dn_e}{dk_0} \quad (\text{I.7})$$

Le temps de groupe devient par conséquent :

$$t_g = \frac{L}{v_g} = \frac{L}{c} \frac{d\beta}{d\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)} = -\frac{L\lambda^2}{2\pi c} \frac{d\beta}{d\lambda} \quad (\text{I.8})$$

L'allongement temporel τ est défini par :

$$\tau = \frac{dt_g}{d\lambda} \Delta\lambda \quad (\text{I.9})$$

Avec $\Delta\lambda$, largeur spectrale de l'impulsion.

La dispersion chromatique D_{chrom} peut alors se définir par :

$$D_{chrom} = \frac{\tau}{L\Delta\lambda} = \frac{1}{L} \frac{dt_g}{d\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_0 \quad \left(\frac{ps}{nm.km}\right) \quad (I.10)$$

Avec $\beta_0 = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} = \frac{\partial}{\partial \omega} \left(\frac{\partial \beta}{\partial \omega} \right) = \frac{\partial}{\partial \omega} \left(\frac{1}{V_g} \right)$, dispersion de vitesse de groupe

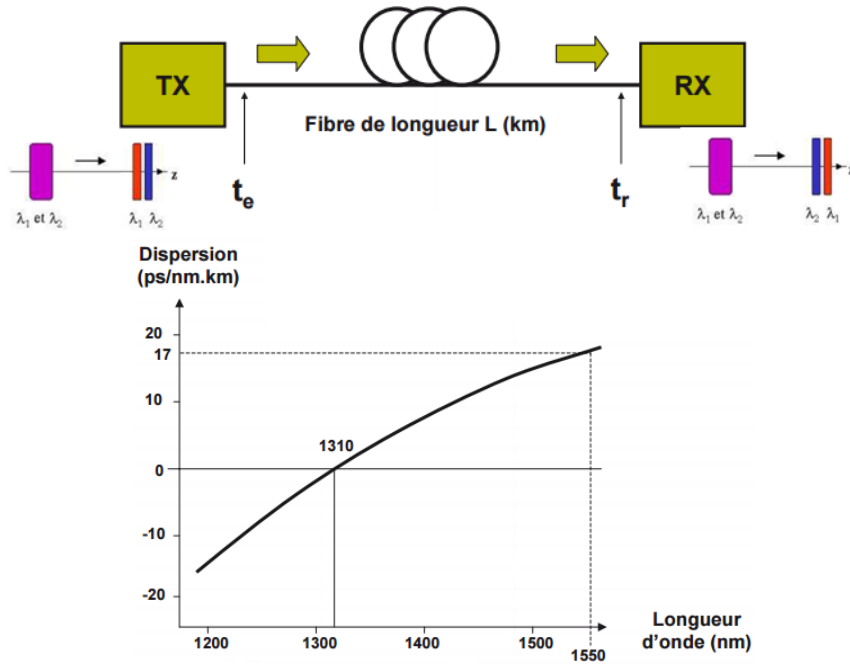


Figure I.5 : La dispersion chromatique de la fibre standard

- $D < 0$ (valeur négative) : les fréquences basses se propagent plus vite que les hautes. C'est le régime de dispersion normale
- $D > 0$ (valeur positive) : les fréquences hautes se propagent plus vite que les basses. C'est le régime de dispersion anormale

$$D_{chrom} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_e}{d\lambda^2} \quad (\text{ps/nm.km}) \quad (I.11)$$

En première approximation et en négligeant la contribution croisée des deux dérivés premières par rapport à l'indice n et la fréquence V , la dispersion chromatique apparaît comme la somme de la dispersion du matériau, D_{mat} et de la dispersion du guide, D_{guide} . Elle s'exprime alors selon :

$$D_{chrom} = D_{mat} + D_{guide} \quad (I.12)$$

V- Fabrication des fibres optiques

Pour fabriquer une fibre optique, il est nécessaire de réaliser une préforme qui n'est autre qu'un « barreau de verre » dont les dimensions sont de un à une dizaine de centimètres pour le diamètre, et de 30 centimètres à plus de 1 mètre pour la longueur. Ensuite il faut étirer ou fibré celle-ci.

Il existe un grand nombre de processus pour concevoir une préforme, des internes comme la méthode PCVD (pour Plasma Chemical Vapor Deposition), ou externes comme la méthode VAD (Vapor Axial Deposition). Cependant, nous allons seulement nous intéresser au procédé interne appelé MCVD car c'est la technique utilisée par nos collègues de Nice qui réalisent nos préformes. [6]

V-1 Méthode M.C.V.D

Ce processus de fabrication de préforme nécessite de réaliser deux étapes distinctes qui sont le dépôt puis le rétreint. La technique est décrite pour le cas d'une préforme classique.

La réalisation d'une préforme s'effectue à partir d'un tube de silice de haute pureté qui ne contient par conséquent que quelques ppm d'ions OH⁻ (1 ppm correspond à $0,8 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$). Celui-ci est monté sur un tour verrier, puis mis en rotation. Il est à noter que ce tube forme la gaine optique « support » de la fibre.

A l'une des extrémités du tube (figure I.6 (a)), on injecte un mélange gazeux constitué d'halogénures et d'oxygène et on chauffe à haute température (1400° à 1600°) au moyen d'un chalumeau oxyhydrique qui se déplace le long du tube, à la vitesse de quelques dizaines de centimètres à la minute, permettant d'activer la réaction d'oxydation des halogénures. L'opération donne lieu à la formation et au dépôt de suie de silice par couches successives de 5 à 10 μm d'épaisseur. Au passage du chalumeau sur les suies, le dépôt est vitrifié.

Une fois le dépôt terminé, on stoppe l'injection de gaz (figure I.6 (b)). Cependant, un trou central subsiste à l'intérieur de la préforme. On augmente donc la température de chauffage jusqu'à atteindre la température de 1800° , ce qui provoque un ramollissement de la silice suffisant pour permettre un rétreint homogène, grâce aux forces dues aux tensions superficielles.

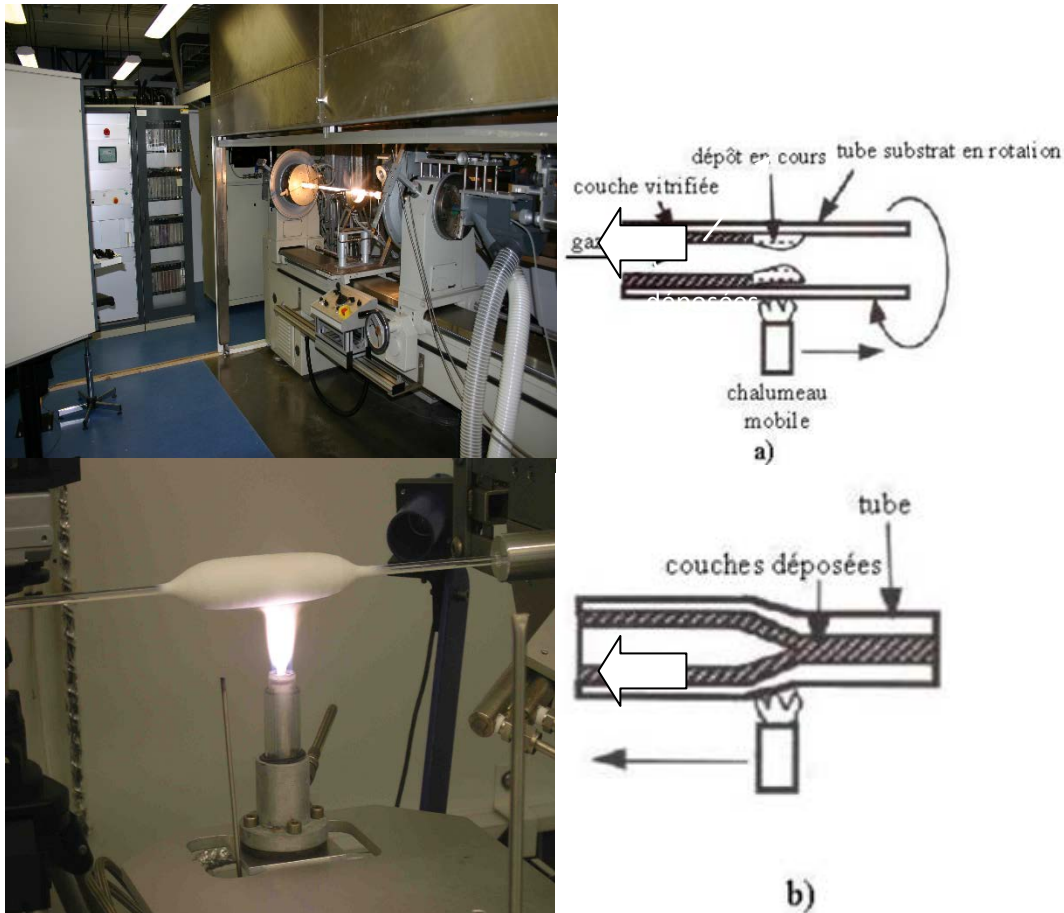


Figure I.6 Fabrication de préforme par le procédé MCVD. a) dépôt. b) rétreint

Typiquement, si on veut réaliser une fibre standard, on dépose des couches de silice pure qui constitueront la gaine optique « déposée » et des couches de silice dopée au germanium qui formeront le cœur. Le rapport entre les rayons de ces couches de la préforme ainsi que leur indice de réfraction sont les mêmes que ceux de la future fibre. La fibre optique est une homothétie de la préforme.

V-2 Etirage de la préforme

Une fois la préforme réalisée, la seconde étape consiste à réaliser une fibre optique à partir de celle-ci. Cette opération est effectuée grâce à une tour de fibrage dont le schéma synoptique est donné sur la figure (Figure I.7).

La préforme est tout d'abord introduite dans un four à induction afin de chauffer sa partie inférieure à une température proche de sa température de fusion (aux alentours de 1800°) (figure I.8 (a)). La préforme commence à se ramollir et il se forme une goutte de silice. Cette goutte descend par gravité, entraînant un fil de silice, à l'intérieur d'un tube en surpression

d'argon afin de protéger la silice des impuretés et de l'humidité. Puis la fibre est enduite d'une résine de protection immédiatement polymérisée par un rayonnement ultraviolet. La fibre est terminée, il ne reste plus qu'à l'enrouler sur un tambour précédé d'un cabestan dont la vitesse de rotation est asservie par un système de contrôle du diamètre (figure I.8 (b)).

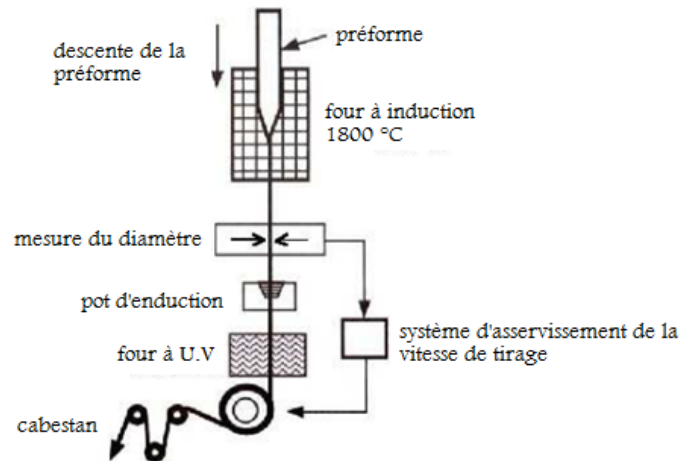
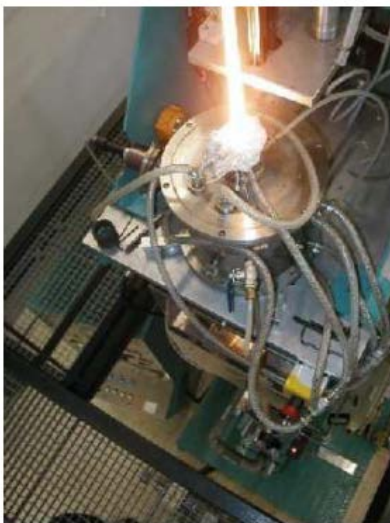


Figure I.7 Schéma synoptique d'une tour de fibrage

La fibre optique est une homothétie de la préforme dont l'équation de fibrage est la suivante :

$$v \cdot d^2 = VD^2 \text{ (I.13)}$$

Avec v et V , vitesses respectivement d'enroulement de la fibre et de descente de la préforme, d et D , respectivement diamètres de la fibre et de la préforme.



(a)



(b)

Figure I.8 Tour de fibrage de l'Université-CNRS présente dans les laboratoires de l'équipe

D'optique guidée et intégrée de l'I.R.C.O.M. :

a) préforme et four à induction b) poste de contrôle et système d'induction de la fibre

VI- Domaine d'application des fibres optiques

Le domaine d'application de la fibre optique est vaste. Le principal est bien entendu celui des télécommunications, mais les fibres optiques débordent largement ce secteur et connaissent un grand nombre d'applications industrielles, parmi eux on peut citer.[7]

VI-1 Les télécommunications

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. C'est probablement l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300000 communications pour la fibre optique. Les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde (câbles transatlantiques) avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s.

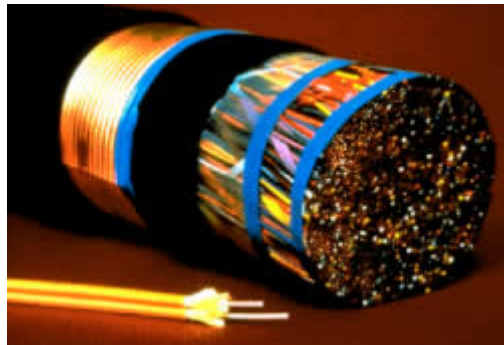


Figure I. 9 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

VI-2 La médecine

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibres optiques qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible

d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie.



Figure I.10 : Un endoscope.

Pour un traitement, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine, ...



Figure I.11 : utilisation de la fibre optique dans la chirurgie.

La fibre optique facilite donc le travail des professionnels de la santé ainsi que la vie de leurs patients. Les interventions sont moins complexes, moins dangereuses et moins invasives que la chirurgie traditionnelle. De plus, puisqu'elles ne nécessitent le plus souvent qu'une anesthésie locale, le patient peut subir l'intervention et retourner chez lui la même journée. L'application de ces techniques de diagnostic et de traitement a donc eu une incidence importante sur le plan économique.

VI-3 les capteurs (température, pression, etc.)

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application plus récemment est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subite par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques.

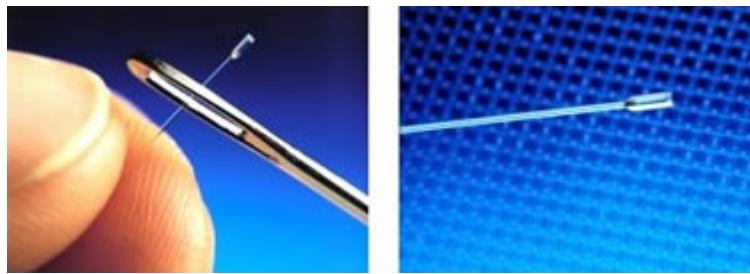


Figure I.12 : Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins

VI-4 l'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.

VII- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les fibres optiques conventionnelles qui sont constitués d'un cœur et d'une gaine optique de silice. La différence des indices entre le cœur et la gaine assure donc le guidage monomode ou multimode. Puis nous avons cité les propriétés de la fibre optique (l'Atténuation – la dispersion de polarisation et intermodale ainsi que la dispersion chromatique). Ensuite, nous avons présenté comment elle se fabrique une fibre optique et nous avons fini avec la présentation de quelques domaines d'applications de la fibre optique.

Chapitre II

I. INTRODUCTION

Les fibres cristaux photoniques sont une classe de fibres optiques constituées d'un arrangement de trous d'air parallèles à l'axe d'une matrice de silice, dont les toutes premières ont été proposées par Kaiser et al. Aux Bell Labs en 1974. [8]. L'objectif était à l'époque d'obtenir un fort guidage dans un cœur de silice entouré d'une gaine optique à très forte proportion d'air. Mais ces fibres, très multimodes, n'ont pas suscité d'intérêt particulier dans la communauté car elles n'apportaient pas de progrès sensible en termes de propagation. De plus leur raccordement aux fibres classiques était très délicat.

L'implantation des cristaux photoniques dans les fibres optiques est relativement récente. Ils constituent la gaine optique de la fibre, le cœur de cette dernière étant obtenu en créant un défaut dans le cristal. Selon que cœur de la fibre a un indice de réfraction supérieur ou inférieur à celui de la gaine environnante.

Le but de ce chapitre est de proposer une présentation générale des PCF. Après avoir montré que deux types de guidage peuvent opérer dans les PCF (BIP ou réflexion totale interne (RTI)), nous passerons en revue les propriétés, nous décrirons les techniques mises en œuvre pour fabriquer ce type de fibre, ce qui nous permettra de préciser les avantages et les inconvénients. Ensuite nous présenterons un rapide état sur les applications de ce type de fibre.

II. La nouvelle fibre cristaux photonique

Un nouveau type de fibre a vu le jour en 1996 : la fibre à cristaux photoniques couramment appelée PCF (Photonic Crystal Fiber en anglais). C'est d'ailleurs cette écriture qu'on adopterait dans la suite du manuscrit lorsqu'on parlerait de fibres à cristaux photoniques. La première PCF à guidage par réflexion totale interne a été fabriquée par une équipe de l'université de Bath en Angleterre [9]. Ce type de fibre possède des propriétés intéressantes en terme de caractère uni modal et de dispersion chromatique. Ces caractéristiques sont ajustables en fonction des paramètres opto-géométriques de la fibre. Actuellement, leurs principales applications se trouvent dans les domaines de la métrologie, de l'optique non linéaire et de la tomographie.

III. Propriétés de base des cristaux photoniques

Les matériaux BIP ont rapidement trouvé des applications dans le domaine des ondes électromagnétiques millimétriques et centimétriques. Ils ont par exemple permis de réaliser des matériaux supports d'antennes. En choisissant le matériau BIP de telle sorte que sa bande interdite photonique soit centrée sur la fréquence d'émission (ou de réception) de l'antenne, on supprime les pertes dues au rayonnement de l'antenne sur son support. Pour des applications dans le visible ou le proche infrarouge (longueurs d'onde de l'ordre du micron), la fabrication d'un BIP tridimensionnel devient délicate. En revanche, de nombreux scientifiques ont envisagé la possibilité d'utiliser un BIP bidimensionnel qui serait périodique suivant deux dimensions dans sa section transverse et invariant longitudinalement [10]. La structure périodique est alors fabriquée à partir d'un assemblage de composants de taille macroscopique, tels que des barreaux cylindriques de matériaux différents par exemple. Puis, les dimensions transverses de cet assemblage sont réduites par une technique d'étirage semblable à celle mise en œuvre pour l'étirage d'une préforme pour la fabrication de fibres optiques. Si un défaut est placé dans le cristal photonique, la lumière réfléchi par le cristal est confinée transversalement dans ce site, réalisant ainsi un guide d'onde. Ce défaut joue le rôle de cavité résonnante transverse au sein du cristal photonique. On dit alors que la lumière est guidée par effet de résonance transverse. Grâce cette technique d'étirage, on peut fabriquer une fibre possédant un cristal photonique à deux dimensions avec une période de l'ordre du micromètre (cf. Figure suivante). Ce type de fibre est souvent appelé fibre à cristal photonique (PCF).

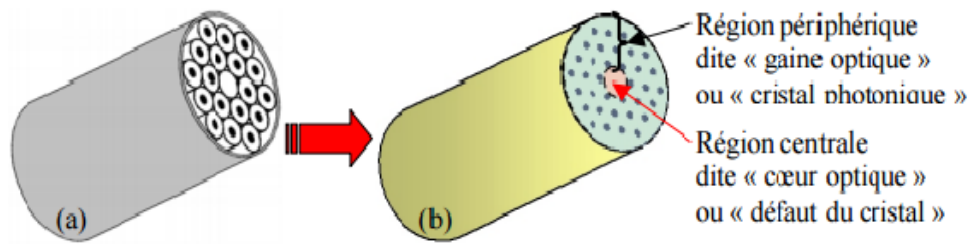


Figure II.1 : Réalisation d'une fibre microstructurée (a) assemblage macroscopique ; (b) fibre de 125 µm de diamètre typiquement, étirée à partir de la préforme (a).

En 1995, la démonstration théorique est faite qu'un tel guide d'onde peut présenter de véritables bandes interdites photoniques, comme le ferait un matériau BIP tridimensionnel [11] [12]. En 1997, une première réalisation démontre qu'il est possible de réaliser une fibre microstructurée par ce procédé [13] [14].

La fibre fabriquée présente de régions circulaires basse indice (trous d'air), qui sont espacées de 2,3 µm et qui mesurent environ 0,6 µm de diamètre. Depuis, les fibres microstructurées ont suscité un intérêt croissant dans la communauté scientifique de l'optique. Elles sont désormais communément classifiées dans deux groupes. Le premier groupe englobe les fibres microstructurées dans lesquelles la lumière est guidée par résonance transverse : les PCF. Nous verrons plus loin qu'il existe un second groupe qui rassemble les fibres microstructurées fonctionnant sur un principe de propagation différent basé sur la réflexion totale interne.

IV. Type des fibres cristaux photoniques

IV.1 Bande Interdite Photonique (BIP)

La "renaissance" des fibres microstructures remonte à 1995 lorsqu'un groupe de chercheurs britanniques animé par P. S. J. Russel (Université de Bath), se propose d'appliquer, dans le domaine des fibres optiques, la notion de Bande Interdite Photonique (BIP) [15]. Ce mécanisme est déjà connu et mis en œuvre pour guider la lumière dans les cristaux photoniques pour l'optique intégrée. Le but est de concevoir une structure dans laquelle le photon joue le même rôle que l'électron dans un semi-conducteur. Une BIP est une bande spectrale telle qu'une onde à une longueur d'onde comprise dans cette bande ne peut pas se propager dans la structure. L'effet recherché est une résonance transverse dans la gaine optique de la fibre qui maintiendrait la lumière dans le "cœur" et assurerait son confinement.

La propagation se ferait alors dans la direction axiale, invariante. Les premières fibres basées sur ce principe possèdent une gaine optique composée d'une succession de couches transparentes d'indices alternativement haut et bas semblables à un réseau de Bragg à une dimension [16]. L'indice de la zone où est confinée la lumière (le "cœur"), peut-être plus bas que ceux des couches de la gaine optique qui l'entoure le cœur.

L'onde lumineuse injectée dans une Fibre cristaux photoniques BIP est réfléchi par la gaine microstructurée périodique et se retrouve confinée transversalement dans la région où la périodicité est brisée (zone du défaut constituant le cœur). Un mode transverse peut donc s'installer dans le cœur et être guidé dans la direction Z [17] [18] [19].

Les longueurs d'onde (λ) centrales rejetées par le matériau BIP dépendent de la période du cristal et de la proportion d'air ($\lambda \approx 2\Lambda$) [20].

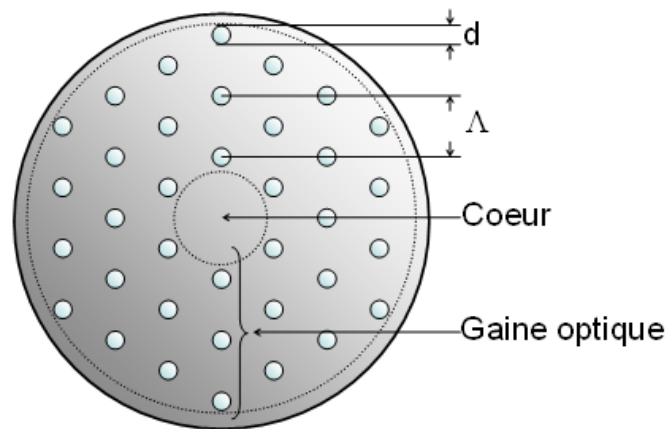


Figure II. 2 : Schéma de sections transverses d'une FMAS BIP à arrangement triangulaire

IV.2 Réflexion totale interne modifiée (RTIM)

En 1997, P. S. J. Russel et son groupe ont fabriqué pour la première fois une fibre à cristaux photoniques BIP [21] [22]. Pourtant le diamètre des trous est variable, (entre 0,2 et 1 μm), et ils sont espacés d'un pas de 2,3 μm ce qui donne une proportion d'air dans la gaine assez faible. La caractérisation de cette fibre a montré par la suite que le mécanisme de propagation de la lumière ne reposait pas sur l'effet BIP mais sur la réflexion totale interne. Pourtant cette fibre présentait des caractéristiques de propagation tout à fait originales qui ont très rapidement suscité un immense intérêt.

La proportion d'air dans la gaine était trop faible pour permettre l'existence d'une BIP. Pourtant, la lumière se propageait de 337 nm jusqu'à 1550 nm en régime monomode [23]. La propagation était assurée grâce à la différence d'indice positive entre le cœur (la silice pure) et

la gaine optique (il s'agissait d'un arrangement triangulaire de canaux d'air dans la silice) (voir figure II.3). En effet, la présence d'air dans cette gaine a pour conséquence de diminuer son indice moyen. L'onde lumineuse est donc guidée par réflexion totale interne dans une zone d'indice élevé entourée d'un milieu d'indice moyen plus faible, comme dans le cas classique des Fibres à Saut d'Indice (FSI). Toutefois, il n'existe pas d'interface clairement définie entre le cœur et la gaine comme il en existe dans les FSI (Fibres à Saut d'Indice) [24]. C'est pourquoi le mode de guidage qui permet la propagation dans les PCF dépourvues de BIP est appelé "guidage par réflexion totale interne modifiée".

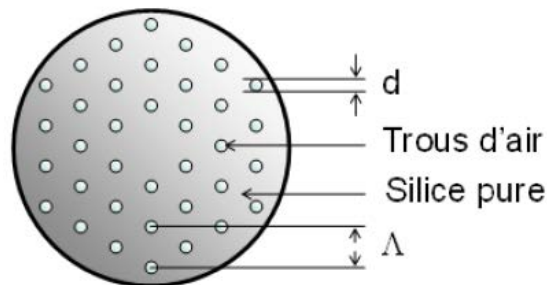


Figure II. 3 : schéma descriptif d'une PCF RTI à arrangement triangulaire

V.Guidage dans PCF

V.1Guidage par effet BIP

Ce principe de guidage exploite le phénomène de bandes interdites photoniques dans un cristal photonique.

Dans un matériau BIP à une ou à deux dimensions, une onde réfléchi pour un angle d'incidence donné θ_0 n'est plus réfléchi si son angle incidence devient trop différent de θ_0 .

Au contraire dans un matériau BIP à trois dimensions, la périodicité effective en fonction de l'angle d'incidence de l'onde varie suffisamment peu pour que l'onde soit réfléchi quel que soit cet angle.

La largeur spectrale des bandes interdites photoniques dépend fortement de la différence d'indice entre les milieux qui composent le cristal [25]. Plus cette différence d'indice est grande, plus les bandes interdites sont larges et donc, plus la bande de transmission de la PCF est grande.

Le guidage par effet BIP est opérant quel que soit l'indice du cœur de la PCF. Cette propriété distingue les PCF des guides d'onde usuels pour lesquels l'indice de réfraction du cœur doit être supérieur à l'indice de la gaine optique. Si l'indice du cœur est inférieur aux indices des matériaux constituant la gaine photonique, la PCF peut être monomode. Au contraire s'il est

supérieur, un autre principe de propagation entre en jeu, assez comparable au guidage par réflexion totale interne. La PCF est alors multimode aux longueurs d'onde correspondant aux bandes interdites de la gaine photonique car il existe au moins deux modes dus à chacun des deux types de propagation

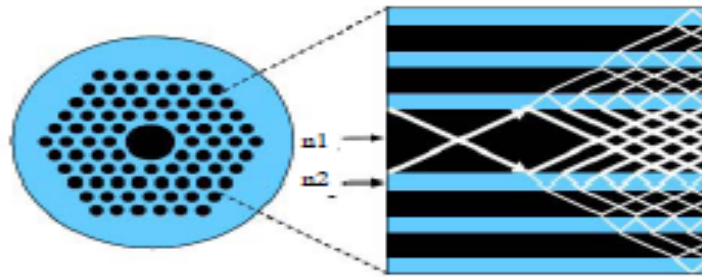


Figure II.4 : Guidage par effet BIP, $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air)

V.2 Guidage par RTIM

La première fibre microstructurée air/silice, initialement conçue pour que le cristal photonique constituant sa gaine optique présente une bande interdite photonique autour $1,5 \mu m$, est réalisée en 1997[26][27]. Cependant, cette fibre n'a pas permis l'observation de ce phénomène [28]. La lumière n'est pas guidée par résonance transverse en particulier parce que la proportion d'air dans le cristal photonique n'est pas suffisante pour obtenir une bande interdite photonique à ces longueurs d'onde. Pourtant la lumière est guidée dans le cœur en silice pure de cette fibre dans le visible et le proche infrarouge [29]. La propagation de la lumière est rendue possible par le fait que, la gaine photonique étant composée de trous d'air dans de la silice, son indice de réfraction moyen est inférieur à celui du cœur constitué de silice pure.

Ce principe de propagation est donc basé sur un guidage par l'indice comme dans une fibre standard mais confère au mode guidé des propriétés nouvelles. Pour cette raison, il est souvent appelé la réflexion totale interne modifiée. Dans ce cas, nous préférons remplacer la terminologie de fibre à cristal. La difficulté de réaliser avec précision une structure rigoureusement périodique aux détails de dimensions submicroniques, associée à la découverte de propriétés des fibres à trous non moins intéressantes que celles prédites pour les fibres à cristal photonique, a conduit de nombreux laboratoires d'optique à s'intéresser aux fibres à trous guidant simplement par réflexion totale interne modifiée. La première étude

théorique proposée, spécifiquement dédiée à la modélisation des fibres microstructurées à guidage par l'indice, est le modèle de l'indice effectif [30] [31].

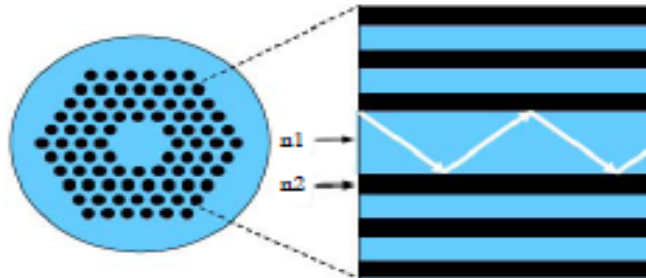


Figure II.5 : Guidage par RTIM, $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air) (bleu=silice, noir=air)

Ce modèle consiste à définir une fibre à saut équivalente à la PCF considérée et à évaluer certaines caractéristiques de propagation de la PCF par analogie avec la propagation dans la photonique » (PCF) par celle de « fibre microstructurée air/silice » (FMAS) qui est plus générale ou par celle de « fibre à trous ».

VI. Propriétés dans les fibres cristaux photoniques

VI.1 L'indice effectif

Le guidage par réflexion totale interne est opérant dans une fibre standard à saut d'indice pour tout mode dont la constante de propagation β vérifie la condition suivante :

$$kn_{\text{gaine}} < \beta < kn_{\text{cœur}} \quad (\text{II.1})$$

$kn_{\text{cœur}}$ est la constante de propagation maximale autorisée dans la région du cœur.

kn_{gaine} est la valeur limite de β en dessous de laquelle le mode n'est plus guidé dans le cœur car il peut fuir dans la gaine. Elle représente donc la constante de propagation maximale autorisée pour les modes de la gaine optique.

Dans une fibre à trous, cette condition est encore valable. Les modes guidés dans le cœur en silice sont les modes ayant une constante de propagation β telle que :

$$\beta_{\text{max gaine}} < \beta < kn_{\text{silice}} \quad (\text{II.2})$$

$\beta_{\text{max gaine}}$ peut être définie comme la constante de propagation du mode fondamental existant dans le cristal photonique de la gaine de dimensions infinies, en l'absence de site de défaut. Le mode de gaine possédant la plus grande constante de propagation est le mode ayant la plus grande fraction de son énergie localisée dans la silice. Par conséquent, l'intensité lumineuse du mode fondamental remplit l'espace entre les trous avec une pénétration minimale dans l'air. En raison de la distribution particulière de son énergie, ce mode est souvent appelé

« FundamentalSpace-filling Mode (FSM) » dans la littérature scientifique [32]. Sa constante de propagation est notée β_{FSM} . Comme dans une fibre standard, la détermination de β_{FSM} permet de définir un indice effectif du mode fondamental du cristal photonique *eff gaine* :

$$\beta_{max\,gaine} = \beta_{FSM} = kn_{eff\,gaine} \quad (II.3)$$

L'inégalité(II.3) implique que la composante transverse $dkT = (\beta^2 - \beta_{max\,gaine}^2)^{1/2}$ vecteur d'onde d'un mode guidé dans le cœur est comprise entre 0 et akT_{max} .

Le nombre de modes guidés dans une fibre dépend de $dkT_{max} = (k^2 n_{silice}^2 - \beta_{max\,gaine}^2)^{1/2}$ des dimensions du cœur :

$$V = a kT_{max} \quad (II.4)$$

a : rayon du cœur à déterminer lorsque l'on calcul les modes guidés par une fibre, il est juste d'affirmer que (β_{FSM} / k) joue le rôle d'indice de réfraction pour le matériau constituant la gaine. A une longueur d'onde on peut donc définir une fibre à saut d'indice équivalente à la PCF considérée, ayant l'indice de la silice pour indice de cœur et $n_{eff\,gaine}$ pour indice de gaine. Le rayon de cœur est déterminé d'une manière détaillée plus loin. Certaines propriétés de propagation de la PCF peuvent alors être prédites en calculant la fréquence normalisée V_{eff} (équation (II.8)) de la fibre à saut équivalente

$$V_{eff} = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{cœur}^2 - n_{eff\,gaine}^2} \quad (II.5)$$

Une fois la géométrie est introduite, il est nécessaire de définir le matériau utilisé en précisant la valeur de l'indice de réfraction. Nous avons considéré dans nos simulations que le matériau constitutif des PCF est la silice pure parfaitement isotrope. L'indice de réfraction de l'air est choisi égal à 1.

L'indice de la silice évolue avec la longueur d'onde suivant la loi de Sellmeier :

$$n(\lambda) = \sqrt{1 + \frac{A_0\lambda^2}{(\lambda^2 + \lambda_0^2)} + \frac{A_1\lambda^2}{(\lambda^2 + \lambda_1^2)} + \frac{A_2\lambda^2}{(\lambda^2 + \lambda_2^2)}} \quad (II.6)$$

Avec : $A_0 = 0.6961633$; $A_1 = 0.4079426$; $A_2 = 0.8974794$; $\lambda_0 = 6.84043 \cdot 10^{-8}m$; $\lambda_1 = 1.162414 \cdot 10^{-7}m$; $\lambda_2 = 9.896161 \cdot 10^{-6}m$.

Cette méthode permet de modéliser des fibres quel que soit la complexité de leurs profils d'indice et le matériau les constituant.

VI.2 La fréquence normalisée

La fréquence spatiale normalisée V est un paramètre qui contribue à caractériser les conditions de guidage dans les fibres standards. En traçant la constante de propagation normalisée « b » de chacun des modes se propageant dans la fibre en fonction de V , on obtient la courbe de dispersion normalisée de chacun de ces modes.

$$b = (n_{eff}^2 - n_{gaine}^2) / (n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2) \quad (II.7)$$

La fréquence normalisée de coupure associée à la longueur d'onde de coupure d'un mode est celle pour laquelle $n_{eff} = n_{gaine}$ ($b = 0$). Comme dans la fibre standard, le domaine spectral de propagation monomode dans une PCF est l'ensemble des longueurs d'onde pour lesquelles V est inférieure à la fréquence spatiale normalisée de coupure du second mode.

Pour les PCF, la fréquence normalisée va nous permettre de connaître le comportement modal de la fibre par analogie avec celui des fibres à saut d'indice. La fréquence normalisée de la fibre à saut équivalente est :

$$V_{PCF} = \frac{2\pi a_{eq}}{\lambda} \sqrt{n_{co}^2 - n_{fsm}^2}$$

$$= A_1 \left(\frac{d}{\Lambda} \right) + \frac{A_2(d/\Lambda)}{1 + A_3(d/\Lambda) \exp\{-A_4(d/\Lambda)\lambda/\Lambda\}} \quad (II.8)$$

Où a_{eq} est le rayon du cœur convenablement défini de la PCF.

La valeur du rayon du cœur a apparaît donc dans les relations de dispersion ci-dessus

On obtient alors :

$$U = V\sqrt{1 - b} \quad \text{et} \quad W = V\sqrt{b} \quad (II.9)$$

La constante de propagation normalisée b est calculée à partir de la constante de propagation trouvée par la méthode des éléments finis. U et W sont remplacées par leurs expressions (II.9) dans l'équation $U \frac{J_1(U)}{J_0(U)} - W \frac{K_1(W)}{K_0(W)} = 0$ de sorte que cette équation n'a plus qu'une seule inconnue : V . Pour déterminer V , il n'est pas nécessaire ici d'attribuer une valeur au rayon du cœur de la FMAS. En posant que la valeur de V ainsi calculée est égale à V_{th} défini dans l'équation (II.7) et en connaissant les indices du cœur et de la gaine en fonction de la longueur d'onde, on peut déterminer la valeur du rayon de cœur a_{eq} de la fibre à saut équivalente. V_{th} (calculée à partir de la formule (II.8) en prenant une valeur arbitraire pour le rayon de la fibre équivalente

$a_{eq} = a_{eq0} = \Lambda$, tracé en fonction de d/λ [22]. Le rapport V/V_{th} vaut a_{eq}/a_{eq0} soit a_{eq}/Λ . Les profils d'indice des trois PCF considérées présentent des trous de diamètre égal à $0,5 \mu\text{m}$, $0,75$

μm et $1 \mu\text{m}$ respectivement qui sont espacés de $2,3 \mu\text{m}$. redites en calculant la fréquence normalisée V_{eff}

VI.3 Atténuation :

VI.3.1 Pertes par courbure :

Les PCF sont en théorie très sensibles aux courbures. En effet, la courbure modifie localement le profil d'indice vu par le mode guidé. Le profil d'indice d'une fibre rectiligne, équivalente à une fibre de profil $n(x, y)$ que l'on a courbée avec un rayon de courbure constant RC , est [33]

$$n_{eq}(x, y) = (1 + x/RC) n(x, y) \quad (\text{II.10})$$

La périodicité de la structure est donc localement modifiée. Étant donné que le guidage par effet BIP nécessite le respect de la périodicité de la structure guidant, les courbures peuvent entraîner des pertes massives pour des rayons de courbure relativement grands.

Dans une fibre à profil d'indice arbitraire, les pertes en puissance provoquées par une courbure se déterminent grâce à la formule suivante [34] :

$$2\alpha = \frac{\sqrt{\pi} A^2 a \exp\left(\frac{-4 \Delta W^3 R}{3 a V^2}\right)}{4PW \sqrt{\frac{WR}{a} + \frac{V^2}{2\Delta W}}} \quad (\text{II.11})$$

Où a est le rayon du cœur de la fibre ; α est le coefficient des pertes par courbures en champ ; A est le coefficient d'amplitude du champ électrique dans la gaine, tel qu'il est défini dans P est la puissance transportée par le mode fondamental multipliée par l'impédance du vide ; R est le rayon de la courbure appliquée à la fibre ; w est la constante de propagation transverse normalisée dans la gaine :

$$w = a \sqrt{\beta^2 - k^2 n_{\text{gaine}}^2} = \sqrt{V^2 - a^2 (K^2 n_{\text{coeur}}^2 - \beta^2)} \quad (\text{II.12})$$

Les pertes par courbures dans une PCF peuvent être prédites avec l'équation (II.11) en remplaçant les paramètres a , V , Δ et w par les paramètres a_{eq} , V_{eff} , Δ_{eff} et w_{eff} de la fibre à saut équivalente. V_{eff} , Δ_{eff} et w_{eff} sont bien entendu définis avec l'indice de gaine effective $n_{\text{eff gain}}$. Aux grandes longueurs d'onde les fibres à trous se comportent comme les fibres standards, c'est à dire que $3W_{\text{eff}}$ diminue plus vite que $2V_{\text{eff}}$ lorsque la longueur d'onde augmente. Par conséquent, la fonction exponentielle dans la relation précédente tend vers 1, et à la limite, les pertes par courbure dans les PCF sont égales à :

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} 2\alpha = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{\pi} A^2 a_{\text{eq}}}{4PW_{\text{eff}} \sqrt{\frac{W_{\text{eff}} R}{a_{\text{eq}}} + \frac{V_{\text{eff}}^2}{2\Delta W_{\text{eff}}}}}$$

$$= \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{\pi A^2 a_{eq}}}{4P \sqrt{\frac{R}{a_{eq}} W_{eff}^2 + 4\pi^2 a_{eq}^2 n_{coeur}^2 \frac{W_{eff}}{\lambda^2}}} = \infty \quad (\text{II. 13})$$

Les pertes par courbure augmentent donc avec la longueur d'onde pour un rayon de courbure donné. Ceci a pour conséquence que le rayon de courbure critique R_c , valeur seuil du rayon de courbure au-dessous de laquelle les pertes sont supérieures aux pertes maximales que l'on s'autorise, augmente avec la longueur d'onde.

Aux basses longueurs d'onde, le mécanisme des pertes par courbure est différent pour la fibre standard et pour les fibres à trous [28] [29]. Dans une fibre à saut d'indice standard tend vers V , elle-même proportionnelle à λ . L'expression (II. 14) des pertes lorsque la longueur d'onde tend vers 0 devient :

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} 2\alpha = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\sqrt{\pi A^2} \exp\left(\frac{-4\Delta R}{3\lambda}\right)}{\frac{4P}{\lambda} \sqrt{\frac{R}{\lambda} + \frac{a}{2\lambda\Delta}}} = 0 \quad (\text{II. 14})$$

Le rayon critique R_c est à peu près égal à la longueur d'onde et il est quasiment indépendant de la taille de cœur. Dans les fibres standards il n'y a donc pas d'apparition de pertes massives par courbure aux basses longueurs d'onde pour un rayon de courbure donné, très supérieur à la longueur d'onde de travail.

Dans le cas d'une fibre à trous, W_{eff} tend toujours vers V_{eff} lorsque la longueur d'onde diminue mais V_{eff} tend vers une valeur constante. Avec $W_{eff} \approx V_{eff} = ka_{eq} ON_{eff}$,

On peut exprimer les pertes de manière approchée comme suit :

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 0} 2\alpha &= \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\sqrt{\pi A^2} a_{eq} \exp\left(\frac{-8\pi \Delta_{eff} ON_{eff} R}{3\lambda}\right)}{\frac{8\pi a_{eq} P ON_{eff}}{\lambda} \sqrt{\frac{2\pi ON_{eff} R}{\lambda} + \frac{\pi a_{eq} ON_{eff}}{\Delta_{eff} \lambda}}} \\ &= \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\sqrt{\pi A^2} a_{eq} \exp\left(\frac{-8\pi \Delta_{eff} R}{3}\right)}{8\pi a_{eq} P \sqrt{2\pi R + \frac{\pi a_{eq}}{\Delta_{eff}}}} = \infty \quad (\text{II. 15}) \end{aligned}$$

Les pertes par courbures dans les PCF pour un rayon de courbure fixé augmentent donc quand la longueur d'onde diminue car l'ouverture numérique ON_{eff} devient proportionnelle à la longueur d'onde et la différence d'indice relative Δ_{eff} diminue.

Le rayon de courbure critique RC est dans ce cas pratiquement indépendant de la longueur d'onde mais varie en fonction de la taille du cœur de la fibre.

La bande spectrale de fonctionnement satisfaisant des fibres à trous monomodes est donc limitée par l'apparition de pertes massives aux macro-courbures aux basses et aux hautes longueurs d'onde.

VI.3.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique D_C d'un mode guidé est approximativement égale à la somme de la dispersion du matériau de la structure guidant D_M et de la dispersion liée à la géométrie du guide D_G (dispersion du guide).

$$D_C = D_M + D_G \quad (\text{II.16})$$

$$D_M = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 N_{\text{coeur}}}{d\lambda^2} \quad (\text{II.17})$$

L'indice de groupe N_i du matériau constituant la région i s'exprime en fonction de l'indice de réfraction n_i de la région i :

$$N_i = n_i - \lambda \frac{dn_i}{d\lambda} \quad (\text{II.18})$$

Compte tenu du changement du sens de la courbure de $N_i = f(\lambda)$ autour de $1,27 \mu\text{m}$, la dispersion de la silice est négative pour des longueurs d'onde inférieures à $1,27 \mu\text{m}$ et positive au-delà de cette valeur.

La dispersion du guide pour un mode donné vaut, n (dans l'approximation de guidage faible

$$\text{ou } \Delta = \frac{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}{2n_{\text{coeur}}^2} \ll 1$$

$$D_G \approx \frac{N_{\text{coeur}}^2 - N_{\text{gaine}}^2}{c\lambda} V \frac{d^2(bV)}{dV^2} \quad (\text{II.19})$$

Dans l'équation (I.21), la fréquence normalisée V de la fibre, l'indice effectif normalisé du mode (encore appelé constante de propagation normalisée) sont définis pour une longueur d'onde de travail λ par :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} = k a \text{ON} = K a n_{\text{coeur}} \sqrt{2\Delta} \quad (\text{II.20})$$

$$b = \frac{\beta^2 - K^2 n_{\text{gaine}}^2}{k^2 (n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)} \quad (\text{II.21})$$

Où a est le rayon du cœur de la fibre ; k est le vecteur d'onde dans la vide ($k = 2\pi / \lambda$)

ON est l'ouverture numérique de la fibre.

La dispersion du guide est proportionnelle au paramètre de dispersion $V \frac{d^2(Vb)}{dV^2}$. Il a été démontré que ce paramètre dépend de la variation de la taille du mode en fonction de la longueur d'onde quel que soit le profil d'indice de la fibre considérée [33].

$$V \frac{d^2(Vb)}{dV^2} = 2 a^2 \left[\frac{1}{V} \iint \left(\frac{dE(r)}{dr} \right)^2 ds - \frac{d}{dV} \iint \left(\frac{dE(r)}{dr} \right)^2 ds \right] \quad (\text{II.22})$$

Une fibre optique usuelle est monomode si sa fréquence normalisée est inférieure à la fréquence de coupure du deuxième mode qui vaut 2,405. Pour des fibres monomodes classiques, la dispersion du guide est toujours négative car le paramètre de dispersion est

négatif pour des valeurs de V inférieures à 2,405 [31]. Au vu des valeurs des dispersions du matériau et du guide, la dispersion chromatique d'une fibre monomode classique ne peut donc s'annuler qu'à des longueurs d'ondes supérieures à 1,27 μm . Dans une PCF, la taille du mode est imposée par la géométrie de la structure (taille du cœur et périodicité du profil d'indice). Elle varie très faiblement en fonction de la longueur d'onde. Le terme $(\frac{d}{dV} \iint (\frac{dE(r)}{dr})^2 ds)$ dans la relation (II.22) est donc très petit. Si on le néglige en première approximation, il reste :

$$V \frac{d^2(Vb)}{dV^2} \approx 2 a^2 \left[\frac{1}{V} \iint (\frac{dE(r)}{dr})^2 ds \right] \geq 0 \text{ (II.23)}$$

Le terme de dispersion est alors positif à la longueur d'onde de travail et il devient possible d'annuler la dispersion chromatique pour des longueurs d'onde inférieures à 1,27 μm dans les PCF.

VII. Les avantages et les inconvénients des fibres à cristaux photonique

VII.1 Les avantages

Le guide d'onde optique est à l'optique intégrée ce que l'interconnexion électrique est aux circuits intégrés de l'électronique. Or on sait que les lignes d'interconnexion occupent la majeure partie de la surface d'un circuit en silicium ; leur densification intervient au même titre que la réduction de la taille des composants dans l'accroissement des performances du circuit. Ce parallèle illustre bien l'importance que représente la fonction de guidage optique, même s'il s'agit d'une fonction passive, comparée aux fonctions d'émission ou de conversion de signal. Dans ce contexte, l'intérêt des guides à cristal photonique est double.

Le premier intérêt du guide à cristal photonique se situe au niveau de sa conception.

En effet, défini par le retrait, l'ajout ou la modification de motifs dans une ou plusieurs rangées parallèles du cristal, le guide peut être introduit dès l'étape d'écriture des motifs (ce qu'on appelle l'étape de lithographie). L'introduction d'un grand nombre de guides en parallèle ou en série ne pose pas plus de difficultés que d'introduire un seul guide, car les motifs du cristal se répètent à l'identique de façon périodique. En quelque sorte, on dispose d'un véritable «mécano» optique avec un nombre limité d'éléments de base : le(s) motif(s) du cristal.

Le deuxième intérêt du guide à cristal photonique réside dans le fait que le guidage est plus «robuste» que celui rencontré dans les guides classiques. Dans le cas présent, dû à l'effet de bande interdite photonique, les parois du guide à cristal photonique se comportent comme des parois parfaitement réfléchissantes. L'avantage est décisif dès lors que l'on souhaite changer

fortement la direction de propagation de la lumière en la guidant. Pour s'en convaincre, il suffit d'imaginer la situation dans laquelle on tordrait une fibre optique en lui imposant un rayon de courbure trop petit. Outre le fait que la torsion pourrait être préjudiciable à la tenue mécanique de la fibre, la lumière s'échapperait de la fibre à l'endroit du coude. Le faible contraste d'indice entre le cœur et la gaine de la fibre ne permettrait pas d'atteindre la condition de réflexion totale à l'intérieur de la fibre. La situation est forcément différente si la lumière est emprisonnée entre des parois parfaitement réfléchissantes.

VII.2 Les inconvénients

Les inconvénients dans les cristaux photoniques peuvent localiser des modes.

- On peut confiner la lumière dans un plan défaut dans des cristaux 1D.
- On peut localiser la lumière dans un défaut linéaire Dans des cristaux 2D.
- On peut confiner la lumière au défaut localise, donc en un point du réseau dans 3D.

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) qui sont créés en modifiant les caractéristiques d'une cellule du réseau. Pour les cristaux photoniques composés de cylindres diélectriques, le constant diélectrique d'un cylindre peut être changé. Le cylindre peut être enlevé, ce qui crée une lacune dans le cristal. Cela correspond à une microcavité à l'intérieur du cristal photonique. Pour les cristaux photoniques constitués de trous dans un matériau diélectrique, ces trous peuvent être modifiés géométriquement.

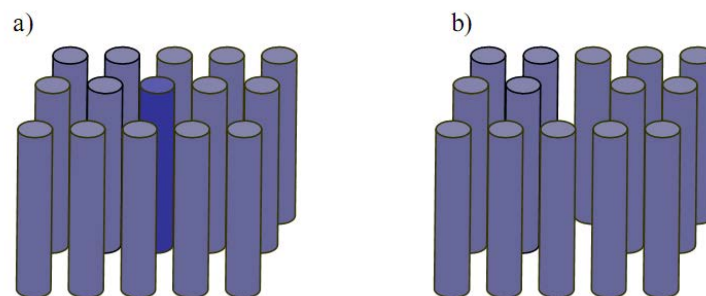


Figure II.6 : Défauts ponctuels : a) Modification de la permittivité d'une tige (il vaut mieux faire la tige centrale en rouge) ; b) Absence de la tige centrale

Les modes électromagnétiques introduits par le défaut sont appelés modes de défaut.

C'est un mode dont la fréquence peut se situer dans la bande interdite et qui est localisé autour du site du défaut.

Les caractéristiques de ces défauts ont été étudiées par plusieurs équipes [11]. [12].

Ces deux derniers ont été parmi les premiers dès 1991 à calculer les fréquences des modes de défauts dans un cristal photonique de réseau carré. La transmission de ces structures a été étudiée par [13 ; 14 ; 15] Joannopoulos et al ont montré théoriquement que les propriétés des modes de défauts peuvent être contrôlées en modifiant la taille et le type de défauts. et les défauts linéaires (guide d'ondes) il est possible de guider la lumière selon une direction choisie. La lumière va se propager le long de ce guide avec une fréquence appartenant à la bande interdite photonique du cristal. Il reste néanmoins possible de jouer sur plusieurs paramètres pour obtenir une grande variété de défauts (variation de la taille des trous et de leurs formes par exemple).

VIII. Fabrication des PCF

La réalisation d'une fibre optique se déroule en deux étapes principales. La première consiste à fabriquer la préforme de la fibre. La préforme d'une fibre optique présente le même profil d'indice transverse et longitudinal que la fibre mais à un facteur homothétique près. La préforme d'une fibre classique est le plus souvent réalisée en déposant de la silice dopée par des additifs qui permettent d'ajuster l'indice (Germanium, Phosphore, Aluminium, Bore, Fluor...) en phase vapeur à l'intérieur d'un tube de silice pure (méthode MCVD : Modified Chemical Vapor Deposition). Ce tube est ensuite rétreint pour obtenir la préforme de la fibre.

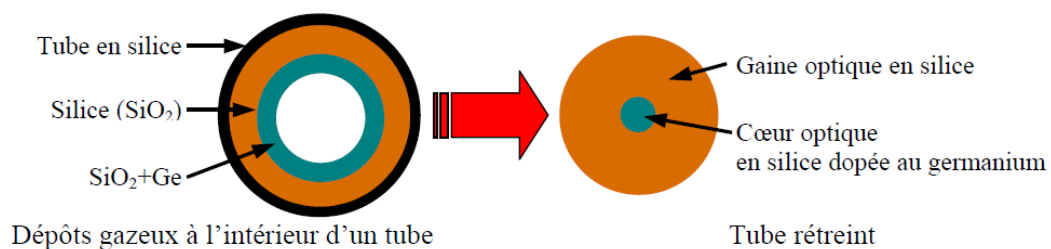


Figure II.7 : Section transverse de la préforme au cours de sa réalisation, exemple d'une fibre standard ayant un cœur dopé au germanium

Le procédé de fabrication des PCF est radicalement différent, au moins pour ce qui concerne l'élaboration des préformes. La préforme des PCF est en effet réalisée à partir d'un assemblage de capillaires et de barreaux en silice de quelques millimètres de diamètre extérieur. Ces capillaires et ces barreaux sont assemblés puis l'arrangement est introduit dans un capillaire de plus grande dimension afin d'assurer le maintien de l'ensemble. Il est très délicat de réaliser une botte de capillaires dont la disposition est parfaitement régulière. La réalisation de cette préforme fait appel à des connaissances et des techniques relatives au travail du verre à haute température pour boucher, coller ou mettre en forme les capillaires.

Dans la Figure II.8, on voit nettement que la botte de capillaires réalisée (Figure II.8(b)) n'est pas aussi régulière que prévue (Figure II.8(a)).

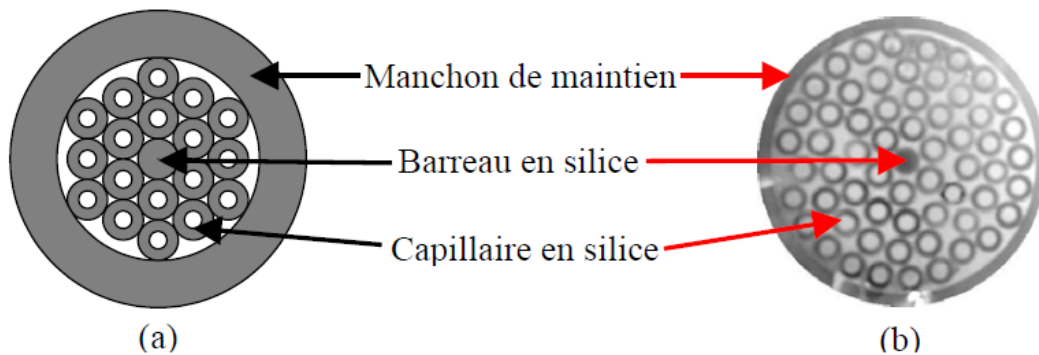


Figure II.8 : Section transverse de la préforme d'une PCF. (a) Schéma. (b) Photographie.

Une fois que la préforme est réalisée, elle est installée verticalement dans un four à induction, puis elle est étirée dans le sens de sa longueur suivant le même principe que les fibres optiques classiques. Les dimensions que l'on peut donner à la préforme d'une fibre optique dépendent de la taille du four à induction à disposition. Typiquement, son diamètre peut varier de 1 à 10 cm et sa longueur peut aller jusqu'à 1 m. L'étirage de la préforme est effectuée à haute température, entre 1700 et 2000 °C, température à laquelle la silice devient visqueuse. La préforme est étirée dans le sens vertical pour profiter de la pesanteur à l'amorce du fibrage (formation d'une « goutte » solide) puis elle est étirée mécaniquement à tension contrôlée par un système de cabestans. L'ensemble des modules nécessaires au fibrage d'une préforme forme ce qu'on appelle une tour de fibrage. Un schéma descriptif d'une tour de fibrage est présenté dans la (Figure II.9).

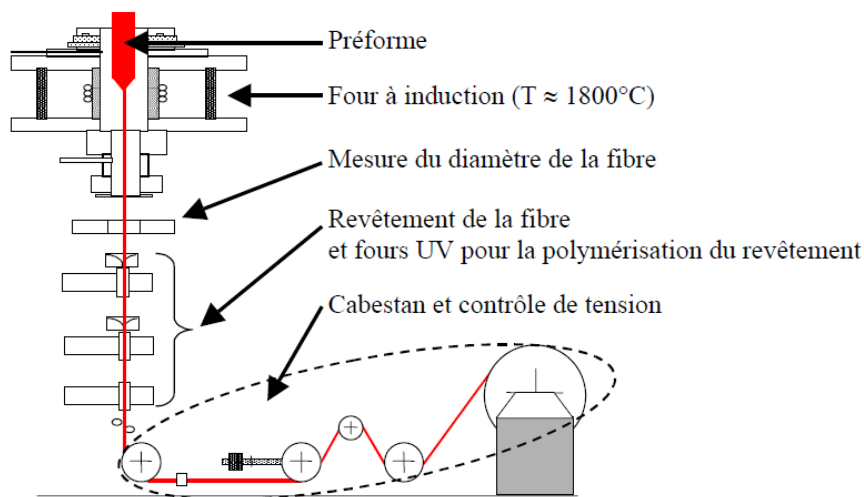


Figure II. 9 : Section transverse de la préforme d'une PCF. (a) Schéma. (b) Photographie.

Les premiers essais de fabrication de fibres à cristaux photoniques ont été réalisés en 1999 à l'IRCOM. La température dans le four de la tour de fibrage est abaissée par paliers progressifs au cours de l'étirage de la préforme. Quatre PCF à quatre températures différentes T_1 , T_2 , T_3 et T_4 (Figure II.10) ont ainsi été fabriquées. Ces FMAS ont des trous espacés en moyenne de $13 \mu\text{m}$ et avec un diamètre moyen qui varie de $1,5 \mu\text{m}$ pour les tronçons de fibres étirés « à chaud » (température T_4) à $3 \mu\text{m}$ pour les tronçons tirés « à froid » (température T_1).

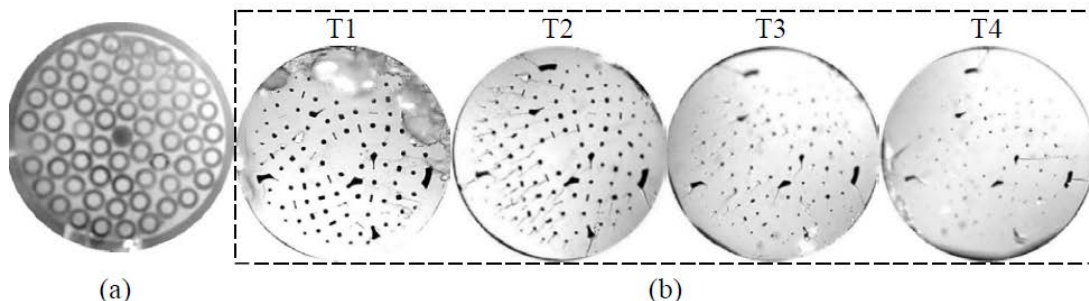


Figure II.10 : Sections transverses : (a) d'une préforme de FMAS, (b) des PCF résultant de l'étirage de cette préforme à 4 températures différentes ($T_1 < T_2 < T_3 < T_4$).

Sur les sections transverses de ces quatre PCF on remarque qu'il existe deux types de trous d'air. Certains des trous ont une forme relativement circulaire. Ces trous proviennent des trous à l'intérieur de chaque capillaire. Les autres trous d'air ont une forme beaucoup plus irrégulière et sont en général de plus grande dimension. Ils résultent des trous interstitiels entre les capillaires dans l'assemblage de la préforme. La taille de ces trous interstitiels dépend de la régularité de l'arrangement de la botte de capillaire dans la préforme de la PCF. Plus les capillaires sont collés les uns aux autres plus les trous interstitiels sont petits.

Nous remarquons aussi que la taille de ces deux types de trous diminue à mesure que la température dans le four à induction augmente. Étant donné que les trous des capillaires sont plus petits que les trous interstitiels, ils se bouchent en premier lorsque la température augmente. Malgré les imperfections de ces fibres, nous avons tiré plusieurs enseignements de ces premières réalisations. Premièrement, le contrôle de la température permet d'obtenir plusieurs diamètres de trous à espacement Λ constant à partir d'une même préforme. Deuxièmement, ce contrôle de la température de fibrage ne suffit pas à maîtriser la fermeture des trous interstitiels lorsque ceux-ci sont trop gros, d'où la nécessité de soigner l'arrangement des capillaires dans la préforme. Cette tâche est rendue difficile par le calibrage médiocre des capillaires disponibles dans le commerce. Renseignements pris auprès de divers fournisseurs, les tolérances aux côtes peuvent être améliorées par usinage de chaque capillaire ce qui augmenterait considérablement le prix de revient de la fibre. Nous avons donc pris les parties d'acheter des capillaires standards et d'améliorer les techniques de fabrication des préformes et de fibrage. Un autre problème est le faible éventail de couples (diamètre extérieur, diamètre intérieur) existants pour les capillaires du commerce. Pour s'affranchir de ces limitations, le laboratoire d'Alcatel a lancé la production de capillaires sur le site de Marcoussis pour la fabrication des PCF. Pour les fabrications suivantes la disposition des capillaires ont été améliorée et la pression à l'intérieur et à l'extérieur des capillaires est contrôlée au cours de la phase d'étirage afin de refermer les trous interstitiels tout en maîtrisant le rapport d/Λ .

XI. Applications

Les propriétés physiques propres aux fibres microstructures ayant été présentées à la section précédente ne demandent évidemment qu'à servir de tremplin pour le développement de différentes applications et la communauté scientifique a très rapidement réalisé l'immense potentiel des fibres microstructures. Dans ce qui suit, nous présentons un bref survol des différents domaines de recherche où les propriétés uniques des fibres microstructures ont été utilisées afin de pousser un peu plus loin des technologies existantes.

XI.1 Amplification de signal tout-optique

L'intérêt de l'amplification basée sur les phénomènes non-linéaires réside dans l'exploitation de la totalité des 40 THz de bande passante des fibres dans la région de plus faible absorption. Les amplificateurs à fibre optique, Raman ou paramétriques, dont la région de gain peut être déplacée arbitrairement selon la longueur d'onde de pompe ont attiré un grand intérêt pour les

systèmes de communication optique [12], [13]. Les PCF représentent des fibres avec une non-linéarité et des caractéristiques de génération Raman élevées, qui fournissent des solutions optimales à l'amplification optique non-linéaire. Un amplificateur Raman construit à l'aide d'une PCF a été proposé par Yusoff et al. en 2002 [34]. La pompe à $\lambda=1536$ nm, utilisée en mode pulsé, fournit une impulsion carrée de 20 ns avec un taux de répétition de 500 kHz. Une PCF de longueur 75 m a été utilisée (typiquement des centaines ou les milliers de mètres sont utilisés dans les amplificateurs Raman).

XI.2 Commutation tout-optique

La commutation tout-optique a attiré un grand intérêt pour des systèmes de communication optique, et plusieurs types de commutation tout-optique basés sur les effets non-linéaires dans les fibres ont été étudiés. L'effet de modulation de phase croisée (XPM) a été employé pour la commutation optique en divisant les impulsions du signal également sur les deux bras d'un interféromètre. L'importance de la différence de phase induite par XPM est déterminée par la lumière de pompe. Si un déphasage de π est réalisé, on peut commuter l'interférence, d'une interférence destructive à une interférence constructive, ou vice-versa, et un commutateur tout-optique peut être réalisé. Une première illustration expérimentale pour observer la commutation basée sur XPM dans une PCF a été présentée par Sharping et al. en 2002 [35]. La PCF utilisée dans l'expérience était de 5.8 m de long, dont le diamètre de cœur et le coefficient d'atténuation étaient $1.7 \mu\text{m}$ et $0.092 \pm 0.003 \text{ m}^{-1}$, respectivement. Le coefficient de dispersion a été mesuré pour être égal à $-122 \pm 5 \text{ ps}^2 \text{ km}^{-1}$ autour de 1550 nm. Les impulsions de pompe ont été amplifiées par un amplificateur à fibre dopée à l'Erbium et combinées avec le signal par l'intermédiaire d'un multiplexeur de longueur d'onde passe-bande (BWDM). Les résultats montrent l'avantage de la commutation tout-optique basée sur XPM dans les PCF exigeant des longueurs de fibre courtes, des basses puissances de commutation, et permettant au commutateur des impulsions faibles du signal.

XI.3 Conversion de longueur d'onde tout optique

La conversion tout-optique de longueur d'onde dans les fibres optiques employant les non-linéarités est devenue attrayante pour sa réponse ultra-rapide et sa large bande d'opération. Plusieurs techniques pour réaliser la conversion de longueur d'onde ont été démontrées par l'utilisation de l'effet de mélange à quatre ondes, l'auto modulation de phase. Des convertisseurs réglables en longueur d'onde basés sur les effets non-linéaires XPM, FWM et Raman dans les PCF ont été réalisés à 10 Gb/s [36]. J. H. Lee et al. [37] ont montré un

montage expérimental de la conversion réglable en longueur d'onde basée sur FWM dans une PCF fortement non-linéaire avec un seuil élevé de SBS. Le signal d'entrée fixé à 1550 nm a été modulé avec le débit de 10 Gbs-1 et combiné avec le faisceau de pompe en utilisant un coupleur 50/50. Une forte conversion du signal due au FWM s'est produite clairement à une longueur d'onde de 1544 nm. Le filtre de Bragg réglable a été utilisé pour supprimer efficacement les faisceaux de signal et de pompe d'entrée et pour sélectionner le signal converti en longueur d'onde. On a estimé l'efficacité de la conversion en longueur d'onde à 28%.

XI.4 Régénération tout-optique des signaux

La propagation des signaux sur de grandes distances (> quelques 1000 km) engendre des distorsions du signal. La régénération tout-optique laisse entrevoir un fort potentiel à traiter les signaux à très hauts débits. La régénération du signal s'effectue grâce à un élargissement spectral dû à l'effet d'auto modulation de phase dans la fibre non-linéaire associé à un filtrage optique approprié en sortie. La régénération tout-optique ultra-rapide jouera un rôle important dans tous les réseaux optiques afin d'éviter l'accumulation du bruit, l'interférence, les déformations non-linéaires et pour assurer la bonne qualité du signal. La régénération à fibres a été étudiée pour la régénération de signal tout-optique il y a environ dix ans et permet de fournir un débit transparent de régénération. La régénération tout-optique est basée sur les effets SPM, XPM et FWM dans les fibres optiques. L'avènement des PCF a révolutionné les architectures déjà existantes. Le premier commutateur régénérateur basé sur SPM dans une PCF a été proposé par Petropolus et al. en 2001 [38]. Quand les impulsions ont été amplifiées et lancées dans une PCF de longueur 3.3 m, chaque spectre a subi un élargissement dû à l'effet SPM. Un filtre réglable avec une largeur de bande à -3 dB de 1.3 nm a été utilisé pour extraire les impulsions commutées et régénérées.

XI.5 Démultiplexage tout-optique

Le démultiplexage tout-optique, technique basée sur les effets non-linéaires FWM, XPM, Raman et SSFS, a été proposé dans fibres et les miroirs à boucle optique non-linéaire (Nonlinear Optical Loop Mirror, NOLM). Le démultiplexage utilisant un NOLM basé sur une PCF de seulement 50 m de long a été démontré avec succès par Siahlo et al. en 2003 [39]. Les impulsions avec un taux de répétition de 10 GHz ont été produites par un laser opérant à 1558 nm. Le signal multiplexé a atteint le port d'entrée du NOLM après une transmission dans une

fibre standard uni modale de 80 km de long et une fibre compensatrice de dispersion. Les impulsions de commande avec un taux de répétition de 10 GHz introduisent un déphasage des impulsions co-propagées dans la PCF par effet XPM. La PCF utilisée dans l'expérience a un coefficient non-linéaire de $18 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, une longueur d'onde de zéro de dispersion de $\lambda=1552 \text{ nm}$ et une pente de dispersion de $-0.25 \text{ ps} \cdot \text{nm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$.

X. Conclusion

Dans ce chapitre, nous sommes intéressés à nouvelles fibres optiques. Ces fibres dites microstructures et peuvent être classé en deux types : fibres à cœur creux qui assure le guidage par l'effet de la bande interdite photonique et les fibres à cœur plein qui obéissent à un guidage par réflexion totale interne à l'instar des fibres optiques conventionnelles à saut d'indice. Ces fibres sont dites plus simplement fibres microstructurées. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux fibres microstructurées à cœur plein et nous avons présenté ainsi les propriétés optiques. Ces fibres présentent un nombre de degrés de liberté plus important que les fibres conventionnelles à saut d'indice. De ce fait, les propriétés optiques de ces fibres sont ajustables entraînant ainsi une multitude d'applications potentielles. On peut citer entre autres, des dispersions chromatiques ajustables, un comportement "infiniment monomode", la réalisation de fibres à effet non linéaire exacerbés ou à l'inverse réduit, le transport de forte puissance, le guidage de particules, la réalisation de source de lumière très large bande (super continuum), les effets solitons, etc.....

Chapitre III

I. Introduction

Les fibres à cristaux photoniques (PCF), ont fait l'objet d'une étude intensive depuis plusieurs années, car ils offrent un certain nombre de propriétés uniques et utiles non-réalisables dans les Fibres de verre de silice standard.

Dans cette partie, nous allons voir les différents indices de propagation, par la méthode analytique et la modélisation de ces indices avec les équations empiriques les travaux présentés dans le chapitre trois s'inspirent directement des travaux de Mr. M. DEBBAL, et M. CHIKH-BLED [40][41]. A la fin de cette partie, nous présentons une interface que nous avons programmée pour nous aider à calculer les différents indices de propagation.

II. Mise en œuvre

Dans cette modélisation nous avons utilisé Matlab pour programmer, calculer et comparer les différents indices de propagation et de tracé leurs graphes performances à partir d'une interface graphique.

III .Approximation analytique

III.1 Le paramètre V

La fréquence normalisée "V" est un paramètre qui contribue à caractériser les conditions de guidage dans des fibres standard. Bien que le paramètre V offre un moyen simple de modéliser une PCF, un facteur limitant l'utilisation de l'équation. (II.8), une méthode numérique est toujours nécessaire pour obtenir l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} .

Il est ainsi possible d'appliquer directement le modèle des FSI (Fibre à Saut d'Indice) aux fibres microstructurées [42]. Il serait donc utile d'avoir une autre expression qui ne dépend que de la longueur d'onde λ , et des paramètres géométrique de la structure «d» et « Λ ».

Nielsen et Mortensen ont montré [43] que V peut être approximée par une fonction du type (III.1) :

$$V\left(\frac{\lambda}{\Lambda}, \frac{d}{\Lambda}\right) = A_1 \left(\frac{d}{\Lambda}\right) + \frac{A_2(d/\Lambda)}{1 + A_3(d/\Lambda) \exp\{A_4(d/\Lambda)\lambda/\Lambda\}} \quad (III.1)$$

Dans la figure III.1, nous montrons les valeurs de V en fonction λ / Λ pour les différentes valeurs de d/Λ varie de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05. Les paramètres A_1 , A_2 , A_3 et A_4 sont dépendent de d / λ uniquement, et sont décrivant par l'expression suivante (III.2) :

$$A_i = a_{i0} + a_{i1} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{bi1} + a_{i2} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{bi2} + a_{i3} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{bi3} \quad (III.2)$$

Avec

Les coefficients de a_{i0} à a_{i3} et b_{i1} à b_{i3} sont donnés dans le tableau (Tab III.1)

	i=1	i=2	i=3	i=4
a_{i0}	0.54808	0.71041	0.16904	-1.52736
a_{i1}	5.00401	9.73491	1.85765	1.06745
a_{i2}	-10.43248	47.41496	18.96849	1.93229
a_{i3}	8.22992	-437.50962	-42.4318	3.89
b_{i1}	5	1.8	1.7	-0.84
b_{i2}	7	7.32	10	1.02
b_{i3}	9	22.8	14	13.4

Tableau III.1 : Coefficients utilisés par [44] pour le calcul De la fréquence normalisée par la méthode analytique

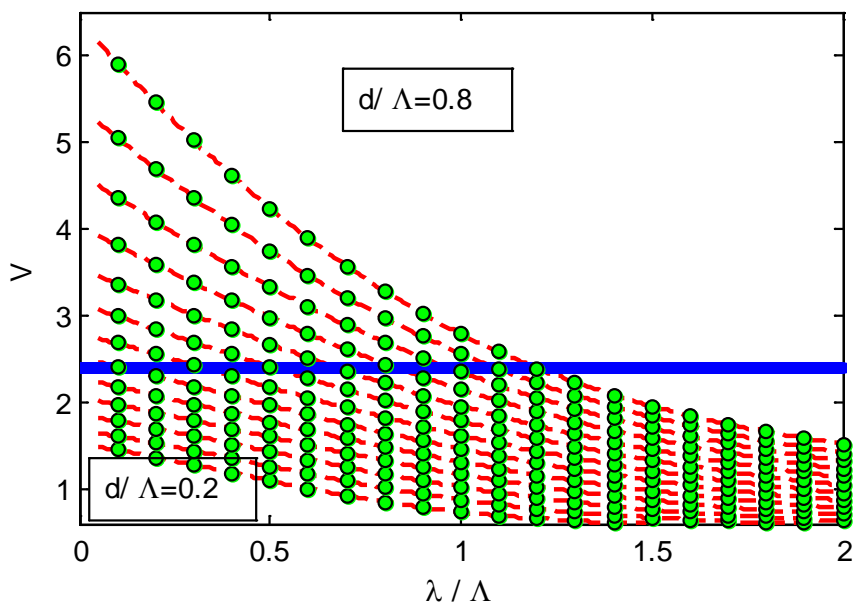


Figure III.1: V en fonction de la longueur relative λ / Λ pour d/Λ de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05

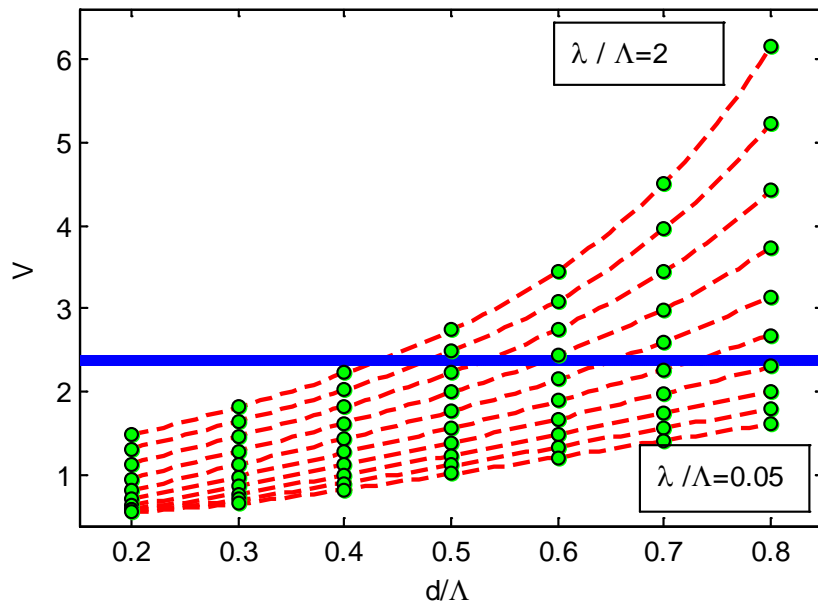


Figure III.2: V en fonction de d / Λ pour la longueur relative λ / Λ varie de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2

D’après les résultats obtenus dans la figure III.1, nous remarquons que pour $d / \Lambda=0.8$ la fibre est multimode sur la 1^{er} fenêtre optique et à partir de la 2^{em} fenêtre la fibre devient monomode. Par contre avec $d / \Lambda=0.2$ la fibre est totalement monomode.

D’après les résultats obtenus dans la figure III.2, nous remarquons que la variation des valeurs de d/Λ en variant λ/Λ nous donne une très grand variation dans le paramètre V , par exemple pour

$\lambda/\Lambda = 0.05$ on a des valeurs de ce paramètre V autour de 1.2, par contre si on augmente la longueur relative λ/Λ à 2 on obtient des valeurs de V autour de 6.

Ces variations du paramètre V sont due aussi à la variation de d/Λ , par exemple avec λ/Λ fixe à 1.6, et $d/\Lambda = 0.2$, on a un très faible paramètre V , autour de 0.3, l’augmentation du d/Λ à 0.8, nous donne des variations de ce paramètre de 4.

Ces courbes montrent qu’il est possible d’obtenir une fibre microstructurée dont la fréquence normalisée est inférieure à la fréquence de coupure quelle que soit la longueur d’onde, en choisissant les paramètres géométriques d / Λ et λ / Λ adéquat.

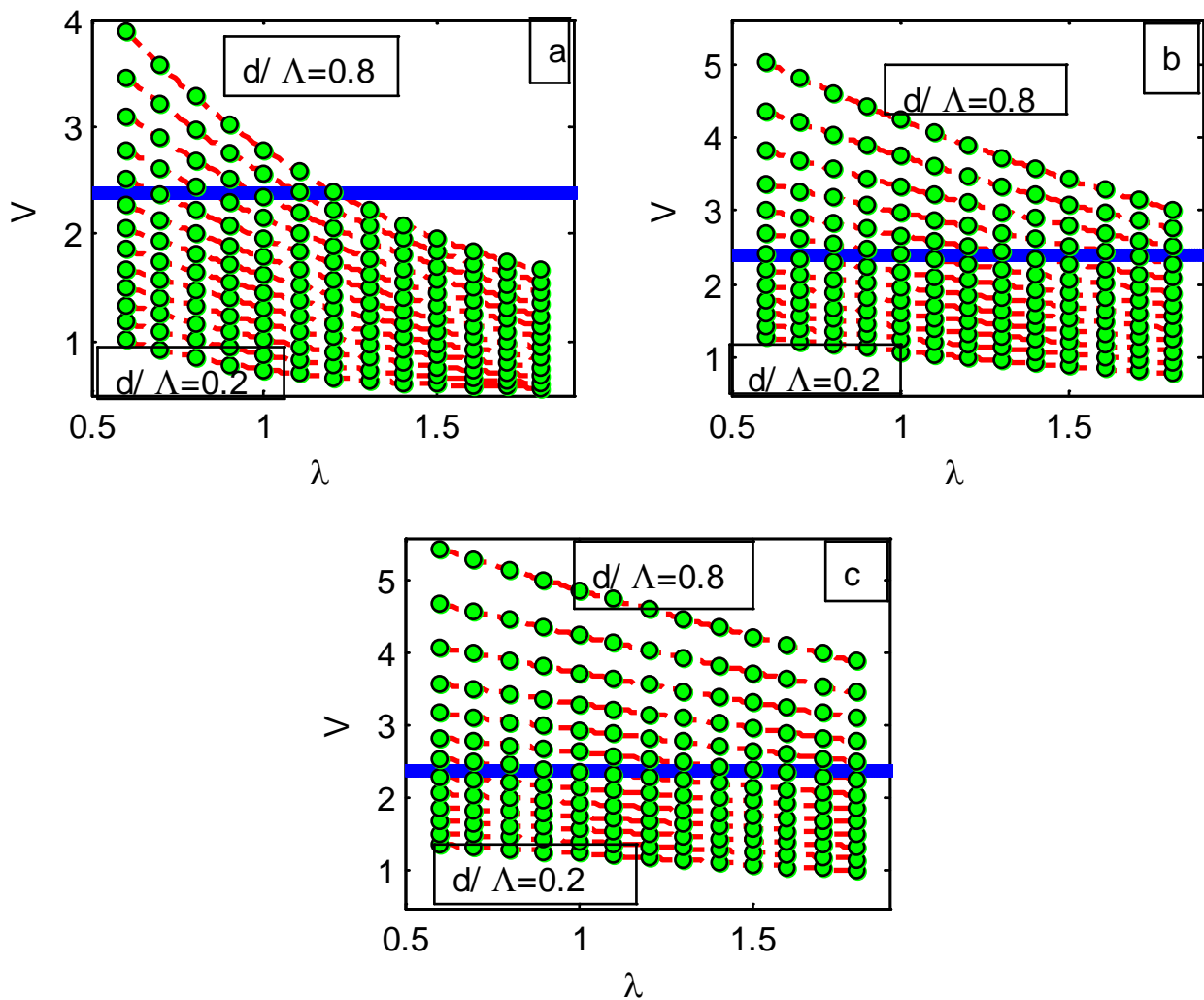


Figure III.3 : V en fonction de la longueur d'onde λ avec Λ variant
Figure (3- a) : $\Lambda=1$ Figure (3- b): $\Lambda=2$ Figure (3- c) : $\Lambda=3$

La figure III.3 donne la variation de V en fonction de λ pour d/Λ s'étendant de 0,2 à 0,8 avec un pas de 0,05. En variant chaque fois le Λ . On remarque qu'il y a un changement dans le comportement monomode de la fibre.

- Figure(III.3.a) $\Lambda=1$ => pour $d/\Lambda=0,8$ la fibre est multimode sur la 1^{er}fenêtre et monomode sur la 2^{em} et la 3^{em} fenêtre. Pour $d/\Lambda=1,4$ la fibre est totalement monomode sur les 3 fenêtres.
- Figure (III.3.b) et(III.3.c) $\Lambda=2$ et 3 => pour $d/\Lambda=0,8$ la fibre cette fois est totalement multimode quel que soit la longueur d'onde, et pour $d/\Lambda=0,4$ elle est totalement monomode.

Ces variations du paramètre V sont due à la variation de d/Λ , par exemple pour $\Lambda=1$ avec λ fixe à 0.8, et $d/\Lambda = 0.8$, on a un paramètre V , autour de 3.28, l'augmentation du Λ ($\Lambda=2, \Lambda=3$) pour la même longueur d'onde, nous donne des variations de ce paramètre $V=5$

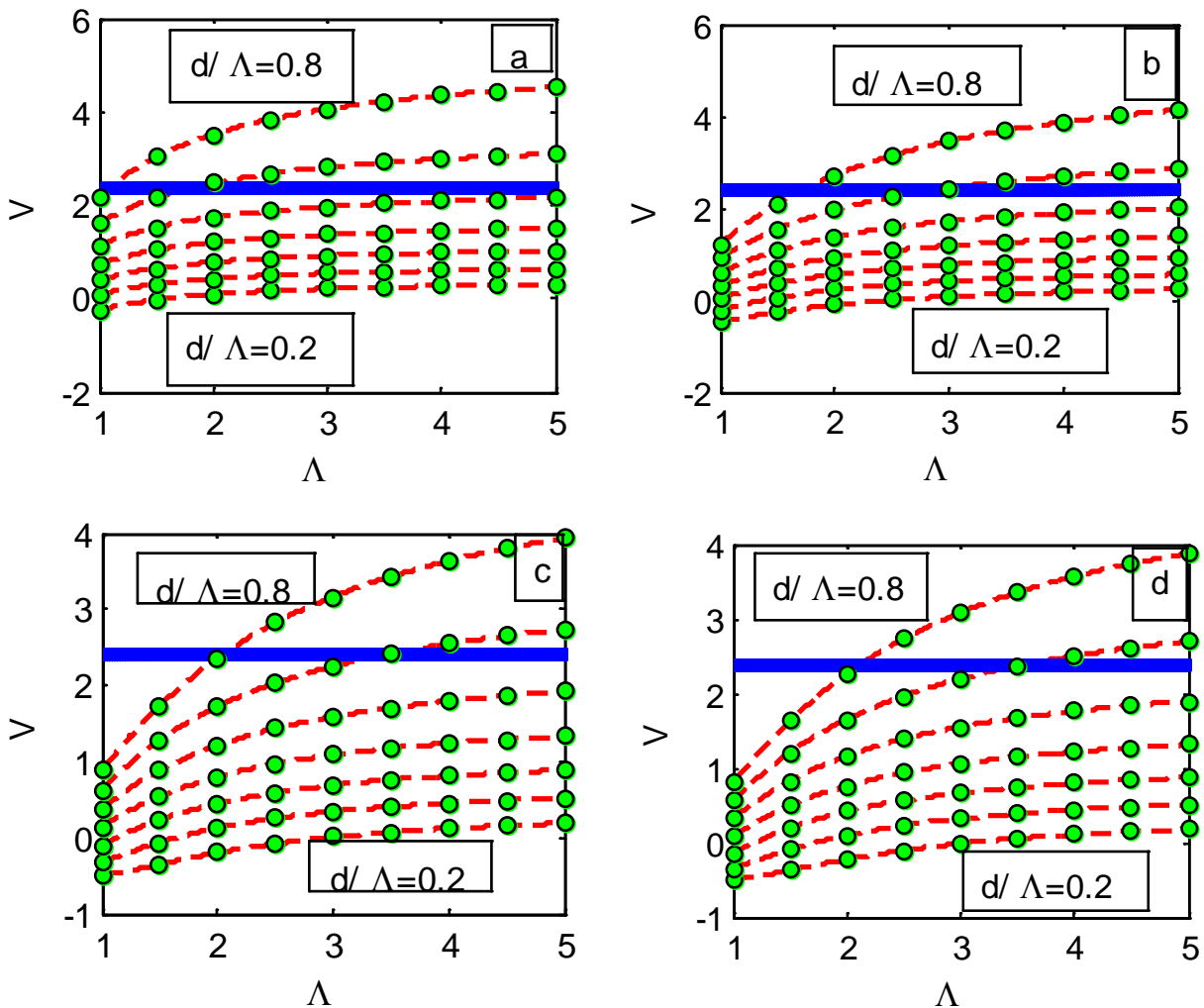


Figure III.4 : V en fonction de pitch Λ avec λ variant

Figure (4- a) : $\lambda = 0.8$. Figure (4- b) : $\lambda = 1.25$. Figure (4- c) : $\lambda = 1.45$. Figure (4- d) : $\lambda = 1.55$

La figure III.4 donne la variation de V en fonction de Λ pour d/Λ s'étendant de 0.2 à 0.8 pour un pas de 0.05. En variant chaque fois la longueur d'onde λ . On remarque des changements au niveau du paramètre V et au niveau du comportement monomode de la Fibre.

D'après les résultats obtenus dans la figure III.4, nous remarquons qu'il y a des variation avec les valeurs de Λ en variant d/Λ , on obtient une très grand variation dans le paramètre V , par exemple pour $d/\Lambda = 0.2$ on a des valeurs de ce paramètre V autour de 0.23 dans la 1^{ère} fenêtre

et la 2^{ème} fenêtre, et $V=0.1$ dans la 3^{ème} fenêtre, par contre si on augmente le rapport $d/\Lambda=0.8$ on obtient des valeurs de $V \approx 4$ dans les trois fenêtres.

On peut conclure que la fréquence normalisée de la fibre dépend uniquement du rapport relatif d/Λ lorsque la longueur d'onde λ est constante. En augmentant l'espacement entre les trous d'air Λ avec d/Λ constant, la structure conserve son caractère monomode large bande.

III.2 Paramètre W :

Le paramètre W fournit une moyenne pour la modalisation des PCF. L'utilisation conjointe de l'équation (III.1) de paramètre V et l'équation (III.3) de paramètre W permet de déduire le N_{fsm} et N_{eff} pour cela Nielsen et al ont donné l'équation empirique pour le paramètre W(III.3) [42]

$$W\left(\frac{\lambda}{\Lambda}, \frac{d}{\Lambda}\right) = B_1 \left(\frac{d}{\Lambda}\right) + \frac{B_2(d/\Lambda)}{1 + B_3(d/\Lambda) \exp\left[-B_4(d/\Lambda)\lambda/\Lambda\right]} \quad (\text{III.3})$$

$$B_i = C_{i0} + C_{i1} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{d_{i1}} + C_{i2} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{d_{i2}} + C_{i3} \left(\frac{d}{\Lambda}\right)^{d_{i3}} \quad (\text{III.4})$$

Les coefficients de l'équation empirique(III.4) du paramètre W sont donnés dans le tableau ci-dessous (Tab.III.2)

	i=1	i=2	i=3	i=4
C_{i0}	-0.0973	0.53193	0.24876	5.29801
C_{i1}	-16.70566	6.70858	2.72423	0.05142
C_{i2}	67.13845	52.04855	13.28649	-5.18302
C_{i3}	-50.25518	-540.66947	-36.80372	2.7641
d_{i1}	7	1.49	3.85	-2
d_{i2}	9	6.58	10	0.41
d_{i3}	10	24.8	15	6

Tableau III.2 Coefficients de l'équation empirique du paramètre W [44]

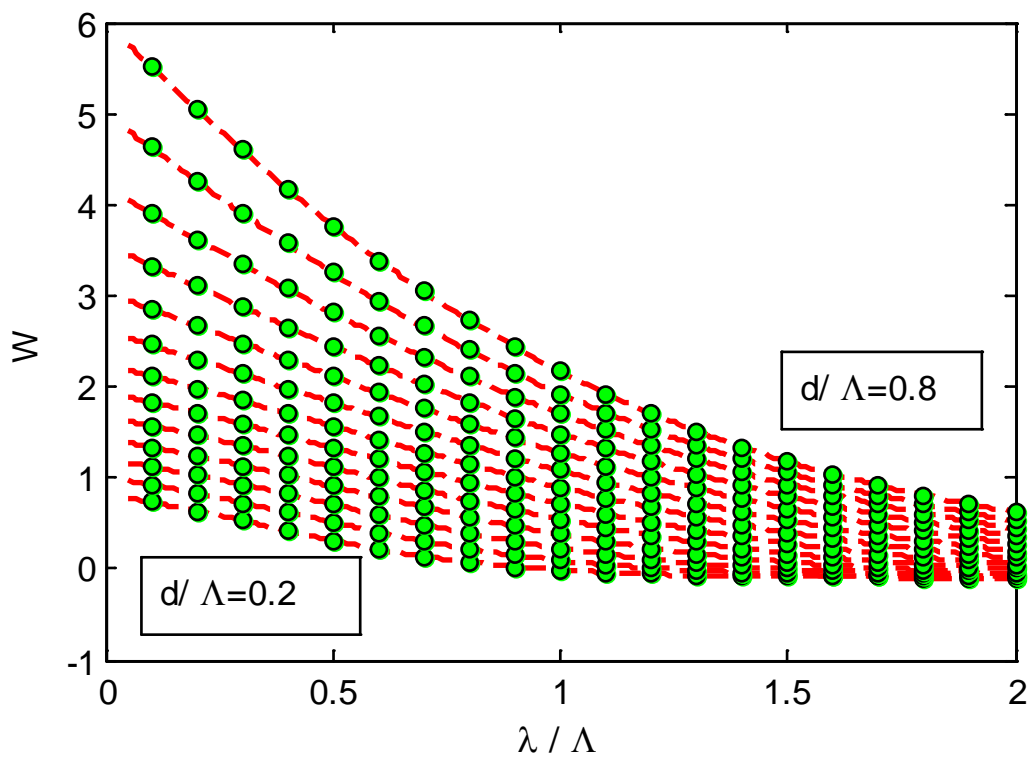


Figure III. 5 : W en fonction de la longueur relative λ/Λ
 Pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05

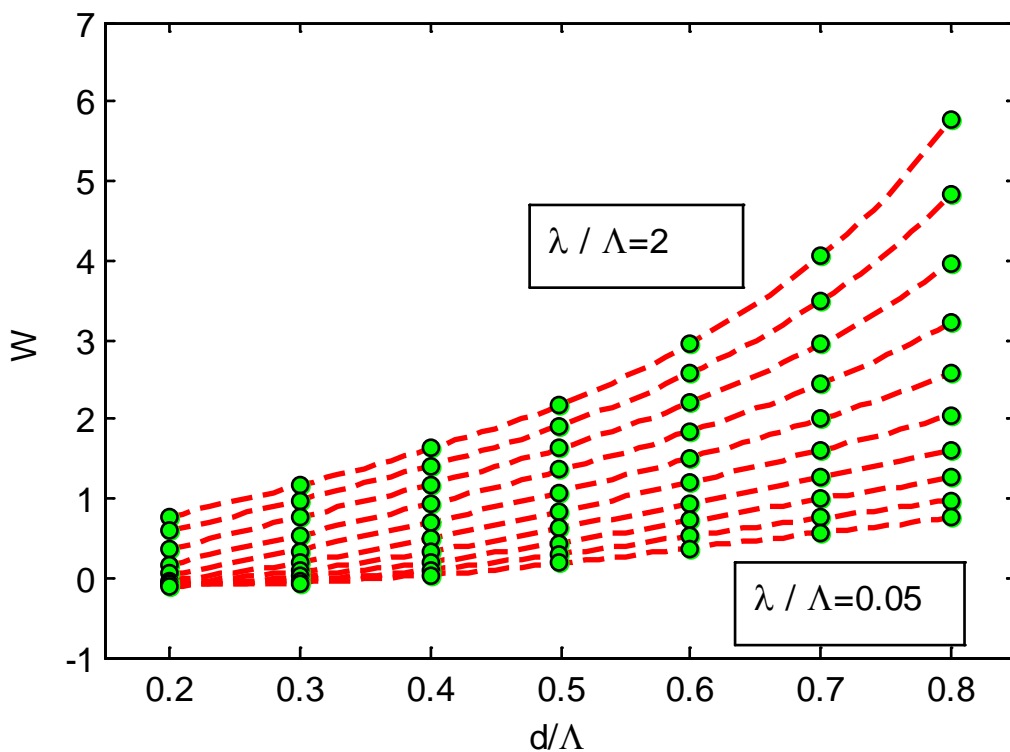


Figure III.6 : W en fonction de d/Λ
 Pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2

D'après les résultats obtenus dans ces figures, nous remarquons que la variation des valeurs de d/Λ en variant λ/Λ , ou le contraire (la variation de la longueur relative λ/Λ en variant d/Λ) on obtient une très grande variation dans le paramètre W , par exemple dans la figure III. 5 pour $d/\Lambda=0.2$ on a des valeurs de ce paramètre $W \approx 0$, et pour $d/\Lambda=0.8$ le paramètre W autour de 0.5.

En second lieu, la figure III.6 pour $\lambda/\Lambda = 0.05$ on a des valeurs de ce paramètre W autour de 0.75, par contre si on augmente la longueur relative $\lambda/\Lambda = 2$ on obtient des valeurs de W autour de 6.

On peut noter que chaque fois on change la valeur des paramètres (d et λ) la constante de propagation transversale normalisée W se varie.

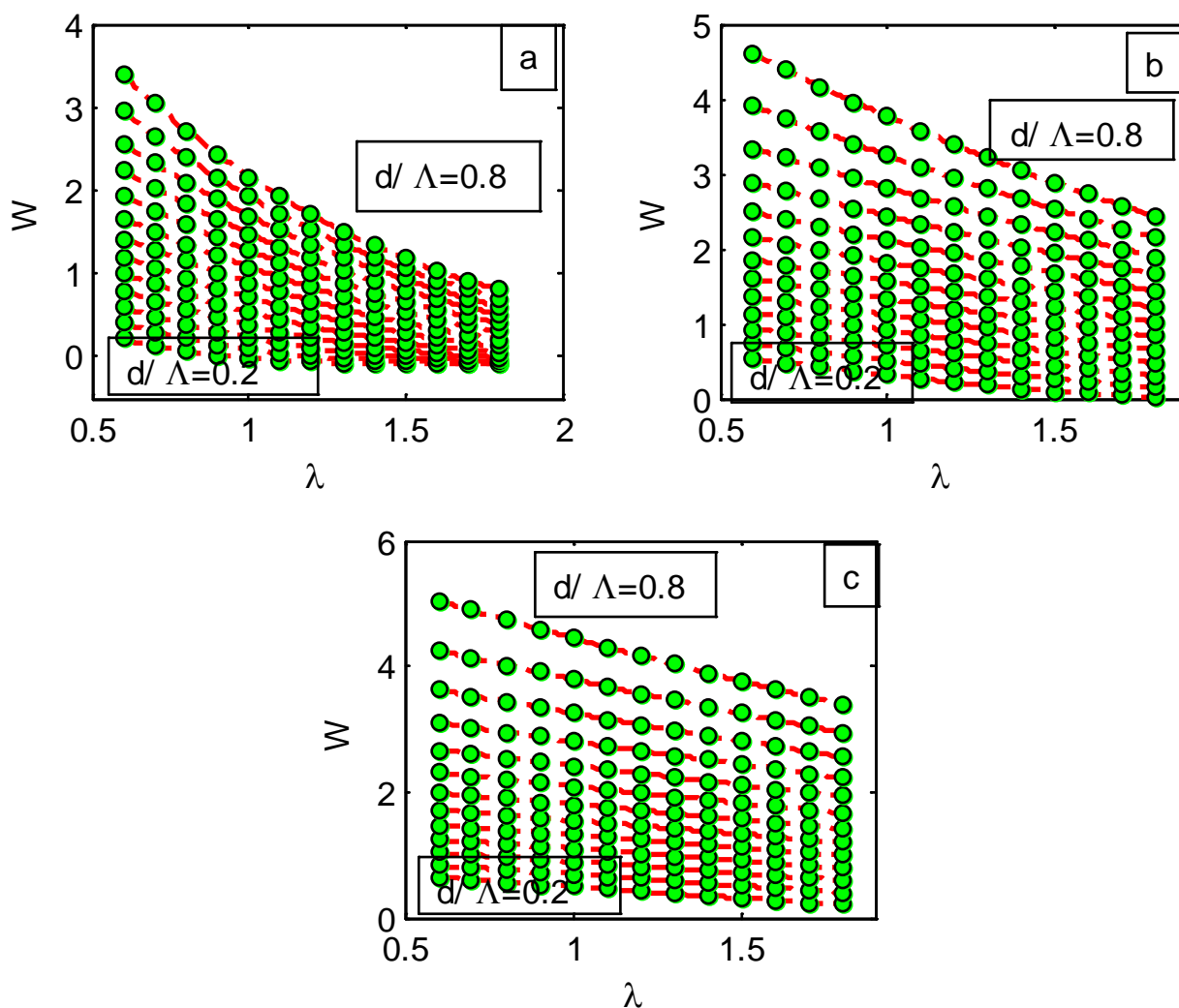


Figure III.7 : W en fonction de la longueur d'onde λ avec Λ variant
Figure (7- a) : $\Lambda=1$ Figure (7- b): $\Lambda=2$ Figure (7- c) : $\Lambda=3$

La figure III.7 donne la variation de W en fonction de λ pour d/Λ s'étendant de 0.2 à 0.8 avec un pas de 0.05. En variant chaque fois le Λ .

Ces variations du paramètre W sont due à la variation de d/Λ et dépend de Λ , par exemple pour $\Lambda=1$ avec λ fixe à 0.8, et $d/\Lambda = 0.8$, on a un paramètre W autour de 2.7, l'augmentation du Λ ($\Lambda=2$ et $\Lambda=3$) pour la même longueur d'onde, nous donne des variations de ce paramètre autour de 5

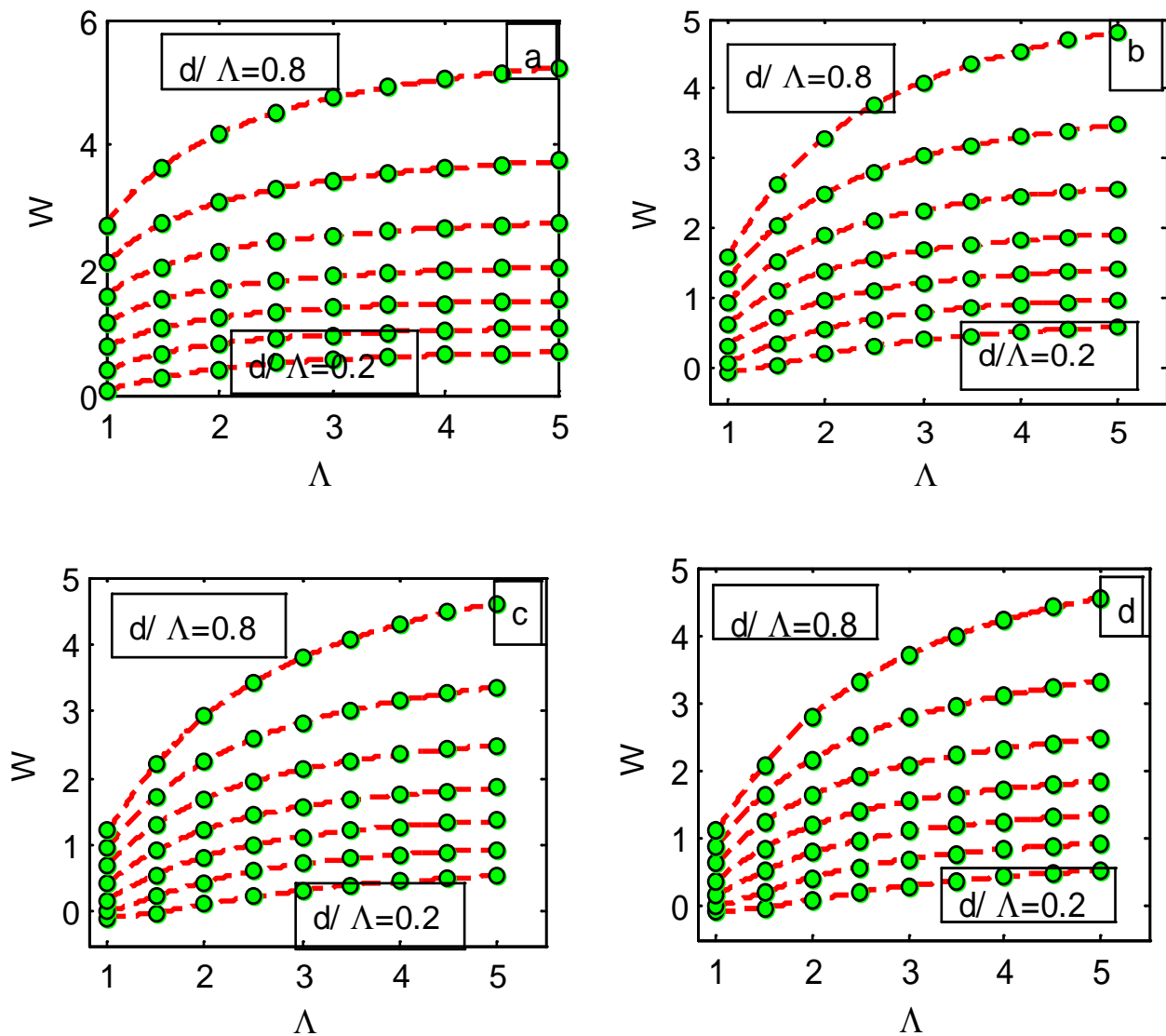


Figure III.8 : W en fonction de pitch Λ avec λ variant

Figure (8- a) : $\lambda = 0.8$. Figure (8- b) : $\lambda = 1.25$. Figure (8- c) : $\lambda = 1.45$. Figure (8- d) : $\lambda = 1.55$

La figure III.8 donne la variation de W en fonction de Λ pour d/Λ s'étendant de 0.2 à 0.8 pour un pas de 0.05. En variant chaque fois la longueur d'onde λ .

D'après les résultats obtenus dans la figure III.8, nous remarquons que la variation de la longueur d'onde n'a aucune influence sur la variation de paramètre W , par contre la variation de d/Λ joue un rôle important car on obtient une très grande variation dans le paramètre W en augmentant le rapport d/Λ .

III.3 L'indice équivalent de la gaine N_{fsm}

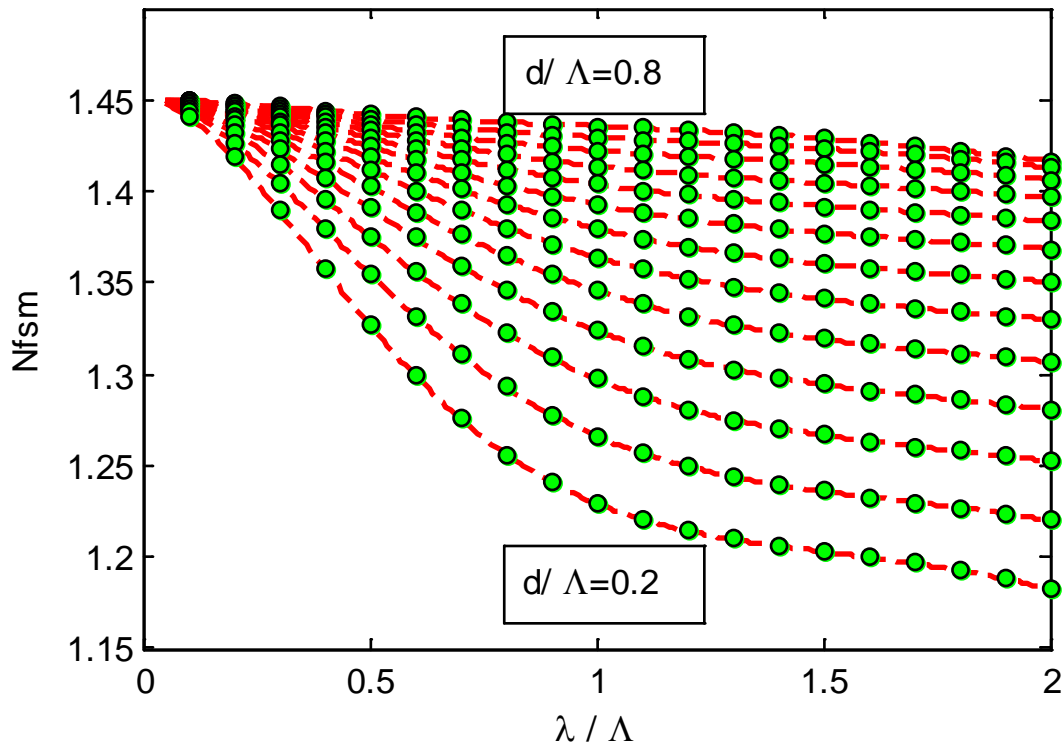
Nous avons une gaine hétérogène composée de deux milieux l'air et la silice. On peut directement la valeur de l'indice de la gaine pour résoudre ce problème on fait appel à l'équation empirique

La combinaison de l'équation utilisée dans le paramètre précédent (V) équation(III.1) avec l'équation(III.5) suivante :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{FSM}}^2} \quad (\text{III.5})$$

Avec $a = \Lambda/\sqrt{3}$ [45]

On peut calculer l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} facilement si la longueur d'onde est fixe et les paramètres géométriques Λ et d sont connus.



**Figure III 9 : N_{fsm} en fonction de la longueur relative λ/Λ
Pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05**

La figure III.9 donne la variation de l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} en fonction de la longueur relative λ/Λ pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05 avec $a = \Lambda/\sqrt{3}$

On remarque que L'indice équivalent de la gaine N_{fsm} décroît de manière linéaire lorsque le rapport d/Λ augmente : Le $d/\Lambda = 0.8$ le N_{fsm} est très proche de l'indice de cœur. Si $d/\Lambda=0.2$ alors l'indice N_{fsm} est très proche de l'indice de l'air. C'est-à-dire chaque fois on diminue le rapport d/Λ , les valeurs de la gaine N_{fsm} tendent vers l'indice de l'air.

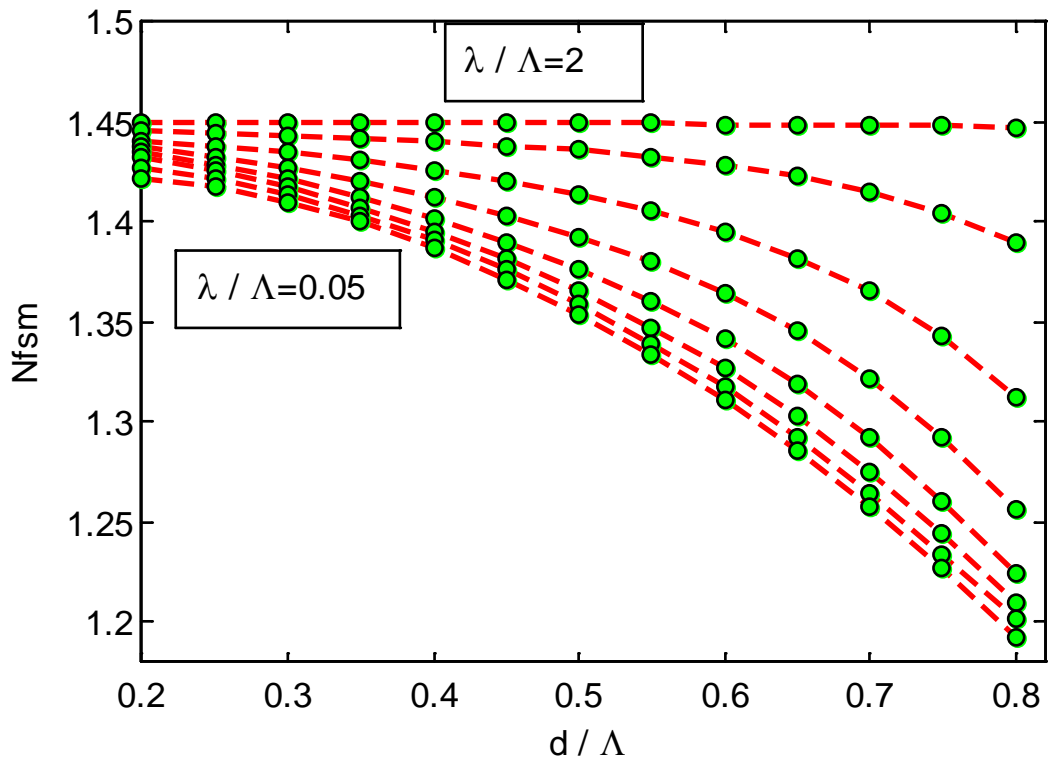


Figure III 10: N_{fsm} en fonction de d/Λ pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2

La figure III.10 donne la variation de l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} en fonction de d/Λ pour

λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2, en supposant le rayon du cœur fixe à $\Lambda/\sqrt{3}$

L'indice N_{fsm} augmente d'une manière linéaire lorsque la longueur relative λ/Λ augmente, et pour des valeurs de λ/Λ proche de 2, on a un indice N_{fsm} équivalent à l'indice de silice

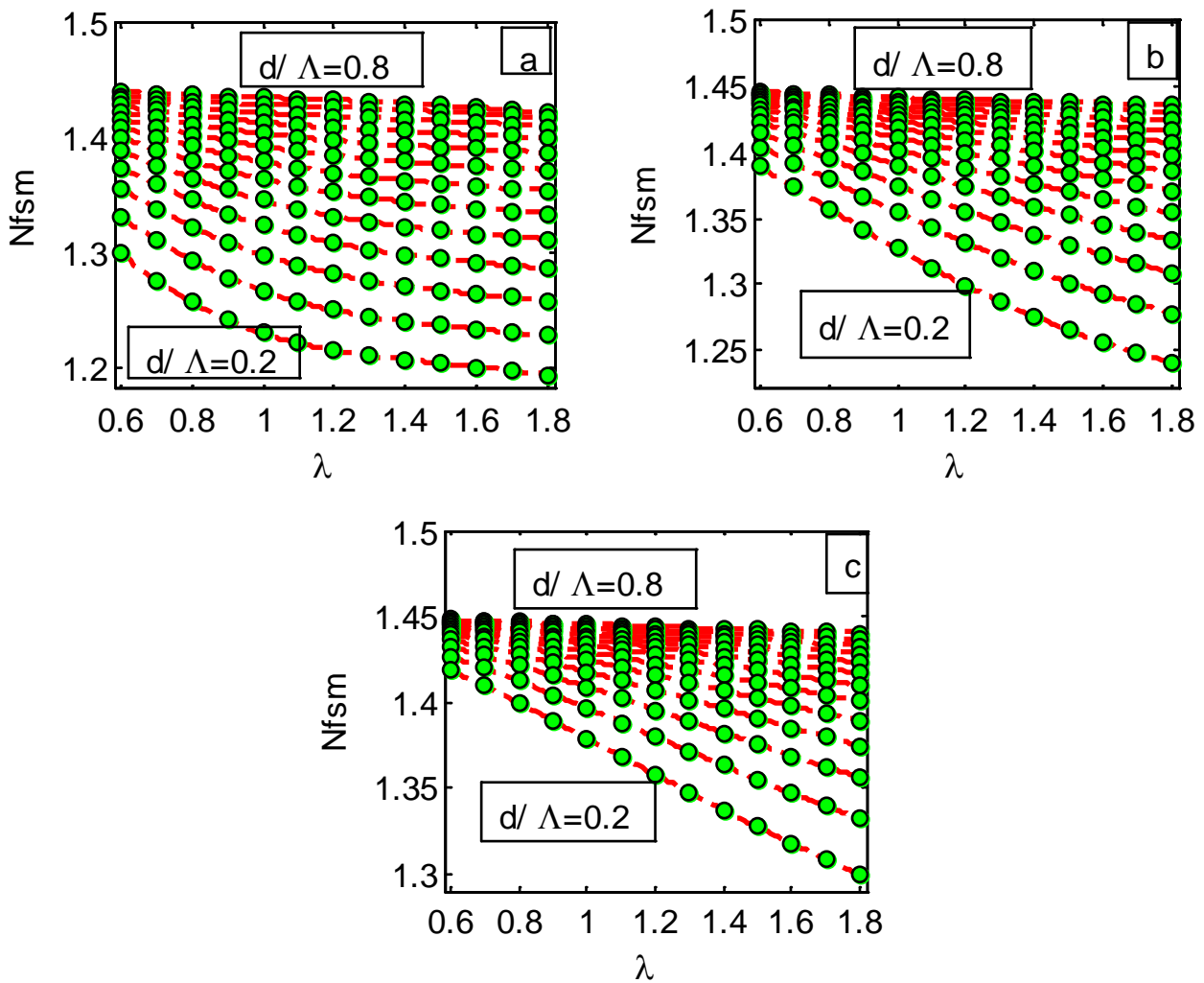


Figure III . 11 : N_{fsm} en fonction de la longueur d onde λ avec Λ variant
Figure (11- a) : $\Lambda=1$ Figure (11- b): $\Lambda=2$ Figure (11- c) : $\Lambda=3$

Sur la Figure III.11, nous remarquons en premier lieu la divergence entre les résultats des trois graphes quand le paramètre Λ diminue. La variation de l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} est plus rapide pour les grandes valeurs des d/Λ .

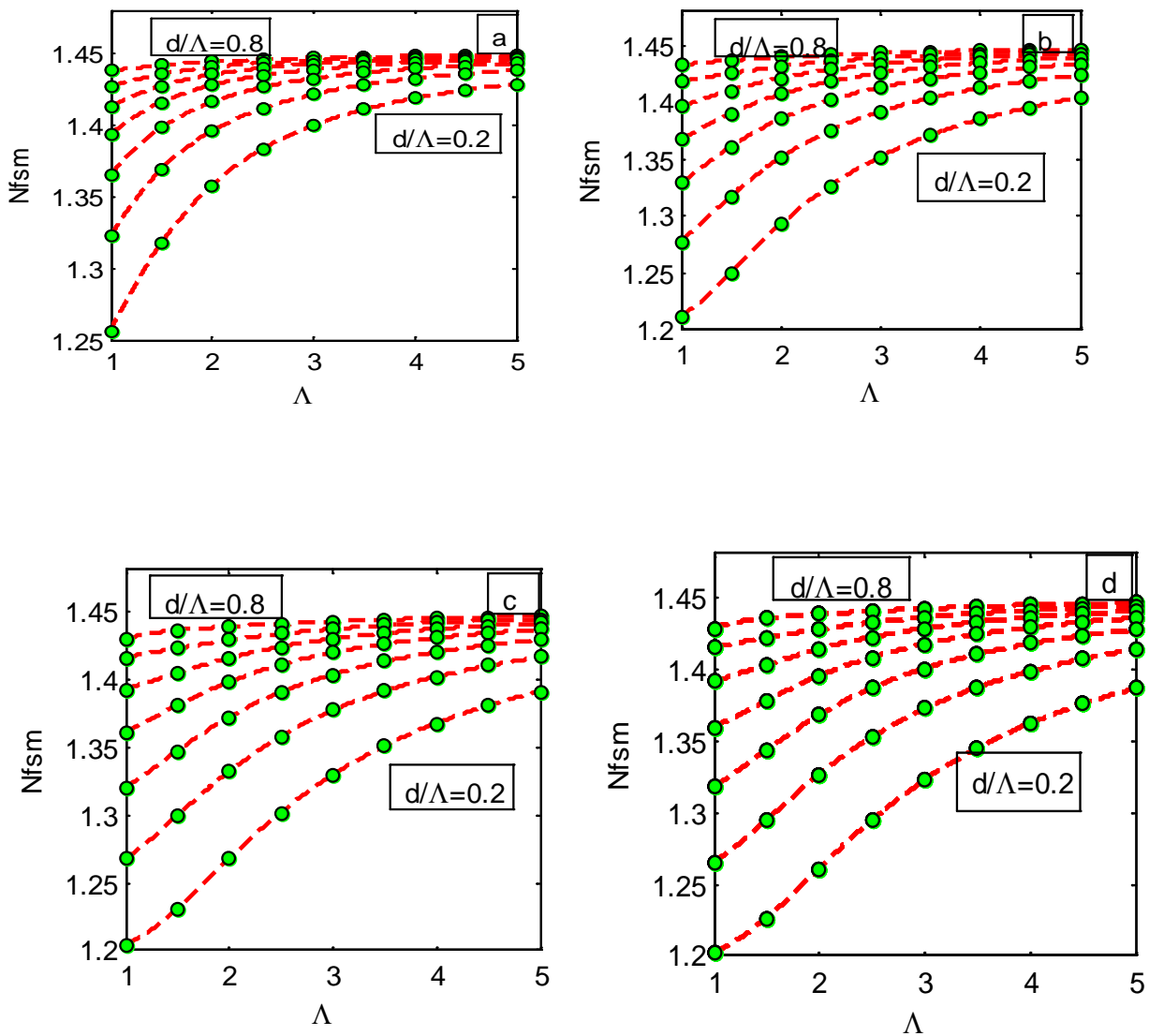


Figure III.12 : N_{fsm} en fonction de pitch Λ avec λ variant

Figure (12- a) : $\lambda = 0.8$. Figure (12- b) : $\lambda = 1.25$. Figure (12- c) : $\lambda = 1.45$. Figure (12- d) : $\lambda = 1.55$

La figure III.12 donne la variation de N_{fsm} en fonction de Λ pour d/Λ s'étendant de 0.2 à 0.8 pour un pas de 0.05. En variant chaque fois la longueur d'onde λ .

En tout premier lieu, il est à noter que l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} varie très fortement : de 1,25 (Figure III -12- b) à 1,55 (Figure III -12- b) pour ces fibres considérées.

En second lieu, on remarque que l'indice équivalent de la gaine augmente d'une manière linéaire lorsque le rapport d/Λ augmente ($d/\Lambda = 0.8 \Rightarrow N_{fsm} = 1.45$)

III.4 L'indice effectif de cœur N_{eff} :

La combinaison de l'équation utilisée dans le paramètre précédent (W) équation (III.2) avec l'équation (III.6), nous a permis de calculer l'indice effectif de cœur N_{eff}

Lorsque N_{fsm} est connue, les équations (III.3) et l'équation (III.6) nous conduisant à l'indice effectif du mode fondamental N_{eff}

$$W = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{eff}^2 - n_{Fsm}^2} \quad (III.6)$$

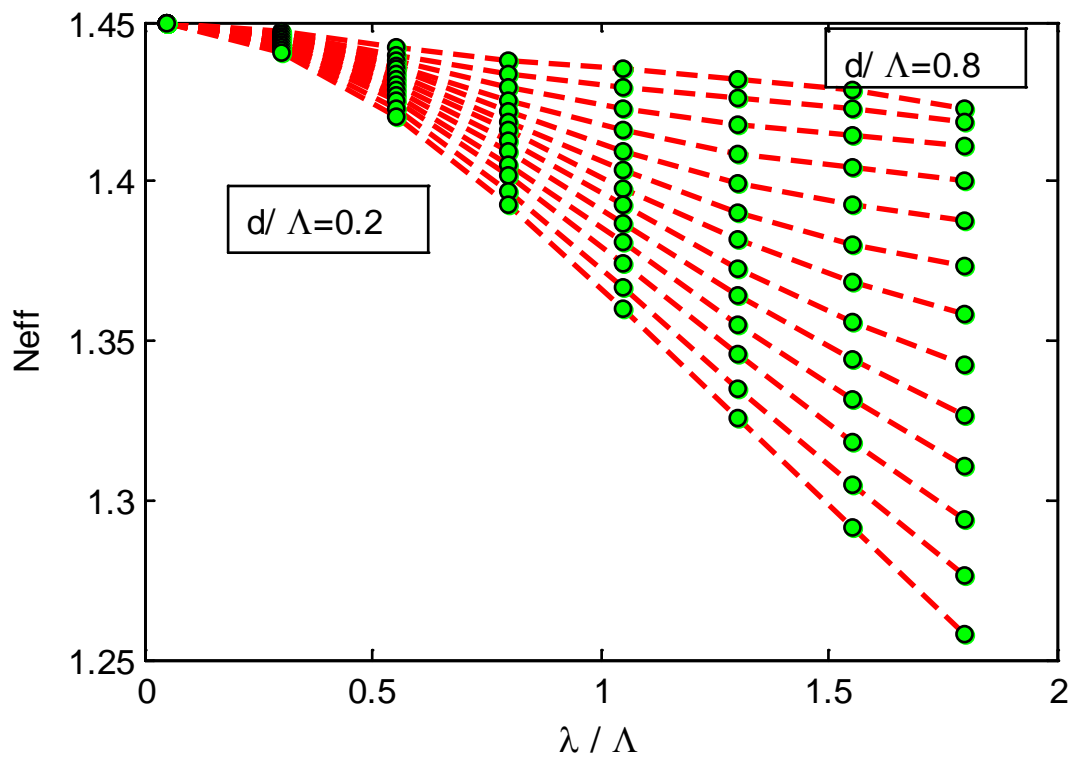
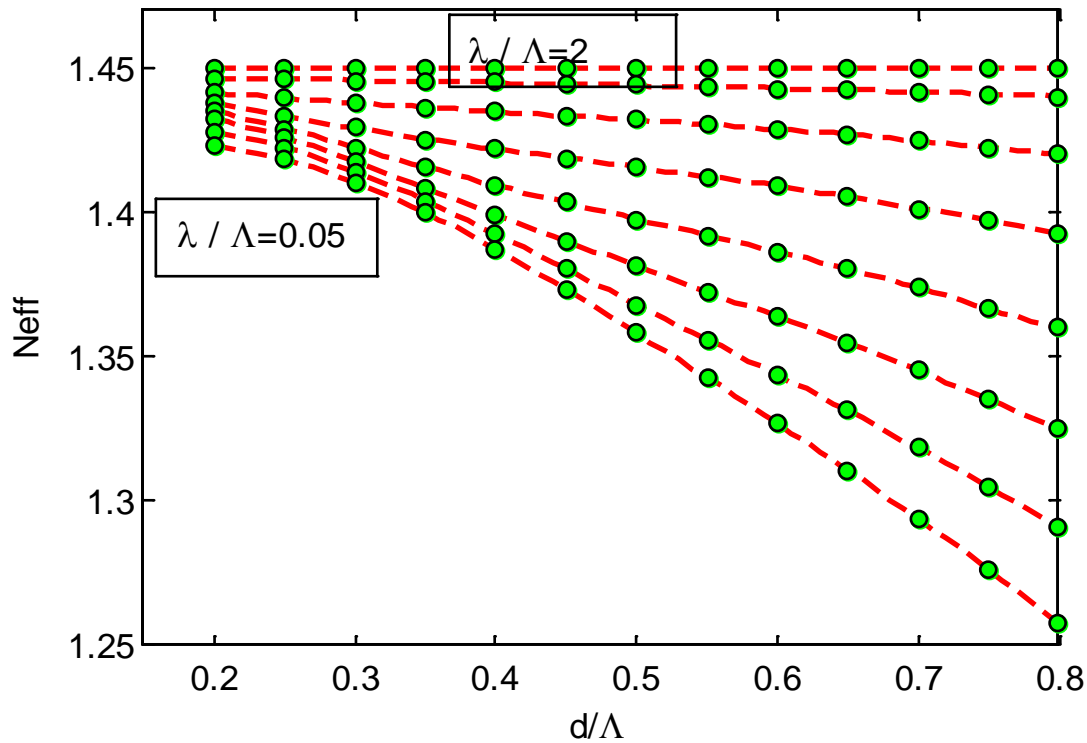


Figure III.13 : N_{eff} en fonction de la longueur relative λ/Λ pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05

La figure III.13 donne la variation de l'indice effectif N_{eff} en fonction de la longueur relative λ/Λ pour d/Λ variant de 0.20 à 0.80 avec un pas de 0.05 et $a = \Lambda/\sqrt{3}$.



**Figure III. 14 : N_{eff} en fonction de d/Λ
Pour la longueur relative λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.2**

La figure III.14 donne la variation de l'indice effectif N_{eff} en fonction de d/Λ pour λ/Λ variant de 0.05 à 2 avec un pas de 0.25 et $a = \Lambda/\sqrt{3}$

Les variations de l'indice effectif sont conformes à ce que l'on pouvait attendre.

Lorsque la proportion d'air présent dans la fibre diminue (c'est à dire lorsque longueur relative λ/Λ augmente et/ou lorsque d/Λ diminue), l'indice effectif du mode fondamental tend vers la valeur de l'indice de réfraction de la silice.

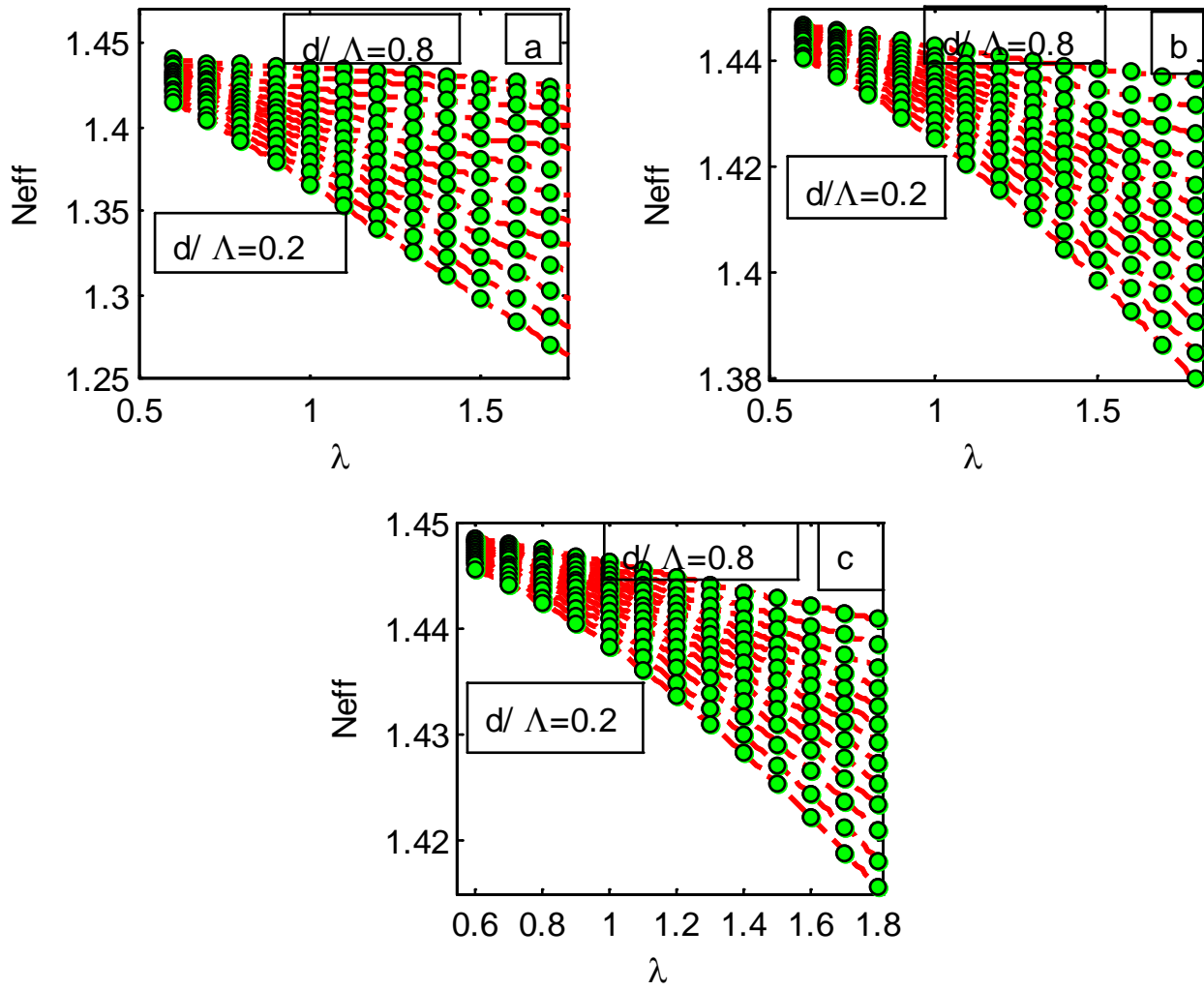


Figure III.15 : N_{eff} en fonction de la longueur d onde λ avec Λ variant
Figure (14 a) : $\Lambda=1$ Figure (14- b) : $\Lambda=2$ Figure (14- c) : $\Lambda=3$

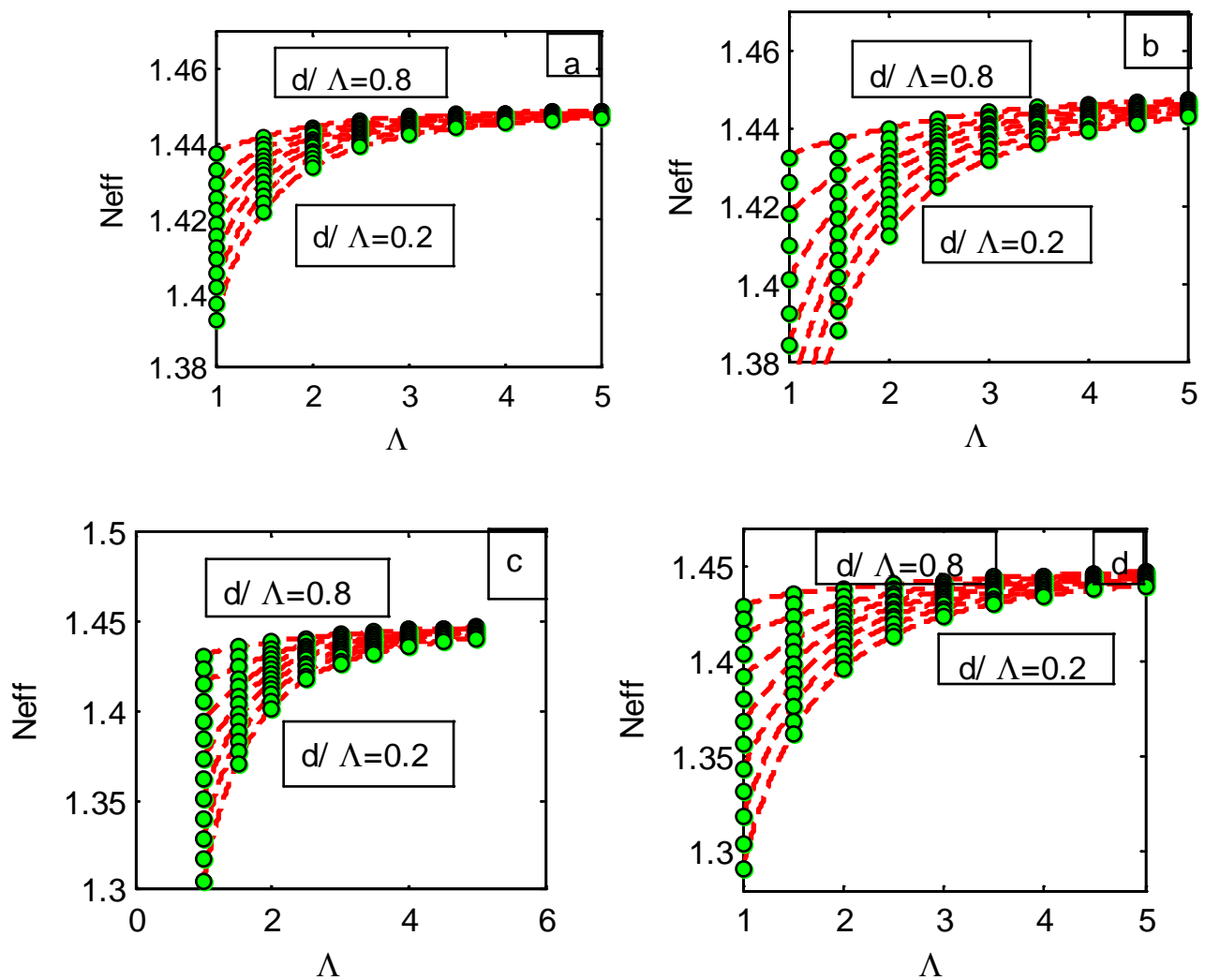


Figure III. 16 : N_{eff} en fonction de pitch Λ avec λ variant

Figure (15- a) : $\lambda = 0.8$. Figure (15- b) : $\lambda = 1.25$. Figure (15- c) : $\lambda = 1.45$.Figure (15- d) : $\lambda = 1.55$

La figure III .16 donne la variation de N_{eff} en fonction de Λ pour d/Λ s'étendant de 0,2 à 0.8 pour un pas de 0.05 . En variant chaque fois la longueur d'onde λ .

En tout premier lieu, il est à noter que l'indice effectif varie très fortement : de 1,25 (Figure III -15- b) à 1,55 (Figure III -15- b) pour ces fibres considérées

En second lieu, on remarque que l'indice effectif augmente de manière linéaire lorsque le rapport d/Λ augmente ($d/\Lambda = 0.8 \Rightarrow N_{eff} = 1.45$)

IV. Présentation d'une interface graphique :

Dans cette partie, on va développer une interface graphique en basant sur des programmes MATLAB, dans le but de faciliter la tâche aux utilisateurs pour manipuler et modéliser les différents paramètres et indices de la fibre à cristaux photonique, en jouant sur les différents paramètres géométrique de cette dernière.



FigureIII.17 : Page d'accueil de notre interface

La figure III.17 présente la page d'accueil de notre interface, elle contient 4 boutons, afin de modéliser les différents paramètres et indices des fibres PCF

IV.1 Modélisation du paramètre V :

Dans cette partie on va procéder à la modélisation du comportement monomode et multimode de la PCF.

La figure III.18 correspond à la modélisation du paramètre V.

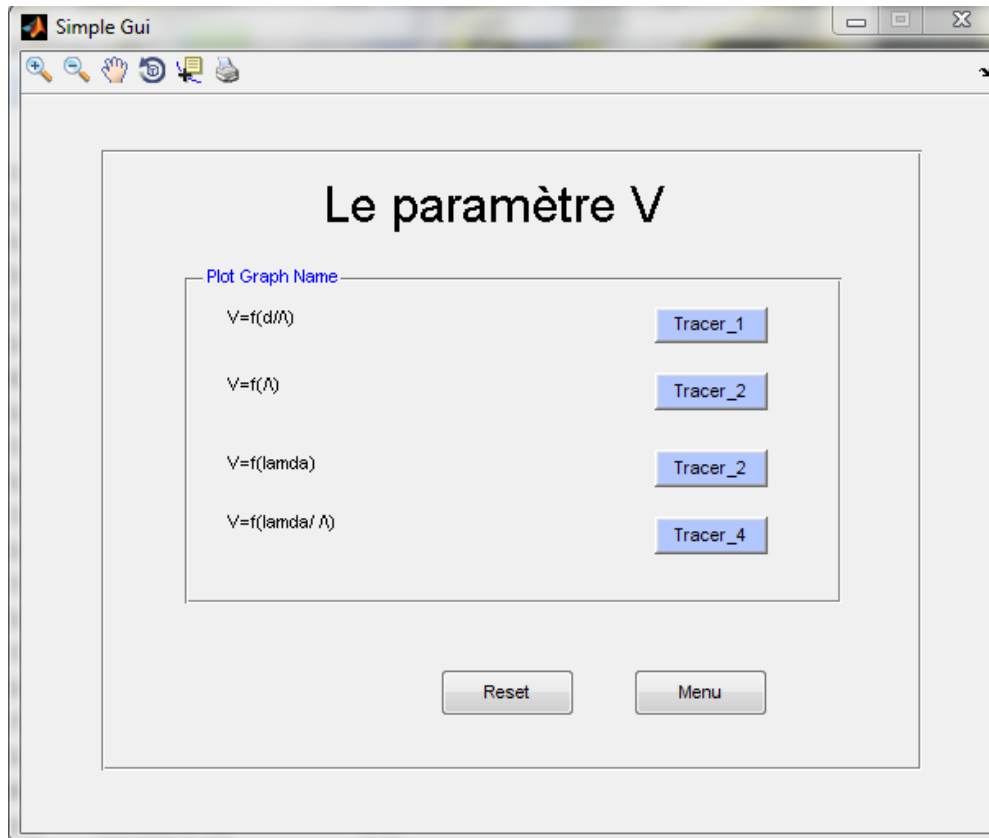


Figure III.18 Modélisation de paramètre V

Cette interface nous permet de tracer quatre graphes

- V en fonction de λ/Λ
- V en fonction de Λ
- V en fonction de d/Λ
- V en fonction de λ pour les différents valeurs du Λ

Le bouton Reset permet d'annuler le graphe.

Le bouton Menu permet de retourner au menu principal.

IV.2 Modélisation Paramètre W :

Ce bouton nous redirige vers l'interface qui correspond à la modélisation du paramètre W et affiche les graphes des résultats

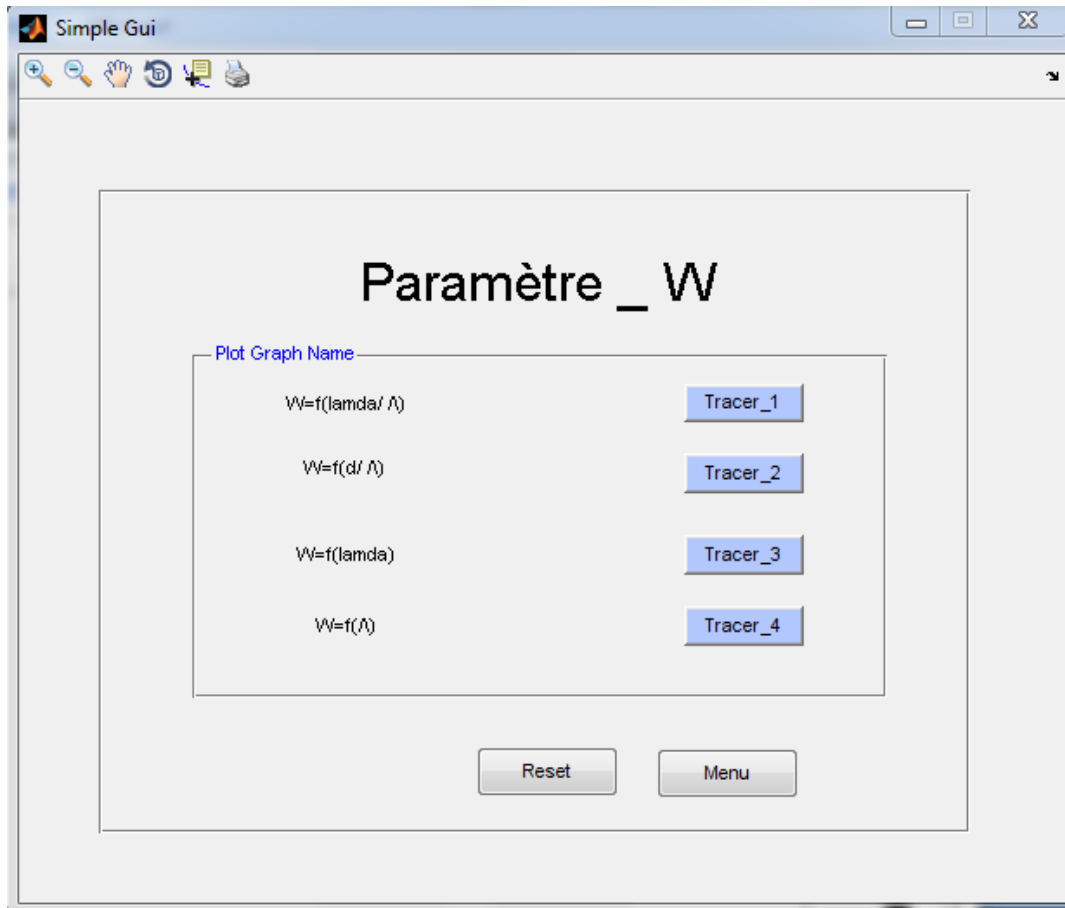


Figure III.19 Modélisation Paramètre W

Cette interface nous permet de tracer quatre graphs

- W en fonction de λ/Λ
- W en fonction de Λ pour les différents valeurs de λ
- W en fonction de d/Λ
- W en fonction de λ pour les différents valeurs de Λ

IV.3 Modélisation Paramètre N_{eff}

Dans cette partie on va procéder à la modélisation de l'indice N_{eff} en jouant sur les différents paramètres géométrique de la PCF .

La figure III.20 correspond à la modélisation de cet indice.

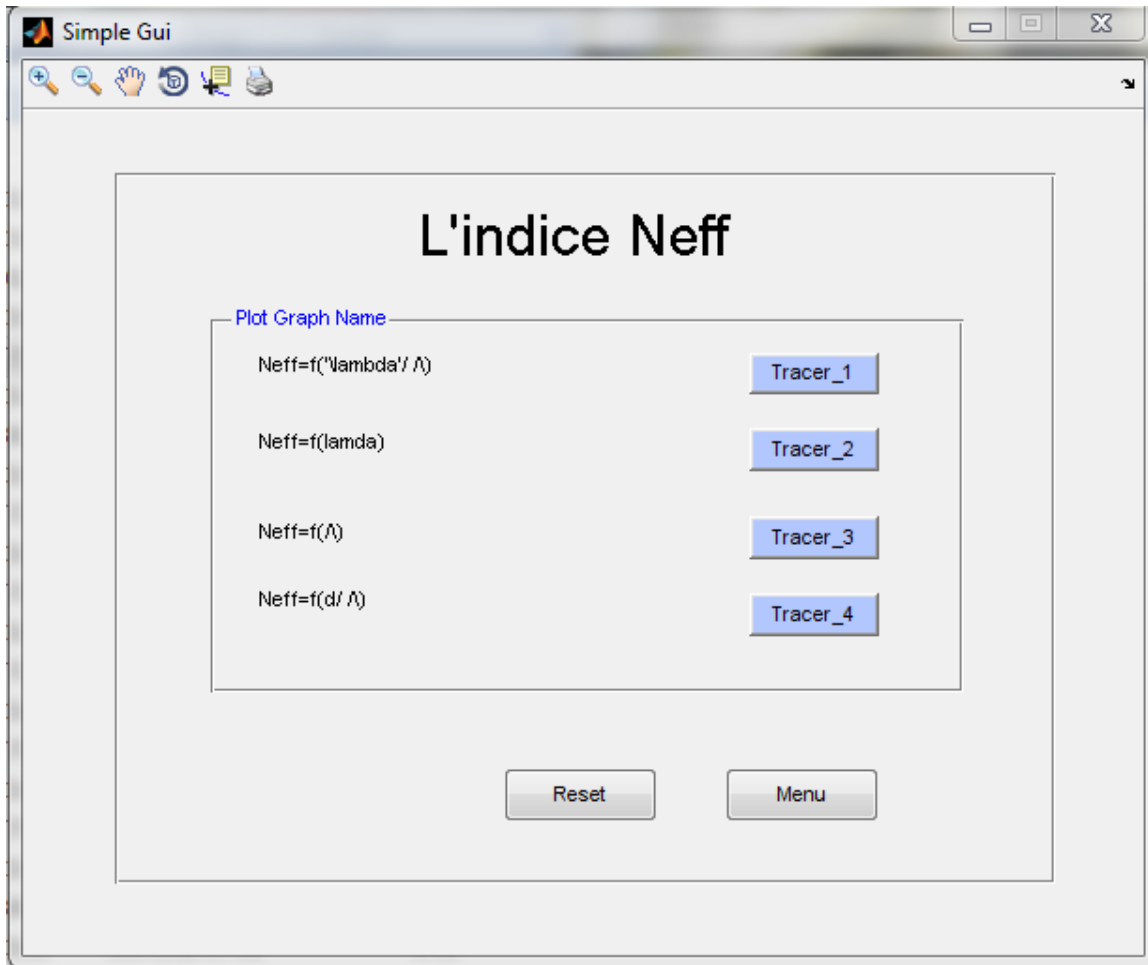


Figure III.20 Modélisation de l'indice N_{eff}

Cette interface nous permet de tracer quatre graphs

- N_{eff} en fonction de λ/Λ
- N_{eff} en fonction de Λ pour les différentes valeurs de λ
- N_{eff} en fonction de d/Λ
- N_{eff} en fonction de λ pour les différentes valeurs de Λ

IV.3 Modélisation Paramètre N_{fsm}

Ce bouton nous redirige vers l'interface qui correspond à la simulation du paramètre V et affiche les graphs des résultats

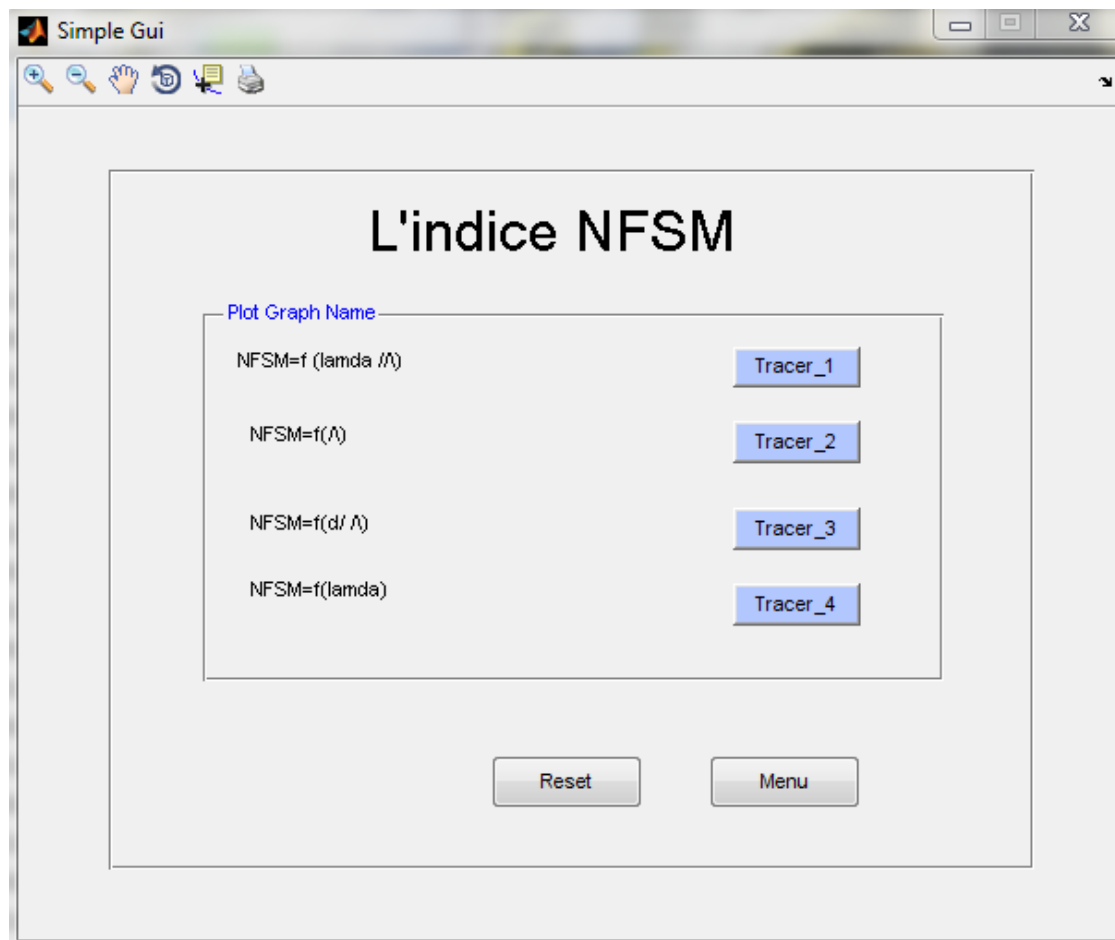


Figure III.21 Modélisation de l'indice N_{fsm}

Cette interface nous permet de tracer quatre graphes

- N_{fsm} en fonction de λ/Λ
- N_{fsm} en fonction de Λ pour les différentes valeurs de λ
- N_{fsm} en fonction de d/Λ
- N_{fsm} en fonction de λ pour les différentes valeurs de Λ

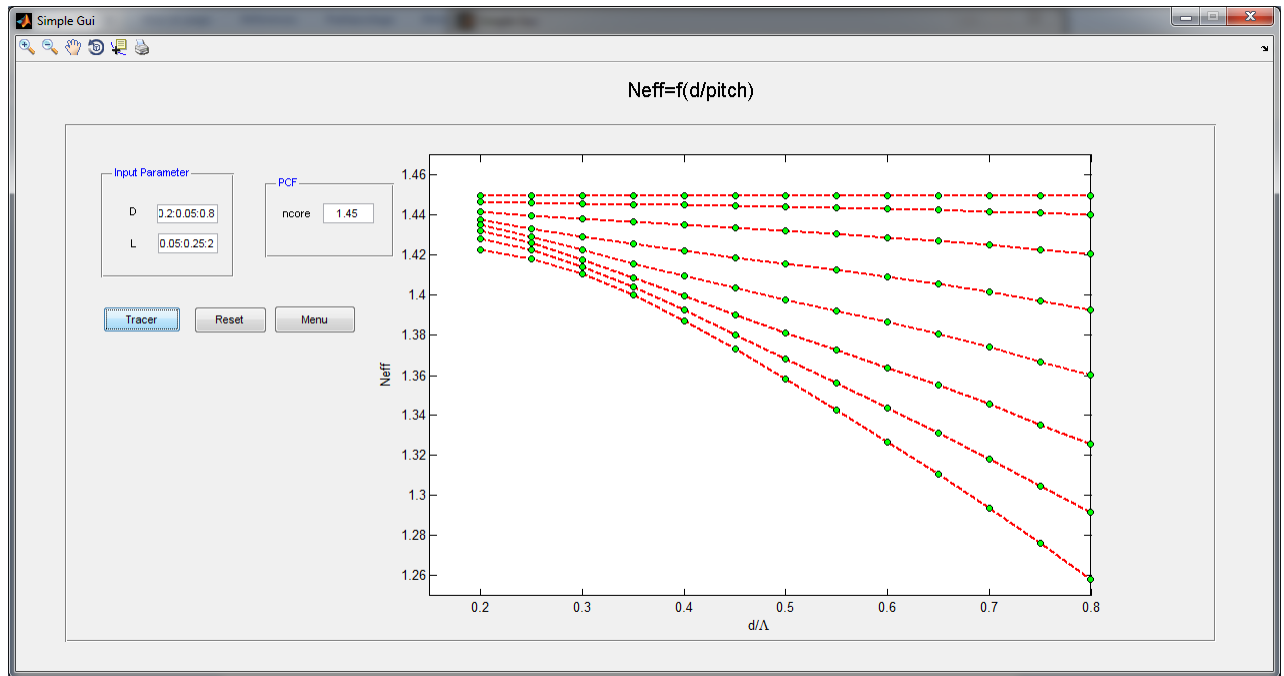


Figure III.21 Résultat de l'interface

La figure III.21 présente les résultats obtenus par notre interface pour l'indice effectif N_{eff} en fonction de d/Λ en entrant les valeurs D et L avec $N_{\text{core}}=1.45$.

V. Conclusion

Les fibres à cristaux photoniques combinent des propriétés des cristaux photoniques et des fibres classiques. Le domaine de la recherche sur les fibres à cristaux photoniques est encore très jeune. Nous pouvons attendre à de nombreux nouveaux développements, et à plusieurs méthodes efficaces pour la conception et l'optimisation.

Nous avons établi une étude analytique sur les propriétés optiques des fibres microstructurées afin de modéliser et caractériser les propriétés de propagation tel (V , W , N_{fsm} et N_{eff}) et intégrer le calcul de ces paramètres sur une interface conviviale et facile.

Conclusion Général

Conclusion Général

L'étude présentée dans ce mémoire a pour objectif de prédire et de caractériser les propriétés de propagation des fibres microstructurées à guidage par réflexion totale interne afin d'évaluer leur application dans les systèmes de télécommunications optiques.

Les caractéristiques de propagation originales des fibres microstructurées à réflexion totale interne sont particulièrement attractives pour de nombreuses applications, en particulier dans les domaines des télécommunications et de l'optique non linéaire. Mais, pour que les fibres microstructurées puissent remplir les fonctions attendues, il est indispensable que leurs caractéristiques soient parfaitement en accord avec le cahier des charges prévu. En particulier, les pertes, la dispersion chromatique et le domaine spectral de propagation monomode où multimode sont très sensibles aux paramètres opto-géométriques des fibres. La compréhension des liens existant entre ces caractéristiques et la géométrie des fibres réelles (en tenant compte des imperfections) est indispensable pour faire progresser les techniques de fabrication notamment. Ceci constitue le thème central des résultats du travail présenté dans ce manuscrit.

Tout d'abord nous avons présentés des généralités sur la fibre optique classique et ces caractéristiques, ensuite on a étudiés une nouvelle classe des fibres à cristal photonique «les FMAS de type RTIM dont le guidage est similaire à celui des fibres conventionnelles, et les FMAS de type BIP avec un guidage par bandes interdites photoniques».

Nous avons exploités les propriétés originales des FMAS en mettant l'accent surtout sur la fréquence normalisé, l'indice effectif, ainsi que la dispersion chromatique. Ceci nous a conduits à mettre en évidence l'énorme champ d'application de ce type de fibres.

En fin nous avons étudiés des méthodes analytiques basant sur des équations empiriques, afin de mettre en évidence l'influence des paramètres opto-géométriques sur la fréquence normalisé V , la constante de propagation transversal normalisé W , l'indice équivalent de la gaine N_{fsm} et l'indice effectif de cœur N_{eff} .

Ces différents modèles ont été implémentés sur une interface graphique qu'on a développée. Ces différentes modélisations permettront de deviner le comportement des différentes structures.

Bibliographie

[1] L. Labonté, D. Pagnoux " Analyse théorique et expérimentale des principales caractéristiques du mode fondamental dans les fibres optiques microstructurées air/silice" Université de Limoges, 17 octobre 2005.

[2].Mémoire Magister,Par DAOUI Abdel Kader, Thème: Fibres optiques micro-structurées :Modélisation et optimisation des propriétés optiques ,UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA- 2013

[3] Bendrihm A 2009 étude des phénomènes liés à la propagation dans les fibres optiques Thèse magister. Université de Batna.

[4].Les différentes principes de transmission des données par fibre optique, par Emmanuel BongaliAtatama, institut supérieur d'informatique programmation et analyse RDC- Graduat 2011

[5].THESE Doctorat, Julien MAURY,Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique, UNIVERSITE DE LIMOGES,2003

[6].MAGISTER, Mr BadreddineBoubir,Thème : Etude et optimisation des différents paramètres d'un amplificateur à fibre optique dopée avec des ions de terres rares, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2009

[7].Université Nice Sophia Antipolis site réalisé par A.Smail A.ElHadji et A.Maher projet encadré par Wilfried Blanc et Laurent Labonté.

chap2

[8] UNIVERSITE CONSTANTINE 1 ,Doctorat troisième cycle En électronique présenté Par Hamza OTMANI, « Etude théorique des propriétés magnéto-optiques de cristaux magnéto photoniques à structure ferrite grenat de bismuth (BIG) », 2014

[9] Doctorat àUNIVERSITE DE LIMOGES , en Electronique des Hautes Fréquences, Photonique et SystèmesPrésentée par Nicolas Mothe,thème « Composants optiques à fibres multiples : applications à laSommmation opto-microonde et aux fibres microstructurées mono et multicœurs » 2009

[10] MEADE R. D., BROMMER K. D., RAPPE A. M., JOANNOPOULOS J. D. Existence of a photonic band gap in two dimensions. *AppliedPhysicsLetters*, 1992, vol. 61, n° 4,pp. 495-497.

[11] BIRKS T. A., ROBERTS P. J., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M., SHEPHERD T. J. Full 2-D photonic bandgaps in silica/air structures. *Electronics Letters*, 1995, vol. 31, n° 22, pp. 1941-1943.

[12] ROBERTS P. J., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., SHEPHERD T. J., ATKIN D. M.

Two-dimensional photonic band-gap structures as quasi-metals. *Optics Letters*, 1996, vol. 21, n° 7, pp. 507-509.

[13] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding. *Optics Letters*, 1996, vol. 21, n° 19, pp. 1547-1549.

[14] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding: errata. *Optics Letters*, 1997, vol. 22, n° 7, pp. 484-485.

[15] BARKOU S.E., BROENG J., BJARKLEV A., Silica air photonic crystal fiber design that permits waveguiding by a true photonic bandgap effect, *Optics letters*, vol. 24, n°1, 1999

[16] YABLONOVITCH E., GMITTER T. J., LEUNG K. M., Photonic band gap structures: the face-centered cubic case employing non-spherical atoms, *Physical Review Letters*, vol. 67, n° 17, 1991

[17] BROENG J., BARKOU S.E., SONDERGAARD T., BJARKLEV A., Analysis of air guiding photonic bandgap fibers, *Optics letters*, vol. 25, n°2, 2000

[18] CANNING J., Grating confinement in a photonic crystal fibre, *Optics Communications*, vol.176, *Optics communications*, 2000

[19] ALBERT FERRANDO A., SILVESTRE E., MIRET J.J., ANDRES P., ANDRES M.V., Vector description of higher order modes in photonic crystal fibers, *JOSA A*, vol.17, n°7, 2000

[20] PEYRILLOUX A., Modélisation et caractérisation des fibres microstructures air/silice pour application aux télécommunications optiques, Thèse de doctorat, Université de Limoges, p. 29, 2003

[21] BROENG J., BARKOU S.E., SONDERGAARD T., BARBEITO P.M., BJARKLEV A., Waveguidance by the photonic bandgap effect in optical fibres, *Journal of Optics A: Pure Applied optics*, vol. 1, 1999

[22] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M., All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding, *Optics Letters*, vol. 21, n° 19, 1996

[23] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M., All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding: errata, *Optics letters*, vol. 22, n° 7, 1997

[24] BIRKS T. A., KNIGHT J. C., RUSSELL P. St. J., Endlessly single-mode photonic crystal fiber, *Optics Letters*, vol. 22, n° 13, 1997

- [25] BIRKS T. A., MOGILEVTSEV, KNIGHT J. C, RUSSELL P. St. J, BROENG J, The analogy between photonic crystal fibres and step index fibres, Optical Fiber Communication Conference, San Jose, California, 1998
- [26] RUSSELL P. St. J. Holey new fibers. Optical Fiber Communication Conference, OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington DC, 2001), papier TuL1, Anaheim (Californie, Etats Unis), 17-22 mars 2001.
- [27] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding. *Optics Letters*, 1996, vol. 21, n° 19, pp.1547-1549.
- [28] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., ATKIN D. M. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding: errata. *Optics Letters*, 1997, vol. 22, n° 7, pp. 484-485.
- [29] BIRKS T. A., KNIGHT J. C., RUSSELL P. St. J. Endlessly single-mode photonic crystal fiber. *Optics Letters*, 1997, vol. 22, n° 13, pp. 961-963.
- [30] VENKATARAMAN N., GALLAGHER M. T., SMITH C. M., MÜLLER D., WEST J.A., KOCH K. W., FAJARDO J. C. Low loss (13 dB/km) Air core Photonic Band-Gap Fibre. In : *28th European Conference on Optical Communication*, Copenhagen (Danemark), 8-12 septembre 2002.
- [31] KNIGHT J. C., BIRKS T. A., RUSSELL P. St. J., DE SANDRO J. P. Properties of photonic crystal fiber and the effective index model. *Journal of Optical Society of America, Part A*, 1998, vol. 15, n° 3, pp. 748-752
- [32] SAKAI J., KIMURA T. Bending loss of propagation modes in arbitrary-index profile optical fibers. *Applied Optics*, 1978, vol. 17, n° 10, pp. 1499-1506.
- [33] SNYDER A. W., LOVE J. D. Optical Waveguide Theory. *Chapman & Hall*, 1983.
- [34] SØRENSEN T., BROENG J., BJARKLEV A., KNUDSEN E., BARKOU LIBORI S. E. Macro-bending loss properties of photonic crystal. *Electronics Letters*, 2001, vol. 37, n° 5, pp. 287-289.
- [35]. Z. Yusoff, J. H. Lee, W. Belardi, T. M. Monro, P. C. Teh, and D. J. Richardson, "Raman effects in a highly nonlinear holey fiber: amplification and modulation," *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 424-426, 2002.
- [36]. J. E. Sharping, M. Fiorentino, P. Kumar, and R. S. Windeler, "Optical parametric oscillator based on four-wave mixing in microstructure fiber," *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 1675-1677, 2002.

- [37]. J. H. Lee, W. Belardi, K. Furusawa, P. Petropoulos, Z. Yusoff, T. M. Monro, and D. J. Richardson, "Four-wave mixing based 10-Gb/s tunable wavelength conversion using a holey fiber with a high SBS threshold," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 15, pp. 440-442, 2003.
- [38]. J. H. Lee, Z. Yusoff, W. Belardi, M. Ibsen, T. M. Monro, and D. J. Richardson, "A tuneable WDM wavelength converter based on cross phase modulation effects in holey fiber," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 15, pp. 437-439, 2003.
- [39]. P. Petropoulos, T. M. Monro, W. Belardi, K. Furusawa, J. H. Lee, and D. J. Richardson, "2 R -regenerative all-optical switch based on a highly nonlinear holey fiber," *Opt. Lett.*, vol. 26, pp. 1233-1235, 2001.
- [40]. Mohammed Debbal, Mohamed Chikh-Bled, "*Analysis and modeling of microstructured fiber using the analytical method based on the empirical equation*", Journal of Electrical and Electronics Engineering (JEEE), Vol. 6, Issue 1, (2013).
- [41]. THESE Doctorat, Mohammed Debbal, Modélisation et optimisations des fibres à cristaux photoniques dédiées aux télécommunication optique , UNIVERSITÉ DE TLEMCEM, 2013.
- [42]. Marcuse, D., et Laboratories, B. "*Gaussian approximation of the fundamental modes of graded-index fibers*". Science, (2), 106–109. (1978).
- [43]. Saitoh, K, et Koshiha, M. "*Empirical relations for simple design of photonic crystal fibers*". Optics express, 13(1), 267–74. (2005).
- [44]. Nielsen, M. D., Mortensen, N. a., Folkenberg, J. R., et Bjarklev, a. "*Mode-Field Radius of Photonic Crystal Fibers Expressed by the V-parameter*", Optics Letters, Vol. 28, Issue 23, pp. 2309-2311 (2003).
- [45]. Li, H., Mafi, A., Schülzgen, A., Li, L., Temyanko, V. L., Peyghambarian, N., & Moloney, J. V. "*Analysis and Design of Photonic Crystal Fibers Based on an Improved Effective-Index Method*". Lightwave, 25(5), pp 1224–1230. (2007).

ملخص

يعتبر الليف البصري وسيلة نقل هامة جدا للمعلومة في عصرنا الحالي . لهذا يجب تحسين و تطوير الخصائص الضوئية لهذه الألياف و خاصة فيما يتعلق بالضياح و التبدد.

لذلك طورت ألياف من نوع جديد من اجل الحصول على اقل قيمة للضياح تعرف هذه الألياف باسم الليف البصري الميكروبنويوي أو الليف البصري الفوتوني.

في هذه الأطروحة قمنا بدراسة نظرية بحثنا لإبراز تأثير الشكل الهندسي على الليف البصري الميكروبنويوي بينا من خلالها تأثير مختلف العوامل على مميزات الانتشار عبر الألياف الفوتونية.

الكلمات المفتاحية: الألياف البصرية الميكروبنويوية, المعلمات الهندسية, المنهج التحليلي.

Résumé

Les fibres optiques permettent de guider la lumière, c'est-à-dire de la contraindre à emprunter le trajet décrit par la fibre. Depuis leur invention dans les années 1960, elles ont trouvé de nombreuses applications engendrant un impact fort dans la vie quotidienne en particulier dans le domaine des télécommunications. Il était nécessaire d'améliorer les caractéristiques de propagation dans les fibres.

Une nouvelle génération de fibres a été conçue dans le but d'obtenir des pertes moindres que les fibres conventionnelles. Ces fibres connues sous le nom de "fibres microstructurées, fibre à cristal photonique où fibre à bande interdite photonique.

Dans ce contexte, nous avons réalisé un travail purement théorique basé sur la modélisation et l'analyse des différents paramètres de propagations dans les fibres optiques microstructures. Ce travail nous a permis de mettre en évidence l'effet de chaque paramètre sur la propagation des signaux optiques.

Mots clés : Fibre cristaux photonique, paramètres géométriques, méthode analytique.

Abstract

The optical fiber is a light-guide who is now the preferred medium for transport of information at high speed. But, to meet the important growing needs generated, in particular, by the development of the Internet, it is necessary to improve the fiber characteristics, especially those relating the losses A new generation of fiber is imagined in order to obtain lower losses than conventional fibers.

These fibers known as "Microstructured fiber; photonic crystal fiber (PCF) or interdict photonic fiber band gap".

This context, introduces analytical methods that have allowed us to modelling the FMAS . These methods have been successfully validated and implemented on a graphical interface (GUI).

The effect of each parameter on the propagations characteristics has been calculated.

Keywords: fiber Cristal photonique, geometric parameters, analytical method.