

DEDICACES

RAMADHAN SHABANI :*Je voudrais consacrer ce projet à ma mère Zainabu qui a agi (à la main) en tant que mère, père, ami et ma main cachée chaque fois que je l'avais besoin, je peux vraiment prétendre avoir la meilleure maman du monde aussi à tous ceux qui m'ont aidé dans ma quête à apprendre. J'ai eu la chance d'avoir de nombreux enseignants merveilleux dans ma vie. Non seulement les enseignants de l'école, mais la famille et les amis qui m'ont donné leur main sur le chemin.*

AHMED MOHAMED MUSSA : *Pour ma famille, les amis et les proches, dont leurs soutien a apporte une grande inspiration, encouragement et passion au cours des années de ma vie.*

Que Dieux les bénisse tous.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été effectué à la Faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen.

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. Nous voudrions présenter nos remerciements à nos encadreurs Dr. M. DEBBAL et Pr.M.CHIKH-BLED, Nous voudrions également leur témoigner notre gratitude pour leur patience et leur soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury monsieur le président de jury Dr. M. Boussahla , ainsi que Dr.F.Derrazpour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements s'étendent également au corps professoral et administratif de la Faculté de technologie, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée. A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles. Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

RESUME

Les fibres à cristal photonique (PCF) jouent le rôle le plus intéressant et prometteur dans l'industrie de la communication optique que les fibres optiques classiques. Il existe plusieurs propriétés optiques inhabituelles des PCF, ce qui rend les PCF plus souple et utile que celui conventionnel. Ces propriétés sont des opérations en monomode, une dispersion aplatie, une dispersion chromatique nulle, une grande biréfringence, une faible perte de confinement. Ces propriétés sont réalisées en concevant soigneusement la structure PCF.

Dans ce projet, une nouvelle fibre à cristal photonique (PCF) avec une dispersion faible et aplatie à large plage de longueur d'onde est présentée. Une amélioration significative des PCF. Le terme de dispersion chromatique est présenté par une sélection minutieuse de la dimension des trous d'air et l'espacement entre les trous d'air adjacents. Pour analyser ces PCF, la méthode BPM est parfaitement utilisée. Après avoir optimisé ces paramètres, nous constatons enfin que nous réduisons la dispersion chromatique à -2.75×10^4 ps/nm-km à une longueur d'onde de 1,55 μm qui peut être utilisée pour les applications de communication optique à large bande.

ABSTRACT

Photonic crystal fibers (PCF) play most interesting and promising role in optical communication industry than conventional optical fibers. There are several unusual optical properties of PCF, which makes PCF more flexible and useful than conventional one. These properties are single mode operation, flattened dispersion, zero chromatic dispersion, large birefringence, low confinement loss. These properties are achieved by carefully design the PCF structure.

In this project, a new photonic crystal fiber (PCF) with low and flattened dispersion at wide wavelength range is presented. Significant improvement of PCFs it term of chromatic dispersion is presented by careful selection of dimension of air holes and spacing between adjacent air holes. To analyse this PCF, BPM with perfectly matched boundary condition is used. After optimizing these parameters finally we observe that we reduce the chromatic dispersion to 2.75×10^4 ps/nm-km at $1.55 \mu\text{m}$ wavelength which can be utilised for broadband optical communication applications.

Table des matières

LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
INTROCTION GENERALE.....	v
Chapitre I : LES FIBRES CONVENTIONNELLES	v
1.1 INTRODUCTION.....	1
1.2 Définition de la fibre optique.....	1
1.3 Principe du guidage par l'optique.....	2
1.4 La loi de Snell et l'angle critique pour la réflexion interne totale.....	3
1.5 Les différents types de fibres.....	4
1.5.1 La fibre optique selon la structure	4
1.5.2 Les fibres monomodes et multimodes	4
1.5.3 Fibre a saut d'indice	5
1.5.4 Fibre a gradient d'indice.....	6
1.6 FABRICATION DE FIBRES OPTIQUES	7
1.7 APPLICATIONS DES FIBRES OPTIQUES	10
1.7.1 Télécommunication	10
1.7.2 Câblage local et télédiffusion	10
1.7.3 Systèmes de télémétrie	10
1.7.4 Industrie biomédicale	11
1.7.5 (a)Avantages de la transmission par fibre optique:	11
1.7.5.(b)Inconvénients de la transmission par fibre optique:	11
1.8 Atténuation	11
1.8.1 Atténuation intrinsèque.....	12
1.8.1.1 Absorption matérielle	12

1.8.1.2 Diffusion Rayleigh	13
1.8.2 Atténuation extrinsèque	13
1.9 Dispersion	14
1.9.1 Dispersion modale	14
1.9.1 .1La dispersion modale peut être réduite de trois façons:	15
1.9.2 Dispersion chromatique	15
1.9.2.1. Dispersion matérielle	15
1.9.2.2. La dispersion du guide d'ondes	16
1.10. CONCLUSION	16
CHAPITRE 2 : FIBRES MICROSTRUCTUREES AIRE/SILICE	18
2.1 INTRODUCTION	18
2.2 DEFINITION.....	18
2.2.1 Fibres Microstructurées Air/Silice (FMAS)	18
2.2.2 Géométrie d'une FMAS	19
2.3 LES TYPES DES FMAS	19
2.3.2 Fibres de guidage à faible indice	21
2.3.2.1 L'effet bande interdite - fibres de guidage à faible indice	21
2.3.2.2. Fibres de cœur creux.....	22
2.4 FABRICATION DES FMAS.....	23
2.4.1 Sol-gel casting	23
2.4.2 La méthode mosaïque	24
2.5 AVANTAGES DES FMAS	25
2.6 APPLICATIONS DES FMAS	26
2.7 LES PROPRIETES DE FMAS	26
2.7.1 : Les fibres infiniment monomodes	26

Applications des fibres infiniment monomodes	26
2.7.2 L'indice effectif de la gaine.....	27
2.7.2.1 Effet des paramètres structurels sur l'indice effectif.....	27
2.7.3 : Dispersion.....	27
2.7.4 : Les pertes des fibres photoniques.....	28
2.8 : CONCLUSION	28
 Chapitre 3 : CONCEPTION DE DISPERSION DANS LES FIBRES MICROSTRUCTUREES AIR/SILICE.....	
3.1 INTRODUCTION	30
3.2 DISPERSION DANS LES FMAS	30
3.2.1 Compensation de dispersion.....	33
3.3 LA METHODE BPM (BEAM PROPAGATION METHODE).....	33
3.3.1 Principe de superposition.....	34
3.4 SIMULATION ET RESULTATS.....	35
3.4.1 ETUDE DE L'INFLUENCE DU NOMBRE DE COURONNES SUR LES FMAS ..	35
3.4.2 Indice effectif en fonction des paramètres opto-géométriques.....	36
3.4.2.1 l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différents diamètres.....	36
3.4.2.2 Indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch	37
3.4.2.3 indices effectifs en fonction du diamètre pour les différentes valeurs de pitch	38
3.4.3 Dispersion chromatique en fonction des paramètres opto-geometriques	39
3.4.3.1 Dispersion en fonction de la longueur d'onde pour les différents diamètres	40
3.4.3.2 Dispersion en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch.	40
3.4.3.3 Dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différents diamètres des trous d'air	41
3.4.3.4 Dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différentes valeurs du pitch.....	42

3.4.4 COMPARAISON DE LA DISPERSION ENTRE LES METHODES BPM ET FDTD	
.....	43
CONCLUSION GENERALE	43
REFERENCES	44

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1 : LES FIBRES CONVENTIONNELLES

Figure 1.1 : Diagramme de fibre optique cylindrique	1
Figure1.2 : propagation de la lumière dans la fibre optique due à la réflexion interne totale.	3
Figure1.3. Les fibres monomodes et multimodes	5
Figure1.4 fibre à saut d'indice	6
Figure 1.5 fibre a gradient d'indice	7
Figure 1.6 la formation de la préforme OPVI	8
Figure 1.7 la formation de la préforme DAPV	8
Figure 1.8 illustre le processus du tirage de la fibre	9
Figure 1.9 : affaiblissement dans la fibre.....	12

CHAPITRE 2 : FIBRES MICROSTRUCTUREES AIRE/SILICE

Figure 2.1 géométrie de la FMAS	20
Fig. 2.2 Guidage par RTIM.....	21
Fig.2.3 Guidage par effet BIP	22
Figure 2.4 Images en coupe transversale de fibres microstructurées dérivées de sol-gel.....	24
Figure 2.5 : La méthode mosaïque	25

CHAPITRE 3: COMPENSATION DE DISPERSION DANS LES FIBRES

MICROSTRUCTUREES AIR/SILICE

Figure 3.1 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde pour la fibre classique et FMAS	32
Figure 3.2: Guide d'onde de dalle	34
Figure 3.3 l'étalement des impulsions dans le FMAS à 3 couronnes	35
Figure 3.4 l'étalement des impulsions dans le FMAS à 5 couronnes	36
Figure 3.5 l'étalement des impulsions dans le FMAS à 8 couronnes	36

Figure 3.6 variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs du diamètre	37
Figure 3.7 variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch	38
Figure 3.8 variation de l'indice effectif en fonction du diamètre pour les différentes valeurs de pitch.....	39
Figure 3.9 la variation de la dispersion par rapport à la longueur d'onde pour $d=1\mu\text{m}$ jusqu'à $d=3\mu\text{m}$ avec un pas de $0.4\mu\text{m}$	40
La figure 3.10 variation de la dispersion par rapport à la longueur d'onde pour $\Lambda=3\mu\text{m}$ jusqu'à $\Lambda=7\mu\text{m}$	41
Figure 3.11 variation de la dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différents diamètres des trous d'air	42
Figure 3.12 variation de la dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différentes valeurs du pitch	43
Figure 3.13 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.0$ pour $d/\Lambda=0.5$ à 0.9 par la méthode BPM	44
Figure 3.14 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.0$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD	44
Figure 3.15 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.5$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode BPM	44
Figure 3.16 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.5$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD	44
Figure 3.17 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=3$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode BPM	45
Figure 3.18: variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=3$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD	45

LISTE DES ABREVIATIONS

BIP	Photonic bandgap	Bande Interdite Photonique
BPM	Beam Propagation Method	Méthode du faisceau propagé
DAPV	Vapor Phase Axial Deposition	Dépôt axial de la phase vapeur
FDTD	Finite Difference Time Domain	Méthode des différences finies dans le domaine temporel
FMAS	Microstructured air/silica fiber	Fibres Microstructurées Air/Silice
MMF	Multimode Fiber	Fibre multimode
OPVE	Outside Vapor Phase Oxidation	Oxydation de la phase vapeur extérieure
OPVI	Inside Vapor Phase Oxidation	Oxydation de la phase vapeur intérieur
PCF	Photonic Crystal Fiber	Fibre à cristaux photoniques
RODT	Time domain optical reflectometer	réflectomètre optique de domaine temporel
RTIM	Total internal reflection	Réflexion Totale Interne Modifiée
SMF	Single Mode Fiber	Fibre monomode
TVHD	High definition television	Télévision à haute définition

INTROCTION GENERALE

Dans les télécommunications, la technologie des fibres optiques a pratiquement remplacé le fil de cuivre dans les lignes téléphoniques interurbaines. La fibre optique est également la base de fibroscopies utilisées pour l'examen des parties internes du corps (endoscopie) ou l'inspection des intérieurs des produits structurés.

Actuellement, la capacité croissante de transmettre plus rapidement des informations sur de plus longues distances a élargi les limites de notre développement technologique dans de nombreux domaines tels que les réseaux de données, les communications sans fil et par satellite, les câblo-opérateurs et les radiodiffuseurs. Tout cela est devenu possible grâce à l'utilisation des fibres optiques, les fibres classiques prédominent dans les réseaux de télécommunication.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres : Le premier chapitre introduira les notions de base sur les fibres optiques conventionnelles, rappelle les principes de propagation de la lumière, leurs types, leurs fabrications, ainsi les avantages et les applications.

Le deuxième chapitre présente tout d'abord des généralités sur les fibres à cristaux photonique, exposer son principe de fonctionnement, les différents composants et leurs propriétés.

Le troisième chapitre est dédié à la partie résultats, c'est-à-dire notre but est de réduire la dispersion dans ces fibres à cristaux photonique. Les fibres microstructurées air/silice ont une structure bien spéciale, elle possède des trous d'air dans une matrice de silice, qui va nous permettre de modifier leurs paramètres dans la structure tel que (le diamètre des trous, l'espace entre les trous).

CHAPITRE 1

LES FIBRES CONVENTIONNELLES

1.1 INTRODUCTION

La lumière est utilisée en optoélectronique et en télécommunication par fibre optique pour la transmission de données, dans les interféromètres à fibre optique, les lasers à fibre optique, les capteurs et les modulateurs de fibres optiques. Le terme «lumière» dans la transmission de fibre, bien que couramment utilisé, n'est pas toujours précis: la lumière définit seulement le rayonnement électromagnétique de la plage visuelle de 380-780 nm, tandis que dans de nombreuses applications, par ex. La transmission par fibre optique, on utilise le rayonnement électromagnétique provenant de l'infrarouge proche (850 nm, 1310 nm, 1550 nm). Dans d'autres parties de ce projet, les termes «lumière» et «rayonnement électromagnétique provenant de l'infrarouge proche» seront utilisés de façon interchangeable [1].

1.2 Définition de la fibre optique

La fibre optique est un guide d'ondes flexible de verre capable de transporter des informations sous la forme de la lumière. Il se compose d'un cœur de fibre diélectrique, habituellement en verre, entouré d'une couche de gaine en verre ou en matière plastique caractérisée par un indice de réfraction inférieur à celui du cœur.

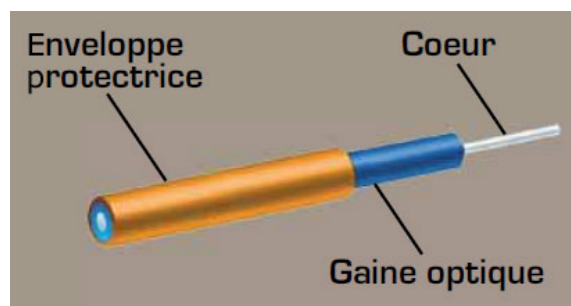


fig.1.1 : Diagramme de fibre optique cylindrique [2].

La lumière transmise par la fibre optique est piégée à l'intérieur du cœur en raison du phénomène de réflexion interne totale.

La réflexion interne totale se produit à l'interface cœur-gaine lorsque la lumière à l'intérieur du cœur de la fibre est incidente à un angle supérieur à l'angle critique et retourne au cœur sans perte et permet la propagation de la lumière le long de la fibre. La quantité de lumière réfléchie à l'interface varie en fonction de l'angle d'incidence et des indices de réfraction du cœur et de la gaine [3].

1.3 Principe du guidage par l'optique

Un rayon optique est guidé par des réflexions internes totales dans le cœur de la fibre si son angle d'incidence sur la frontière du cœur-gaine est supérieur à l'angle critique :

$i_c = \sin^{-1} (n_1/n_2)$, et reste tel que le cœur rebondit. Lorsque nous parlons de la vitesse de la lumière, nous parlons habituellement de la vitesse de la lumière dans le vide, qui est de 3×10^8 m / s. Lorsque la lumière parcourt autre chose, comme le verre, le diamant ou le plastique, elle se déplace à une vitesse différente. La vitesse de la lumière dans un matériau donné est liée à une quantité appelée indice de réfraction η qui est défini comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide c à la vitesse de la lumière dans le milieu v .

Le changement de vitesse qui se produit lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre est responsable de la flexion de la lumière, ou réfraction, qui a lieu à une interface.

Si la lumière se déplace du milieu 1 au milieu 2 et que les angles sont mesurés de la normale à l'interface, l'angle de transmission de la lumière dans le second milieu est lié à l'angle d'incidence par la loi de Snell: [4].

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (1)$$

1.4 La loi de Snell et l'angle critique pour la réflexion interne totale

Lorsque la lumière traverse une interface dans un milieu avec un indice de réfraction plus élevé, la lumière se penche vers la normale. À l'inverse, la lumière voyageant à travers une interface de n_1 supérieur à n_2 inférieur se plie loin de la normale. Ceci a une implication intéressante: à un certain angle, connu sous le nom d'angle critique, la lumière voyageant d'un milieu avec un plus grand n à un milieu avec un inférieur n sera réfractée à 90° ; En d'autres termes, réfracté le long de l'interface. Si la lumière atteint l'interface à un angle supérieur à cet angle critique, elle ne passera pas du tout au second milieu. Au lieu de cela, tout cela sera reflété dans le premier milieu, un processus connu sous le nom de réflexion interne totale.

Les fibres optiques sont entièrement basées sur ce principe de réflexion interne totale. Un câble à fibres optiques est habituellement composé de plusieurs de ces brins, chacun portant un signal composé d'impulsions de lumière laser. La lumière se déplace le long de la fibre optique, reflétant les parois de la fibre. Avec une fibre droite ou doucement flexion, la lumière frappera la paroi à un angle supérieur à l'angle critique et seront tous réfléchis dans la fibre.

Réfraction: La loi de Snell-Descartes

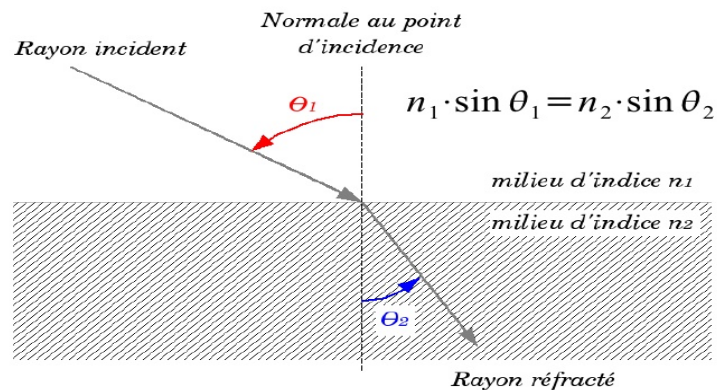


Fig.1.2 : propagation de la lumière dans la fibre optique due à la réflexion interne totale [5].

1.5 Les différents types de fibres

Nous présenterons maintenant les différents types de fibres optiques appliquées dans la télécommunication, les réseaux informatiques et d'autres applications. Les guides d'ondes optiques peuvent être divisés en plusieurs types selon :

- A) Structure (cylindrique, biréfringente, planaire, bande)
- B) nombre de modes (fibre mono- ou multimode)
- C) le profil d'indice de réfraction (fibre à gradient d'indice ou saut d'indice)
- D) matériaux (verre, plastique, semi-conducteur)

1.5.1 La fibre optique selon la structure

Se compose d'un cœur, le plus souvent en verre, de forme cylindrique, dans lequel la lumière se propage. Le cœur est entouré par une couche cylindrique de matériau diélectrique d'indice de réfraction inférieur, appelé gaine. La différence typique d'indice de réfraction est autour de $n_1 - n_2 = 0,005$. L'enveloppe extérieure sert rôle protecteur.

1.5.2 Les fibres monomodes et multimodes

Basant sur le nombre de modes de propagation, nous pouvons diviser les fibres optiques dans des fibres monomodes ou multimodes. Le mode est l'une des structures autorisées du champ électromagnétique se propageant à travers la fibre. Les fibres multimodes (MMF) sont caractérisées par un diamètre de cœur important (50 ou 62,5 microns) ($1\mu\text{m}$). Les fibres monomodes (SMF) sont caractérisées par un petit diamètre de cœur (de 5 à 10 microns (Fig.1.4.)). Le diamètre de la gaine dans les deux cas est de $125\mu\text{m}$.

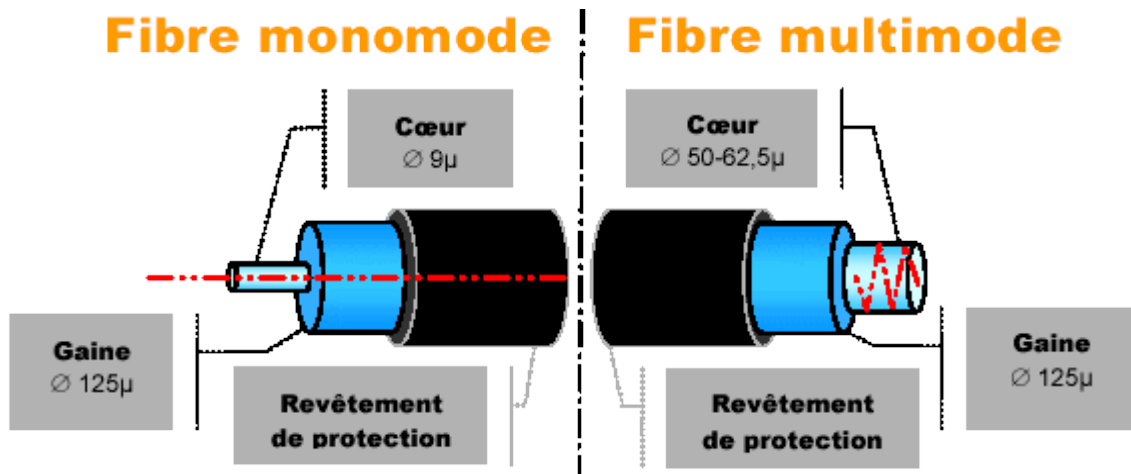


Fig.1.3. Les fibres monomodes et multimodes [6].

La lumière se propage dans la fibre est monomode si la condition de $v < 2.405$ est respectée, où v désigne la fréquence normalisée donnée par l'équation

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

Où a est le diamètre du cœur de la fibre, λ est la longueur d'onde de la lumière se propageant dans la fibre. n_1 et n_2 sont les indices de réfraction du cœur et de la gaine, respectivement.

1.5.3 Fibre à saut d'indice

Pour une fibre optique, un profil à saut d'indice est un profil d'indice de réfraction caractérisé par un indice de réfraction uniforme à l'intérieur du cœur et une forte diminution de l'indice de réfraction à l'interface cœur-gaine de sorte que la gaine est d'un indice de réfraction inférieur.

Le profil à saut d'indice est utilisé dans la plupart des fibres monomodes et certaines fibres multimodes. Une fibre à saut d'indice est caractérisée par les indices de réfraction de cœur et de gaine n_1 et n_2 et les rayons de cœur et de gaine a et b . Des exemples de diamètres de cœur et de gaine standard $2a / 2b$ sont 8/125, 50/125, 62.5 / 125, 85/125 ou 100/140 (unités de μm).

Le changement fractionnaire de l'indice de réfraction est

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \ll 1 \quad (3)$$

La valeur de n_1 est typiquement entre 1,44 et 1,46, et Δ est typiquement compris entre 0,001 et 0,02.

La fibre optique à saut d'indice est généralement fabriquée en dopant du verre de silice fondu à haute pureté (SiO₂) avec différentes concentrations de matériaux comme le titane, le germanium ou le bore.

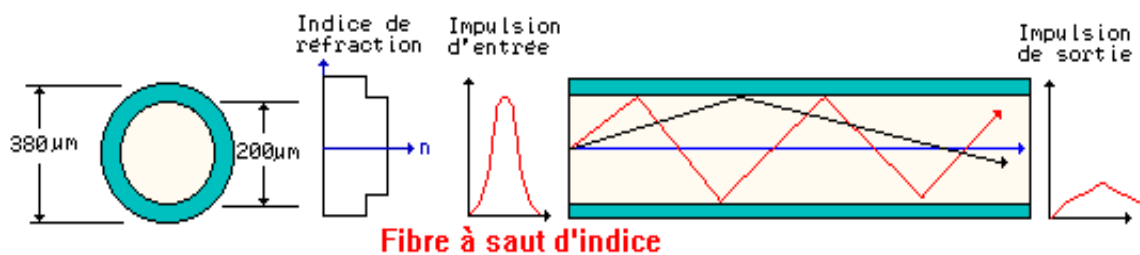


fig.1.4 fibre a saut d'indice [7]

1.5.4 Fibre a gradient d'indice

En fibre optique, un gradient d'indice est une fibre optique dont le cœur a un indice de réfraction qui diminue à mesure que la distance radiale augmente de l'axe optique de la fibre. Du fait que les parties de l'âme plus proches de l'axe des fibres ont un indice de réfraction plus élevé que les parties proches de la gaine, les rayons lumineux suivent des chemins sinusoïdaux vers le bas de la fibre. Le profil d'indice de réfraction le plus commun pour une fibre à gradient d'indice est presque parabolique. Le profil parabolique se traduit par un recentrage continu des rayons dans le cœur, et minimise la dispersion modale. La fibre optique multimodes peut être construite avec un saut d'indice ou un gradient d'indice. L'avantage de multimodes à gradient d'indice par rapport à multimode à un saut d'indice est la diminution considérable de la dispersion modale. La dispersion modale peut être encore diminuée en choisissant une taille de cœur plus petite (inférieure à 5 à 10 μm) et en formant une fibre à indice de monomode [8].

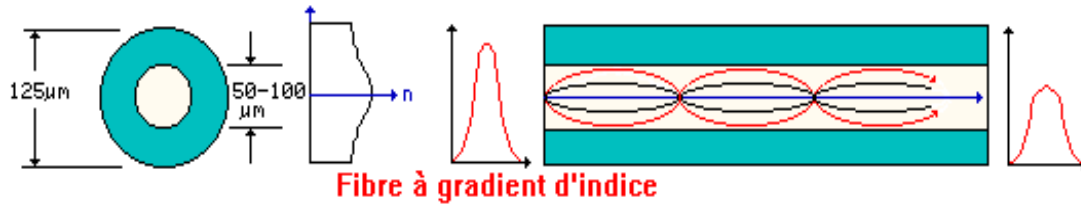


figure.1.5 fibre a gradient d'indice [7]

1.6 FABRICATION DE FIBRES OPTIQUES

En principe, les fabricants de fibres utilisent deux méthodes pour fabriquer des fibres de verre multimodes et monomodes. Une méthode est un procédé de l'oxydation en phase vapeur, et l'autre est un procédé de fusion directe. Dans l'oxydation en phase vapeur, les composés gazeux halogénures métalliques, le matériau dopant et l'oxygène sont oxydés (brûlés) pour former une poudre de silice blanche (SiO_2). Les fabricants déposent la suie sur la surface d'un substrat en verre (mandrin) ou à l'intérieur d'un tube creux par l'une des trois méthodes suivantes:

- Oxydation de la phase vapeur extérieure OPVE (Outside Vapor Phase Oxidation).
- Oxydation de la phase vapeur intérieure OPVI (Inside Vapor Phase Oxidation).
- Dépôt axial de la phase vapeur DAPV (Vapor Phase Axial Deposition).

La suie forme le cœur et la protection de la préforme. L'indice de réfraction de chaque couche de suie est modifié en faisant varier la quantité de matériau dopant qui est oxydé. Les figures 1.7, 1.8 illustrent les différents procédés de préparation d'une préforme d'oxydation en phase vapeur.

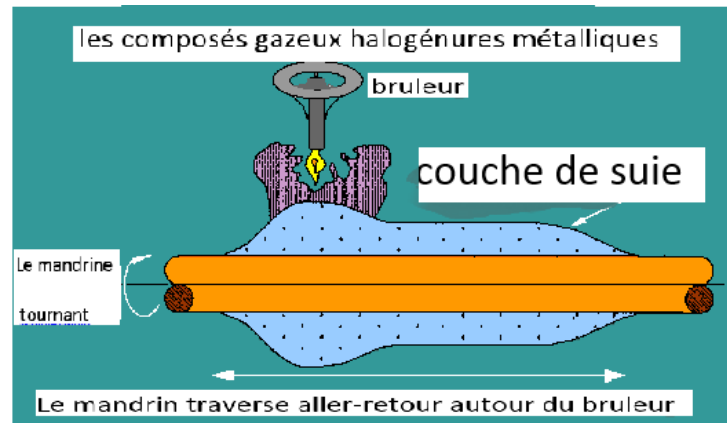


Figure 1.6la formation de la préforme OPVI [9].

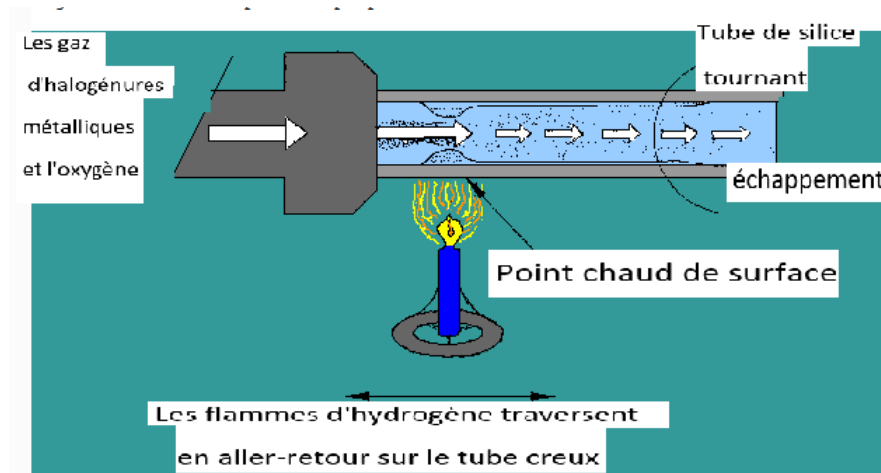


Figure 1.7la formation de la préforme DAPV [9].

Lors de l'oxydation en phase vapeur, le mandrin ou le tube se déplace continuellement d'un côté à l'autre et tourne alors que des particules de suie sont déposées sur la surface.

Ce procédé forme des couches cylindriques de suie sur la surface du mandrin ou à l'intérieur du tube creux. Ce matériau déposé est transformé en une préforme de verre solide en chauffant le matériau poreux (sans fondre). La préforme solide est alors tirée ou tirée dans une fibre optique par un procédé appelé fibrage. Le fibrage commence par introduire la préforme de verre dans le four à étirer. Le four à étirage adoucit l'extrémité de la préforme jusqu'au point de fusion. Les fabricants tirent alors la préforme ramollie en un filament de verre mince (fibre de verre). Pour

protéger la fibre nue des contaminants, les fabricants ajoutent une protection acrylate dans le processus d'étirage. La protection protège la fibre nue des contaminants tels que la poussière atmosphérique et la vapeur d'eau.

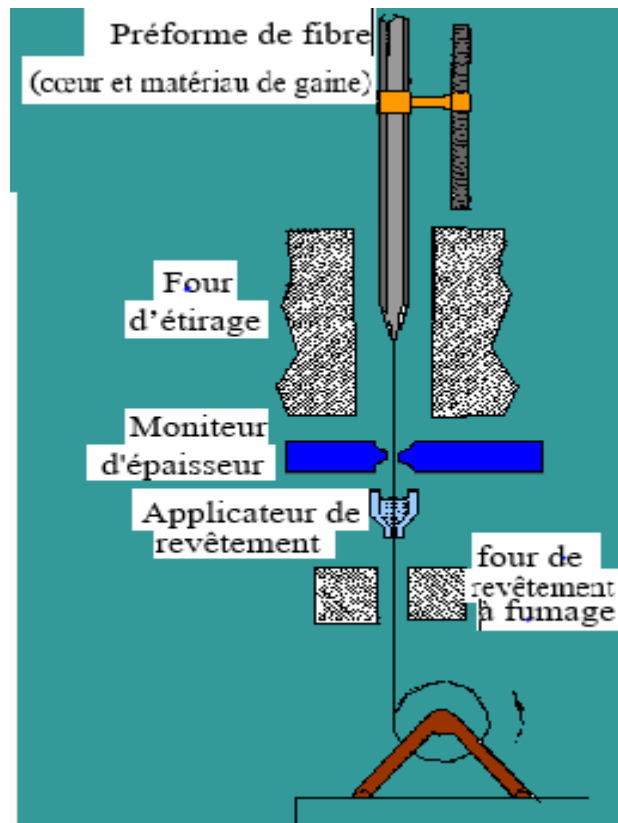


Figure 1.8 illustre le processus du tirage de la fibre [9].

Dans le procédé de fusion directe, des tiges de verre multi-composant forment la structure fibreuse. Les tiges de verre multi-composant se combinent à l'état fondu pour former le cœur et la gaine de la fibre. Le procédé à double creuset est le procédé de fusion directe le plus courant. Le procédé à double creuset combine les tiges fondues en une seule préforme en utilisant deux creusets concentriques. On tire des fibres optiques à partir de ce verre fondu en utilisant un procédé d'étirage de fibres similaire à celui de l'oxydation en phase vapeur.

1.7 APPLICATIONS DES FIBRES OPTIQUES

L'utilisation et la demande de fibres optiques ont considérablement augmenté et les applications de fibres optiques sont nombreuses.

1.7.1 Télécommunication

Les applications de télécommunication sont très répandues, allant des réseaux mondiaux aux ordinateurs de bureau. Ceux-ci impliquent la transmission de la voix, des données ou de la vidéo sur des distances de moins d'un mètre à des centaines de kilomètres, en utilisant l'une des quelques conceptions de fibre standard dans une de plusieurs conceptions de câble.

1.7.2 Câblage local et télédiffusion

La fibre optique est également largement utilisée pour la transmission de données. Les entreprises multinationales ont besoin de systèmes sûrs et fiables pour transférer des données et des informations financières entre les bâtiments vers les terminaux de bureau ou les ordinateurs et pour transférer des données à travers le monde. Les entreprises de télévision par câble utilisent également la fibre optique pour la fourniture de services vidéo et de données numériques. La largeur de bande élevée fournie par la fibre en fait le choix parfait pour la transmission de signaux à large bande, tels que la télévision à haute définition (TVHD).

1.7.3 Systèmes de télémétrie

Les systèmes de transport intelligents, comme les autoroutes intelligentes dotées de feux de signalisation intelligents, les postes de péage automatisés et les panneaux de signalisation modifiables, utilisent également des systèmes de télémétrie à fibre optique.

1.7.4 Industrie biomédicale

Une autre application importante pour la fibre optique est l'industrie biomédicale. Les systèmes à fibres optiques sont utilisés dans la plupart des dispositifs modernes de télémédecine pour la transmission d'images diagnostiques numériques.

D'autres applications pour la fibre optique incluent l'espace, l'armée, l'automobile et le secteur industriel.

1.7.5 (a) Avantages de la transmission par fibre optique:

- Immense débit binaire, de l'ordre de plusieurs To / s, dans les conditions laboratoire il est d'ordre de 10 To /s, qui est impossible d'atteindre en utilisant les support en cuivres;
- Faible atténuation, le signal peut être transmis sur de longues distances sans régénération;
- Les fibres optiques ne créent pas de champ électromagnétique externe, donc la sécurité d'information est assurée;
- Pas de diaphonie inter-fibre;
- Résistance aux perturbations externes du champ électromagnétique;
- Pas de risque d'incendie;
- Taux d'erreur binaire inférieur à 10^{-10} .

1.7.5.(b) Inconvénients de la transmission par fibre optique:

- Coûts plus élevés que les supports à base de cuivre;
- Fusion possible de la fibre à des puissances optiques supérieures;
- Des liaisons plus difficiles et plus coûteuses que celles des cuivre.

1.8 Atténuation

Plusieurs facteurs peuvent causer l'atténuation, mais il est généralement classé comme intrinsèque ou extrinsèque. L'atténuation intrinsèque est causée par des substances intrinsèquement présentes dans la fibre, tandis que l'atténuation extrinsèque est provoquée par des forces externes telles que la flexion. Le coefficient d'atténuation α est exprimé en décibels par kilomètre et représente la perte en décibels par kilomètre de fibre.

1.8.1 Atténuation intrinsèque

L'atténuation intrinsèque résulte de matériaux inhérents à la fibre. Il est causé par les impuretés dans le verre pendant le processus de fabrication. Aussi précis que la fabrication est, il n'y a aucun moyen d'éliminer toutes les impuretés. Quand un signal lumineux frappe une impureté dans la fibre, une de deux choses se produit: Il se disperse ou il est absorbé. La perte intrinsèque peut être caractérisée en outre par deux composantes:

- Absorption des matériaux
- Diffusion de Rayleigh

1.8.1.1 Absorption matérielle

L'absorption matérielle se produit en raison de l'imperfection et des impuretés dans la fibre. L'impureté la plus courante est la molécule d'hydroxyle (OH⁻), qui reste comme résidu malgré des techniques de fabrication rigoureuses. La figure 1.10 montre la variation de l'atténuation avec la longueur d'onde mesurée sur un groupe de types de câbles à fibres optiques. Les trois fenêtres principales de fonctionnement comprennent les bandes de longueurs d'onde de 850 nm, 1310 nm et 1550 nm. Ceux-ci correspondent à des régions de longueur d'onde dans lesquelles l'atténuation est faible et adaptée à la capacité d'un émetteur de générer efficacement la lumière et un récepteur pour effectuer la détection.

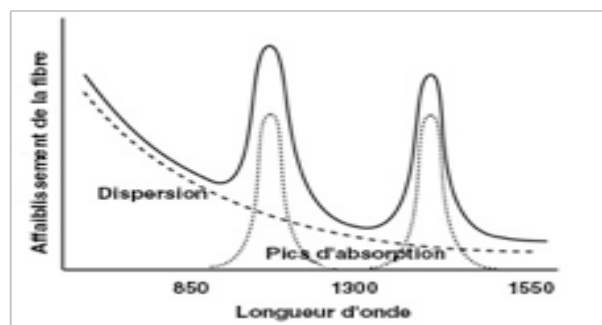


fig.1.9 : affaiblissement dans la fibre

1.8.1.2 Diffusion Rayleigh

Comme la lumière se déplace dans le cœur, il interagit avec les molécules de silice dans le cœur. La diffusion de Rayleigh est le résultat de ces collisions élastiques entre l'onde lumineuse et les molécules de silice dans la fibre. La diffusion Rayleigh représente environ 96% de l'atténuation de la fibre optique. Si la lumière diffusée maintient un angle qui supporte la propagation dans le cœur, aucune atténuation ne se produit. Si la lumière est dispersée à un angle qui ne supporte pas la poursuite de la propagation dans le cœur, cependant, la lumière est détournée hors du cœur et l'atténuation se produit. Selon l'angle d'incidence, une partie de la lumière se propage dans le cœur et l'autre partie s'écarte du chemin de propagation et s'échappe du cœur de la fibre. Une certaine lumière diffusée est réfléchi vers la source lumineuse. Il s'agit d'une propriété qui est utilisée dans un réflectomètre optique de domaine temporel (OTDR) pour tester des fibres. Le même principe s'applique à l'analyse de la perte associée à des événements localisés dans la fibre, tels que les épissures. Les longueurs d'onde courtes sont dispersées plus que les longueurs d'onde plus longues. Toute longueur d'onde inférieure à 800 nm est inutilisable pour la communication optique, car l'affaiblissement dû à la diffusion de Rayleigh est élevé. Dans le même temps, la propagation au-dessus de 1700 nm n'est pas possible en raison de pertes élevées résultant de l'absorption infrarouge.

1.8.2 Atténuation extrinsèque

L'atténuation extrinsèque peut être causée par deux mécanismes externes : macro-courbure ou micro-courbure. Les deux provoquent une réduction de la puissance optique. Si un coude est imposé à une fibre optique, une déformation est placée sur la fibre le long de la région qui est courbée. La souche de flexion affecte l'indice de réfraction et l'angle critique du rayon lumineux dans cette zone spécifique. En conséquence, la lumière voyageant dans le cœur peut réfracter, et la perte se produit. Une macro-courbure est une courbe à grande échelle qui est visible, et la perte est généralement réversible après correction des coudes. Pour éviter les macro-courbures, toutes les fibres optiques ont une spécification de rayon de courbure minimale qui ne doit pas être dépassée. Il s'agit d'une restriction sur la quantité de courbure d'une fibre peut résister avant de rencontrer des problèmes de performance optique ou de fiabilité mécanique. La deuxième cause extrinsèque d'atténuation est une micro-courbure. La micro-courbure est

causée par des imperfections dans la géométrie cylindrique de la fibre pendant le processus de fabrication. La micro-courbure peut être liée à la température, à la tension ou à la force de broyage. Comme le macro-plier, la micro-flexion provoque une réduction de la puissance optique dans le verre. La micro-flexion est très localisée et le pli peut ne pas être clairement visible lors de l'inspection. Avec la fibre nue, la micro-flexion peut être réversible.

1.9 Dispersion

La dispersion est l'étalement de l'impulsion lumineuse pendant son déplacement sur la longueur d'une fibre optique. La dispersion limite la bande passante ou la capacité de transport d'information d'une fibre. Les débits binaires doivent être suffisamment bas pour que les impulsions soient plus éloignées et, par conséquent, la plus grande dispersion peut être tolérée.

La dispersion dans les fibres optiques consiste de deux types suivants :

1.9.1 Dispersion modale

La dispersion modale ne se produit que dans les fibres multimodes. Il se produit parce que les rayons suivent des chemins différents à travers la fibre et par conséquent arrivent à l'autre extrémité de la fibre à des moments différents. Le mode est un concept mathématique et physique qui décrit la propagation des ondes électromagnétiques à travers les supports. Dans le cas de la fibre, un mode est simplement un chemin qu'un rayon lumineux peut suivre en voyageant dans le cœur d'une fibre. Le nombre de modes supportés par une fibre varie de 1 à plus de 100 000. Ainsi, une fibre fournit une voie de déplacement pour un ou plusieurs milliers de rayons lumineux en fonction de sa taille et de ses propriétés. Étant donné que la lumière réfléchi à des angles différents pour différents chemins (ou modes), les longueurs des chemins de différents modes sont différentes. Ainsi, différents rayons prennent un temps plus court ou plus long pour parcourir la longueur de la fibre. Le rayon qui va droit au centre du cœur sans réfléchir, arrive d'abord à l'autre extrémité, d'autres rayons arrivent plus tard. Ainsi, la lumière entrant dans la fibre en même temps sort de l'autre extrémité à des moments différents. La lumière s'est étalée dans le temps. L'étalement de la lumière est appelé dispersion modale. La dispersion modale est le type de dispersion qui résulte de la variation des longueurs de trajet modales dans la fibre. Les valeurs de dispersion modale typiques pour la fibre à saut d'indice sont

de 15 à 30 ns / km. Cela signifie que pour la lumière entrant dans une fibre en même temps, le rayon suivant le chemin le plus long arrivera à l'autre bout de 1 km de fibre de 15 à 30 ns après le rayon, en suivant le chemin le plus court.

1.9.1 .1La dispersion modale peut être réduite de trois façons:

- Utilisez un diamètre de cœur plus petit, ce qui permet moins de modes.
- Utiliser une fibre à gradient d'indice afin que les rayons lumineux qui permettent des trajets plus longs se déplacent aussi à une vitesse plus rapide et parviennent ainsi à l'autre extrémité de la fibre à peu près au même moment que les rayons qui suivent des trajectoires plus courtes.
- Utiliser une fibre monomode qui ne permette aucune dispersion modale.

1.9.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est causée par des différences de retard entre les vitesses du groupe des différentes longueurs d'onde composant le spectre source. La conséquence de la dispersion chromatique est un élargissement des impulsions transmises. La dispersion chromatique est essentiellement due à deux contributions: la dispersion des matériaux et la dispersion des guides d'onde. La dispersion de matériau se produit parce que l'indice de réfraction change avec la fréquence optique. C'est généralement la contribution dominante, sauf dans la région de longueur d'onde dans laquelle elle disparaît (pour les matériaux à base de silice, cela se produit autour de 1300 nm). La dispersion du guide d'ondes dépend des propriétés dispersives du guide d'ondes lui-même. D'un point de vue pratique, une propriété significative est que la dispersion de guide d'onde présente des signes opposés par rapport à la dispersion de matériau dans la gamme de longueur d'onde au-dessus de 1300 nm

1.9.2.1. Dispersion matérielle

La dispersion du matériau est causée par des variations de l'indice de réfraction du matériau fibreux par rapport à la longueur d'onde. Comme la vitesse du groupe est fonction de l'indice de réfraction, les composants spectraux d'un signal donné se déplacent à différentes vitesses

provoquant une déformation de l'impulsion. Les variations de l'indice de réfraction par rapport à la longueur d'onde sont décrites par l'équation de Sellmeier qui est exprimée comme suit :

$$\eta(\lambda) = \left[1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda_i^2)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Où λ est la longueur d'onde de la lumière, et A_i et λ_i sont les coefficients de Sellmeier.

La dispersion de ce phénomène est appelée dispersion matérielle, puisqu'elle provient des propriétés matérielles de la fibre. Chaque vague change de vitesse différemment, chacun est réfracté différemment. La lumière blanche entrant dans le prisme contient toutes les couleurs. Le prisme réfracte la lumière et change sa vitesse à mesure qu'il entre dans le prisme. La lumière rouge s'écarte du moins et voyage le plus vite. La lumière violette dévie le plus et parcourt le plus lent.

1.9.2.2. La dispersion du guide d'ondes

La dispersion du guide d'ondes, la plus importante dans une fibre monomode, se produit parce que l'énergie optique se déplace à la fois dans le cœur et la gaine, qui ont des indices de réfraction légèrement différents. L'énergie se déplace à des vitesses légèrement différentes dans le cœur et la gaine en raison des indices de réfraction légèrement différents des matériaux. En modifiant les structures internes de la fibre, la dispersion des guides d'onde peut être sensiblement modifiée, modifiant ainsi la dispersion globale spécifiée de la fibre.

1.10. CONCLUSION

La technologie des fibres optiques est la nouvelle tendance dans l'industrie des communications et est régulièrement et efficacement le remplacement du système de fil de cuivre pour la transmission des signaux. La dispersion peut être évitée en utilisant des diamètres de cœur plus petits qui permettent moins de modes. Et aussi l'utilisation de la fibre monomode ne permet aucune dispersion modale. En utilisant une fibre à gradient d'indice de sorte que les rayons lumineux qui permettent à des trajets plus longs de se déplacer à une vitesse plus rapide, ainsi arrivent à l'autre extrémité de la fibre presque en même temps.

CHAPITRE 2

FIBRES MICROSTRUCTUREES
AIR/SILICE

2.1 INTRODUCTION

Les fibres microstructurées sont une nouvelle classe de fibres optiques possédant une série de colonnes d'air intégrées dans la matrice de silice qui s'étendent le long de l'axe z. d'ont très flexibles et plusieurs paramètres (comme la hauteur du treillis, la forme et le diamètre du trou d'air, l'indice de réfraction du verre etc.) Peuvent être modifiés pour obtenir de meilleurs résultats. En combinant les propriétés des fibres optiques et des cristaux photoniques, ils possèdent une série de propriétés uniques impossibles à atteindre dans les fibres classiques. L'origine des fibres optiques remonte à 1978 [10] où une fibre Plaquée par réseaux de Bragg a été proposée qui ressemble à un cristal photonique 1D puis en 1992. P. Russel a inventé un cristal photonique 2D [11]avec du cœur d'air et lors de la Conférence de fibre optique de 1996 [10] le premier Des fibres optiques ont été rapportées.

2.2 DEFINITION

2.2.1 Fibres Microstructurées Air/Silice (FMAS)

Les fibres optiques microstructurées, dites fibres de nouvelle génération, procurent de propriétés optiques très attrayantes grâce à l'interaction des champs guidés avec les inclusions (trous ou encore capillaires) présents dans leur structure. Une très grande liberté dans leur design se répercute au niveau de leurs propriétés physiques. Effectivement, la taille des trous, leur périodicité, leur disposition et leur forme permettent une multitude de combinaisons donnant lieu à des propriétés physiques toutes aussi multiples. Ainsi ces propriétés vont pouvoir donner lieu à un très grand nombre d'applications dans les domaines aussi différents que militaire, médical ou encore en télécommunication.

2.2.2 Géométrie d'une FMAS

Les fibres microstructures sont constituées d'un arrangement de trous (généralement d'air) sur la section transverse de la fibre. Cette structure est supposée être invariante le long de l'axe de la fibre.

Les paramètres qui caractérisent cet arrangement et déterminant leurs Propriétés optiques sont définies par la figure 2.1

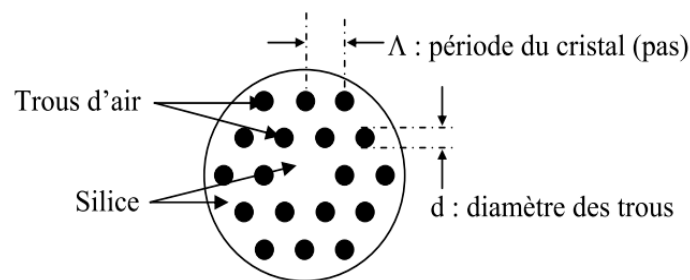


Figure 2.1 géométrie de la FMAS

2.3 LES TYPES DES FMAS

Les PCF peuvent être divisés en deux catégories:

- fibres de guidage à indice élevé
- fibres de guidage à faible indice

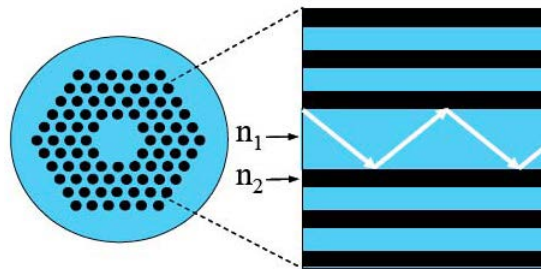
2.3.1 Fibres de guidage à indice élevé

Les fibres de guidage à indice élevé guident la lumière dans un cœur solide par le principe de la réflexion interne totale modifiée (RTIM). La réflexion interne totale est causée par un faible indice effectif dans la région remplie d'air microstructurée.

Le RITM est analogue à la réflexion interne totale connue de la fibre optique standard. Il repose sur une région de base à haut indice, généralement de la silice pure, entourée d'un indice effectif inférieur fourni par la région microstructurée.

L'indice de réfraction de la gaine microstructurée dans les PCF présente une dépendance en longueur d'onde très différente de la silice pure - un effet qui permet aux PCF d'être conçus avec un ensemble complet de propriétés non possible avec une technologie standard. À titre d'exemple, la forte dépendance de l'indice de réfraction en longueur d'onde permet de concevoir des fibres sans fin à une seule modélisation, où seul un seul mode est supporté indépendamment de la longueur d'onde optique. En outre, il est possible de modifier les propriétés de dispersion des fibres, ce qui permet de concevoir des fibres avec une dispersion anormale à des longueurs d'onde visibles. Grâce à la combinaison d'une faible capacité de dispersion de base et de phase proche des sources de pompe disponibles, la technologie PCF permet de créer une génération de super continuum très efficace

En raison du contrôle précis du profil d'indice de réfraction, des fibres avec des diamètres de champ de mode extrêmement grand sont rendues possibles, ce qui favorise le guidage et l'amplification / lissage des fibres à haute faisceau.

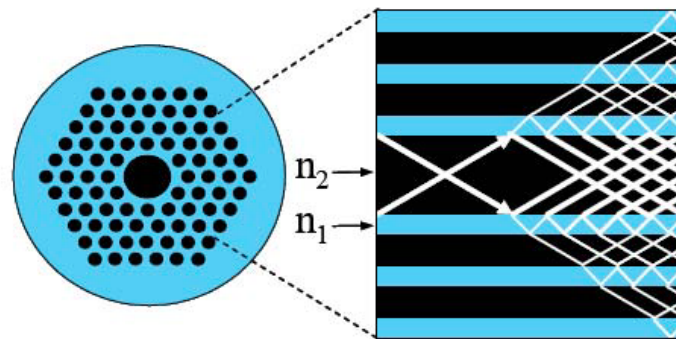


(Bleu=silice, noir=air), $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air)

Fig. 2.2 Guidage par RTIM

2.3.2 Fibres de guidage à faible indice

Des fibres de guidage à faible indice guident la lumière par l'effet photons de bande interdite (BIP). La lumière est confinée au cœur d'indice bas car l'effet BIP rend impossible la propagation dans la zone de gaine microstructure. La forte dépendance en longueur d'onde de l'indice de réfraction efficace et la flexibilité de conception intrinsèquement grande des PCF permettent une toute nouvelle gamme de propriétés nouvelles. De telles propriétés comprennent des fibres sans fin à une seule modélisation, des fibres extrêmement non linéaires et des fibres avec une dispersion anormale dans la région de longueur d'onde visible.



(Bleu=silice, noir=air), $n_1=1.45$ (silice) et $n_2=1$ (air)

Fig.2.3 Guidage par effet BIP

2.3.2.1 L'effet bande interdite - fibres de guidage à faible indice

Les fibres de bande interdite photoniques sont basées sur des mécanismes physiques fondamentalement différents des fibres directrices RTIM. La microstructure périodique dans la gaine de fibre de BIP aboutit à un appel appelé bande interdite photonique, où la lumière dans certaines régions de longueur d'onde ne peut pas se propager. Dans une fibre BIP, le cœur est créé en introduisant un défaut dans la structure BIP (par exemple un trou d'air supplémentaire), créant ainsi une zone où la lumière peut se propager. Comme la lumière ne peut se propager que dans la région défectueuse, un cœur de guidage à faible indice a été créé.

Ceci n'est pas possible dans la fibre standard, et le guidage à faible indice des fibres BIP ouvre donc un tout nouveau jeu de possibilités. De cette façon, il est possible de guider la lumière dans l'air, le vide ou tout gaz compatible avec le matériau fibreux.

2.3.2.2. Fibres de cœur creux

Une classe spéciale de fibres directrices BIP est la fibre creuse, où le champ est confiné à un cœur rempli d'air. Comme d'autres fibres BIP, les fibres d'air-cœur ne guident que la lumière dans une région spectrale limitée. Pour les fibres guidant environ 1550 nm, une bande passante typique est de ~ 200 nm. En dehors de cette région, le cœur de fibre est anti-guidage.

Le guidage de la lumière dans un cœur creux tient de nombreuses applications prometteuses, comme la livraison de haute puissance sans risque de dommages aux fibres, des capteurs de gaz ou des conseils de perte extrême dans le vide. En outre, cette classe de fibres a d'autres propriétés spectaculaires qui ne se trouvent pas dans un autre type de fibre. Ils sont presque insensibles à la flexion (même à très petits rayons de courbure) et ils ont considérablement réduit la sensibilité à l'effet Kerr (> 50), les transitoires de température ($\sim 6,5$) et l'effet Faraday (> 10). En outre, des propriétés de dispersion extrême, telles que des valeurs de dispersion anormales dans le régime de milliers de Ps / nm / km, sont facilement obtenues. En raison d'une contribution négligeable du matériau de base (air), la dispersion totale des fibres de BIP est à un degré élevé dominé par la dispersion du guide d'onde. Comme plus de 98% du mode est confiné dans l'air, les fibres sont également très insensibles aux rayonnements, ce qui les rend adapté aux environnements difficiles au rayonnement.

- Puissance seuil élevée pour les effets non linéaires
- Matériel de silice pur
- Le cœur peut être rempli de gaz, de particules, etc.
- Valeurs de dispersion extrêmes pour la compression par impulsion / compensation de dispersion.
- Pas de réflexions de Fresnel à l'extrémité des fibres ouvertes
- D'autres avantages avec ces fibres sont qu'ils sont presque entièrement insensibles aux plis - ils peuvent être courbés < 1 cm de diamètre de virage sans changement de transmission optique.

2.4 FABRICATION DES FMAS

Plusieurs méthodes ont été développées pour la fabrication de fibres microstructurées, y compris la méthode mosaïque, la technique sol-gel casting, le forage préfixe, l'extrusion et même le dégazage d'une préforme poreuse lors du tirage. Toutes les méthodes susmentionnées présentent divers avantages et compromis en termes de facilité de fabrication, de coût, de flexibilité de conception, de contamination des matériaux et de précision. Ici, nous décrivons les technologies sol-gel casting et méthode mosaïque vers la fabrication de fibres optiques microstructurées.

2.4.1 Sol-gel casting

La technique de coulée de sol-gel a d'abord été développée pour la production de tubes à grande enveloppe pour des préformes de fibres optiques et a été modifiée pour la fabrication de fibres microstructurées. Un moule contenant un réseau d'éléments de mandrin est assemblé puis rempli de silice colloïdale dispersée à un pH élevé avec une taille de particule moyenne de 40 nanomètres. Le pH est abaissé, ce qui provoque la gelure du sol. Au niveau du gel humide, les éléments des mandrins ont enlevés, laissant des colonnes d'air dans le corps du gel. Le corps de gel est ensuite traité thermo chimiquement pour éliminer les contaminants de l'eau, des gaz organiques et des métaux de transition. Le corps de gel poreux séché est ensuite fritté près de 1600 ° C en verre visqueux et ensuite extrait en fibre. Les trous d'air sont pressurisés pendant le tirage pour obtenir la taille souhaitée et la fraction de remplissage d'air.

Pour maintenir l'uniformité selon la longueur de la préforme, les mandrins sont tendus individuellement et le positionnement et l'espacement sont inspectés et enregistrés avec un appareil photo numérique. Un certain nombre de fibres microstructurées fabriquées en utilisant le procédé de coulée sol-gel sont représentées sur la figure 2.4. En tant que procédé de coulée, la technique sol-gel peut fabriquer toute structure qui peut être assemblée dans un moule.

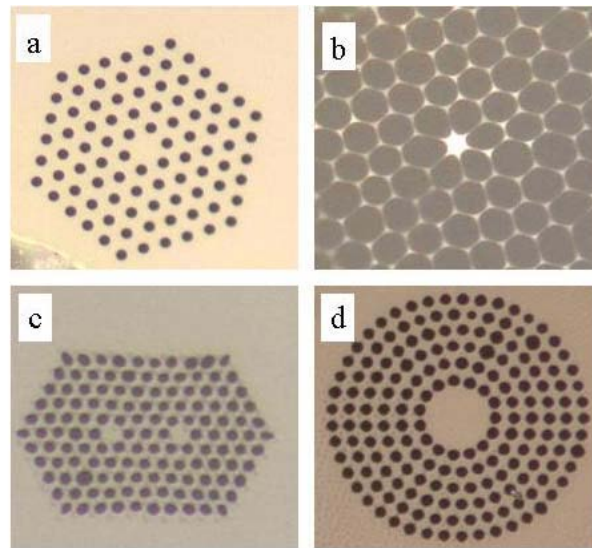


Figure 2.4 Images en coupe transversale de fibres microstructurées dérivées de sol-gel [12].

Les régions sombres correspondent aux colonnes d'air tandis que les régions lumineuses sont de la silice. a) une conception infiniment monomode, b) un delta élevé, une fibre fortement non linéaire, c) une structure à double cœur et d) une fibre microstructurée circulaire.

2.4.2 La méthode mosaïque

Le concept principal de la méthode (mosaïque) Prépare un élément macroscopique d'un élément de fibre optique (C'est-à-dire la fibre) en empilant des tiges de verre (forme différente -Carré, rectangulaire, rond, etc.), tubes, capillaires (différents Formes), des tubes de guidage de lumière (différentes formes) selon une configuration prédéfinie. Dans le processus, de nombreuses barres de verre d'un certain diamètre entre 0,25 et 1 mm sont assemblées à la main dans une préforme de fibre qui peut contenir entre 2000 et 10 000 tubes individuelles (voir figure). La préforme, de l'ordre de 50 mm de diamètre, contient des tiges d'un type de verre dans une matrice d'un second type de verre.

La préforme est ensuite découpée jusqu'à un diamètre de 1 mm; Ces préformes intermédiaires sont ensuite disposées ensemble à un diamètre d'approximativement 50 mm et étirées à nouveau à un diamètre final de 1 mm ou plus petit.

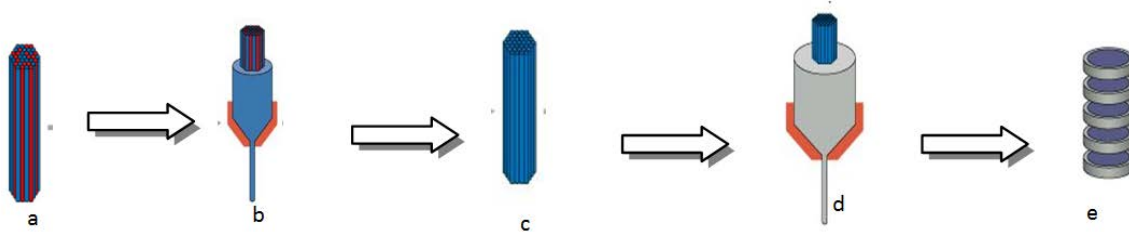


Figure 2.5 :Un ensemble de tige de verre doux (a) est placé dans un revêtement de verre(b) qui est étiré pour produire une méta-tige (c) .un ensemble de méta-tige (d) est étiré pour produire la structure finale (e)

La nanostructure finale est suffisamment inférieure à une longueur d'onde dans la période où aucune diffraction ne se produit dans le lattis la tige; Au lieu de cela, un indice de réfraction efficace est le résultat, l'indice étant une moyenne spatiale des indices de réfraction des nano-tiges composant.

2.5 AVANTAGES DES FMAS

Le PCF à cœur à indice élevé est plus flexible que la fibre conventionnelle:

- Possibilité de créer une très grande surface centrale pour envoyer une puissance élevée.
- Possible rendre le cœur très petit par rapport aux fibres classiques.

Des longueurs d'onde de concepteur possibles.

PCF guidant l'air (cœur creux de fibre):

- Possibilité d'envoyer une puissance élevée.
- Pas de réflectance d'entrée ou de sortie

2.6 APPLICATIONS DES FMAS

Leurs propriétés spéciales rendent les fibres de cristaux photoniques très attrayantes pour une très large gamme d'applications. Certains exemples sont:

- Des dispositifs non linéaires, par exemple. Pour la génération de super-continuum, l'amplification paramétrique ou la compression des impulsions.
- Composants de télécommunication, par exemple : Pour le contrôle de la dispersion, le filtrage ou la commutation.
- Diverses Capteurs à fibre optique (Optical sensors).
- Optique quantique, par exemple : Génération de paires de photons corrélées, transparence induite électromagnétique ment ou guidage d'atomes froids.

Bien que les PCF existent depuis plusieurs années, la vaste gamme d'applications possibles est loin d'être entièrement explorée. On s'attend à ce que ce domaine restera très animé pendant de nombreuses années et de nombreuses opportunités pour un travail créatif supplémentaire, tant pour les conceptions de fibres que pour les applications.

2.7 LES PROPRIETES DE FMAS

2.7.1 : Les fibres infiniment monomodes

Une fibre classique appelée «monomode» est en fait multimode pour longueur d'onde plus courte que la longueur d'onde de coupure du second mode, limitant la plage de longueur d'onde utile. Cela résulte des propriétés optiques uniques de la gaine Holley (creuse). La portée de la fibre monomode utile est limitée uniquement par une perte de pliage. [13]

Applications des fibres infiniment monomodes

- Livraison de rayons à large bande dans un seul mode spatial. [14]
- Applications à courte longueur d'onde (lumière visible et UV).[15]
- Capteurs et interféromètres.

2.7.2 L'indice effectif de la gaine

Dans des milieux homogènes, l'indice effectif « η » peut être utilisé pour quantifier le changement de phase par unité de longueur. Ce changement de phase est « n fois supérieur à ce qu'il serait être sous vide. L'indice effectif a la même signification pour la propagation de la lumière dans un guide d'ondes et dépend non seulement de la longueur d'onde, mais aussi du mode dans lequel la lumière se propage. L'indice effectif peut être une quantité complexe. Dans ce cas, la partie imaginaire décrit le gain ou les pertes [16].

2.7.2.1 Effet des paramètres structurels sur l'indice effectif

La première étape est que l'on suppose que les PCF sont fabriqués de silice d'arrière-plan indice de réfraction $n_{silica} = 1.45$, et les trous sont remplis d'air de l'indice de réfraction $n_{air} = 1.0$. L'indice effectif peut être contrôlé avec la taille des trous d'air dans la première bague d'une fibre.

2.7.3 : Dispersion

La dispersion est définie comme le processus d'étalement des impulsions dans une fibre optique. À mesure qu'une impulsion de lumière se propage à travers une fibre, des éléments tels que l'ouverture numérique, le diamètre du cœur, le profil d'indice de réfraction, la longueur d'onde et la largeur de la ligne du laser provoquent l'amplification de l'impulsion. Ceci impose une limitation de la bande passante globale de la fibre. L'indice de réfraction d'un matériau dépend de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique en interaction avec le matériau. Cette dépendance est appelée dispersion matérielle. La dispersion augmente généralement à mesure que la longueur d'onde augmente. Dans une fibre de bande photonique, la dispersion du matériau est très inférieure.

2.7.4 : Les pertes des fibres photoniques

La perte de confinement d'une fibre augmente avec l'augmentation du diamètre du trou d'air et diminue avec une augmentation de la hauteur ou du nombre de trous d'air. Elle peut être calculée à partir de la partie imaginaire de l'équation de l'indice de réfraction effectif.

2.8 : CONCLUSION

PCF est maintenant une technologie éprouvée qui rivalise avec les fibres classiques dans de nombreuses applications et ouvre d'autres qui ne sont pas accessibles à toutes les fibres de verre. Les fibres optiques classiques sont limitées à des différences relativement faibles d'indice de réfraction entre le cœur et la gaine - quelques pour cent pour les fibres fabriquées à partir de silice Dopée. La différence d'indice relativement élevé entre l'air et le verre dans les PCF, et la capacité de varier les tailles et les positions des trous d'air signifie que de nombreux profils d'indice de large gamme sont possibles, ce qui entraîne des fibres présentant des caractéristiques optiques inhabituelles. Les PCF peuvent être monomode à toutes les longueurs d'onde ou une longueur d'onde donnée, jusqu'à des diamètres de cœur importants. Cependant, ils peuvent être très non-linéaires, possèdent une dispersion inhabituelle ou peuvent être très biréfringents. Peut-être le type de PCF le plus révolutionnaire consiste en fibres de cœur creux dans lesquelles la lumière est guidée en grande partie à l'extérieur du matériau solide dans un cœur.

CHAPITRE 3

COMPENSATION DE DISPERSION
DANS LES FIBRES
MICROSTRUCTUREES AIR/SILICE

3.1 INTRODUCTION

L'étalement des impulsions lumineuses, appelées dispersion, est un facteur critique qui limite la qualité de la transmission du signal sur les liaisons optiques. La dispersion est une conséquence des propriétés physiques du milieu de transmission. Les fibres monomodes, utilisées dans les réseaux optiques à haute vitesse, sont soumises à la dispersion chromatique (D_C) qui provoque l'étalement des impulsions en fonction de la longueur d'onde et à la dispersion du mode de polarisation (DMP) qui provoque l'amplification des impulsions en fonction de la polarisation. L'étalement excessif amènera les bits à «déborder» leurs intervalles de temps prévus et à chevaucher les bits adjacents. Le récepteur peut alors avoir de la difficulté à discerner et à interpréter correctement les bits adjacents, ce qui augmente le taux d'erreur de bit. Pour conserver la qualité de la transmission, la dispersion maximale du temps doit être limitée à une faible proportion du débit binaire du signal, généralement 10% du temps de bit.

Dans cette partie, nous allons étudier la dispersion chromatique par la méthode BPM, les travaux présentés dans le chapitre trois s'inspirent directement des travaux de Mr. M. DEBBAL, et M. CHIKH-BLED [17-18].

3.2 DISPERSION DANS LES FMAS

Les fibres microstructurées ont récemment été étudiées pour explorer leur potentiel dans le contrôle de la dispersion en tant que solution de rechange aux fibres optiques classiques. La dispersion est un terme général qui sert à décrire le phénomène qui provoque l'étalement des impulsions lors de la propagation. Cela limite fortement la capacité de transmission du système. La dispersion totale ou la dispersion chromatique D_C se compose de deux composants [19-21]: La dispersion des matériaux D_m et la dispersion des guides d'ondes D_w .

$$D_C = D_m + D_w \quad (1)$$

Le contrôle de la dispersion chromatique dans les PCF est essentiel pour les applications pratiques dans les systèmes de communication optique.

La dispersion des guides d'ondes D_w du PCF est obtenue à partir des valeurs par rapport à la longueur d'onde en utilisant

$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \left(\frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2} \right) \quad (2)$$

Ou

$D(\lambda)$: la dispersion chromatique

λ : la longueur d'onde

C : vitesse de la lumière

n_{eff} : L'indice effectif de la fibre

L'indice effectif est une valeur complexe à la fois réelle et imaginaire. Qui peut être obtenu comme :

$$n_{eff} = \frac{\beta}{k_0} \quad (3)$$

Ici, β est la constante de propagation et k_0 est le nombre d'onde de l'espace libre.

La deuxième dérivé de l'indice effectif est obtenue grâce à une dérivation numérique .Cette dérivée de n_{eff} est calculée à partir de la valeur de $n_{eff}(\lambda_0)$ et des quatre valeurs voisines de l'indice effectif situées de part et d'autre de $n_{eff}(\lambda_0)$, régulièrement espacées d'un intervalle spectral, avec une longueur d'onde donnée λ_0 . L'expression de la dérivation numérique à $\lambda = \lambda_0$ est la suivante [22] :

$$\left. \frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2} \right| \approx \frac{1}{24(\Delta\lambda)^2} \left(-2n_{eff}(\lambda_0 + 2\Delta\lambda) + 32n_{eff}(\lambda_0 + \Delta\lambda) - 60n_{eff}(\lambda_0) + 32n_{eff}(\lambda_0 - \Delta\lambda) - 2n_{eff}(\lambda_0 - 2\Delta\lambda) \right) \quad (4)$$

La figure 3.1 montre la variation de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour les fibres classiques et FMAS respectivement.

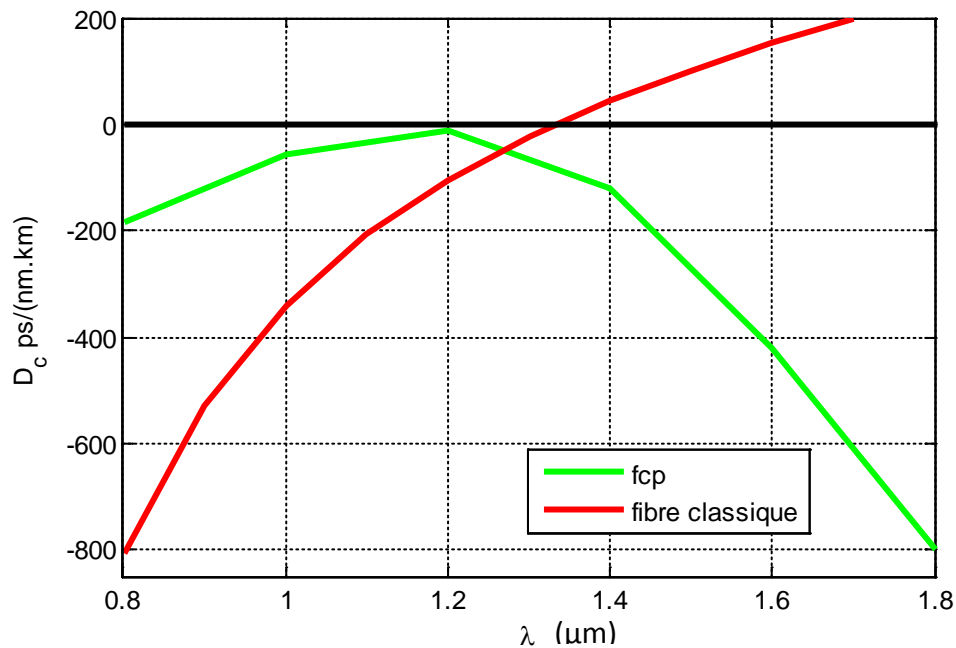


Figure 3.1 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde pour la fibre classique (rouge) et FMAS (verte)

Dans une fibre optique conventionnelle, la dispersion chromatique est toujours négative pour $\lambda < 1.33 \mu\text{m}$ et positive pour $\lambda > 1.33 \mu\text{m}$.

Pour la fibre cristaux photonique, la dispersion est croissante pour $\lambda \leq 1.2 \mu\text{m}$; on observe aussi que la dispersion chromatique diminue lorsque la longueur d'onde augmente pour le point $\lambda = 1.2 \mu\text{m}$ vers le point $\lambda = 1.8 \mu\text{m}$ qui montre que la valeur maximal de la dispersion chromatique $D_c = -800 \text{ ps /km.nm}$.

3.2.1 Compensation de dispersion

La performance d'un système de communication par fibre optique à longue distance est limitée par divers facteurs, dont l'une est la dispersion, comme mentionné précédemment.

La distorsion des impulsions réduit l'espacement maximal entre les émetteurs et récepteurs optiques si la même performance BER pour le système doit être maintenue.

Lorsque les liaisons commerciales à fibre optique monomode ont été introduites et installées pour la première fois, elles ont été conçues pour offrir une dispersion nulle à 1.3 μm , puisqu'il s'agissait de la longueur d'onde des sources lumineuses disponibles dans le commerce. Opérés de nos jours à 1,55 μm , ces fibres présentent une dispersion positive importante qui peut être annulée en utilisant des fibres compensatrices de dispersion qui fournissent une grande dispersion négative à cette longueur d'onde [23-25].

Un signal traversant une liaison de fibre monomode de dernière génération souffre d'une dispersion totale DL sur une distance L , où D est la dispersion par unité de longueur, mesurée à 1.55 μm . DL peut être d'une grandeur considérable après une longue distance parcourue. La compensation de dispersion est réalisée en épandant une fibre optique de longueur l qui présente une grande dispersion négative, D' , à la longueur d'onde de fonctionnement, de sorte que $D'l$ annule DL ; C'est $DL + D'l = 0$. La longueur de la fibre de compensation nécessaire l est ainsi obtenue à partir de $l = |D/D'|L$.

Les fibres compensatrices de dispersion permettent d'améliorer les liaisons existantes à 1.3 μm sans remplacement inutile et coûteux.

3.3 LA METHODE BPM (BEAM PROPAGATION METHODE)

La méthode de propagation du faisceau est une manière numérique de déterminer les champs à l'intérieur d'un guide d'onde. Avec cette méthode, le profil de mode d'un guide d'onde inhabituel tel que coupleur y peut être déterminé avec facilité. Le profil du mode dynamique peut être estimé avec précision à mesure que l'onde se propage dans le guide d'ondes. La méthode de propagation du faisceau décompose essentiellement un mode en une superposition d'ondes planes, chacune se déplaçant dans une direction différente. Ces ondes planes individuelles se propagent à travers une distance prédéterminée finie à travers le guide d'ondes jusqu'à ce que le point où le champ doit être déterminé soit arrivé. À ce stade, toutes les ondes planes individuelles sont ajoutées numériquement afin de récupérer le mode spatial.

Dans la méthode de propagation du faisceau, un mode est décomposé en différentes ondes planes, qui sont en effet des sinusoides de fréquences différentes. L'idée de base ici est de diviser un problème compliqué en un problème plus simple pour lequel les solutions sont évidentes. Puisque l'équation des ondes est linéaire, toutes ces solutions simples peuvent être ajoutées pour obtenir la solution compliquée.

3.3.1 Principe de superposition

Ce principe constitue le fondement de la théorie de la propagation du faisceau. Le principe de la superposition indique que, pour un système linéaire, une combinaison linéaire de solutions au système est également une solution au même système linéaire. Le principe de la superposition s'applique aux systèmes linéaires d'équations algébriques, d'équations différentielles linéaires ou de systèmes d'équations différentielles linéaires. Comme nous considérons un support linéaire, le principe de superposition est valide.

Considérons un guide d'onde de dalle tel qu'illustré à la figure 3.2. Tout champ guidé à l'intérieur de ce guide d'onde devrait nécessairement satisfaire l'équation d'onde. Si le support est isotrope, les ondes planes sont des solutions naturelles de l'équation des ondes.

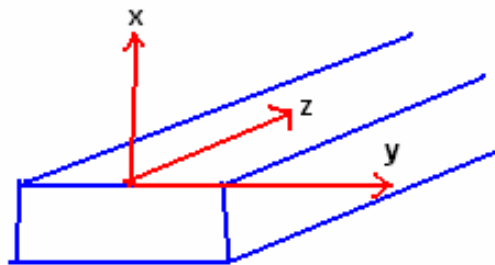


Figure 3.2: Guide d'onde de dalle

Comme l'équation d'onde est linéaire, toute superposition linéaire de solutions constituera également une solution valide. Ce fait important constitue le fondement de la théorie de la propagation du faisceau. Afin de décrire le mode général d'un guide d'onde, une superposition d'ondes planes, chacune avec une fréquence angulaire identique, mais un vecteur de propagation différent, serait utilisée. Ainsi, l'essence de la théorie est que les ondes planes forment un ensemble de base pour la description du mode.

3.4 SIMULATION ET RESULTATS

Dans notre projet, nous avons fait la simulation de la propagation de la lumière dans la FMAS par la méthode BPM en utilisant le logiciel RSOFT et des programmes développés avec MATLAB. En variant les paramètres géométriques tels que le pitch (Λ), le diamètre (d) et le rapport de remplissage d/Λ , les résultats suivants sont obtenus.

3.4.1 ETUDE DE L'INFLUENCE DU NOMBRE DE COURONNES SUR LES FMAS

Les figures ci-dessous montrent les structures des FMAS à 3, 5 et 8 couronnes avec leurs correspondants variations des puissances des impulsions lumineuses. On remarque que la FMAS à 5 couronnes transmet la plus grande puissance comme montré dans la figure 3.3 que les autres (figure 3.2 et 3.4). À cette base, on va prendre dans la suite de nos simulations un nombre de couches d'air égal à 5. L'espace entre les trous d'air est $\Lambda=4.3 \mu\text{m}$, et le diamètre c'est $d=1.6 \mu\text{m}$.

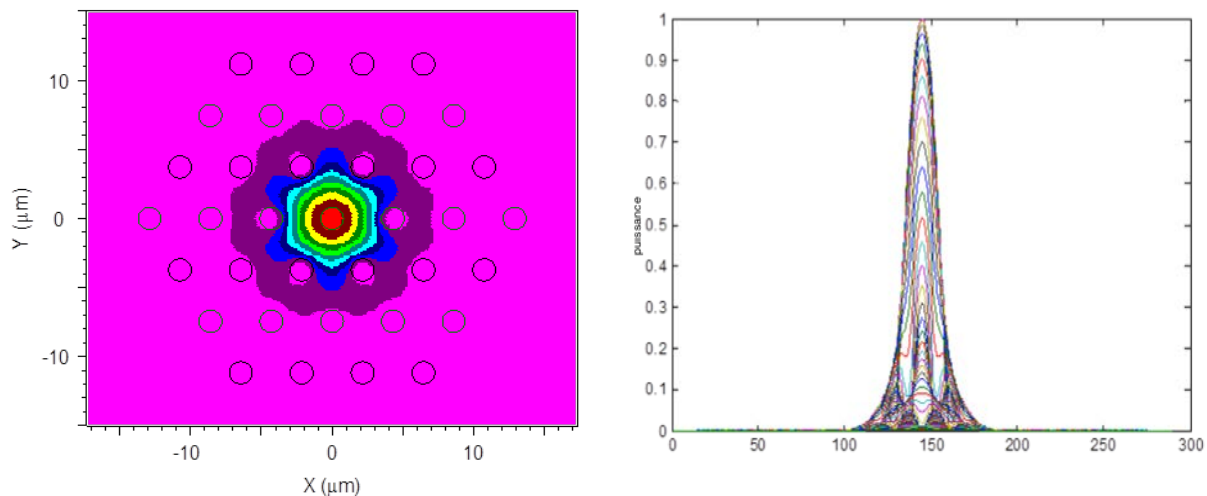


Figure 3.3 : FMAS à 3 couronnes

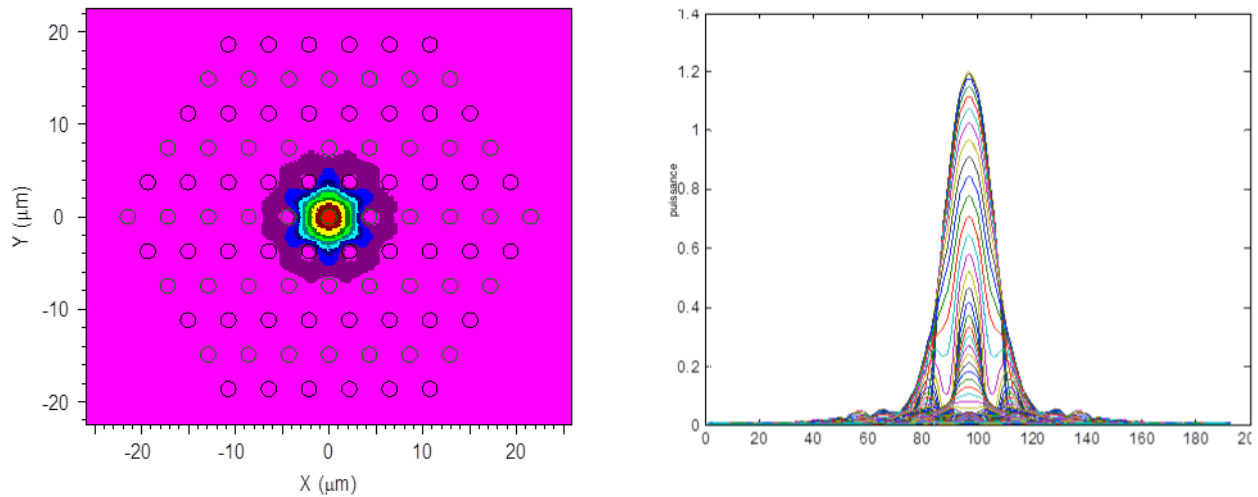


Figure 3.4 : FMAS à 5 couronnes

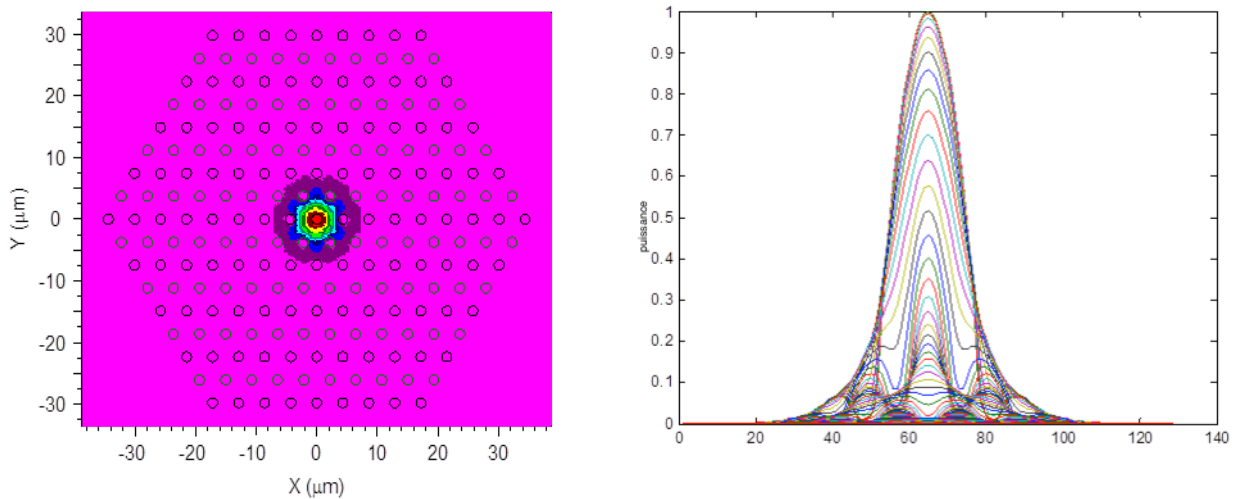


Figure 3.5 : FMAS à 8 couronnes

3.4.2 Indice effectif en fonction des paramètres opto-géométriques

3.4.2.1 l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différents diamètres

Les indices effectifs pour les différents diamètres des trous d'air converge vers l'indice de cœur (silice) pour les signaux des petites longueurs d'onde et diverge vers l'indice de gain (l'air) en augmentant les longueurs d'onde des signaux comme le montre la figure 3.5 ci-dessous.

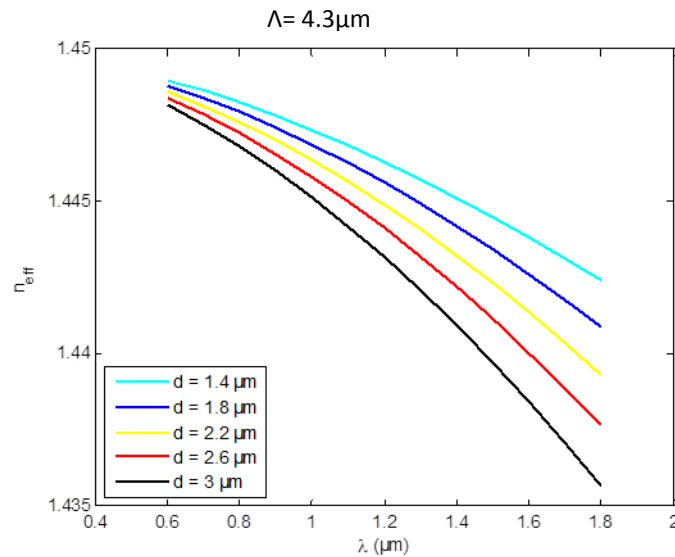


Figure 3.6 variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs du diamètre

3.4.2.2 Indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch

L'indice effectif de la fibre photonique est directement proportionnel à la distance de séparation entre les trous d'air (pitch) i.e. Ils augmentent en augmentant le pitch et vice-versa. La figure 3.6 illustre la variation de l'indice effectif par rapport à la longueur d'onde pour les différentes valeurs du pitch. Pour la première fenêtre [0.8 μm - 0.9 μm], on observe que les tronçons convergent vers 1,5 (l'indice du cœur) ; La deuxième fenêtre [1.28 μm - 1.33 μm] et la troisième fenêtre [1.525 μm - 1.625 μm], l'écart entre les valeurs de l'indice augmente, par contre lorsque $\Lambda = 3 \mu\text{m}$ la valeur de l'indice se diverge de l'indice de cœur.

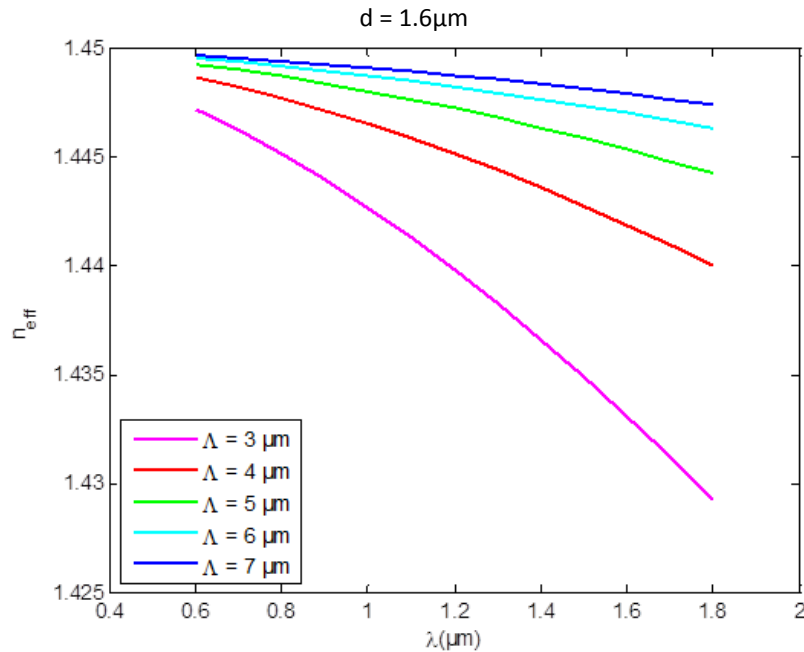


Figure 3.7 variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch

3.4.2.3 indices effectifs en fonction du diamètre pour les différentes valeurs de pitch

Les indices effectifs de la fibre photonique augmentent en diminuant la longueur d'onde du signal et diminuent pour des signaux à grande longueur d'onde. La figure 3.7 illustre la variation de l'indice effectif par rapport à la longueur pour les différents diamètres des trous d'air (d).

On remarque que pour les petites valeurs du diamètre d qui varie de 0.2 à $0.4 \mu\text{m}$, l'indice effectif est stable au tour de 1.499 , si nous augmentons le diamètre des trous d'air, n_{eff} diminue parallèlement, par exemple, on note que le cas où $\Lambda = 4 \mu\text{m}$; $n_{\text{eff}} = 1.491$.

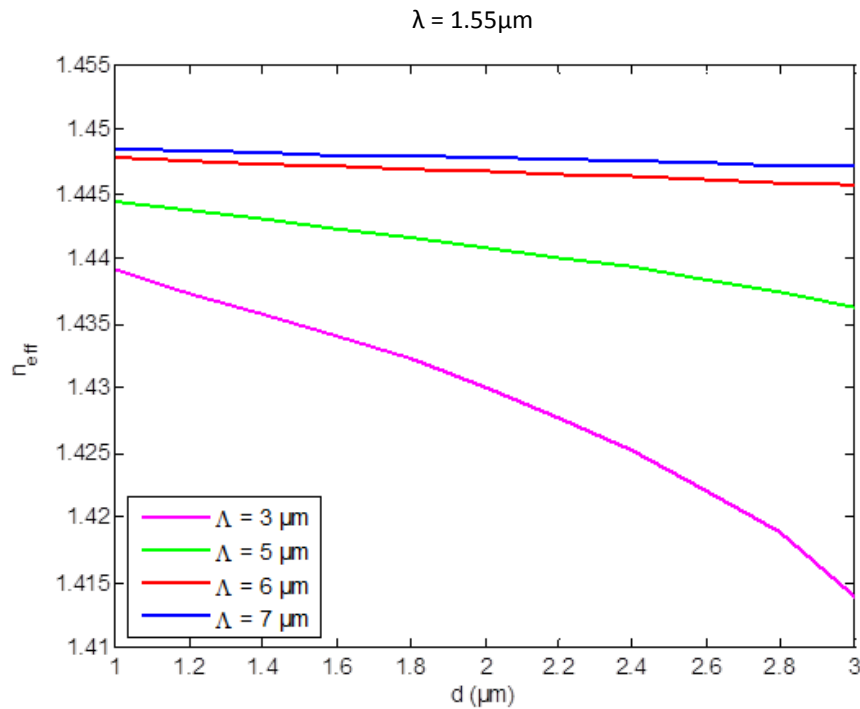


Figure 3.8 variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch

3.4.3 Dispersion chromatique en fonction des paramètres opto-geometriques

Nous calculons la dispersion chromatique de ces fibres microstructurée à partir de l'évolution de la longueur d'onde et le rapport de remplissage d/Λ , on basant sur la relation de Sellmeier [26].

$$n_{silice}^2(\lambda) = \varepsilon_r(\lambda) = 1 + \sum_{k=1}^2 \frac{b_k \lambda_k}{\lambda^2 - \lambda_k^2} \quad (5)$$

Où $b_1 = 0,6961663$, $b_2 = 0,4079426$, $b_3 = 0,8974794$, $\lambda_1 = 0,0684043 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0,1162414 \mu\text{m}$, $\lambda_3 = 9,896161 \mu\text{m}$. Les paramètres b_k et λ_k suivant la référence [27], ont obtenus en ajustant l'équation (5) aux leurs résultats expérimentaux de la silice fondue. Après le calcul de n_{eff} en fonction de la longueur d'onde, la dispersion chromatique peut dériver par l'équation (2)

3.4.3.1 Dispersion en fonction de la longueur d'onde pour les différents diamètres

Pour des FMAS à $\Lambda=4.3 \mu\text{m}$ et $d= [1 \mu\text{m} \text{ à } 3 \mu\text{m}]$, on remarque que la dispersion est négative pour la première fenêtre de transmission ($8.5 \mu\text{m}$), autour de zéro pour la deuxième fenêtre ($1.31 \mu\text{m}$) et positive pour la troisième fenêtre.

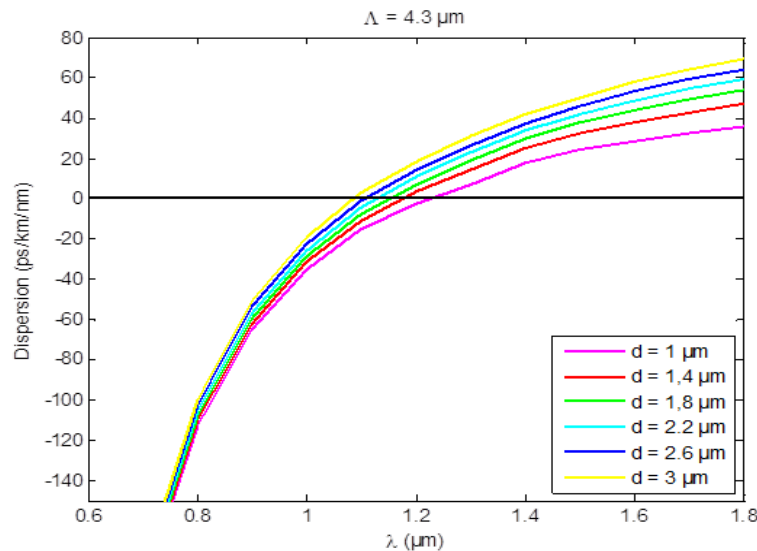


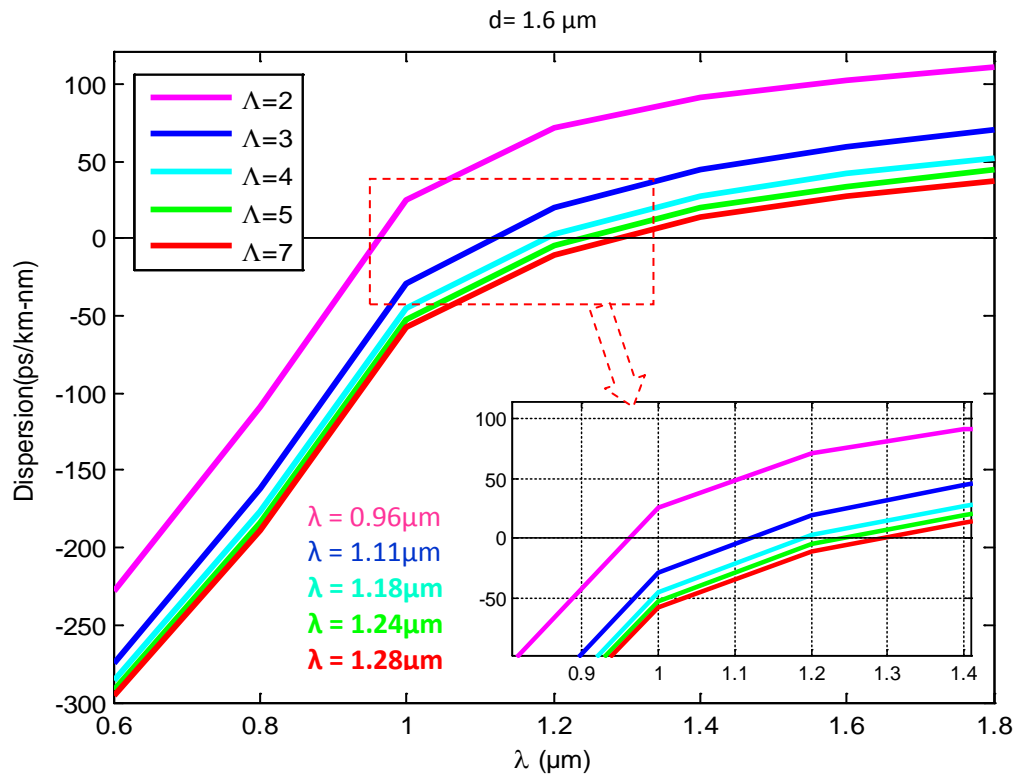
Figure 3.9 la variation de la dispersion par rapport à la longueur d'onde pour $d=1\mu\text{m}$ jusqu'à $d=3 \mu\text{m}$ avec un pas de $0.4 \mu\text{m}$

3.4.3.2 Dispersion en fonction de la longueur d'onde pour les différentes valeurs de pitch

La figure 3.9 représente la variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde avec différentes valeurs de l'espacement entre les trous d'air ; dans ce cas le diamètre est constant $d=1.6\mu\text{m}$.

On remarque qu'on a une dispersion importante autour de -300 ps/km-nm pour la longueur d'onde $\lambda=0,6\mu\text{m}$.

Dans la 2^{ème} fenêtre, on note que la dispersion s'annule lorsqu'on ascendant la valeur du pitch, par exemple dans le cas de $\Lambda=2\mu\text{m}$, nous avons une dispersion nulle et une longueur d'onde autour de $0.96\mu\text{m}$, la même chose pour $\Lambda=3\mu\text{m}$ la dispersion s'annule pour $\lambda = 1.11\mu\text{m}$.



La figure 3.10 variation de la dispersion par rapport à la longueur d'onde pour $\Lambda = 3\mu\text{m}$ jusqu'à $\Lambda = 7\mu\text{m}$

3.4.3.3 Dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différents diamètres des trous d'air

La dispersion de la FMAS dans la troisième fenêtre de transmission ($1.550\mu\text{m}$) est aplatie pour les petits diamètres pour toutes valeurs du rapport d/Λ comprises entre 0 et 1. Pour $d > 0.6$ elle est aplatie pour $d/\Lambda < 0.5$ puis elle commence à diminuer.

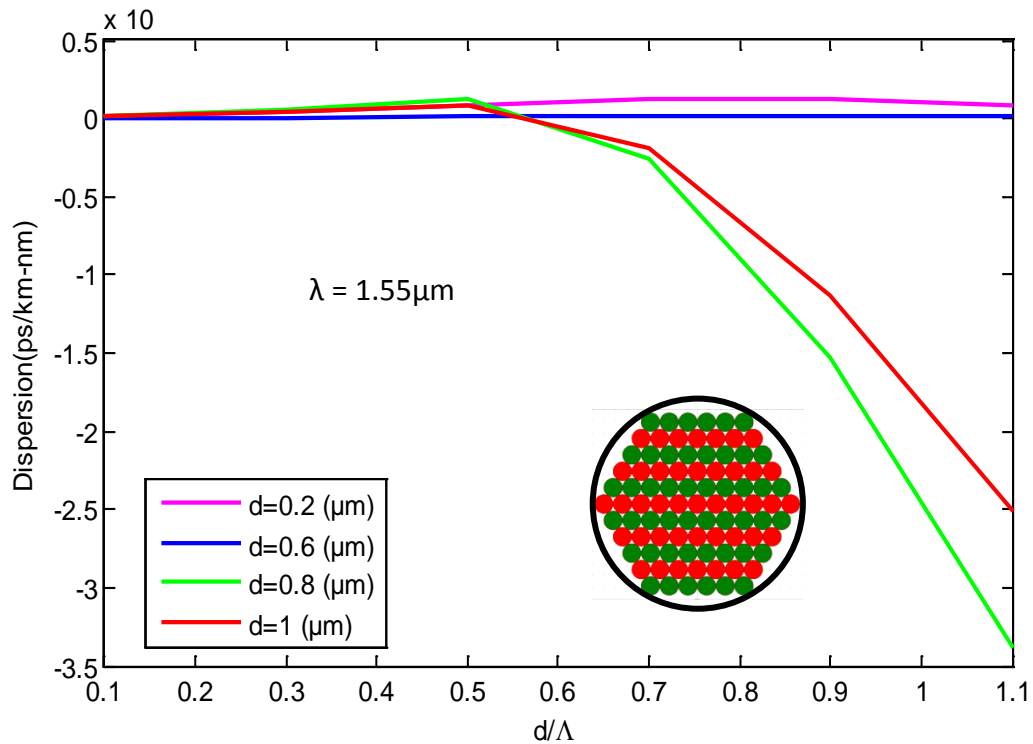


Figure 3.11 variation de la dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différents diamètres des trous d'air

3.4.3.4 Dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différentes valeurs du pitch

La figure 3.9 présente la variation de la dispersion en fonction du rapport de remplissage, en variant le pitch ; nous avons étudiés ce cas pour la 3^{ème} fenêtre de transmission optique ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$). Dans cette étape, on remarque que la dispersion est quasiment nulle pour les valeurs de $d/\Lambda < 0.4$ puis elle s'augmente positivement pour la valeur de $d/\Lambda > 0.4$.

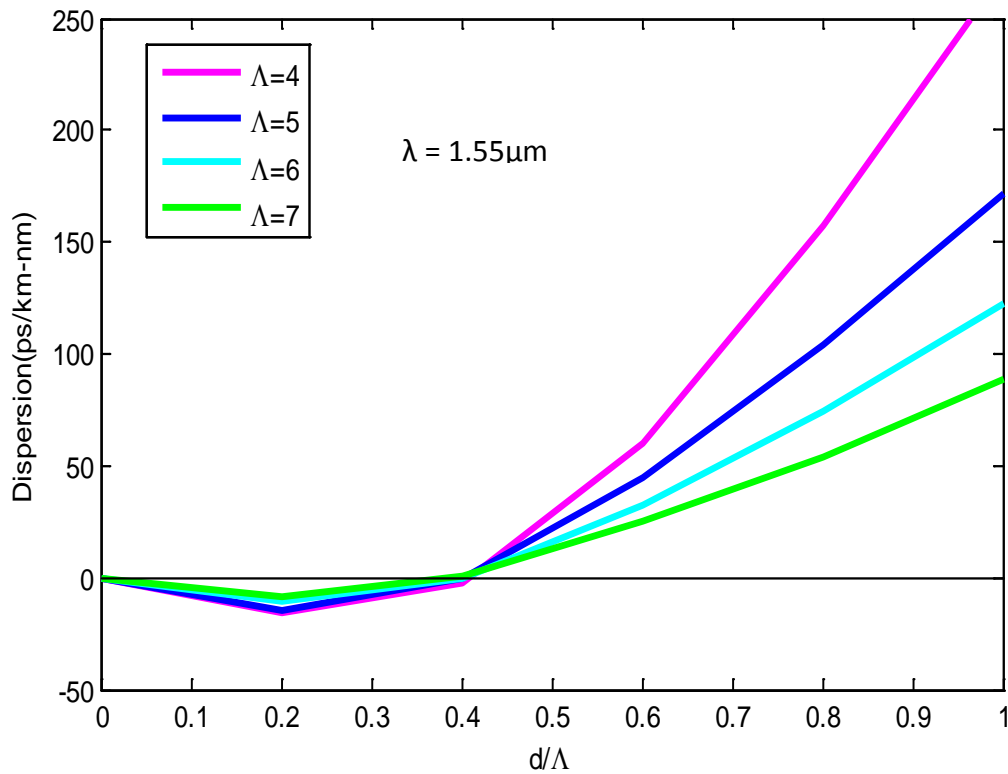


Figure 3.12 variation de la dispersion en fonction du rapport d/Λ pour les différentes valeurs du pitch

3.4.4 COMPARAISON DE LA DISPERSION ENTRE LES METHODES BPM ET FDTD

Les figures 3.13, 3.15 et 3.17 montrent la variation de dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.0$, 2.5 et 3 respectivement par la méthode BPM, qui s'accordent aux résultats trouvé par **K. Sheikhi** et **N. Granpayeh** [28] en utilisant la méthode FDTD montré dans la figure 3.14, 3.16 et 3.18. Le pourcentage de décalage des valeurs entre ces deux méthodes est autour 8% selon des courbures correspondantes.

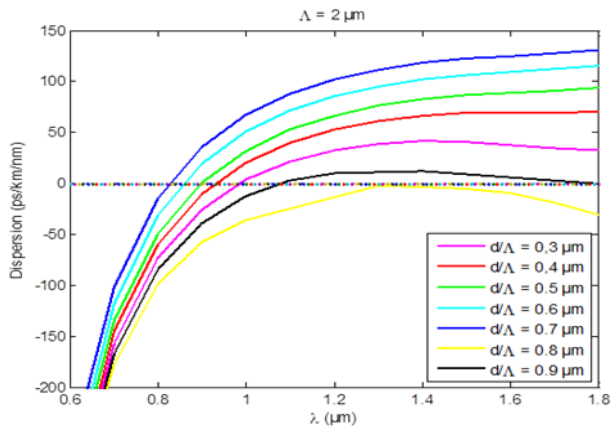


Figure 3.13 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.0$ pour $d/\Lambda=0.5$ à 0.9 par la méthode BPM

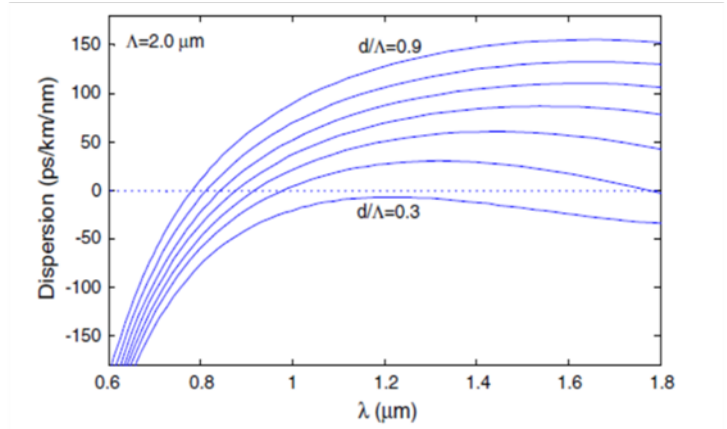


Figure 3.14 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.0$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD

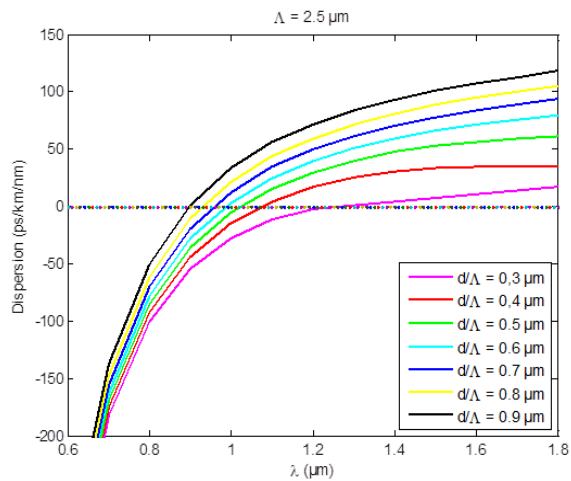


Figure 3.15 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.5$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode BPM

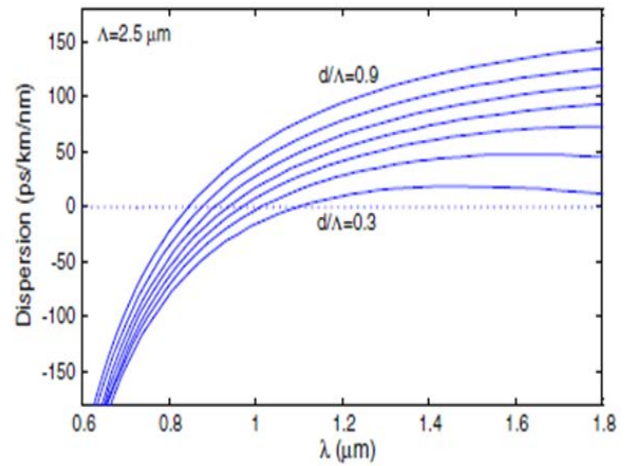


Figure 3.16 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=2.5$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD

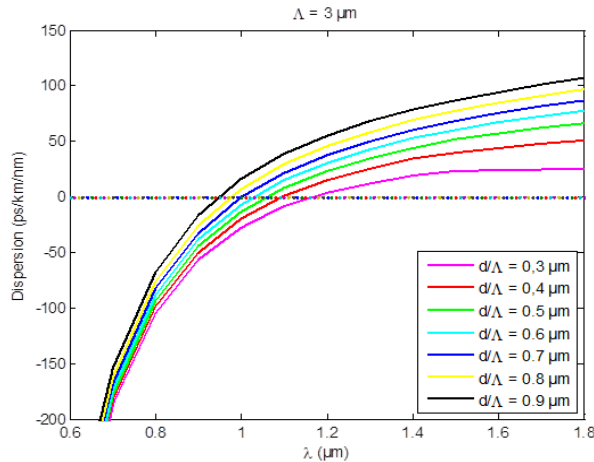


Figure 3.17 : variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=3$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode BPM

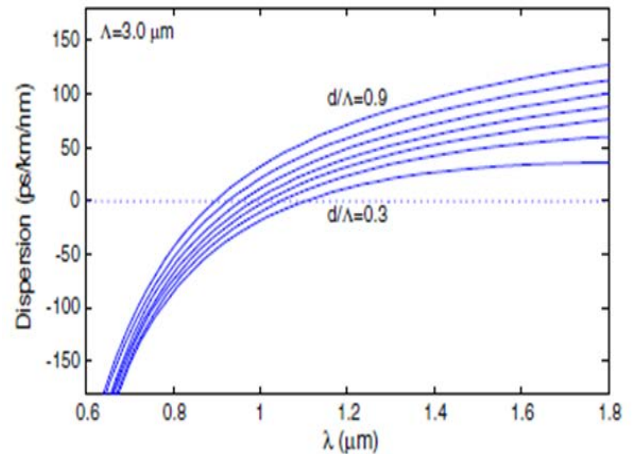


Figure 3.18: variation de la dispersion en fonction de la longueur d'onde à $\Lambda=3$ pour $d/\Lambda=0.3$ à 0.9 par la méthode FDTD

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons simulé la transmission de la lumière dans une fibre microstructure ce qui a ramené à étudié les paramètres opto-géométriques de cette fibre.

Tout d'abord, nous avons étudié le rayonnement de la lumière en fonction le nombre de couches d'air. Nous avons montré qu'on a une bonne puissance de signal lorsque le nombre de couches d'air et l'espacement augmentent, donc un bon confinement de la lumière dans la zone du cœur.

Par la suite, nous avons étudié la dispersion chromatique de plusieurs structures de FMAS, dans un premier lieu nous avons mesuré la dispersion en fonction la longueur d'onde en changeant le diamètre et l'espacement des trous d'air. La dernière partie, nous avons comparé nos résultats traités avec la méthode BPM et les comparés avec la méthode FDTD.

Les bonnes performances sont obtenues pour un nombre de couronne égale à cinq, les paramètres de structure avec une meilleure dispersion est comporte un diamètre de $0.8\mu\text{m}$ et un espacement entre les trous d'air de $4.3\mu\text{m}$.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce projet a été d'étudier et de concevoir la dispersion dans les fibres microstructurées air/silice (FMAS). La propagation de la lumière dans ces fibres a été développée théoriquement puis simulée en utilisant la méthode BPM.

Dans les chapitres 1 et 2 on a donné un bref aperçu sur les télécommunications optiques, les différentes techniques de transmission, la fabrication des fibres leur propriétés et les avantages de cette technologie.

Dans le troisième chapitre, nous avons fait la simulation pour étudier l'effet des paramètres structurels du FMAS sur les caractéristiques de propagation. On a obtenu les variations de l'indice effectif et la dispersion chromatique, avec les paramètres géométriques du FMAS et de longueur d'onde.

Les indices effectifs des FMAS ayant différents paramètres géométriques convergent vers l'indice du cœur (silice) pour les signaux des petites longueurs d'onde, l'indice effectif est proportionnel au pitch est inversement aux diamètres des trous d'air pour toutes les fenêtres de transmission.

La dispersion chromatique peut être ajustée pour s'adapter aux besoins d'applications particulières: dispersion plate pour des télécommunications à débit élevé ou une dispersion nulle à toute longueur d'onde pour les optiques non linéaires. Cela permet maintenant de considérer l'utilisation pratique de ces fibres dans les transmissions à long terme.

En conclusion, il est évident que la technologie de fibre optique microstructurée ouvre la voie à de nombreuses applications avancées qui ne sont pas accessibles avec des fibres classiques. Bien que cette technologie en soit encore à ses débuts, les FMAS ont déjà prouvé leur nombre de leurs potentialités. Compte tenu des efforts massifs réalisés dans de nombreux groupes de recherche majeurs pour améliorer les FMAS et les fibres BIP et pour les appliquer dans divers domaines de la physique.

REFERENCES

- [1]. B. Ziętek, *Optoelektronika*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2005
- [2]. <https://www.system.fr/fibre-optique.php>
- [3]. W.van Etten, J.van der Plaats: *Fundamentals of Optical Fiber Communications*, Prentice Hall, New York 1991
- [4]. A.W. Snyder, J.D. Love, *Optical Waveguide Theory*, Chapman and Hall, London, 1983, Chaps. 12-15
- [5]. <https://www.slideshare.net/GerryB/reflexion-refraction>
- [6]. <http://www.motteville-informatique.com/www/IMG/gif/Fibre1.gif>
- [7]. <http://michaud.chez-alice.fr/principe.html>
- [8]. P. Yeh, A. Yariv, E. Marom, *J. Opt. Soc. Am.* 68, 1196 (1978).
- [9]. www.tpub.com/neets/tm/107-5.htm.
- [10]. J.A. Buck, *Fundamentals of Optical Fibers*, Wiley, New York, 1995, Chap.3
- [11]. J.C. Knight, T.A. Birks, P.St.J. Russell, D.M. Atkin, *Opt. Lett.* 21, 1547 (1996).
- [12]. Ryan T. Bise, Dennis J. Trevor ‘Sol-gel Derived Microstructured Fiber: Fabrication and Characterization’ OFS Laboratories,600-700 Mountain Avenue, Murray Hill, NJ 07974 (2005)
- [13]. T. A. Birks, J. C. Knight, and P. St. J. Russell ‘Endlessly single-mode photonic crystal fiber’ Vol. 22, Issue 13, pp. 961-963 (1997)
- [14]. E.K.Akawah, H .Ademigl and S.Haxha “Design and analysis of photonic crystal fibers for broad band applications” 978-1-4673-4789-1/12/\$31.00 c 2012 IEEE.
- [15]. BlazePhotonics, www.blazephotonics.com, info@blazephotonics.com
- [16]. J. C. Knight, T. A. Birks, P. St. J. Russell, and J. P. de Sandro “Properties of photonic crystal fiber and the effective index model” *Optical Society of America* Vol. 15, Issue 3, pp. 748-752 (1998).
- [17]. K. Saitoh, M. Koshiba, T. Hasegawa, and E. Sasaoka, “Chromatic dispersion control in photonic crystal fibers: application to ultra-flattened dispersion,” *Opt. Express* 11(8), 843–852 (2003).

- [18]. F. Poli, A. Cucinotta, M. Fuochi, S. Selleri, and L. Vincetti, "Characterization of microstructured optical fibers for wideband dispersion compensation," *J. Opt. Soc. Am. A* 20(10), 1958–1962(2003).
- [19]. F. Begum, Y. Namihira, T. Kinjo, and S. Kaijage, "Supercontinuum generation in square photonic crystal fiber with nearly zero ultra-flattened chromatic dispersion and fabrication tolerance analysis," *Opt. Commun.* 284(4), 965–970 (2011).
- [20]. Ouadah, M. C. E., & Chikh-Bled, M. E. K. (2016). Novel High Negative Chromatic Dispersion Photonic Crystal Fiber with Low Confinement Loss. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 9(1), 25.
- [21]. Thèse de Doctorat, Mohammed Debbal, « Modélisation et optimisations des fibres à cristaux photoniques dédiées aux télécommunication optique », Université de Tlemcen, 2013.
- [22]. F. Begum, Y. Namihira, S. M. A. Razzak, S. F. Kaijage, N. H. Hai, K. Miyagi, H. Higa, and N. Zou, "Flattened chromatic dispersion in square photonic crystal fibers with low confinement losses," *Opt. Rev.* 16(2), 54–58 (2009).
- [23]. Peyrilloux, Ambre. Modélisation et caractérisation des fibres microstructurées air/silice pour application aux télécommunications optiques. Diss. Institut Fresnel, 2003.
- [24]. C. D. Poole, J. M. Wiesenfeld, D. J. DiGiovanni, and A. M. Vengsarkar, "Optical fiber-based dispersion compensation using higher order modes near cutoff," *J. Lightwave Technology*, vol. 12, pp. 1746-1758, 1994.
- [25]. A. J. Antas and D. K. Smith, "Design and characterization of dispersion compensating fiber based on LP_{01} mode," *J. Lightwave Technology*, vol. 12, pp. 1739-1745, 1994.
- [26]. Nozhat, Najmeh, and Nosrat Granpayeh. "Specialty fibers designed by photonic crystals." *Progress In Electromagnetics Research* 99 (2009): 225-244
- [27]. Sha, Wei EI, et al. "Waveguide simulation using the high-order symplectic finite-difference time-domain scheme." *Progress In Electromagnetics Research B* 13 (2009): 237-256.
- [28]. K. Sheikhi · N. Granpayeh Complete analysis of photonic crystal fibers by full-vectorial 2D-FDTD method *Opt Quant Electron* (2008) 40:991–1003 DOI 10.1007/s11082-009-92834