

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et photonique appliquée

Mémoire de Master

***Etude de la propagation de la lumière dans les fibres optique et guides
d'ondes à gradient d'indice présentant un profil parabolique***

Etudié par : Mellah anis

Dirigé Par : Pr : A. Belkhir

Devant le jury :

(Président) : Dr : Rouag

(Examineur) : Dr : Azil

Soutenue le :03/07/2023

Sommaire

Remerciement	I
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Résumé	VII
Introduction générale :	1
I.1 Introduction :	3
I.2 Les ondes électromagnétiques dans le vide :	3
<i>I.2.1 Les équations de Maxwell (dans le vide) :</i>	4
I.3 Les ondes électromagnétiques dans les milieux :	5
<i>I.3.1 Les équations de Maxwell (dans un milieu conducteur):</i>	5
<i>I.3.2 Équation de Helmholtz :</i>	6
II.1 Les fibres optiques :	9
II.2 L'historique De La Fibre Optique :	10
II.3 Les guides d'ondes :	11
<i>II.4.1 Les types de fibres optiques :</i>	12
<i>II.4.2 Les types de guides d'ondes optiques:</i>	17
II.5 L'ouverture numérique :	18
II.6 Le nombre de modes :	18
III.1 Technologies des fibres optiques et guides d'ondes :	20
<i>III.1.1 La technologie du WDM :</i>	20
<i>III.1.1.1 Le principe du WDM :</i>	20
<i>III.1.1.2 Les différents types du WDM :</i>	21
<i>III.1.2 FTTO-Fiber To The Office-Fibre jusqu'au bureau :</i>	22
<i>III.1.3 FTTPD-Fiber To The Distribution Point-Fibre jusqu'au point de distribution :</i>	22
<i>III.1.4FTTN-Fiber To The Node-Fibre jusqu'au nœud :</i>	22
<i>III.1.5 FTTB-Fiber To The Building-Fibre jusqu'au bâtiment :</i>	22
<i>III.1.6 FTTLA- Fiber To The Last Amplifier-fibre jusqu'au dernier amplificateur :</i>	23
<i>III.1.7 FTTH – Fiber to the Home – Fibre jusqu'à l'abonné :</i>	23
III.2 Fabrication de la fibre optique en silice :	23
III.3 Les applications des fibres optiques et guides d'ondes :	24
<i>III.3.1 L'application des guides d'onde et fibres optique dans les capteurs optiques :</i>	26
IV.1 Introduction :	30

IV.2 Les équations de Maxwell :	31
<i>IV.2.1 Aspect historique :</i>	32
IV.3 Traitement des modes électromagnétiques des milieux à indice parabolique :	32
<i>IV.3.1 Les équations vectorielles des ondes pour les milieux à indice gradué général sont les suivantes :</i>	33
V.1 Introduction :	39
V.2 Simulations des solutions :	39
V.3 Conclusion :	45
Conclusion générale :	46
Bibliographie :	48
Annexes:	51

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1 : Schéma d'une onde électromagnétique	3
---	---

Chapitre II

Figure II. 1 : Schéma d'une Fibre optique	9
Figure II. 2 : Guides d'onde.....	11
Figure II. 3 : Fibres optique à saut d'indice (multi-mode)	12
Figure II. 4 : Fibres optique à saut d'indice (multi-mode)	13
Figure II. 5 : Fibres optique à gradient d'indice (multi-mode).....	14
Figure II. 6 : Fibres optique à gradient d'indice (multi-mode).....	14
Figure II. 7 : Fibres optiques Monomode	15
Figure II. 8 : Fibres optiques Monomode	16

Chapitre III

Figure III. 1 : Technologie du WDM	20
Figure III. 2 : Multiplexage en longueur d'onde.....	21
Figure III. 3 : Fabrication d'une fibre optique	23
Figure III. 4 : Schéma démontre la fabrication d'une fibre optique en silice	24
Figure III. 5 : câble à fibre optique pour télécommunications	24
Figure III. 6 : Le fibroscope	25
Figure III. 7 : Capteurs à fibre optique de conduites pressurisées pour des applications dans l'industrie du pétrole et gaz.....	25
Figure III. 8 : Cable fibre optique CAMERA HDTV	25
Figure III. 9 : Capteur de température à fibre optique 1.4mm.....	26
Figure III. 10 : Capteurs de pression	26
Figure III. 11 : Capteurs de déformation	27
Figure III. 12 : Grandes familles de micro-capteurs chimiques	27
Figure III. 13 : Capteurs de débit.....	28
Figure III. 14 : Capteurs de distanc	28
Figure III. 15 : Des déférents Capteurs de position.....	29

Chapitre IV

Figure IV. 1 : Fibre optique à gradient d'indice parabolique.....	31
Figure IV. 2 : représente les distributions de champ pour certains modes Hermite-Gauss d'ordre inférieur. La ligne en pointillés correspond à $N = 0$, la ligne en pointillés et points à $N = 1$, et la ligne continue à $N = 2$	36

Figure IV. 3 : montre la constante de propagation normalisée b en fonction de la fréquence normalisée u pour le milieu à indice parabolique, calculée à partir de l'équation (4.28). Le paramètre d'étiquetage donne la valeur du numéro de mode N36

Chapitre V

Figure V. 1 : Représente la variation du composante du champ magnétique H_x en fonction de la coordonnée transversale x pour un guide de largeur $a=5 \mu\text{m}$ pour les conditions (a).....	39
Figure V. 2 : Représente la variation du composante du champ magnétique H_x en fonction de la coordonnée transversale x pour un guide de largeur $a=25 \mu\text{m}$ pour les conditions (b)	40
Figure V. 3 : Représente la variation du composante du champ électrique E_x en fonction de la coordonnée transversale x pour un guide de largeur $a=5 \mu\text{m}$ pour les conditions (a).....	41
Figure V. 4 : Représente la variation du composante du champ électrique E_x en fonction de la coordonnée transversale x pour un guide de largeur $a=25 \mu\text{m}$ pour les conditions (a).....	42
Figure V. 5 : Représente la variation du taille de faisceau w_0 en fonction de a pour les deux conditions si dessus	43
Figure V. 6 : Représente la constante de propagation β en fonction de a pour les deux conditions si dessus.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Le carré de la constante de propagation pour les conditions (a)	44
Tableau 2 : Le carré de la constante de propagation pour les conditions (b)	45

Résumé

Les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice présentant un profil parabolique sont largement utilisés dans les applications de télécommunications et de transmission de données optiques.

Cette recherche de Master2 vise à étudier la propagation de la lumière dans ces structures en utilisant des modèles mathématiques et des simulations graphiques. Dans un premier temps, les équations de Maxwell seront résolues pour décrire la propagation de la lumière dans les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice présentant un profil parabolique.

En fait des simulations graphiques pour étudier et analyser les résultats liés à ces structures pour mieux comprendre les mécanismes de propagation de la lumière dans les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice présentant un profil parabolique, ainsi que d'optimiser leur conception pour les applications de transmission de données optiques.

Mots clés : Fibres optiques, Guides d'ondes, Propagation de la lumière, Indice de réfraction, Profil parabolique, Réflexion totale interne, Amplification optique, Communications optiques, Multiplexage en longueur d'onde, télécommunications.

ملخص

الألياف البصرية وموجهات الموجات ذات التدرج في المؤشر (مؤشر الانكسار) ذو التمثيل بالقطع المكافئ تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات الاتصالات ونقل البيانات البصرية. تهدف هذه الدراسة في طور 2 ماستر إلى دراسة انتشار الضوء في هذه الهياكل باستخدام النماذج الرياضية والمحاكاة بالمنحنيات.

في المرحلة الأولى، سيتم حل معادلات ماكسويل لوصف انتشار الضوء في الألياف البصرية وموجهات الموجات ذات التدرج في المؤشر ذو التمثيل بالقطع المكافئ بشكل رياضي. ثم يتم بعد ذلك إجراء محاكاة رسومية لدراسة وتحليل النتائج المتعلقة بهذه الهياكل، لفهم آليات انتشار الضوء في الألياف البصرية وموجهات الموجات ذات التدرج في المؤشر ذو التمثيل بالقطع المكافئ بشكل أفضل، بالإضافة إلى تحسين تصميمها لتطبيقات نقل البيانات البصرية.

الكلمات المفتاحية: الألياف البصرية، موجهات الموجات، انتشار الضوء، مؤشر الانكسار، القطع مكافئ، الانعكاس الكلي الداخلي، التضخيم البصري، الاتصالات البصرية، تقسيم الطول الموجي، الاتصالات.

Abstract

Optical fibers and gradient-index waveguides with a parabolic profile are widely used in telecommunications and optical data transmission applications. This Master's research aims to study the propagation of light in these structures using mathematical models and graphical simulations. Initially, Maxwell's equations will be solved to describe the propagation of light in optical fibers and gradient-index waveguides with a parabolic profile. Graphical simulations will be conducted to study and analyze the results related to these structures, in order to better understand the mechanisms of light propagation in optical fibers and gradient-index waveguides with a parabolic profile, as well as to optimize their design for optical data transmission applications.

Keywords: Optical fibers, Waveguides, Light propagation, Refractive index, Parabolic profile, Total internal reflection, Optical amplification, Optical communications, Wavelength division multiplexing, telecommunications.

Introduction générale :

La transmission de données optiques est devenue un élément clé des systèmes de communication modernes, tels que les réseaux de télécommunications, les centres de données et les réseaux informatiques. Les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice sont les structures les plus couramment utilisées pour la transmission de données optiques. Ils présentent l'avantage de confiner et de guider la lumière à l'intérieur d'un matériau diélectrique, ce qui permet d'assurer une transmission de données optiques efficace et rapide sur de longues distances.

L'étude de la propagation de la lumière dans les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice présentant un profil parabolique est d'une grande importance pour optimiser leur conception et améliorer leur performance en termes de bande passante et de distance de transmission. Cette étude nécessite la résolution des équations de Maxwell pour décrire la propagation de la lumière dans ces structures[1].

Les fibres optiques ont révolutionné le domaine des télécommunications optiques en offrant une méthode efficace de transmission de signaux optiques sur de longues distances. Ces câbles optiques, composés de fines fibres en verre ou en plastique, permettent de transmettre des informations sous forme de signaux lumineux avec une capacité de canal très élevée[2].

L'un des principaux avantages des câbles optiques est leur capacité de canal très élevée. En utilisant des techniques de multiplexage, il est possible de combiner plusieurs signaux optiques sur une seule fibre, ce qui permet d'augmenter considérablement la capacité de transmission. Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing - WDM) est une technique couramment utilisée où différents signaux optiques sont transportés simultanément sur des longueurs d'onde différentes[3].

L'objectif de cette recherche est d'analyser la propagation de la lumière dans les fibres optiques et les guides d'ondes à gradient d'indice qui présentent un profil parabolique. Cette étude sera réalisée en utilisant à la fois des approches mathématiques, Les résultats obtenus contribueront à une meilleure compréhension des mécanismes de propagation de la lumière dans ces structures spécifiques.

Le travail à réaliser est subdivisé en cinq étapes développées dans les cinq chapitres présentés dans ce mémoire.