

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université de Batna  
Faculté des Sciences de l'ingénieur  
Département d'Electronique

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du Diplôme de  
**MAGISTER EN ELECTRONIQUE**

OPTION : Micro-ondes

Par

**BERKANE DYA**

Thème

**Étude de la propagation optique dans une  
structure de fibre optique en présence  
de microdéformations périodiques**

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Malek BENSLAMA	Professeur	Université de Constantine	Président
Djamel BENATIA	Professeur	Université de Batna	Rapporteur
Yassine BOUSLIMANI	Professeur agrégé	Université de Moncton (Canada)	Co-rapporteur
Moussa BENYOUCEF	Maître de Conférences	Université de Batna	Examineur
Tarek FORTAKI	Maître de Conférences	Université de Batna	Examineur
Nabil BENNOUDJIT	Maître de Conférences	Université de Batna	Examineur

*Ce travail de recherche r entre dans le cadre d'une collaboration entre  
l'Université de Batna et l'Université de Moncton (Canada)*

## **Titre du projet**

# **Étude de la propagation optique dans une Structure de fibre optique en présence de microdéformations périodiques**

## **Résumé**

La gravure de réseaux de Bragg sur fibre optique standard monomode grâce au laser ainsi que les différents phénomènes résultant de ce type de manipulation est une chose connue et établie sous différents aspects, elle l'est moins quand à l'utilisation d'un arc électrique et les différentes perturbations engendrées par ce type de stimulus sur une fibre optique standard. L'objectif de ce travail et des différentes expérimentations et essais pratiques était initialement la réalisation de réseaux de Bragg sur fibres optiques monomodes standards et PCF avec une soudeuse de fibres de type (FITEL S175). Cette réalisation est effectuée grâce à une interface « Client/Serveur » qui a été élaborée et testée avec succès en utilisant la communication à distance à travers Internet. Notre objectif a été élargi par la suite afin de pouvoir effectuer une étude globale sur la propagation optique dans des fibres optiques en présence de microdéformations périodiques. Cette étude à la fois théorique et expérimentale nous a permis d'avoir une meilleure compréhension des différents stimuli extérieurs appliqués à la fibre (arc électrique, temps d'exposition à l'arc, puissance de l'arc, et autres...) et leur incidence phénoménologique sur la fibre ainsi que la réaction de cette dernière aux différents changements d'environnement, les possibles interactions entre ces différents phénomènes et leurs apports positifs ou négatifs à la réponse spectrale de la fibre en réflexion ainsi qu'en atténuation.

L'expérimentation de différents paramètres nous a permis aussi d'avoir une vision plus générale sur la réaction de la fibre optique à des efforts, tels que l'arc électrique, le chauffage ou l'étirement, sans permettre une totale prévisibilité de la réaction de cette dernière, elle permet l'affinement des paramètres de travail et une plus ample appréciation des limites des stimuli applicables.

**Mots clés:** réseaux de Bragg, arc électrique, étirement, fibre monomode, fibre PCF.

## Title of the Project

### **Study of the optical propagation in an optical fiber structure in the presence of periodic micro-deformations**

#### Abstract

The writing of Bragg gratings on a standard single mode fiber using a laser beam as well as the different phenomena resulting from this type of handling are well known and established under various aspects. The use of an electric arc and micro-deformations on a standard optical fiber is less known. The main goal of this research work and the different experimentations was at first the writing of Bragg gratings on single mode fibers and on the PCF fibers using the *Fitel S175* Fusion Fiber Splicer machine. This fabrication is accomplished using a software based on the «client/sever» architecture that has been performed and tested successfully using a long distance communication through Internet. The objective of this work was adapted to include a full study of the optical propagation in fibers under periodic micro-deformations. These theoretical and experimental studies have allowed a better comprehension of the different external excitations applied to the fiber (electric arc, exposition time to the arc, arc power, and others...) and their effects on the fiber as well as the effect of various environmental conditions on the wavelength rejection / attenuation in the optical signal output.

The obtained experimental results using different parameters, has allowed to have a good understanding of the effects on the fiber of the electric arc, of the heating or of the fiber elongation.

**Key words:** Bragg gratings, electric arc, stretching, single mode fiber, PCF fiber.

<b>Table des matières :</b>	<b>pages</b>	
<b>Résumé / abstract :</b>		
<b>Remerciements :</b>		
<b>Liste des figures</b>		
<b>Glossaire</b>		
<b>Introduction générale</b>		
1.    Problématique		
2.    Objectif du mémoire		
3.    Hypothèses du travail		
4.    Structure du mémoire		
<b>Chapitre I : Introduction aux systèmes de télécommunication optiques</b>		
Préface	5	
I.1 Télécommunications par fibres optiques	6	
I.1.1 Historique	6	
I.1.2 Fibre optique	7	
I.1.3 Fabrication des fibres	8	
I.1.4 Différents types de fibres	8	
I.1.5 Signal optique	11	
I.1.5.1 Dispersion chromatique	1	1
I.1.5.2 Dispersion modale de polarisation (PMD)	1	3
I.1.5.3 Perte de puissance	1	5
I.1.5.4 Effets non- linéaires	1	7
I.2.5 Technologies environnantes	1	9
I.2.5.1 Multiplexage dans les communications optiques	2	0

a. Multiplexage temporel (TDM)	2	0
b. Multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing)	2	0
I.2.5.2 Réseaux optiques	2	1
Conclusion	24	
 <b>Chapitre II : Composants de fibres optiques</b>		
Préface	2	5
II.1 Voies de recherche pour les matériaux dans le domaine des fibres optiques	25	
II.1.1 Verres de fluorures (VF)	2	5
II.1.2 Amplification optique	2	6
II.1.2.1 Amplificateurs à semi-conducteurs	2	6
II.1.2.2 Amplificateurs à fibre	2	7
a. Amplificateurs à fibre dopée	2	8

b. Amplificateurs non- linéaires	2	8
II.I.3 Amplification optique aux longueurs d'onde de Télécommunications	28	
II.1.3.1 Amplification à 1,55 $\mu\text{m}$ par l'erbium	2	9
II.1.3.2 Amplification à 1,3 $\mu\text{m}$ par le néodyme	30	
II.2 Transmission par solitons	3	0
II.3 Fibres à cristaux photoniques (PCF)	33	
II.4 Réseau de Bragg	34	
II.4.1 Historique	3	5
II.4.2 Réseaux de Bragg à pas court ou FBG	36	
II.4.3 Réseaux de Bragg à long pas ou LPFG	3	7
II.4.3.1 Méthodes de fabrication et caractéristiques des LPFG	37	
a. Fabrication par photo-inscription	38	
b. Fabrication par procédé chimique	40	
c. Fabrication par changement des propriétés microscopiques de la fibre	4	0
d. Fabrication par changement des propriétés macroscopiques de la fibre	4	2
e. Fabrication sur fibre nouvelle génération	44	

II.4.3.2 Applications des LPFG	4	4
Conclusion	45	

### **Chapitre III : Étude de la propagation dans les composants passifs à base de fibres optiques par l'approche modale**

Préface	4	7
III.1 Propagation de la lumière dans une fibre optique		48
III.1.1 Équation d'Helmholtz:	4	8
III.1.2 Notion de mode	5	1
III.1.3 Hypothèse de gaine infinie	5	2
III.1.3.1 Expression des champs	5	2
III.1.3.2 Équation caractéristique	5	3
III.1.4 Hypothèse de gaine finie	5	4
III.1.4.1 Expression des champs	5	5
III.1.4.2 Équation caractéristique des modes de cœur pour une gaine finie	56	

III.1.4.3 Équation caractéristique des modes de gaine pour une gaine finie 56

III.2 Notion d'indice effectif 5 8

III.3 Théorie des modes couplés 5 9

III.3.1 Théorie des modes locaux 5 9

III.3.2 Coefficient de couplage 6 0

Conclusion : 6 3

**Chapitre VI : Réalisation des LPGFs**

Préface 6 5

VI.1 Présentation du banc expérimental pour la fabrication des composants optiques par arc électrique	65
VI.1.1. Source Lumineuse	67
VI.1.2. Moteur de déplacement	67
VI.1.3. Soudeuse de fibre Fitel S175	69
VI.1.4. Analyseur de spectre optique (OSA : Optical Spectrum Analyser)	70
VI.1.5. Fibre optique	71
VI.1.6. Software	71
VI.2. Présentation du logiciel	72
VI.2.1. Automatisation des appareils	72
VI.2.2. Commande à distance	73
VI.2.3. Les fenêtres et programmes du logiciel	73
VI.2.3.1. Fenetre de démarrage du logiciel client	73
VI.2.3.2. L'onglet Connexion du client	74
VI.2.3.3. L'onglet Gravure du client	75
a. Gravure sans étirement	75
b. Gravure avec étirement	75
c. Gravure avec plusieurs arcs	76
IV.2.3.4 L'onglet chauffage du client	78
IV.2.3.5 L'onglet Vidéo & Messagerie instantanée du client	78
IV.2.3.6 Évolution d'un pic avec arcs multiples	79
IV.2.4 Méthodologie	81
IV.3.1 Fibre monomode standard	82
IV.3.1.1 Gravure a l'arc électrique	83
a. Gravure a l'arc électrique	83
* La reproductibilité	83
* Influence du temps d'exposition et la puissance de l'arc	84
* Influence du nombre de pas du réseau	88
* Influence de la période du réseau	89
* Influence de la température	90
b. Gravure avec plusieurs arcs électriques	92
IV.3.1.2 Gravure à l'arc électrique & l'étirement	94
a. Faible valeur d'étirement	95
B Évolution d'une gravure avec les étirements	95

c. Importante valeur d'étirement	96
IV.3.2 : Fibre à cristaux photonique (PCF)	97
IV.3.2.1 Évolution d'un pic avec arcs multiples	98
a. Gravure avec un pas de 0.5mm	98
b. Gravure avec un pas de 0.4mm	100
c. Pas de 0.4mm et intensité de 3mA	103
Conclusion	105
Conclusion générale	
Annexes	
Bibliographie	