

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'électronique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'Etat en Electronique

Présenté par: **FILALI Faouzi**

Thème:

Etude et Simulation des capteurs à réseaux de Bragg

Thèse dirigée par : **Pr. MEHENNI**

Soutenue le Dimanche 15 juin 2014 devant le jury composé de :

S.AIT CHEIKH

Président du jury

M.MEHENNI

Rapporteur

B.BOUSSAKSSOU

Examineur

Juin 2014

ملخص

يندرج هذا العمل ضمن نطاق الاتصالات البصرية و يهدف أساسا إلى دراسة شاملة حول مجسات باستعمال شبكات براغ والقيام بمحاكاة عينات
أولا تعرف شبكة براغ بأنها جزء من ليف بصري نقوم بتغيير قرينة انكسار القلب بشكل دوري أو شبه دوري
شبكات براغ لها استعمالات متعددة مثل التصفية، معالجة التشتت اللوني، المجسات ولها تطبيقات أخرى، إذا هي أدوات
لتستعمل في صناعة مركبات ضوئية مائة بالمائة. جد مهمة
القيام بالمحاكاة باستعمال برمجية **Optigratings**
الكلمات المفتاحية الألياف البصرية, شبكة براغ, مصفف ضوئي, مجسات الحرارة

Abstract

A fiber Bragg grating (FBG) is a type of distributed Bragg reflector constructed in a short segment of optical fiber that reflects particular wavelengths of light and transmits all others. This is achieved by creating a periodic variation in the refractive index of the fiber core, which generates a wavelength specific dielectric mirror.

Fiber Bragg Grating has several applications such as optical filter, to correct chromatic dispersion and sensor and to realize some optic equipment.

In this thesis, we have performed a study about Fiber Bragg Grating sensors and we have simulated two kinds of these sensors.

We have used the software OptiGrating to simulate some samples.

Key words: Fiber optic, Fiber Bragg Grating, optic filter, OptiGrating, temperature sensor.

Résumé

Ce travail est inclus dans le domaine des télécommunications optiques et a pour but de faire une étude bibliographique sur les capteurs à réseaux de Bragg ensuite de simuler les deux types de capteur à long pas et à petit pas.

Un réseau de Bragg est un segment de fibre optique dans lequel l'indice de réfraction du cœur est modifié de façon périodique ou quasi périodique. Les réseaux de Bragg ont de nombreuses applications tels que le filtrage, la correction de la dispersion chromatique, les capteurs et bien d'autres utilisations, donc ils sont un outil très important pour la réalisation des composants tout optiques.

Après avoir étudié les différents capteurs réalisés à l'aide des réseaux de Bragg on a fait des simulations en utilisant le logiciel OptiGrating.

Mots clés : fibre optique, réseaux de Bragg, OptiGrating, filtre optique, capteur de température.

Remerciements

نحمد الله تعالى الذي و فقنا لإتمام هذا العمل

Je remercie en premier **M.MEHENNI** pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils au cours de la préparation de ce projet de fin d'étude.

Je tiens chaleureusement à remercier monsieur **S.AIT CHEIKH** pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, ainsi **B.BOUSSAKSSOU** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à tous mes amis : **YOUCEF, HAKIM, MOHAMED, NACER** et **SOUFIANE**.

Je remercie toute personne qui, d'une manière ou d'une autre a contribué à l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

- A MES TRES CHERS PARENTS.
- A MES FRERES : ADEL, MANOUCHE, BAZZA.
- A MES ONCLES ET MES TANTES.
- A TOUTE LA FAMILLE FILALI.
- A TOUTE LA FAMILLE BOUYAHMED.
- A MON ONCLE : BILOUCHE.
- A NANA TIMA ET DODA.

Table de figures

FigI-1 : Structure d'une fibre optique.....	13
Fig I-2 : Propagation dans une Fibre optique.....	14
FigI-3 : Propagation de la lumière dans une fibre optique à saut d'indice.....	16
FigI-4 : Propagation de la lumière dans une fibre optique à gradient d'indice.....	17
FigI-5 : Fibre optique monomode.....	18
FigI-6 : Evolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique.....	19
FigI-7 : La propagation de deux rayons extrêmes dans une fibre multimode.....	19
Fig I-8 : Dispersion matériau.....	24
Fig I-9 : dispersion de guide, du matériau et dispersion chromatique d'une fibre monomode à saut d'indice.....	25
Fig I-10 : Illustration des effets de la dispersion modale.....	26
Fig II-1 : Couplages de modes dans une fibre optique.....	30
FigII-2 : Structure d'un réseau de Bragg, le spectre transmis et le spectre réfléchi..	31
FigII-3 : Réseau de Bragg à petit pas.....	32
FigII-4 : Réseau de Bragg à long pas.....	33
FigII-5 : Réseau de Bragg à pas variable «chirped ».....	34
FigII-6 : Inscription d'un réseau de Bragg par la méthode du masque de phase.....	36
FigII-7 : Explication du montage de masque de phase.....	37
FigII-8 : Inscription d'un réseau de Bragg par la méthode holographique.....	38
FigII-9 : Principe d'inscription par interférence.....	39
FigII-10 : Montage d'écriture utilisant un interféromètre de Sagnac.....	40
FigII-11 : Les différents angles dans un interféromètre de Sagnac.....	41
FigII-12 : Configuration d'un multiplexeur optique à l'aide des réseaux de Bragg..	43
FigII-13 : Configuration d'un démultiplexeur optique à l'aide des réseaux de Bragg..	44
FigII-14 : principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg.....	45
FigIII-1 : Effet de la température sur l'onde réfléchi par le réseau de Bragg.....	49
FigIII-2 : le signal réfléchi de deux températures(25,40) °C.....	51
Fig IV.1 : Illustration sur l'interface d'OptiGrating.....	56
Fig IV-2 : L'interface principale d'OptiGrating.....	57
Fig IV-3 : Fenêtre pour choisir le type de guide d'onde.....	58
Fig IV-4 : Personnaliser la fibre optique.....	59

Fig IV-5 : Créer un ou plusieurs réseaux de Bragg.....	60
Fig IV-6 : Personnaliser le réseau de Bragg.....	60
Fig IV-7 : le signal réfléchi à 25°C.....	61
Fig IV-8 : variation longueur de Bragg (λ_B) en fonction de la température.....	63
Fig IV-9 : Le décalage du spectre en fonction de la température.....	63
Fig IV-10 : variation de la bande passante en fonction de la température.....	64
Fig IV-11 : Le décalage du spectre en fonction de la température.....	65
Fig IV-12: le signal transmis à 25°C.....	66
Fig IV-13 : variation longueur de Bragg (λ_B) en fonction de la température.....	68
Fig IV-14 : Le décalage du spectre en fonction de la température.....	68
Fig IV-15 : le profil de réseau original.....	70
Fig IV-16 : le signal transmis et réfléchi.....	70
Fig IV-17 : exporter le signal complexe	71
Fig IV-18 : ouvrir un nouveau projet.....	72
Fig IV-19 : la résolution inverse de problème.....	73
Fig IV-20 : vérification du spectre avec une longueur 20000 μm	74
Fig IV-21 : vérification du spectre avec une longueur 50000 μm	74
Fig IV-22 : le profil de réseau reconstruit.....	75
Fig IV-23 : la résolution inverse de problème.....	76
Fig IV-24 : choisir la bande passante.....	77
Fig IV-25 : le signal transmis et réfléchi avec le filtre.....	77

Table des matières

Résumé

Remerciement

Dédicace

Table de figures

Table de matières

Introduction générale

Chapitre I : Notions sur les Fibres Optiques

Introduction.....11

I-1 Historique.....11

I-2 Utilisation des fibres optiques.....12

I-3 Les avantages et inconvénients12

I-3-1 : Les avantages

I-3-2 : Les inconvénients

I-4 : La fibre optique.....13

I-4-1 : Définition.....13

I-4-2 : Principe14

I-4-3 : Types de fibres optiques.....15

I-4-3-1 : Les fibres optiques multimodales.....15

I-4-3-2 : Les fibres optiques monomodes.....18

I-4-4 : La dispersion.....19

I-4-4-1 dispersion intermodale19

I-4-4-2 La dispersion chromatique.....20

a) La dispersion matérielle

b) La dispersion du guide

I-4-4-3 Dispersion modale de polarisation (PMD).....25

Conclusion.....26

CHAPITRE II : réseaux de Bragg

Introduction.....28

II-1 Historique.....28

II-2 : Définition.....	29
II-2-1 : Notion de couplage de modes.....	29
II-2-2 : Définition d'un réseau de Bragg.....	31
II-3 : Les types de réseaux de Bragg.....	32
II-3-1 : Réseau de Bragg périodique ou à pas constant.....	32
II-3-1-1 : Réseau de Bragg à petit pas ou FBG.....	32
II-3-1-2 : Réseau de Bragg à long pas ou LPFG.....	32
II-3-2 : Réseau de Bragg apériodiques ou à pas variable.....	33
II-3-2-1 : Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped ».....	33
II-4 : Fabrication par photo-inscription.....	34
II-4-1 : Procédé du masque de phase.....	35
II.4.2 : Procédé holographique transverse.....	37
II.4.2 : Inscription de réseaux de Bragg en utilisant un interféromètre de Sagnac	38
II.5 : Les caractéristiques des réseaux de Bragg.....	42
II.6 : Les applications des réseaux de Bragg.....	42
II-6-1 Les filtres.....	42
II-6-2 Multiplexage et démultiplexage en longueur d'onde.....	42
II-6-3 Compensation de dispersion chromatique.....	44
Conclusion.....	46
 Chapitre III : Les capteurs à réseaux de Bragg	
Introduction.....	48
III-1 : Définition d'un capteur à fibre optique.....	48
III-2 : Le classement des capteurs optiques.....	48
➤ Les capteurs extrinsèques.....	48
➤ Les capteurs intrinsèques.....	48
III-3 : Les capteurs à réseaux de Bragg.....	48
III-4 : Transducteurs à réseaux de Bragg.....	50
III-5 : Réponse du réseau a une variation de température.....	50
III-6 : Les avantages et les inconvénients des capteurs à réseaux de Bragg.....	52
III-7 : Les domaines d'applications.....	53
Conclusion.....	54

Chapitre IV: Simulation des capteurs à réseaux de Bragg

Introduction.....	56
IV.1 : Présentation de logiciel Optigrating.....	56
IV-2 : Capteurs à petit pas.....	61
Conclusion.....	65
IV-3 : Capteurs à long pas.....	66
Conclusion.....	69
IV-4 : Reconstruction d'un réseau inconnu à partir du coefficient de réflexion..	70
IV-5 : Filtres.....	75
Conclusion.....	78
Conclusion générale.....	79
Bibliographie.....	80

Introduction générale

Pendant des dizaines d'années, les capteurs électriques ont servi de mécanisme standard pour la mesure des phénomènes physiques et mécaniques. Bien que très largement répandus, ces capteurs présentent certaines limites inhérentes telles que perte de transmission et sensibilité à des interférences électromagnétiques (bruit) qui rendent leur utilisation plus compliquée ou peu pratique dans le cadre de nombreuses applications. Les capteurs à fibre optique sont une excellente solution pour relever ces défis, faisant appel à la lumière plutôt qu'à l'électricité et aux fibres optiques standards plutôt qu'aux câbles en cuivre.

Les innovations qui se sont multipliées ces vingt dernières années dans les industries des communications opto-électroniques et par fibre optique ont considérablement réduit le coût des composants optiques tout en améliorant leur qualité. Bénéficiant de ces économies d'échelle, les instruments et capteurs à fibre optique sont passés des applications de recherche expérimentale en laboratoire à une application et un usage plus répandus dans le cadre des applications de terrain.

Les réseaux de Bragg sur fibre ont fait l'objet d'un intense effort de recherche au cours de la dernière décennie. A l'origine, ils étaient principalement destinés aux applications en télécommunications optiques. Actuellement, après le développement de plusieurs composants à base de réseaux de Bragg, ils trouvent l'essentiel de leurs nouvelles applications dans le domaine des capteurs.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les capteurs à réseaux de Bragg et de les simuler à l'aide de logiciel OptiGrating.

Le premier chapitre est consacré pour la définition de la fibre optique, les types de fibre, les avantages et les inconvénients de la fibre optique.

Le deuxième chapitre porte sur la définition de réseau de Bragg, les différents types, la fabrication et les applications de ce dernier.

Dans le troisième chapitre on fait l'étude théorique des capteurs à réseaux de Bragg.

Et pour le dernier chapitre on effectue la simulation d'un capteur de température.

Chapitre I

Chapitre I : Notions sur les Fibres Optiques

Chapitre I

INTRODUCTION :

Pendant ces 50 dernières années, la fibre optique n'a cessé de progresser et de séduire, de la part de ses performances technologiques et avantages économiques, au point où la fibre optique est entrain, peu à peu, de remplacer les supports en cuivre. Avec sa très large bande passante et sa faible atténuation, la fibre optique trouve ses principales utilisations dans les autoroutes de l'information (*ex : Internet*) et les réseaux de télécommunication, qui utilisent des débits de transfert très élevés et récemment dans le domaine des capteurs.

I-1 Historique

Les premières expériences de transmission optique datent de la fin du XIX^e siècle, avec la modulation de l'intensité de la lumière par un signal acoustique.

L'apparition des lasers vers 1960 a permis d'envisager la transmission d'information à distance, sur le principe des faisceaux hertziens, à des fréquences beaucoup plus élevées de l'ordre de 10^{14} Hz.

De leurs côtés les fibres optiques, utilisant le principe connu depuis longtemps des fontaines lumineuses (réflexion totale de la lumière à l'extérieur d'un jet d'eau... donc d'un mince fil de verre).

Les transmissions sur fibres optiques deviennent un objectif réaliste à partir de 1966 lorsque furent fabriquées les premières fibres de silice de faible atténuation.

On peut résumer les différentes générations des fibres optiques.

➤ **G1 (Première génération): 1989 – 1991**

Les premiers systèmes à fibres optiques utilisaient des répéteurs en ligne basés sur une technologie silicium pour régénérer optoélectroniquement.

➤ **G2 (Seconde Génération): 1992 – 1995**

La technologie G2 constitua une amélioration par rapport à G1 avec la capacité transmission plus élevée.

➤ **G3 (Troisième Génération): 1995 – 1997**

Cette génération correspond à une évolution majeure dans le domaine de la transmission optique.

Chapitre I

➤ **G4 (Quatrième Génération): 1998 – 2000**

Des bandes passantes optiques plus importantes.

➤ **G5 (Cinquième Génération): 2000 – 2002**

La bande passante est à nouveau améliorée.

➤ **G6 (Sixième Génération): Depuis 2001**

I-2 Utilisation des fibres optiques

I.2.1. Télécommunications :

Liaisons urbaines et interurbaines (grande capacité).

I.2.2. Vidéocommunications :

De nombreuses expériences ont été essayées mais leur développement était ralenti par un coût élevé ; la plupart des liaisons restaient en coaxiale.

I.2.3. Liaisons industrielles :

Ce sont des applications variées (télémesures, télécommandes, surveillance vidéo, bus de terrain) où l'insensibilité de la fibre aux parasites est un avantage essentiel.

I.2.4. Capteurs et instrumentation :

Les fibres sont de plus en plus présentes dans l'instrumentation optique, où elles permettent d'effectuer des mesures à distance en des points difficiles d'accès.

I.2.5. Transport de lumière :

Les applications classiques (éclairage, visualisation, endoscopie) ou plus récentes (transport de faisceaux laser pour l'industrie, la mesure, la médecine) ont vu leurs performances s'améliorer, et leur coût baisser, grâce au développement des technologies des fibres optiques.

I-3 LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

I-3-1 : Les avantages :

Les fibres optiques offrent de nombreux avantages pour les télécommunications.

- **Pertes très faibles** : En fonction du type de fibre et une faible atténuation.
- **Bande passante très grande** : possibilité de réaliser du multiplexage.

Chapitre I

- **Immunité au bruit :** Les fibres optiques sont des isolants. La transmission dans la fibre ne sera donc pas perturbée par des signaux électromagnétiques externes. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir un blindage électromagnétique coûteux.
- **Absence de rayonnement vers l'extérieur :** La lumière est confinée à l'intérieur de la fibre optique. Par conséquent, il n'est pas possible de détecter le signal entre l'émetteur et le récepteur.
- **Isolation électrique :** Comme les fibres optiques sont isolantes, le contact accidentel entre deux fibres ne provoque pas de court-circuit
- **Poids et dimensions réduites :** Le poids très faible des fibres par rapport à un câble en cuivre de la même capacité.

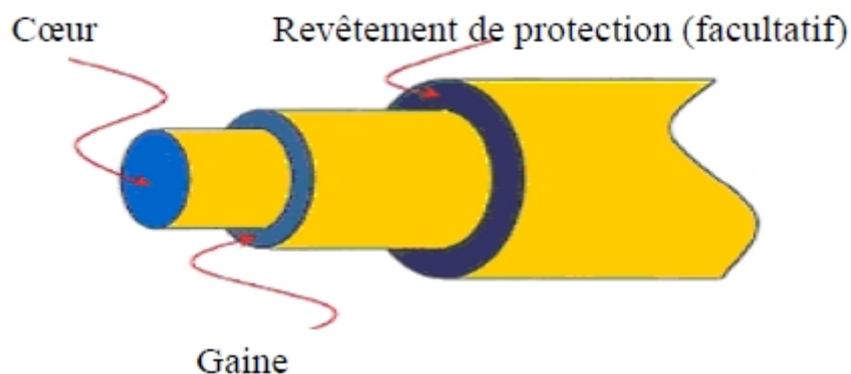
I-3-2 : Les inconvénients :

- L'atténuation par les connecteurs.
- Transport d'énergie.

I-4 : La fibre optique

I-4-1 : Définition

La fibre optique(F.O) est un guide d'onde lumineuse de forme cylindrique ; constituée de trois parties : cœur (core) au centre d'indice de réfraction $\ll n_1 \gg$ entouré par une gaine (cladding) d'indice de réfraction $\ll n_2 \gg$ souvent protégée par un revêtement extérieur.(cladding) et un revêtement de protection.



FigI-1 : Structure d'une fibre optique

Chapitre I

I-4-2 : Principe :

Le principe de la transmission de la lumière à l'aide d'une fibre optique est simple. Si la lumière pénètre dans le cœur de la fibre avec un angle suffisamment petit, elle subit une réflexion totale à la surface qui sépare le cœur de la gaine, et elle se propage en zigzag le long de l'axe de la fibre, suite aux réflexions successives. Lorsque le signal lumineux arrive sur la gaine avec un angle plus petit que l'angle critique, il est totalement réfléchi dans le cœur avec l'angle critique se calcule par la formule suivante :

$$\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{I. 1})$$

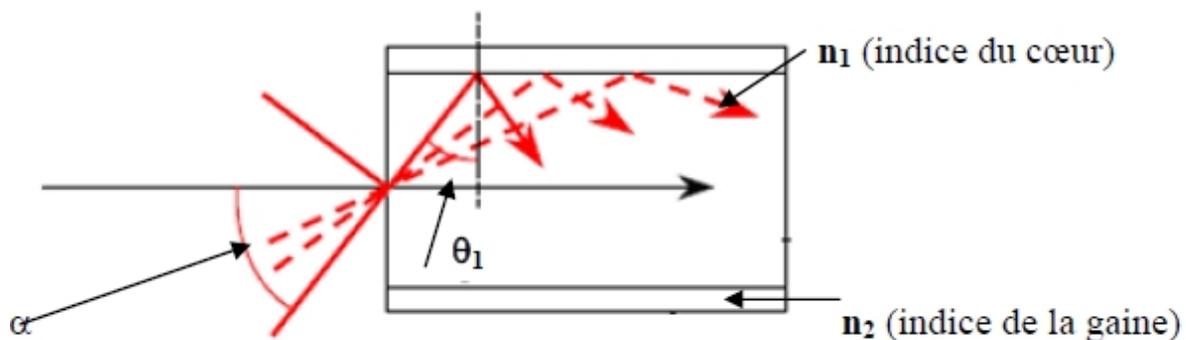


Fig I-2 : Propagation dans une Fibre optique

α Angle d'acceptance

n_2 Est l'indice de réfraction de la gaine.

n_1 Celui du cœur.

$$\text{Avec : } n_1 > n_2$$

Une fibre optique est souvent décrite selon les paramètres suivants :

La différence relative d'indices, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine relativement à l'indice du cœur.

$$= \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (\text{I. 2})$$

Chapitre I

L'**ouverture numérique (ON)** de la fibre, qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre.

$$ON = \sin \alpha_{\max} = n_1 \sin \frac{\alpha}{2} = n_1 \cos \theta = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta} \quad (I.3)$$

$$ON = \sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (I.4)$$

L'ATTENUATION :

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation.

Soient P_0 et P_L les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L . L'atténuation linéique se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre (Loi de Beer-Lambert) [1]:

$$P_L = P_0 e^{-\alpha L}$$

Où α est le coefficient d'atténuation linéique (m^{-1}).

On utilise souvent le coefficient d'atténuation exprimé en dB/km. Il est relié à α par la relation en puissance: $\alpha \text{ (dB/km)} = 4,343 \alpha \text{ (km}^{-1}\text{)}$.

I-4-3 : Types de fibres optiques :

En optique, le mode c'est le nombre de chemins parcourus par la lumière dans la fibre optique.

Dans une fibre monomode, elle se propage suivant un seul trajet direct.

Dans une fibre multimodale, la lumière peut emprunter un grand nombre de chemins, sont compris entre les deux rayons extrêmes R_1 et R_2 .

I-4-3-1 : Les fibres optiques multimodales :

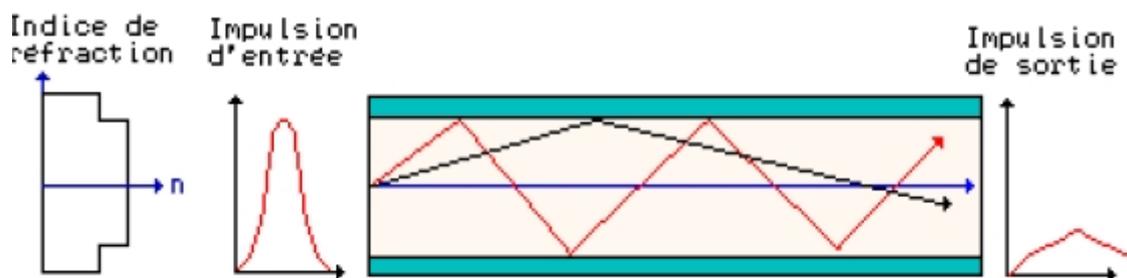
Les fibres multimodales, les rayons peuvent suivre différents chemins optiques dans le cœur suivant la valeur de l'indice de réfraction ; il en existe deux types :

❖ Fibres optiques multimodales à saut d'indice :

Dans la fibre à saut d'indice, l'indice de réfraction change brutalement de valeur entre le cœur et la gaine, Ces fibres sont caractérisées par un indice de cœur et un indice de gaine légèrement inférieur pour assurer les conditions de guidage de la lumière dans le cœur.

Chapitre I

Un faisceau lumineux qui pénètre dans le cœur de la fibre s'y propage, sous réserve de certaines conditions angulaires d'injection (définition de l'ouverture numérique), en ligne droite par principe de réflexion totale à l'interface cœur-gaine.



FigI-3 : Propagation de la lumière dans une fibre optique à saut d'indice

Caractéristiques :

- ✓ Diamètre du cœur : 100 à 600 μm .
- ✓ Bande passante : 10 à 50 MHz/km.
- ✓ Affaiblissement à 850 nm : ≤ 5 dB / km.
- ✓ Utilisée pour des liaisons jusqu'à 2 km, avec un débit maximal de 50 M bits/s.

❖ Fibres optiques multimodales à gradient d'indice :

Dans la fibre à gradient d'indice, la variation d'indice est beaucoup plus progressive. Les fibres à gradient d'indice sont caractérisées par une variation régulière de l'indice dans le cœur entre l'axe de propagation et l'interface cœur-gaine. Dans ces conditions, un rayon lumineux injecté à l'entrée de la fibre optique ne s'y propage plus de manière rectiligne mais suivant une trajectoire sinusoïdale qui dépend de la variation d'indice dans le cœur (fig I-4). La loi de variation de l'indice du cœur est donnée par l'équation suivante :

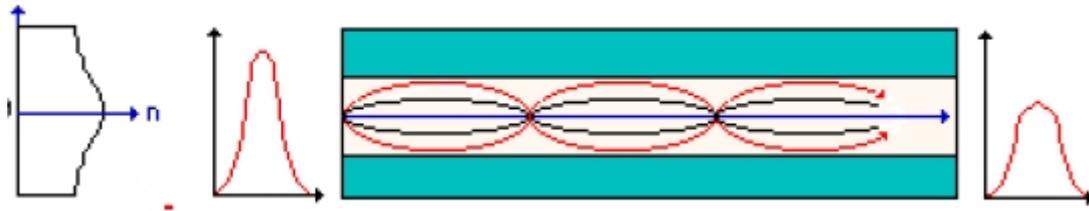
$$n(r) = n_1 \left(1 - 2 \frac{r^\alpha}{a} \right) \quad (I.5)$$

r : Distance à l'axe.

a : Rayon du cœur.

α : Exposant de profil d'indice, proche de la valeur 2.

Chapitre I



FigI-4 : Propagation de la lumière dans une fibre optique à gradient d'indice

Caractéristiques :

- ✓ Diamètre du cœur : 100 μm .
- ✓ Bande passante : 500 MHz .km.
- ✓ Affaiblissement à 850 nm : < 5 dB / km.
- ✓ Utilisée pour des liaisons longues, avec un grand débit : 150 Mbits/s.

Pour calculer le nombre de modes qui se propagent dans une fibre multimode on définit la fréquence normalisée V qui dépend de la longueur d'onde λ , du rayon de cœur a de la fibre et des indices du cœur n_1 et de la gaine n_2 . La fréquence normalisée est exprimée par:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.6)$$

Le nombre de mode M est donné approximativement par la relation suivante [20] :

$$M = \frac{V^2}{2}$$

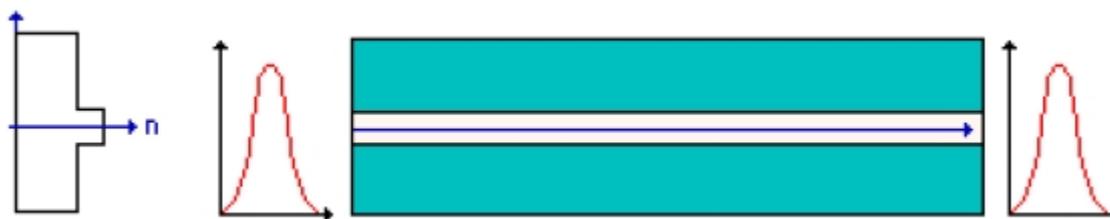
I-4-3-2 : Les fibres optiques monomodes :

Si le rayon du cœur est suffisamment petit, la fibre accepte seulement le mode fondamental de propagation, ce qui est le cas des fibres monomodes.

Lorsque le diamètre de cœur est petit (moins de 10 μm) et la différence d'indice faible (moins de 0,5 %) il est possible de sélectionner un seul mode qui se propage au voisinage de l'axe. La condition de propagation monomode s'écrit :

$$V < 2.405 \quad \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 2.405 \quad (1.7)$$

Chapitre I



FigI-5 : Propagation dans une fibre optique monomode

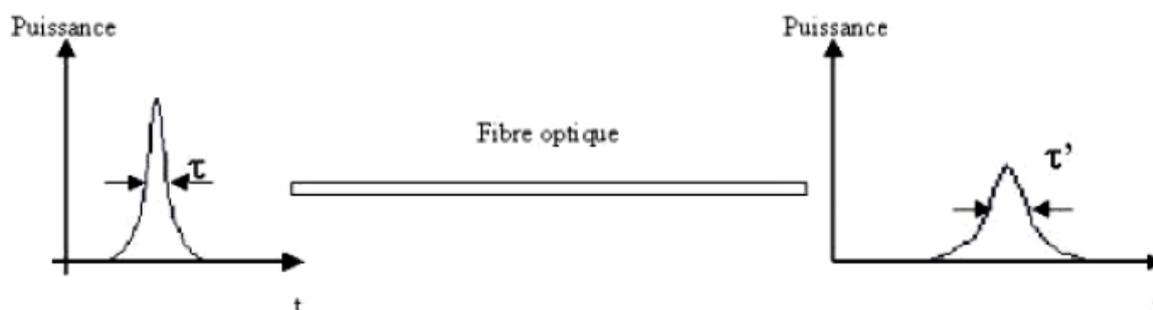
Les caractéristiques :

- ✓ Diamètre de cœur petit.
- ✓ Bande passante très large.
- ✓ Pas de dispersion intermodale.
- ✓ Utilisée aux grandes distances.

On rappelle que ce type de fibre doit être alimenté par une source laser, compte tenu du faible diamètre de la fibre.

I-4-4 : La dispersion

Lorsqu'une impulsion se propage en régime linéaire dans une fibre optique, elle subit un phénomène de dispersion qui se traduit par un étalement temporelle.



FigI-6 : Altération de l'impulsion pendant sa propagation dans une fibre optique

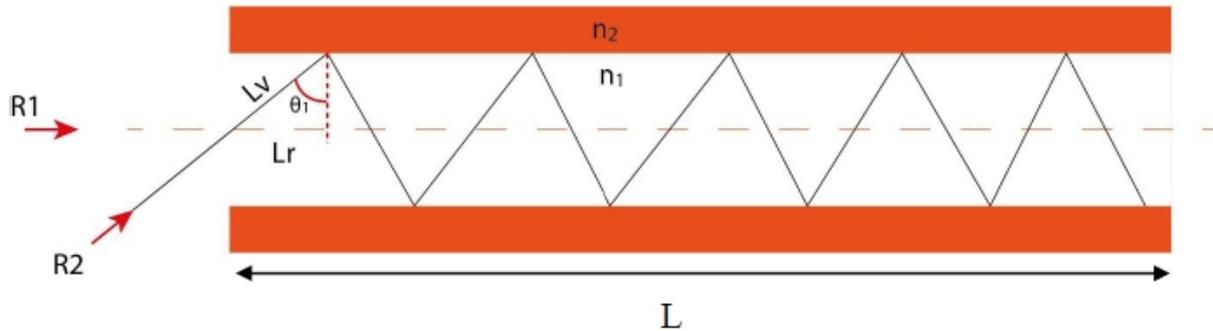
I-4-4-1 dispersion intermodale :

La cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres optiques multimodes est la dispersion intermodale. Cet élargissement est provoqué par les différences de temps de parcours des rayons(ou des modes). La dispersion intermodale D_i est l'élargissement temporel maximum τ , entre les deux rayons extrêmes R_1 et R_2 , d'une impulsion par la longueur de fibre.

$$D_i = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{L} = \frac{\tau}{L} \text{ (ps/km)} \quad (I.8)$$

Chapitre I

Avec t_{\max} et t_{\min} respectivement le temps de parcours du mode le plus lent et celui du mode le plus rapide.



FigI-7 : La propagation des deux rayons extrêmes dans une fibre multimode

$$L = L_v - L_r \quad (I.9)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{L_r}{L_v} \quad (I.10)$$

$$L = \frac{L_r}{\sin \theta_1} - L_r = L_r \left(\frac{1}{\sin \theta_1} - 1 \right) \quad (I.11)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad (I.12)$$

Donc :

$$L = L_r \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) = L_r \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (I.13)$$

Sur toute la longueur L :

$$L = L \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (I.14)$$

Et on a aussi :

$$L = v \cdot t \quad (I.15)$$

$$L = \frac{n_1 - n_2}{n_2} = \frac{c}{n_1} t \quad (I.16)$$

Chapitre I

$$D_i = \frac{t}{L} = \frac{n_1^2}{C \cdot n_2} \text{ (s/km)} \quad (I.17)$$

I-4-4-2 La dispersion chromatique :

La dispersion chromatique monomode est l'une des causes de limitation de la distance d'une liaison par fibre optique du fait qu'elle entraîne un élargissement temporel des impulsions émises. Cet élargissement limite le débit de la transmission, la capacité de transfert d'information et la bande passante de la liaison de transmission utilisant la fibre optique.

Dans les guides d'ondes, en particulier dans les fibres optiques, la dispersion chromatique monomode est due aux causes suivantes :

- Le spectre de la source.
- Le spectre du signal informatif.
- L'indice de réfraction du matériau.
- Le coefficient du guide.

a) La dispersion matérielle :

L'origine de cette forme de dispersion se situe à une échelle atomique. Lors d'un rayonnement d'une onde lumineuse se propageant dans un milieu matériel, une interaction se produit entre ce rayonnement et les électrons libres du milieu qui contraignent les électrons à osciller à la fréquence du champ. Cet effet se manifeste par une modification de la vitesse de groupe du champ et de l'indice de réfraction du milieu.

b) La dispersion du guide :

Dans une fibre optique, la lumière est guidée dans une zone d'indice élevé (le cœur) entourée d'une zone d'indice plus faible (la gaine). Le guidage peut s'expliquer simplement en considérant que la lumière qui se propage dans le cœur subit une réflexion totale à l'interface cœur -gaine et reste ainsi confinée dans le cœur. La distribution transverse de la lumière dans le cœur n'est pas uniforme et qu'il y a en particulier une onde évanescente qui s'étale un peu dans la gaine de la fibre. Ceci explique que la dispersion que subit la lumière lorsqu'elle se propage dans une fibre optique n'est pas seulement due à la dispersion du matériau qui constitue le cœur de la fibre, mais aussi à la contribution de la géométrie du guidage de la fibre. Cette contribution est appelée dispersion du guide d'onde. Dans la plupart des fibres

Chapitre I

optiques, et en particulier dans celles que nous considérons dans ce travail, la dispersion du guide d'onde est beaucoup plus faible que la dispersion matérielle.

❖ Description mathématique de la dispersion chromatique

Le calcul de la dispersion chromatique est mené comme suit :

Soit β la constante de propagation longitudinale qui est définie par

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{n\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} n \quad (I.18)$$

v : vitesse de phase

ω : pulsation

n : Indice de réfraction

λ : Longueur d'onde

Avec :

$$v = \frac{c}{n} \quad (I.19)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n \quad (I.20)$$

v_g : La vitesse de groupe est définie par :

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{c}{n_g} \quad (I.21)$$

n_g : Indice de groupe

Le temps de groupe, noté t_g est le temps de propagation de l'impulsion à la vitesse de groupe v_g sur une longueur L , est défini par :

$$t_g = \frac{L}{v_g} = L \frac{d\beta}{d\omega} \quad (I.22)$$

Chapitre I

$$t_g = L \frac{d}{d} \frac{d}{d} \quad (I.23)$$

Avec :

$$\frac{d}{d} = \frac{2}{d} \frac{dn}{d} - \frac{2}{2} n \quad (I.24)$$

$$\frac{d}{d} = - \frac{2}{2} \frac{c}{2} \quad (I.25)$$

$$t_g = \frac{L}{c} n - \frac{dn}{d} \quad (I.26)$$

L'élargissement t_c est donné par :

$$t_c = \frac{dt_g}{d} \quad (I.27)$$

$$D_c = \frac{t_c}{L} = \frac{1}{L} \frac{dt_g}{d} \text{ ps km}^{-1} \text{ nm}^{-1} \quad (I.28)$$

D_c : Dispersion chromatique

$$D_c = D_m + D_g$$

D_m : Dispersion du matériau

D_g : Dispersion du guide

Avec D_m est défini par :

$$D_m = \frac{t_{c \max}}{L} \quad (I.29)$$

$t_{c \max}$: Le temps de groupe max de propagation de l'impulsion donné par :

$$t_{c \max} = \frac{dt_g}{d} \quad (I.30)$$

Chapitre I

Donc :

$$D_m = - \frac{d^2 n}{c d^2} \text{ ps km}^{-1} \text{ nm}^{-1} \quad (I.31)$$

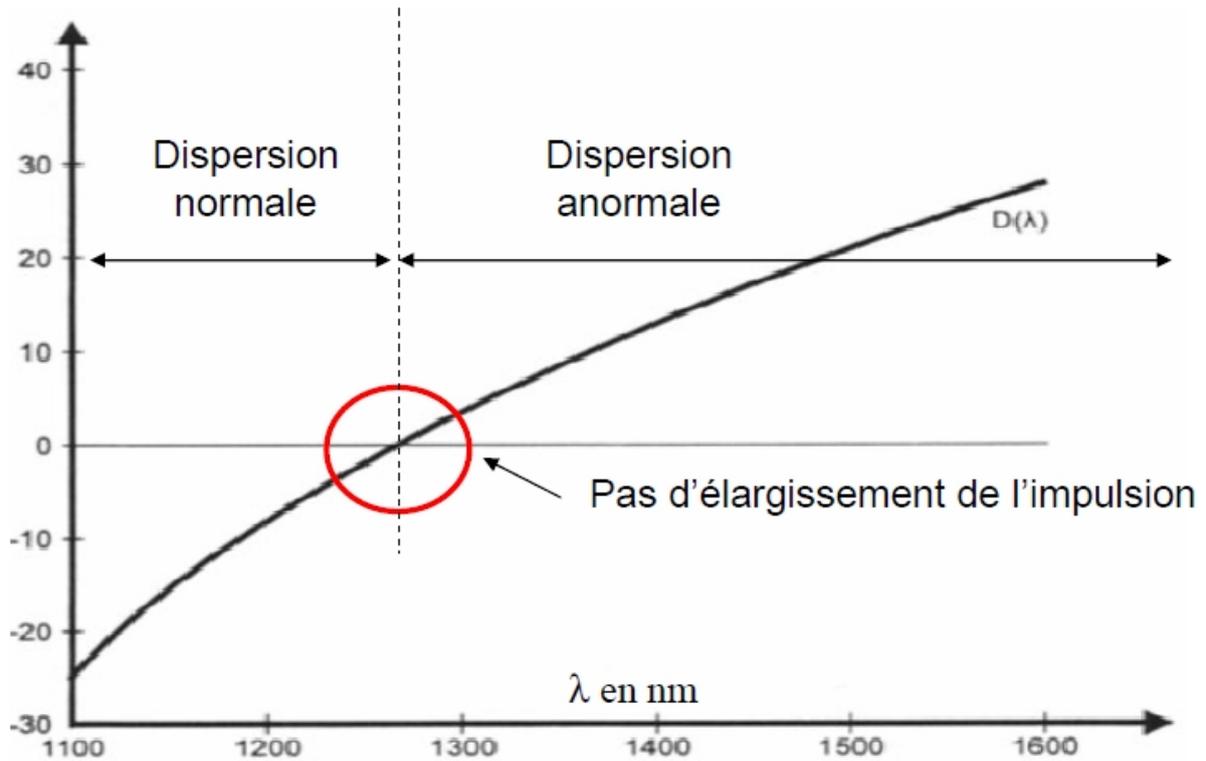


Fig I-8 : Dispersion matériau [20]

D_g : Donnée par : [3]

$$D_g = - \frac{n}{c} V \frac{d^2 V_b}{dV^2} \text{ ps km}^{-1} \text{ nm}^{-1} \quad (I.32)$$

D_m : dépend du matériau => non contrôlable.

D_g : dépend de la forme de la fibre.

Chapitre I

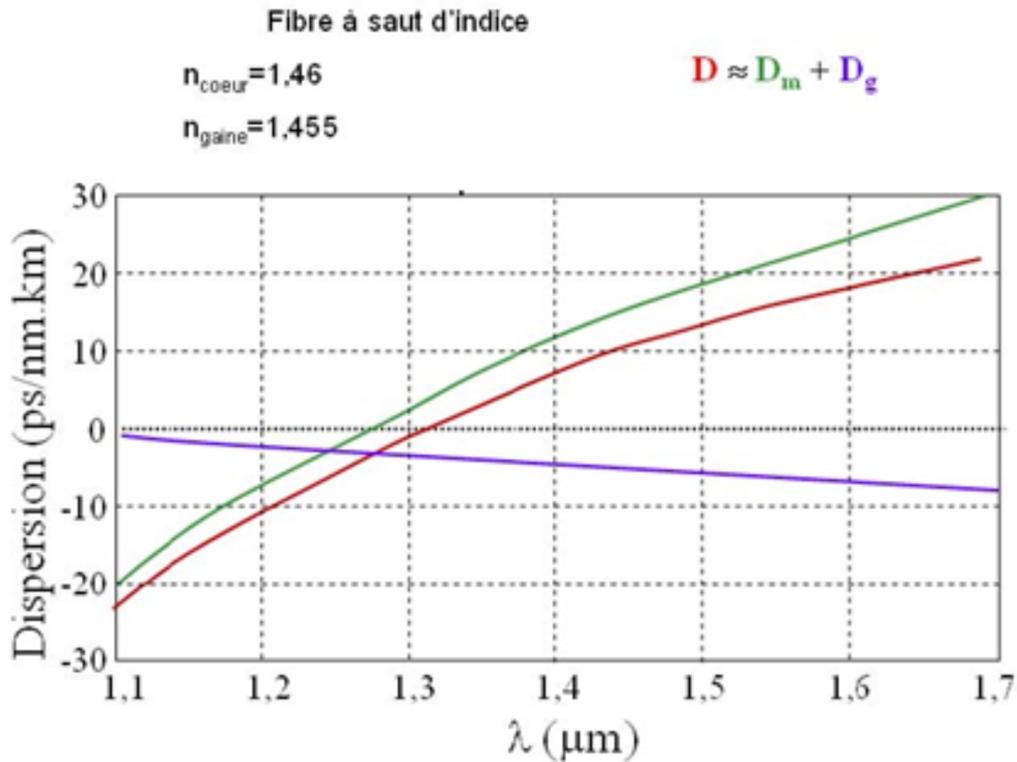


Fig I-9 : dispersion de guide, du matériau et dispersion chromatique d'une fibre monomode à saut d'indice [20]

I-4-4-3 Dispersion modale de polarisation (PMD) :

La dispersion modale de polarisation (PMD) caractérise la fibre monomode. Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre.

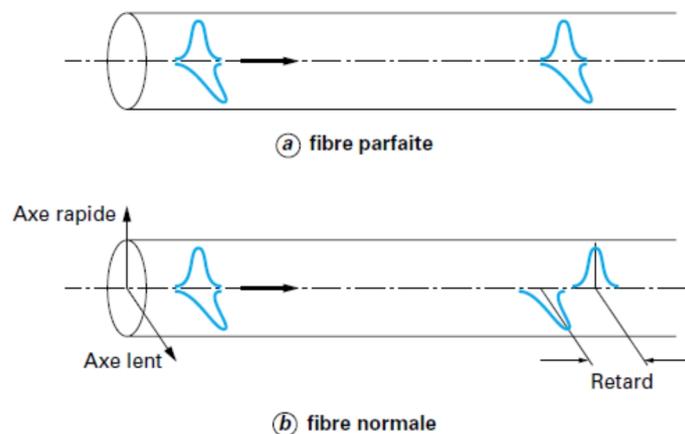


Fig I-10 : Illustration des effets de la dispersion modale [12]

Chapitre I

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit des notions sur la fibre optique et certains de ses paramètres utilisés pour décrire ses performances. La fibre optique est un élément essentiel dans les systèmes de communication actuels. La fibre optique de base est constituée d'un cœur, d'une gaine et d'une couche de protection.

Des notions sur la dispersion dans la F.O ont été introduites, aussi que les origines de ces dispersions(intermodale, DC et PMD).

Chapitre II

CHAPITRE II : réseaux de Bragg

Chapitre II

INTRODUCTION :

Lors de l'utilisation de la fibre optique comme support de transmission et principalement lorsque la distance devient importante et le débit souhaité de plus en plus élevé, nous observons des altérations du signal en sortie de la fibre. L'altération relative à l'amplitude du signal est facile à corriger mais par contre l'étalement temporel engendre une interférence inter-symbole qui rend le signal en sortie inintelligible. Donc le recours aux réseaux de Bragg est indispensable. Un réseau de Bragg pour corriger cet étalement est constitué d'un bout de fibre optique de quelques centimètres (5cm environ).

Un réseau de Bragg peut aussi servir de capteur de quelques grandeurs physiques.

II-1 : HISTORIQUE :

C'est à la suite des travaux sur la diffraction des rayons X par les structures cristallines qu'on a pu mettre en œuvre la loi de Bragg par William Henri et son fils William Lawrence Bragg en 1915. Mais, ce n'est qu'après une soixantaine d'années que l'on a pu appliquer cette loi à l'étude de la réflexion des ondes lumineuses. Ensuite, plusieurs expériences ont été menées sur la fibre optique. Ces manipulations pratiques ont permis d'aboutir à des constatations assez prometteuses à l'époque [23].

Possibilité d'augmenter considérablement la photosensibilité de la fibre optique au moyen d'un procédé d'hydrogénation fut suit en évidence en 1993.

L'année 1996 a vu l'apparition des réseaux de Bragg à long pas. C'est-à-dire avec une période de modulation d'indice de quelques centaines de micromètres ainsi que leur propriété de filtrage en longueur d'onde.

En 1997 le domaine des réseaux de Bragg est déjà très développé et des articles de synthèse paraissent, notamment sur les techniques de fabrication et les applications des réseaux de Bragg.

Chapitre II

II-2 : DEFINITIONS:

II-2-1 : Notion de couplage de modes : [10]

Lorsque l'on considère une fibre optique idéale, la lumière s'y propage suivant différents modes de propagation orthogonaux ; il ne peut y avoir couplage direct entre eux : ce sont les modes propres du guide.

Dans une fibre réelle, par contre, un couplage intermodal peut avoir lieu, car aucune fibre, du fait des contraintes technologiques de fabrication, ne possède une géométrie parfaitement cylindrique et son indice de réfraction n'est jamais tout à fait constant longitudinalement. Il s'agit alors d'un couplage « assisté » par les perturbations du guide : fluctuations d'indice, de diamètre, etc. c'est cette variation longitudinale de l'indice qui est mise à profit pour réaliser les réseaux de Bragg. Dans une fibre monomode, le couplage d'une partie de l'énergie du mode guidé vers un mode radiatif se traduit par une simple atténuation. Ce n'est cependant pas la seule possibilité de transfert énergétique au sein du guide, il peut y avoir couplage avec les modes rétrodiffusés (vers l'arrière), conséquence de la diffusion de la lumière sur les non-uniformités microscopiques de l'interface cœur/gaine et de l'indice de réfraction (la rétrodiffusion de Rayleigh). Or, il se trouve que le couplage entre ces modes contra-propagatif peut être considérablement accru par une variation périodique induite de l'indice de réfraction (et c'est ce qui est réalisé par les réseaux de Bragg), c'est-à-dire par l'intermédiaire d'une structure non uniforme.

Classiquement, si la période spatiale de ces variations est Λ , le nombre d'onde associé vaut $\Omega = 2\pi/\Lambda$ et pour coupler deux modes i et j entre eux, Ω doit être égal à la différence de leur constante de propagation, c'est-à-dire :

$$\beta_i - \beta_j = \Omega$$

Avec comme définition :

$$\beta_i = \frac{2\pi n_i}{\lambda}$$

Lorsque ces deux modes se propagent dans des sens opposés, on écrit $\beta_i + \beta_j = \Omega$ du fait que $\beta_i = -\beta_j$. Si le couplage a lieu entre des modes guidés, les relations ci-dessus ne sont valables que pour des valeurs discrètes de Ω . Cependant, le couplage vers les modes radiatifs est moins strict puisqu'ils forment un continuum. La FigII-1 illustre deux cas particuliers de couplage de modes qui vont nous intéresser pour les réseaux de Bragg. Il s'agit pour le cas a)

Chapitre II

du couplage d'un mode de propagation vers un mode contra-propagatif et le cas b) vers un mode radiatif.

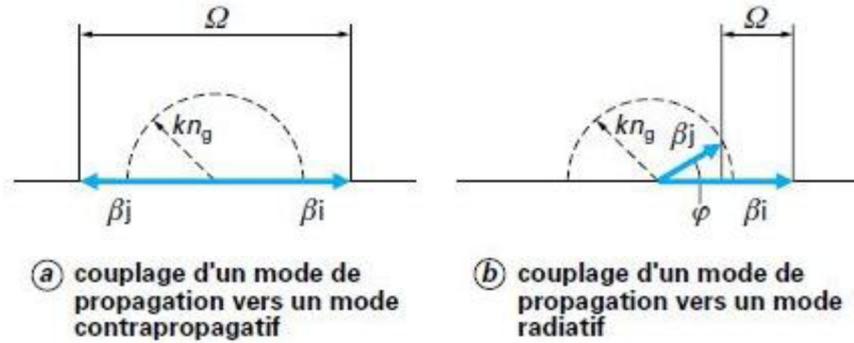


Fig II-1 : Couplages de modes dans une fibre optique [10]

n_g : L'indice de réfraction de la gaine

En ce qui concerne le couplage entre modes guidés contra-propagatif, la condition de couplage est donc $\beta_i + \beta_j = \Omega$. En remplaçant ces trois termes par leur définition, on obtient aisément $\lambda_B = n_e \Lambda$, avec n_e indice effectif du guide pour le mode considéré.

Cette relation définit la longueur d'onde λ à laquelle a lieu le couplage pour une période spatiale Λ de « fluctuation » donnée.

Dans le cas du couplage vers un mode radiatif, l'expression illustrée dans la figure 2.1 (b) devient

$$k n_g \cos \varphi = \beta_i - \Omega \quad (\text{II. 1})$$

Avec $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ vecteur d'onde

n_g : L'indice de réfraction de la gaine

D'où l'on tire

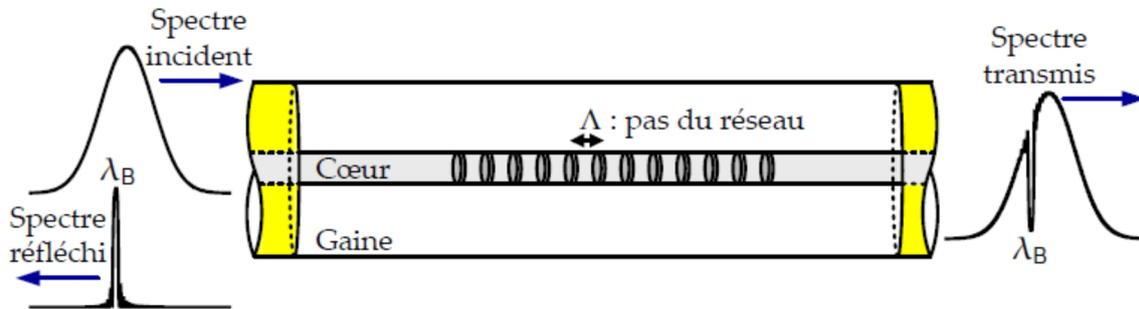
$$\lambda = (n_g \cos \varphi - n_e) \Lambda \quad (\text{II. 2})$$

II-2-2 : Définition d'un réseau de Bragg :

Un réseau de Bragg (Fiber Bragg Grating) est un segment de fibre optique dans lequel l'indice de réfraction du cœur est modifié de façon périodique ou quasi-périodique.

Chapitre II

Le réseau de Bragg à fibre optique (FBG pour Fiber Bragg Grating) est une modulation périodique ou quasi-périodique de l'indice effectif du cœur d'une fibre optique.



FigII-2 : Structure d'un réseau de Bragg, le spectre transmis et le spectre réfléchi

L'apparition des réseaux de Bragg, est la conséquence de l'application de la théorie de couplage des modes dans la fibre. La condition pour avoir une diffraction dans le mode retour est appelée condition de Bragg. Afin que la lumière soit diffractée de façon efficace dans la direction opposée, les réflexions issues de chaque période élémentaire doivent être en interférence constructive. Ceci veut dire que la période de Bragg Λ , doit satisfaire la relation suivante:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \Rightarrow \Lambda = \frac{\lambda_B}{2n_{\text{eff}}} \quad (\text{II. 3})$$

Λ : est la période de la modulation d'indice.

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

λ_B : La longueur d'onde de Bragg.

II-3 : LES TYPES DE RESEAUX DE BRAGG

II-3-1 : Réseau de Bragg périodique ou à pas constant

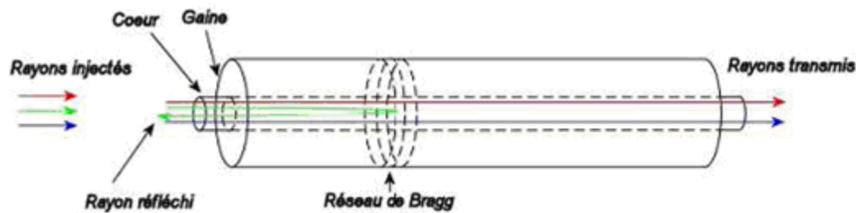
Ce sont des réseaux standards qui ont une période constante (Λ) et des pas perpendiculaires à l'axe de la structure. Le réseau est parfaitement périodique le long de la structure, avec des points de départ et de fin bien définis, on distingue deux types de réseaux de Bragg à pas constants nommés aussi réseaux de Bragg classiques.

- ✓ Réseau de Bragg à petit pas ou FBG.
- ✓ Réseau de Bragg à long pas ou LPFG.

Chapitre II

II-3-1-1 : Réseau de Bragg à petit pas ou FBG

Dans ce cas une variation périodique de l'indice de réfraction du cœur de la fibre le long de son axe avec une période généralement inférieure au micromètre sur une longueur L . Dans le cas d'une fibre monomode, de tels réseaux provoquent un couplage du mode guidé fondamental avec le mode guidé contra-propagatif à une longueur d'onde donnée. Ainsi, lorsque de la lumière blanche est injectée dans la fibre, une longueur d'onde est réfléchie alors que les autres sont transmises



FigII-3 : Réseau de Bragg à petit pas

II-3-1-2 : Réseau de Bragg à long pas ou LPFG

Le principe est différent. Le mode guidé n'est pas couplé avec un mode contra-propagatif mais avec les modes de gaine co-directifs à une longueur d'onde de résonance. Puisque ces modes se propagent dans la gaine, ils ne sont pas dits guidés et décroissent rapidement à mesure qu'ils se propagent à cause des pertes provoquées par l'interface gaine/milieu externe ainsi que par la courbure de la fibre. Ces modes alors sont dits radiatifs. La relation entre la période du réseau et la longueur d'onde de résonance est la suivante [10, 6,14]:

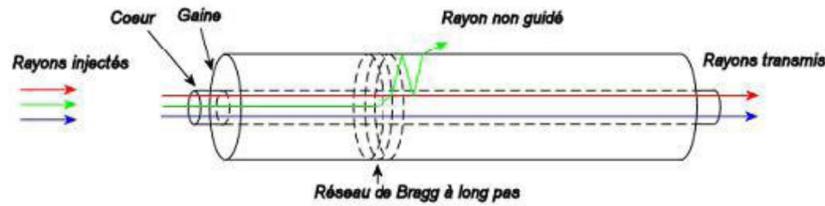
$$\lambda_B = (n_{\text{eff}} - n_{\text{eg}})\Lambda \quad (\text{II.4})$$

Λ : est le pas du réseau.

n_{eff} : est l'indice effectif du mode fondamental guidé

n_{eg} : est l'indice du $I^{\text{ème}}$ mode guidé dans la gaine.

Chapitre II



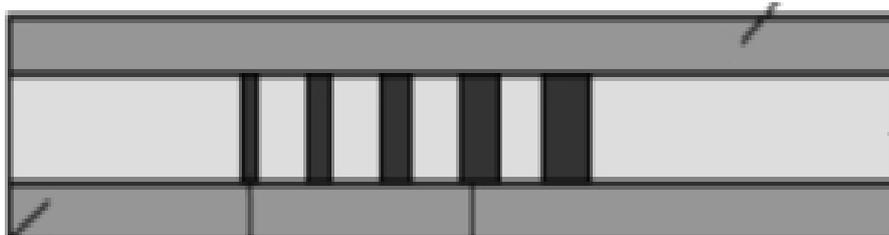
FigII-4 : Réseau de Bragg à long pas

II-3-2 : Réseau de Bragg aperiodiques ou à pas variable

Un réseau de Bragg à pas variable est une modulation aperiodique de l'indice de réfraction de la fibre le long de l'axe de propagation.

II-3-2-1 : Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped »

Dans les réseaux « chirped » la période augmente progressivement d'un pas à l'autre ; les grandes longueurs d'onde sont réfléchies en début de réseau et les plus courtes en fin de réseau.



FigII-5 : Réseau de Bragg à pas variable « chirped »

Ils présentent un pas de modulation d'indice continûment variable (Chirped Grating). Leur réponse spectrale est élargie, ce qui permet de réaliser des filtres large bande jusqu'à plusieurs dizaines de nanomètres. En effet, cette variation continue du pas du réseau entraîne un étalement du pic réfléchi [le pas variant de Λ_{\min} à Λ_{\max} , le spectre s'étale de λ_{\min} à λ_{\max} Telles que $\lambda_i = 2 n_e \Lambda_i$ (i variant de min à max)]

II-4 : Fabrication par photo-inscription :

L'exposition du guide optique aux rayonnements ultraviolets d'un Laser UV est une méthode découverte suite à la mise en œuvre du phénomène de la photosensibilité par le docteur Kenneth Hill [19]. Cette technique a été employée pour la réalisation des LPFGs après avoir été appliquée pour la création des réseaux de Bragg classiques FBG à petit pas.

Chapitre II

Le principe est simple : deux ondes planes cohérentes interfèrent pour former une onde stationnaire qui vient insoler une fibre photosensible.

On peut l'exploiter, par exemple, dans la méthode holographique et la méthode employant le masque de phase.

En fait, cette méthode consiste à irradier la fibre de façon intensive avec une distribution périodique des rayonnements. On crée ainsi une variation de l'indice de réfraction du guide optique analogue à la période de distribution d'irradiation précédente.

Néanmoins, pour pouvoir faire cette méthode, il est obligatoire de rendre la fibre photosensible. A ce point, on peut procéder par dopage au Germanium et/ou à l'hydrogène, étant donné que la silice amorphe pure n'offre qu'une seule bande d'absorption dans le proche ultraviolet (UV) vers 160 nm à contrario de la silice dopée qui offre un autre pic d'absorption dans l'UV proportionnellement à la concentration des dopants. Ainsi inscrire un réseau de Bragg dans une fibre, suivant cette méthode, c'est mettre à profit les propriétés de la silice dopée de point de vue photosensibilité. En effet, cette dernière étant définie comme la propension de la matière à subir une modification de son indice de réfraction par insolation UV [10].

La diffusion d'hydrogène dans le cœur de la fibre augmente sa photosensibilité [7, 20]. Pour ce faire, il suffit de placer la fibre dans une enceinte d'hydrogène moléculaire à haute pression (≈ 1500 psi) et à température ambiante pendant dix jours pour qu'elle se sature en hydrogène moléculaire avant de l'exposer aux radiations UV.

II-4-1 : Procédé du masque de phase:

Le schéma simplifié du montage est présenté dans la (FigII-6). La période du masque de phase est notée d . La diffraction du faisceau ultraviolet traversant le masque se fait suivant plusieurs ordres de diffraction : $m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ qui interfèrent pour former une figure d'interférence perpendiculaire au cœur de la fibre. Les masques de phase utilisés généralement sont optimisés pour maximiser la puissance de sortie vers les ordres ± 1 et minimiser la puissance des autres ordres. Ainsi, on retrouve en général environ un tiers de la puissance incidente dans chacun de ces deux ordres, le reste de la puissance ne participe pas à l'inscription du réseau de Bragg. Dans le cône d'interférence résultant du recouvrement de ces deux ordres.

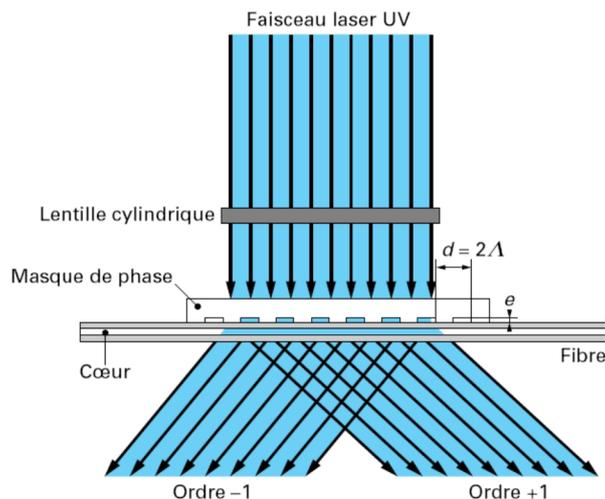
Chapitre II

On trouve des raies sombres et brillantes qui entraînent une modulation périodique de l'indice avec une période $d = 2\Lambda$.

Un déplacement du faisceau incident le long du masque (et de la fibre) permet l'écriture de réseaux de Bragg aussi longs que le masque de phase. Le déplacement du faisceau se fait au moyen d'un étage de translation motorisé de précision permettant un déplacement continu parallèle au masque de phase sur une plage maximale de 20 cm. On retrouve en général sur l'étage de translation un jeu de lentilles cylindriques ou sphériques visant à adapter la géométrie de faisceau ultraviolet à son arrivée sur la fibre. Les lentilles utilisées varient pour chaque réseau, mais une configuration assez standard consiste à utiliser une lentille cylindrique horizontale de 5 cm de focale pour augmenter la densité de puissance selon l'axe de la fibre. On utilise souvent une deuxième lentille cylindrique verticale de 20 ou 30 cm de focale pour réduire la taille du faisceau selon l'axe vertical.

Le masque de phase peut être fixé sur un étage de translation par un élément piézoélectrique utilisé pour apodiser le réseau.

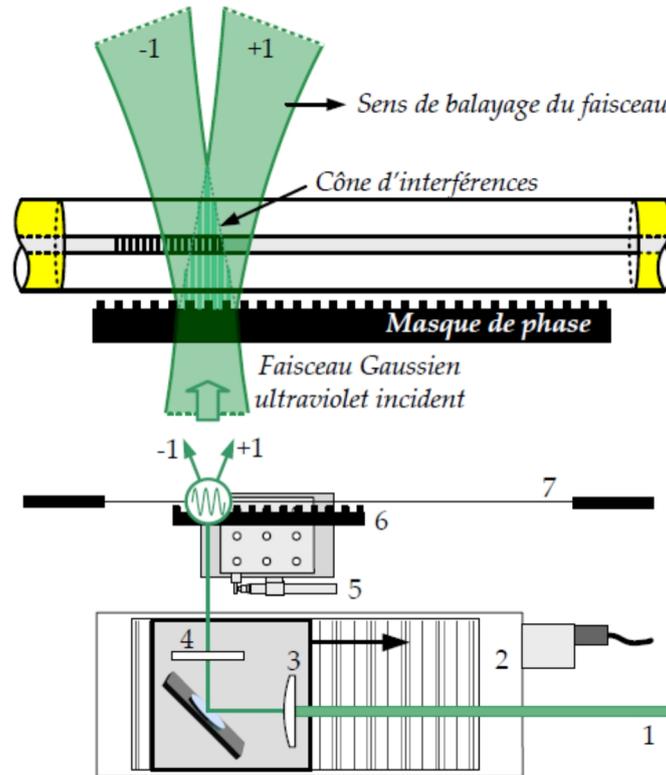
C'est actuellement la technique la plus employée en production du fait de sa bonne reproductibilité et de la simplicité du montage optique (FigII-7). Le masque de phase est une lame, réalisée selon les techniques de la microélectronique dans un verre de silice ultra pur transparent aux UV, sur laquelle sont gravés des sillons espacés régulièrement d'une période d . Le principe consiste à placer la fibre à insoler au contact du masque selon une direction perpendiculaire aux traits de ce dernier, puis à éclairer l'ensemble à l'aide d'un faisceau UV en incidence normale.



FigII-6 : Inscription d'un réseau de Bragg par la méthode du masque de phase [9]

Chapitre II

Cependant, elle ne permet pas d'ajuster la longueur d'onde de Bragg puisque le pas du réseau est fixé par celui du masque. Il faut donc disposer, a priori, d'un masque de phase pour chaque longueur d'onde de Bragg que l'on veut réaliser.



FigII-7 : Explication du montage de masque de phase [9]

Le faisceau ultraviolet incident (1) est focalisé par une série de lentilles (3) et (4) avant d'être diffracté par le masque de phase (6) en deux ordres principaux de diffraction. Le faisceau balaie le masque au moyen d'un étage de translation motorisé (2). L'apodisation s'effectue au moyen d'un élément piézoélectrique (5). Le cône d'interférence alors présent sur le cœur photosensible de la fibre (7) permet la photo-inscription d'une modulation d'indice périodique.

II.4.2 : Procédé holographique transverse

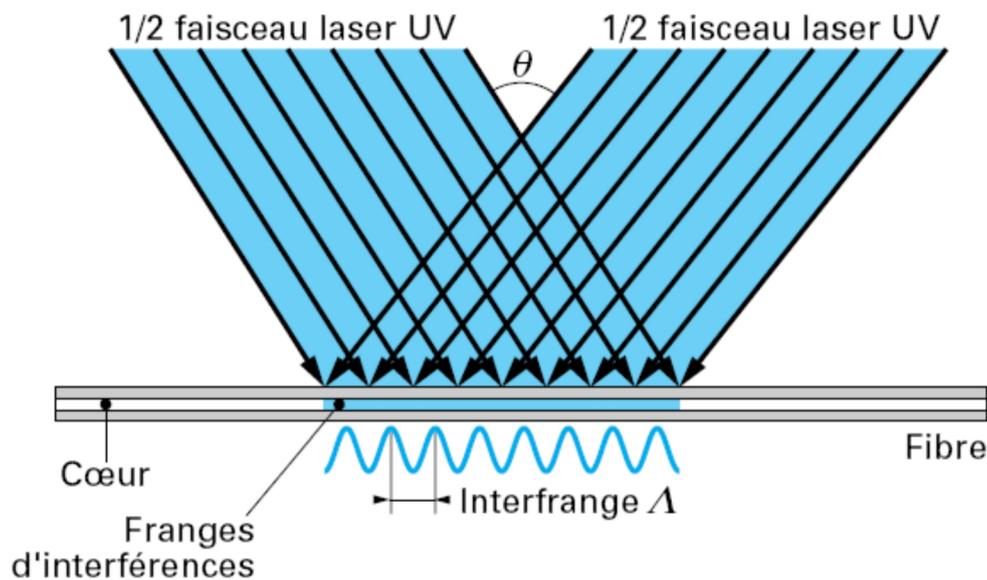
La méthode d'inscription interférométrique, dite encore « holographique » consiste à utiliser un interféromètre à deux ondes. On place la fibre dans la zone d'interférence des deux faisceaux cohérents issus de la source laser UV (de longueur d'onde λ_0) fonctionnant en régime soit continu soit impulsionnel. La figure d'interférence est une modulation d'intensité sinusoïdale, périodique de pas Λ . Cette modulation est alors convertie, grâce à la photosensibilité du cœur de la fibre, en une modulation d'indice proportionnelle (FigII-8).

Chapitre II

Avec λ_0 , longueur d'onde de la source et θ , le demi-angle formé entre les deux ondes qui interfèrent.

Le montage du banc optique utilisé pour l'écriture est présenté à la FigII-8. Le faisceau issu d'un laser est scindé en deux par le jeu de miroirs. Ils interfèrent alors à la surface de la fibre à écrire et génèrent l'onde stationnaire.

$$\Lambda = \frac{\lambda_0}{2 \sin \theta} \quad (\text{II.5})$$



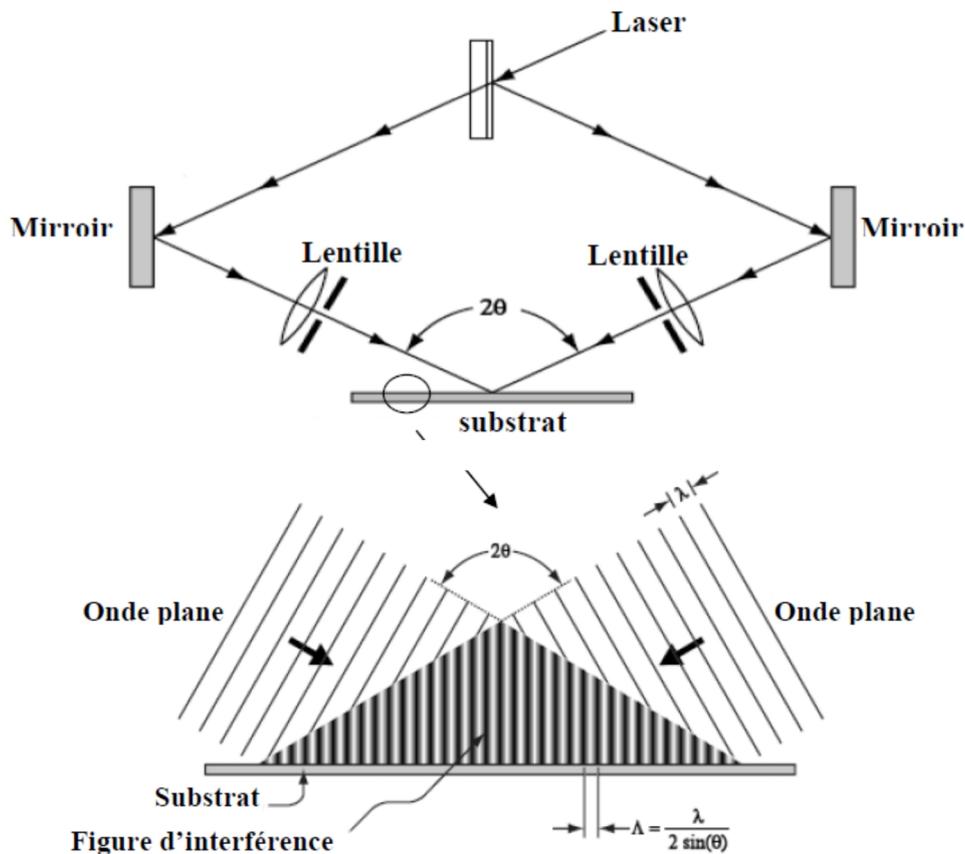
FigII-8 : Inscription d'un réseau de Bragg par la méthode holographique [10]

Cette technique très souple d'emploi est largement utilisée, car elle permet d'inscrire, en n'importe quel point de la fibre, un réseau de pas donné (et donc de longueur d'onde de Bragg choisie), simplement en ajustant l'angle d'incidence θ des deux faisceaux UV.

II.4.2 : Inscription de réseaux de Bragg en utilisant un interféromètre de Sagnac

Les montages interférométriques présentent un grand avantage, la flexibilité en longueur d'onde. Les techniques permettent d'écrire des réseaux de Bragg à différentes longueurs d'onde. L'interféromètre de Sagnac offre la flexibilité en longueur d'onde des méthodes interférométriques tout en permettant l'écriture de réseaux longs par balayage du masque de phase.

Chapitre II

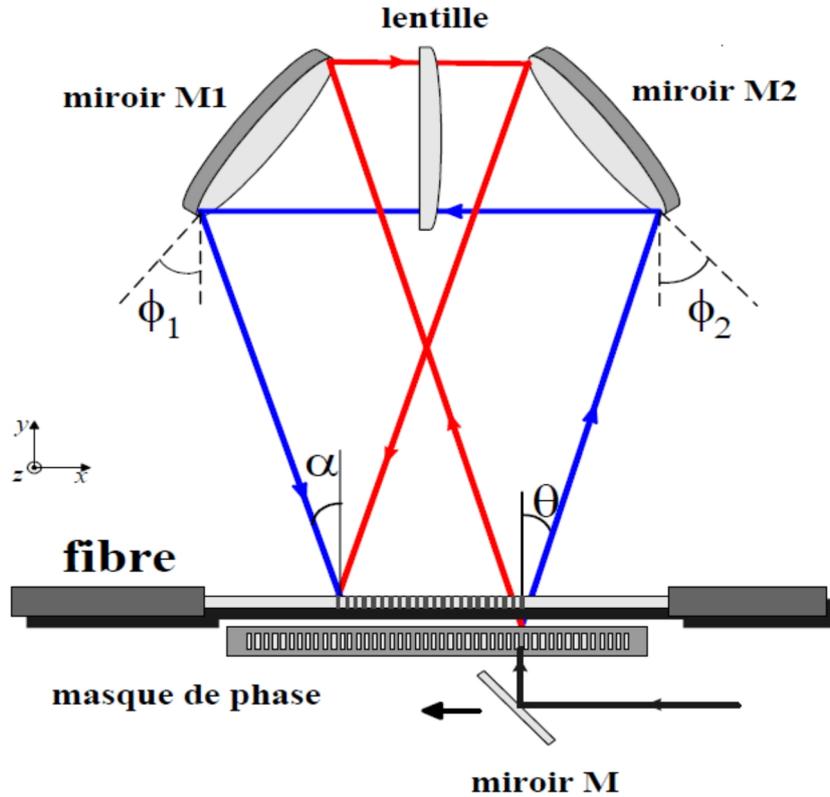


FigII-9 : Principe d'inscription par interférence [3]

Dans le montage présenté à la (FigII-10), la fibre est placée légèrement au-dessus du masque de phase pour lui éviter tout contact avec ce dernier. Le faisceau UV provient d'un laser Argon doublé émettant à 244 nm en continu et pouvant délivrer une puissance maximale de 200 mW. Ce faisceau est dévié par le miroir M1 de 1" de diamètre, qui se déplace le long du masque de phase. En traversant le masque de phase, le faisceau UV se sépare en deux ordres -1 et $+1$ suivant un angle θ .

Le faisceau émanant de la diffraction d'ordre 1 sera réfléchi en premier lieu par le miroir M2 puis par le miroir M1 (les diamètres des deux miroirs M1 et M2 sont de 2") alors que l'autre

Chapitre II



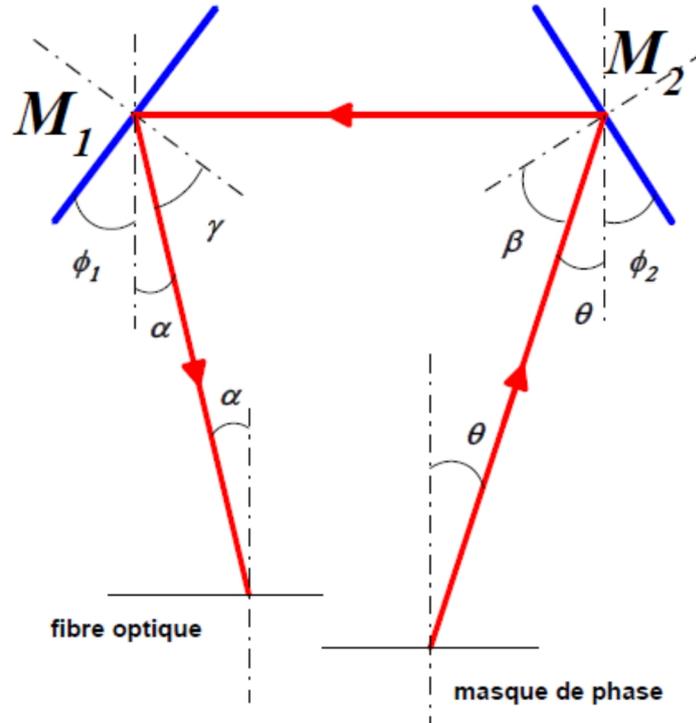
FigII-10 : Montage d'écriture utilisant un interféromètre de Sagnac [10]

faisceau diffracté sera réfléchi par M₁ en premier puis par M₂. Les deux faisceaux se rencontrent à la fin pour créer une figure d'interférence au niveau de la fibre (FigII-10).

Les miroirs M₁ et M₂ font un léger angle avec le plan de la feuille permettant de dévier les faisceaux au-dessus du masque de phase sur la fibre optique. Une lentille convergente cylindrique, de focale égale à 280 mm pour une longueur d'onde de 244 nm, permet de focaliser l'énergie du faisceau sur le cœur de la fibre. La position de chaque miroir est donnée par les angles Φ_1 et Φ_2 . L'angle θ dépend de la période du masque de phase d alors que l'angle α dépend des trois angles Φ_1 , Φ_2 et θ tel qu'illustré sur la (FigII-11). Cette dépendance est illustrée par les formules suivantes; au niveau des miroirs M₁ et M₂, nous avons les relations suivantes :

$$\begin{cases} \beta = \frac{\pi}{2} - \theta - \Phi_2 \\ \gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha - \Phi_1 \end{cases}$$

Chapitre II



FigII-11 : Les différents angles dans un interféromètre de Sagnac

La longueur d'onde de Bragg est approximativement $\lambda_B = n_{\text{eff}} d$ (d étant la période du masque de phase). Si nous voulons écrire un réseau de Bragg à une longueur d'onde différente, il nous suffit de changer l'angle Φ_1 ce qui changera l'angle α et par la suite la longueur d'onde de Bragg suivant $\lambda_B = \frac{n_{\text{eff}} \lambda_{UV}}{\sin \alpha}$.

Ce changement entraînera un déplacement de la figure d'interférence perpendiculairement au masque de phase. Il nous faudra donc déplacer la fibre dans le même sens pour qu'elle continue à traverser la figure d'interférence.

II.5 : Les caractéristiques des réseaux de Bragg

- Compatibilité avec les fibres optiques couramment utilisées dans les réseaux de télécommunications.
- Fabrication à faible coût de dispositifs optiques de très grande qualité sélectifs en longueurs d'onde.
- Faible encombrement facile à intégrer dans les systèmes de télécommunications optiques.
- Les réseaux de Bragg n'affaiblissent pas beaucoup le signal à l'insertion.

Chapitre II

II.6 : Les applications des réseaux de Bragg :

II-6-1 Les filtres

Agissant en tant que filtres sélectifs de longueur d'onde, les réseaux de Bragg uniformes de courtes périodes ont été employés la première fois pour des applications de filtrage et de multiplexage.

Le spectre de filtrage peut alors être obtenu, en ajustant la période du réseau et la variation de l'indice de réfraction, pour des rejets élevés des canaux adjacents, formes rectangulaires, multi crête, etc.

Aujourd'hui, les techniques avancées d'écriture des FBGs permettent la réalisation de presque n'importe quelle forme spectrale désirée en contrôlant la réponse de la phase.

Les réseaux de Bragg sur fibres sont donc d'excellents candidats pour les futurs systèmes WDM complexes mais avec des filtres peu coûteux à adapter à cette conception.

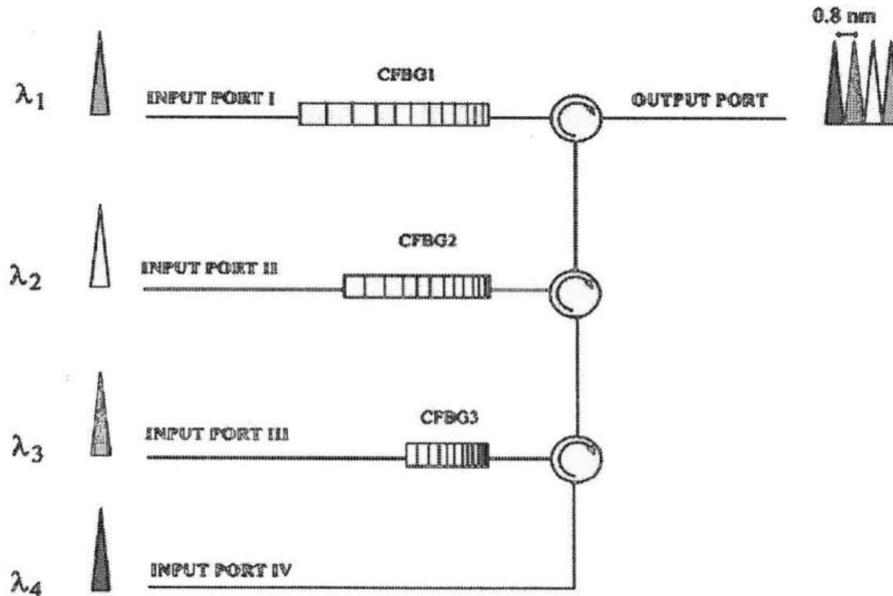
Le réseau de Bragg de périodes courtes réfléchit la lumière près de la longueur d'onde de Bragg et demeure transparent pour les autres.

Pour être utilisés dans un réseau, le réseau de Bragg doit s'associer à un autre composant avec plusieurs entrées et sorties pour extraire le signal utile. Généralement ce composant est un circulateur [16].

II-6-2 Multiplexage et démultiplexage en longueur d'onde :

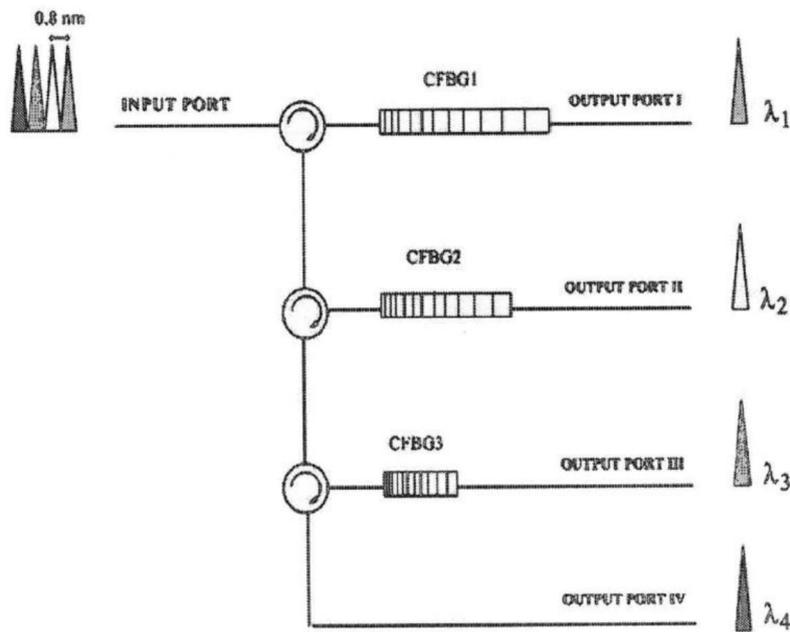
Le multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) est une technique utilisée en communications optiques qui permet de faire passer plusieurs ondes de longueur d'onde différentes sur une seule fibre optique, en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX), Le WDM sépare chaque canal de 0.8 nm et le Dense WDM de 0.2 nm , et en séparant les différentes ondes à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX). On peut réaliser un MUX en utilisant plusieurs ports d'entrée (FigII-12) , chaque ports laisse passer une seule longueur d'onde en utilisant un réseau de Bragg à pas variable « chirpé », et à l'aide d'un circulateur optique (coupleur) on les fait passer dans une seule fibre optique.

Chapitre II



FigII-12 : Configuration d'un multiplexeur optique à l'aide des réseaux de Bragg

A la sortie on fait l'opération inverse, le démultiplexage, on dispose de plusieurs ports de sortie, chaque port contient un circulateur et un réseau de Bragg qui laisse passer uniquement la longueur d'onde appropriée (FigII-13).



FigII-13 : Configuration d'un démultiplexeur optique à l'aide des réseaux de Bragg

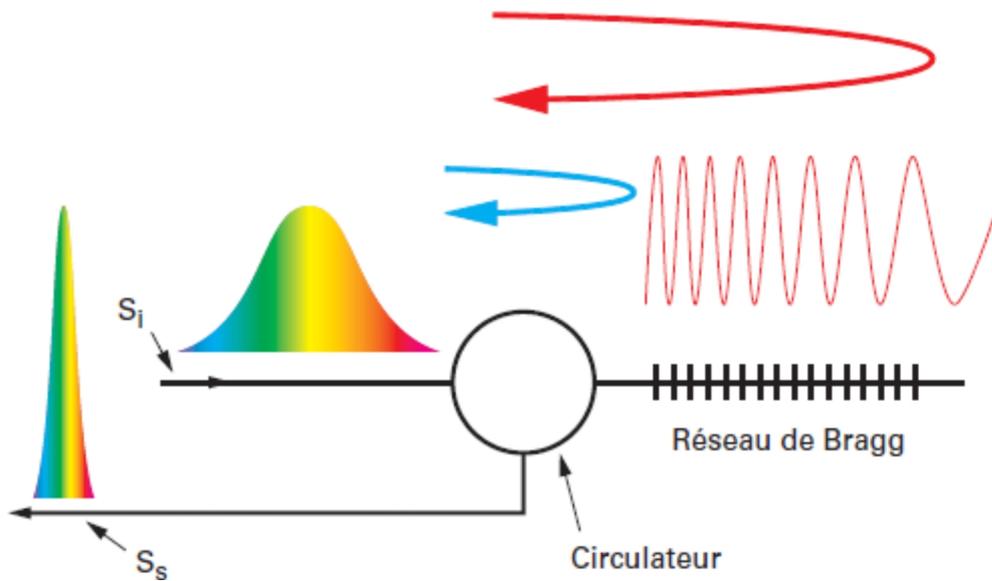
II-6-3 Compensation de dispersion chromatique :

Dans une fibre optique monomode, Les différentes fréquences du spectre d'impulsion se propagent à différentes vitesses, ce qui entraîne l'élargissement temporel de l'impulsion

Chapitre II

surtout dans les systèmes de télécommunication à haut débit et pour des grandes distances. Pour cela on utilise le réseau de Bragg à pas variable « chirpé » afin de compenser la dispersion chromatique.

Les grandes longueurs d'ondes sont immédiatement réfléchies tandis que le plus courtes se propagent un peu plus. L'illustration de ce procédé est montrée par la Fig(II.14).



FigII-14 : principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg

S_i : intensité lumineuse à l'entrée du circulateur étalée temporellement.

S_s : intensité lumineuse dans RB.

CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons donné un bref historique sur les réseaux de Bragg, un petit aperçu sur le couplage de modes puis on a défini ce que c'est un Réseau de Bragg. Nous avons ainsi présenté les différents types de réseaux, les différentes techniques de mise en œuvre.

Les réseaux de Bragg sont des composants présents dans les systèmes de télécommunications. Leur grande flexibilité et leur conception les rend très intéressants pour des applications adaptées aux besoins de l'utilisateur, Il apparaît clairement qu'aujourd'hui, les réseaux de Bragg permettent de réaliser plusieurs composants tout optiques tels que les capteurs.

Chapitre II

Chapitre III

Chapitre III: Capteurs à réseaux de Bragg

Chapitre III

Introduction

Le capteur à fibre optique est utilisé pour mesurer plusieurs grandeurs physiques (température, pression, déplacement.....). Il peut être utilisé de manière extrinsèque par l'action du mesurande, ou intrinsèque par modulation de la phase, polarisation ou longueur d'onde. Dans ce chapitre on s'intéresse à l'action de la modulation de la longueur d'onde (capteur à réseau de Bragg).

III-1 : Définition d'un capteur à fibre optique

Un capteur à fibre optique est un dispositif dans lequel l'information est créée dans le chemin optique de la lumière guidée par réaction avec la grandeur mesurée avant d'être envoyée vers un ou plusieurs récepteurs par l'intermédiaire d'une ou plusieurs fibres optiques. La fibre optique ne sert qu'à guider la lumière, le capteur peut être qualifié extrinsèque ou intrinsèque.

III-2 : Le classement des capteurs optiques :

- **Les capteurs extrinsèques** : la fibre optique n'est utilisée que pour transmettre la lumière en provenance et à destination de l'élément de détection. Dans ce type de capteur, on s'intéresse à la variation de puissance en sortie, suite à l'action de la grandeur physique appliquée, pour une puissance à l'entrée de la fibre constante.
- **Les capteurs intrinsèques** : la fibre optique constitue elle-même l'élément de détection. Dans ce cas, ce sont les paramètres internes de la fibre qui sont modifiés par l'action de la grandeur physique ; par l'exemple l'indice de réfraction : c'est le cas des capteurs à réseaux de Bragg.

Les capteurs à fibres optiques peuvent également être classifiés selon la nature de la prise de mesure par unité de longueur. Les mesures en bout de fibre optique conduisent à la réalisation de capteurs ponctuels. Par opposition, les mesures tout le long de la fibre optique donnent naissance à un capteur distribué [10].

III-3 : Les capteurs à réseaux de Bragg

Le principe se base sur le fait que les longueurs d'onde de Bragg sont non seulement sensibles à la période du réseau mais aussi au milieu l'entourant. En effet, ce dernier est caractérisé par un ensemble de paramètres dont on peut citer la température, la contrainte, etc.

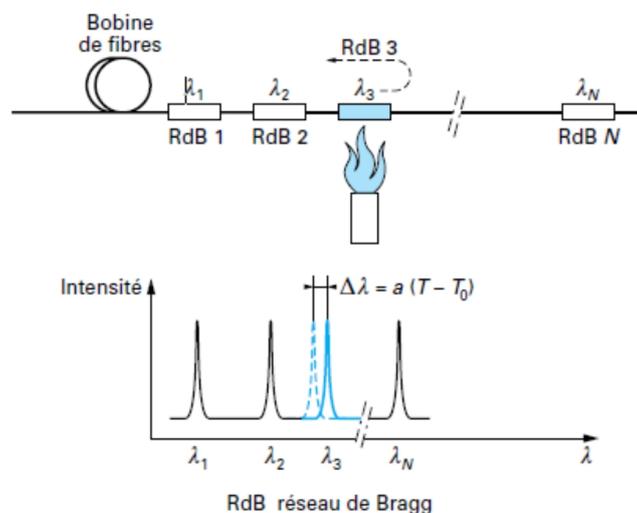
Chapitre III

D'ailleurs, le moindre changement dans ces facteurs peut engendrer un décalage des pics des longueurs d'onde de réjection. Et c'est ce glissement de longueur d'ondes qui est exploité pour en faire des capteurs qui peuvent se classer suivant plusieurs types selon la sensibilité face aux facteurs cités précédemment.

La longueur d'onde de Bragg possède l'importante propriété de se décaler linéairement et sans hystérésis.

Les réseaux de Bragg standard fonctionnent en réflexion, l'interrogation par les deux extrémités de la fibre permet l'acquisition du spectre complet. Cette redondance, caractéristique des capteurs réfléchissants, apporte une fiabilité accrue à l'utilisateur. Donc, avec le capteur de réseau de Bragg, on peut mesurer le paramètre en question soit par le signal réfléchi ou bien le signal transmis ou bien les deux.

Longueur d'onde de Bragg subit un décalage lorsqu'on fait varier les grandeurs physiques.



FigIII-1 : Effet de la température sur l'onde réfléchié par le réseau de Bragg [10].

On voit bien l'effet de la température sur la longueur d'onde de Bragg lorsqu'on le chauffe.

Avec ce type de capteur, une lumière présentant un spectre large est injectée dans une fibre optique, seule une bande spectrale donnée du spectre va être réfléchié, une transmise ou absorbée au passage de la lumière dans le réseau de la fibre optique [20]. Il fonctionne de la même manière qu'un réseau de Bragg traditionnel.

Chapitre III

III-4 : Transducteurs à réseaux de Bragg [10]

Compte tenu de la relation de Bragg caractérisant un réseau, λ_B sa longueur d'onde caractéristique dépend de la température et de l'état des contraintes appliquées à la fibre. Il est d'usage de séparer les trois contributions que sont : la température T , les allongements $\varepsilon = \Delta L/L$ dans l'axe du guide et la pression hydrostatique ΔP , selon :

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = a\Delta T + b\varepsilon + c\Delta P \quad (\text{III. 1})$$

Avec a , b et c sont des coefficients dépendant des caractéristiques de la fibre et dans une moindre mesure de sa température (ils peuvent en pratique être assimilés à des constantes, indépendantes de la température, sur une gamme d'utilisation importante).

Au-delà de son simple rôle de filtre spectral, le réseau de Bragg joue donc bien celui de « Transducteur » puisqu'il transforme les évolutions d'une grandeur d'influence en un décalage spectral proportionnel.

Comme un FBG réagit aussi bien à la contrainte qu'à la température, il faut prendre en compte ces deux effets et bien faire la distinction entre les deux. Pour la mesure de température, le FBG ne doit être soumis à aucune contrainte. Il est possible d'utiliser des capteurs de température FBG à proximité d'un capteur de contrainte FBG. Le simple fait de soustraire le décalage de la longueur d'onde du capteur de température FBG au décalage de la longueur d'onde du capteur de contrainte FBG, on aura le décalage qui correspond à la contrainte.

III-5 : Réponse du réseau à une variation de température [10]

Lorsqu'un réseau est soumis à une variation de température, il se dilate ou se contracte, ce qui modifie son pas. De plus, l'indice de réfraction d'un matériau dépend également de la température ; ces deux phénomènes entraînent une variation $\Delta\lambda_B$ de la longueur d'onde caractéristique, comme suit :

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \frac{\Delta(n\Lambda)}{n\Lambda} = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} + \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \Delta T = a\Delta T \quad (\text{III. 2})$$

Les termes présents dans la parenthèse font intervenir

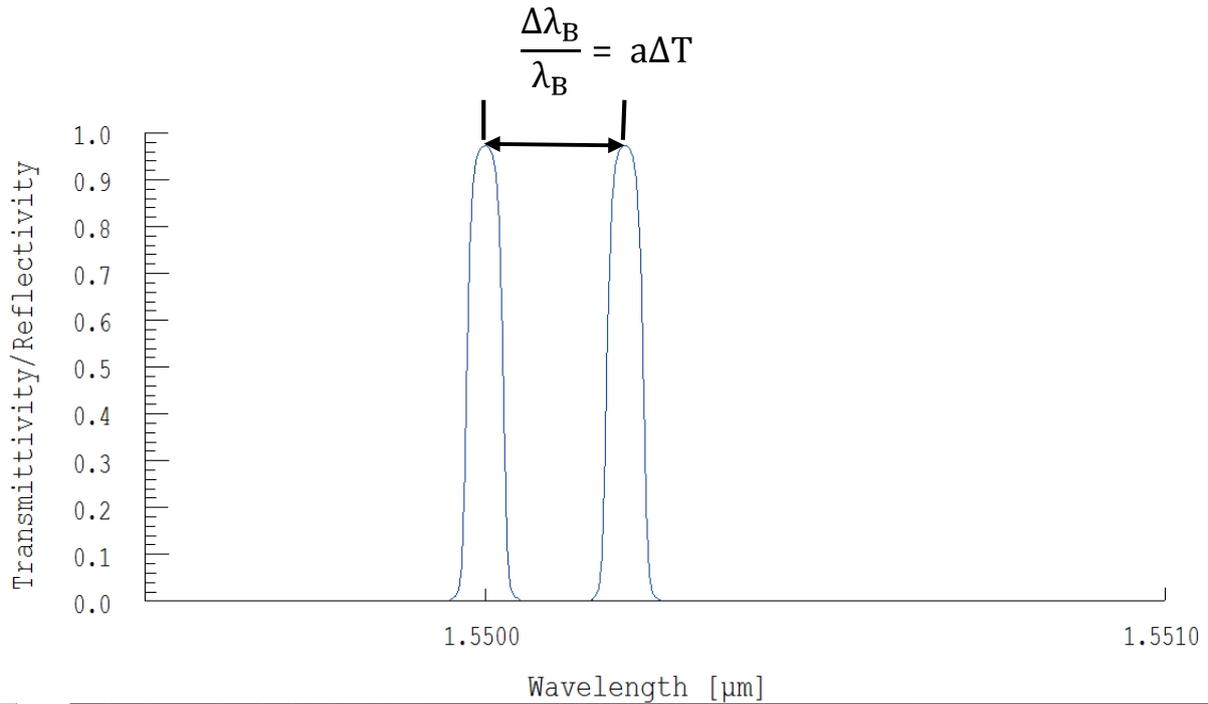
Le coefficient de dilatation thermique :

Chapitre III

$$\alpha = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} \approx 5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$$

Le coefficient thermo-optique de la silice

$$\frac{dn}{dT} \approx 8.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$



FigIII-2 : le signal réfléchi de deux températures(25,40) °C

D'après la relation (III. 2) on peut approximer [10] :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_B} = a\Delta T \quad (\text{III. 3})$$

Avec :

- Coefficient dilatation thermique : $5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
- Coefficient thermo-optique : $8.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Mais numériquement et théoriquement : « a » vaut : $7.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ donc la connaissance de $\Delta\lambda$ est suffisante pour déterminer la température connaissant les deux longueurs d'ondes de deux pics et qui sont :

$$\Delta T = T - T_0 \quad "T_0 = 25^{\circ}\text{C}"$$

Dans l'exemple précédent la Fig (III-2) avec la connaissance de $\Delta\lambda$ on va déterminer la température avec :

Chapitre III

$$\diamond \lambda_2 = 1.5502 \mu\text{m}$$

$$\diamond \lambda_1 = 1.5500 \mu\text{m}$$

D'après la relation (III.3) donc :

$$\Delta T = \frac{\Delta \lambda}{a \lambda_B} = 15.38^\circ\text{C} \approx 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T - T_0 \Rightarrow T = 40^\circ\text{C}$$

Sensibilité	$\lambda = 0.830 \mu\text{m}$	$\lambda = 1.3 \mu\text{m}$	$\lambda = 1.55 \mu\text{m}$
Température (pm/°C)	6.5	10.1	12.1
Déformation (pm/mε)	0.65	1.01	1.21
Pression (pm/MPa)	- 2.4	- 3.7	- 4.5

Tableau III.1 : Sensibilités des réseaux de Bragg aux principaux paramètres (Température, Déformation, Pression) pour plusieurs longueurs d'ondes. [10]

On voit bien que lorsqu'on augmente la longueur d'onde de Bragg, la sensibilité augmente en valeur absolue.

III-6 : Les avantages et les inconvénients des capteurs à réseaux de Bragg :

- Les capteurs à FBG sont non conducteurs, insensibles à toute interférence électromagnétique.
- Le transfert rapide d'une grande quantité d'informations.
- Le capteur à FBG possède l'importante propriété d'une variation linéaire.
- La redondance : On peut mesurer notre grandeur (ex : Température) par le biais du signal réfléchi ou bien du signal transmis.

III-7 : Les domaines d'applications

On trouve les capteurs à réseaux de Bragg dans plusieurs domaines grâce à leurs avantages; le tableau III.2 résume quelques applications [10].

Chapitre III

Structures	Domaines concernés	Applications	Paramètres recherchés
Matériaux composites : Carbone Verre Hybride.....	<ul style="list-style-type: none"> - Aéronautique, spatial - défense - industriel nucléaire 	<ul style="list-style-type: none"> - amélioration de processus de fabrication - contrôle de qualité 	<ul style="list-style-type: none"> - Déformation - Température - Etat de santé globale - Effet des impacts
Structures géologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Mines, souterraines - Tunnels - Falaises, digues 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la productivité, sécurités (population, travailleur) 	<ul style="list-style-type: none"> - Déplacement, glissement de terrain - Déformation, pression
Structures métalliques	<ul style="list-style-type: none"> - Ponts, tours - Navires, trains, raies - Câbles, plates-formes - Réservoirs 	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance pour la sécurité des biens et des personnes - Maintenances 	<ul style="list-style-type: none"> - Déformation, dilatation..... - Température - Pression.....
Béton et génie civil	<ul style="list-style-type: none"> - Ponts, ouvrages d'arts - Centrale nucléaire - Barrages hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise de béton - Détection des dégradations internes - Restauration - Maintenance - sécurité des biens et des personnes 	<ul style="list-style-type: none"> - déformation/déplacement - humidité - pression - verticalité - température
Structures souples	<ul style="list-style-type: none"> - ballon - tissue - réservoirs 	<ul style="list-style-type: none"> - sécurité - surveillance 	<ul style="list-style-type: none"> - déformations - enfoncements - pressions

Table III.2 : Les principaux domaines d'applications de la surveillance des structures par capteur à réseaux de Bragg [10]

CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté une application primordiale des réseaux de Bragg, ce sont les capteurs FBGs; leur flexibilité, leur sensibilité et leur taille les rendent plus intéressants que les capteurs électriques classiques.

Il apparaît clairement qu'aujourd'hui, les capteurs à réseaux de Bragg sont utilisés dans tous les domaines de la mesure et de la surveillance et remplacent de plus en plus les capteurs électriques.

Chapitre IV: Simulation des capteurs à réseaux de Bragg

Chapitre IV

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons utiliser le logiciel OptiGrating pour effectuer la simulation des réseaux de Bragg. Ce logiciel nous a permis de passer de la théorie à la simulation.

IV.1 : Présentation de logiciel Optigrating :

Pour réaliser la simulation des réseaux de Bragg on a utilisé le logiciel OptiGrating version 4.2.2 conçu par la société OptiWave. (Société canadienne spécialisée dans le design des programmes dans le domaine de photonique).



Fig IV.1 : Illustration sur l'interface d'OptiGrating.

OptiGrating est un logiciel qui permet de simuler et tester tous les composants à base de réseaux de Bragg, on cite par exemple :

- ❖ Les filtres optiques.
- ❖ Les capteurs a réseau de Bragg.
- ❖ Les compensateurs de la dispersion chromatique.
- ❖ Insertion et extraction des longueurs d'ondes.
- ❖ La Conception de tous les types de réseaux de Bragg.
- ❖ Le couplage des modes dans une fibre ou bien entre deux fibres.

Lorsqu'on ouvre le logiciel OptiGrating on aura l'interface illustrée par la Fig IV-2

Nous avons le choix entre

- ❖ **Ouvrir un ancien fichier créé par l'utilisateur.**

Chapitre IV

- ❖ Ouvrir un fichier fourni par OptiWave avec le logiciel.
- ❖ Ou bien créer un nouveau fichier.

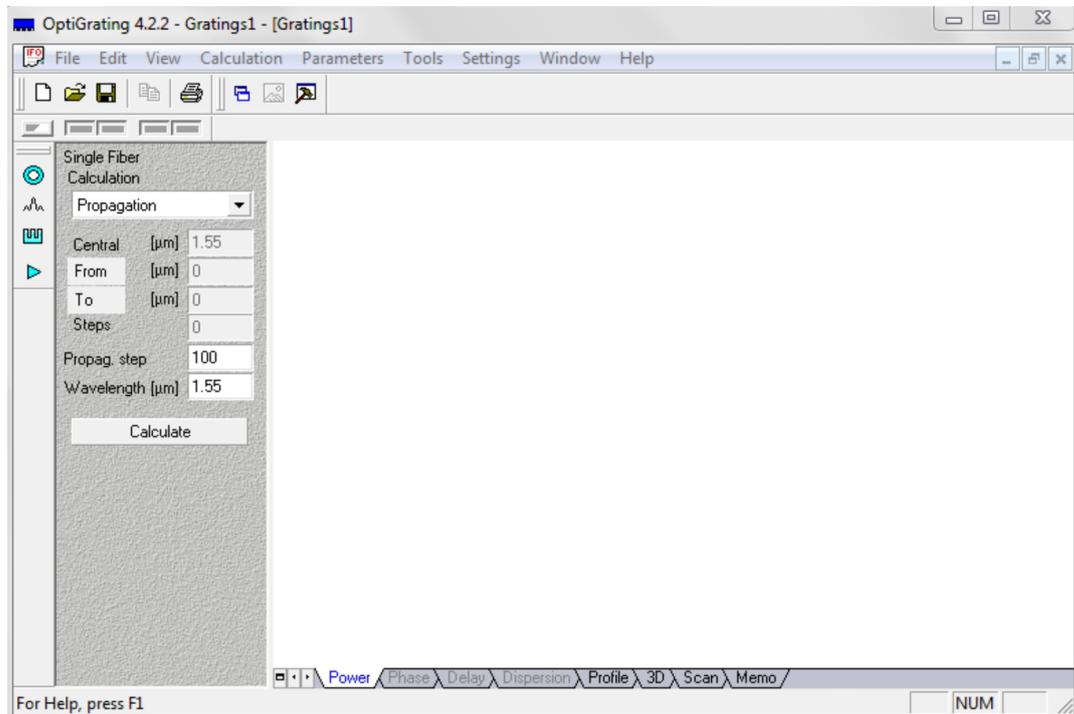


Fig IV-2 : L'interface principale d'OptiGrating

Pour créer un nouveau fichier, on clique sur >> New, une fenêtre apparaît (Fig IV-3) ceci nous permet de choisir le type et le nombre de guides d'onde.

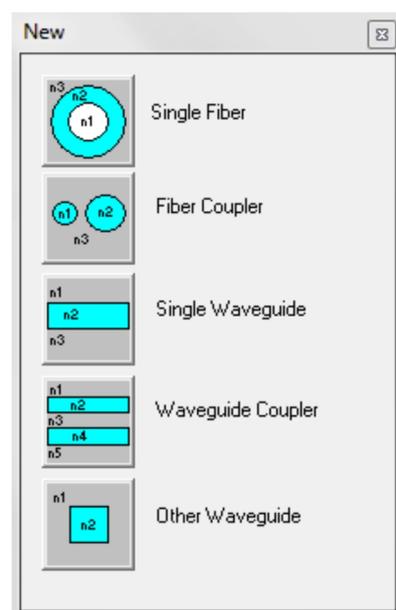


Fig IV-3 : Fenêtre pour choisir le type de guide d'onde.

Chapitre IV

Nous, on ne s'intéresse qu'à une seule fibre, donc on prendra le premier choix.

On clique sur le bouton  pour personnaliser notre fibre optique, une nouvelle fenêtre apparaît (Fig IV-4).

Cette fenêtre nous permet d'introduire les paramètres physiques de la fibre optique souhaitée :

- ❖ Définir les dimensions de notre fibre, le diamètre du cœur et de la gaine.
- ❖ Définir la valeur et le profil de l'indice de réfraction du cœur et de la gaine.
- ❖ Importer un profil prédéfini ou enregistré auparavant.
- ❖ Définir la fréquence de travail de la fibre utilisée.
- ❖ Définir la dispersion de la fibre.

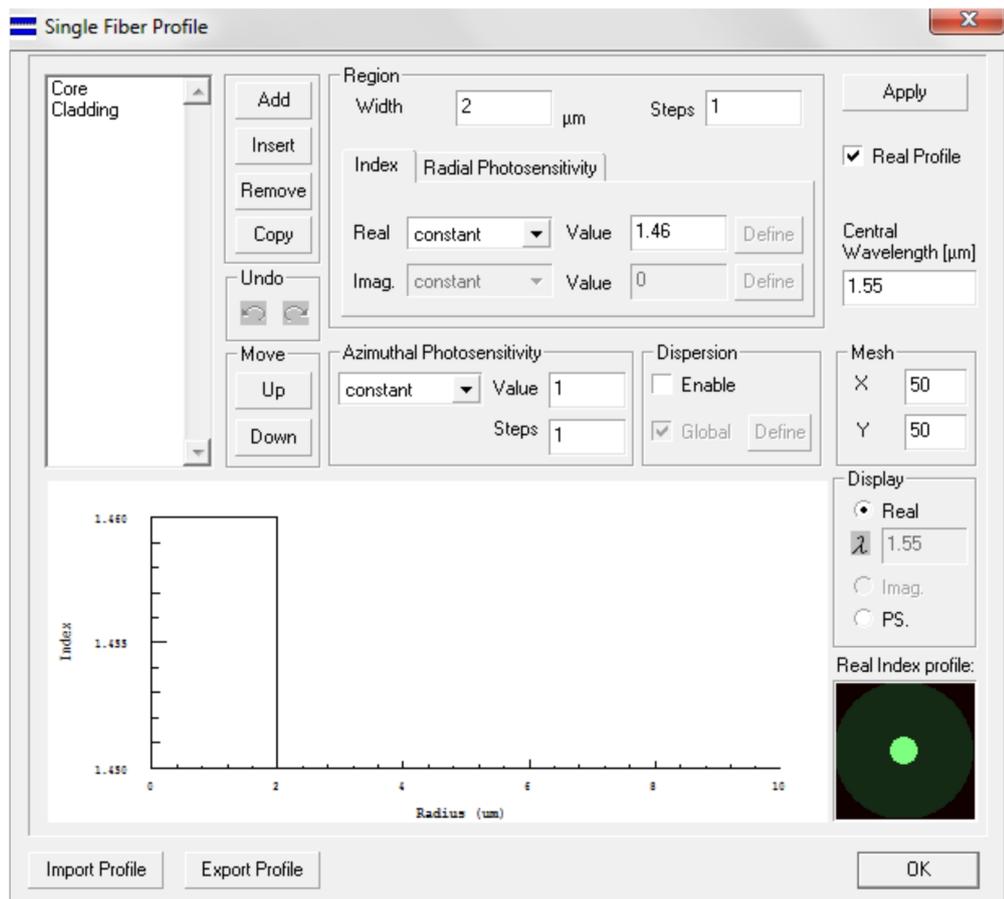
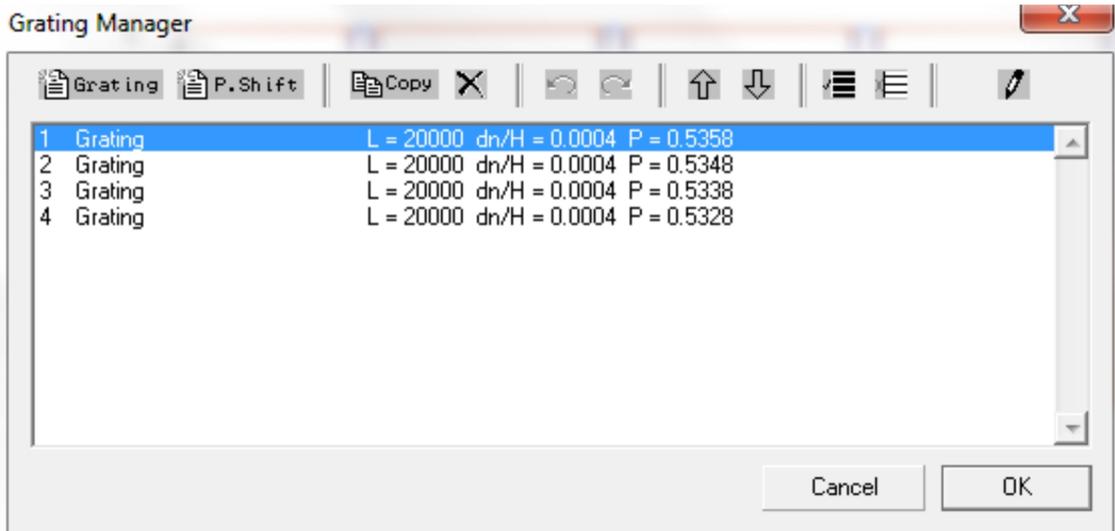


Fig IV-4 : Personnaliser la fibre optique.

Après avoir caractérisé la fibre optique, on insert un échantillon du réseau de Bragg en cliquant sur le bouton , nous avons aussi la possibilité de créer plusieurs échantillons dans une seule fibre, c'est le cas d'un réseau échantillonné (Fig IV-5).

Chapitre IV



FigIV-5 : Créer un ou plusieurs réseaux de Bragg

Pour personnaliser un réseau on double-clique sur l'échantillon en question, une nouvelle fenêtre apparaît (Fig IV-6).

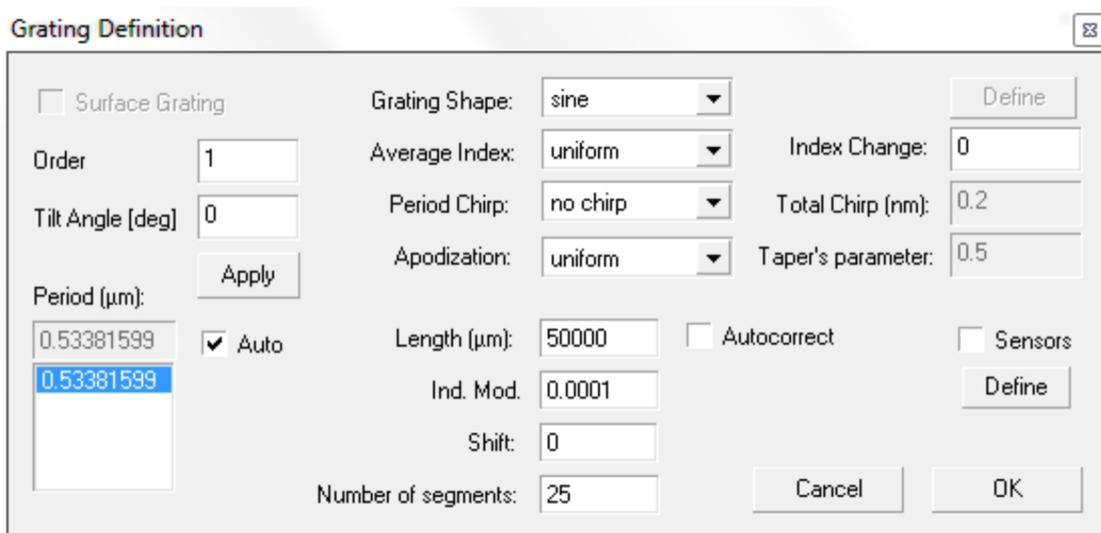


Fig IV-6 : Personnaliser le réseau de Bragg

Dans cette fenêtre, nous introduisons les paramètres utiles du réseau de Bragg :

- ❖ Le pas du réseau de Bragg (période).
- ❖ L'indice de réfraction du réseau de Bragg.
- ❖ Le nombre de pas du réseau de Bragg (segments).
- ❖ Indice de modulation.

Après avoir défini tous ces paramètres (de la fibre optique et du réseau de Bragg), on clique sur le bouton  pour réaliser la simulation et visualiser le résultat :

Chapitre IV

IV-2 : Capteurs à petit pas :

Pour la simulation de capteur à réseaux de Bragg à petit pas on change la température et on garde les paramètres suivants fixes :

- La longueur d'onde réfléchi λ_B : 1550 nm
- Coefficient dilatation thermique : $5 * 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
- Coefficient thermo-optique : $8.3 * 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- Le pas : $0.53381599\mu\text{m}$

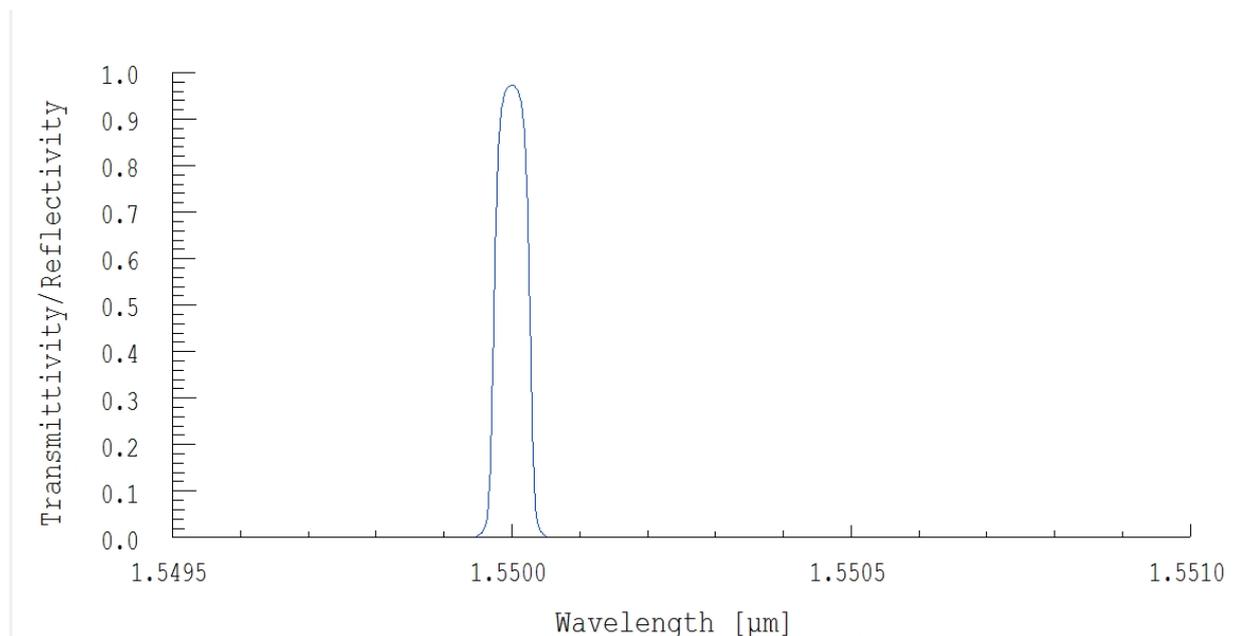


Fig IV-7 : le signal réfléchi à 25°C .

A la température 25°C (température de référence) le pic de signal réfléchi est centré sur la longueur d'onde de Bragg ($\lambda_B = 1550 \text{ nm}$) choisie dans cette simulation. On la considère comme une longueur d'onde de référence.

- ❖ On fait varier la température (0-50 °C) et relevé les résultats suivants illustrés par le tableau IV-1 :

Chapitre IV

Température	Bande passante (nm)	Position de pic (nm)	Amplitude	Lobe secondaire G(nm)	Amplitude	Lobe secondaire D (nm)	Amplitude
0	0.0504	1549.6560	0.972494	1549.5792	0.000382092	1549.7352	0.000378914
10	0.0504	1549.7952	0.972509	1549.7160	0.000377113	1549.8720	0.000382746
20	0.0504	1549.9320	0.972570	1549.8528	0.000368331	1550.0088	0.000382329
22	0.0504	1549.9584	0.972586	1549.8816	0.000381294	1550.0376	0.000364282
24	0.0504	1549.9872	0.972503	1549.9080	0.000376358	1550.0640	0.000382842
25	0.0504	1549.9992	0.972527	1549.9224	0.000383105	1550.0784	0.000373986
26	0.0528	1550.0136	0.972605	1549.9368	0.000376256	1550.0904	0.000370521
27	0.0504	1550.0280	0.972565	1549.9488	0.000367793	1550.1048	0.000382114
28	0.0504	1550.0400	0.972436	1549.9632	0.000381291	1550.1192	0.000380216
29	0.0504	1550.0544	0.972575	1549.9776	0.000381446	1550.1336	0.000365136
30	0.0528	1550.0688	0.972596	1549.9920	0.000368037	1550.1456	0.000377728
31	0.0504	1550.0832	0.972499	1550.0040	0.000375965	1550.1600	0.000382875
32	0.0504	1550.0952	0.972514	1550.0184	0.000383049	1550.1744	0.000374555
34	0.0504	1550.1240	0.972560	1550.0448	0.000367240	1550.2008	0.000381876
36	0.0504	1550.1504	0.972564	1550.0736	0.000381586	1550.2296	0.000365973
38	0.0504	1550.1792	0.972496	1550.1000	0.000375593	1550.2560	0.000382935
40	0.0528	1550.2056	0.972586	1550.1288	0.000376864	1550.2824	0.000368868
42	0.0504	1550.2320	0.972406	1550.1552	0.000380836	1550.3112	0.000380831
44	0.0528	1550.2608	0.972582	1550.1840	0.000369023	1550.3376	0.000376583
46	0.0504	1550.2872	0.972487	1550.2104	0.000382877	1550.3664	0.000375635
48	0.0504	1550.3160	0.972549	1550.2368	0.000366017	1550.3928	0.000381288
50	0.0504	1550.3424	0.972541	1550.2656	0.000381777	1550.4216	0.000367583

Tab IV-1 : variation des différents paramètres en fonction de température.

L'exploitation des résultats de simulation illustrés au tableau ci-dessus nous permet de tracer les différents paramètres en fonction de la température.

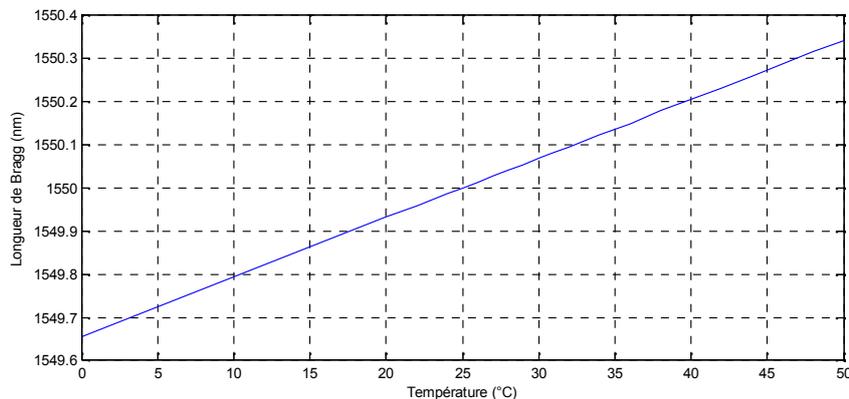


Fig IV-8 : variation longueur de Bragg (λ_B) en fonction de la température.

Chapitre IV

La longueur d'onde de Bragg λ_B est proportionnelle avec la variation de la température.

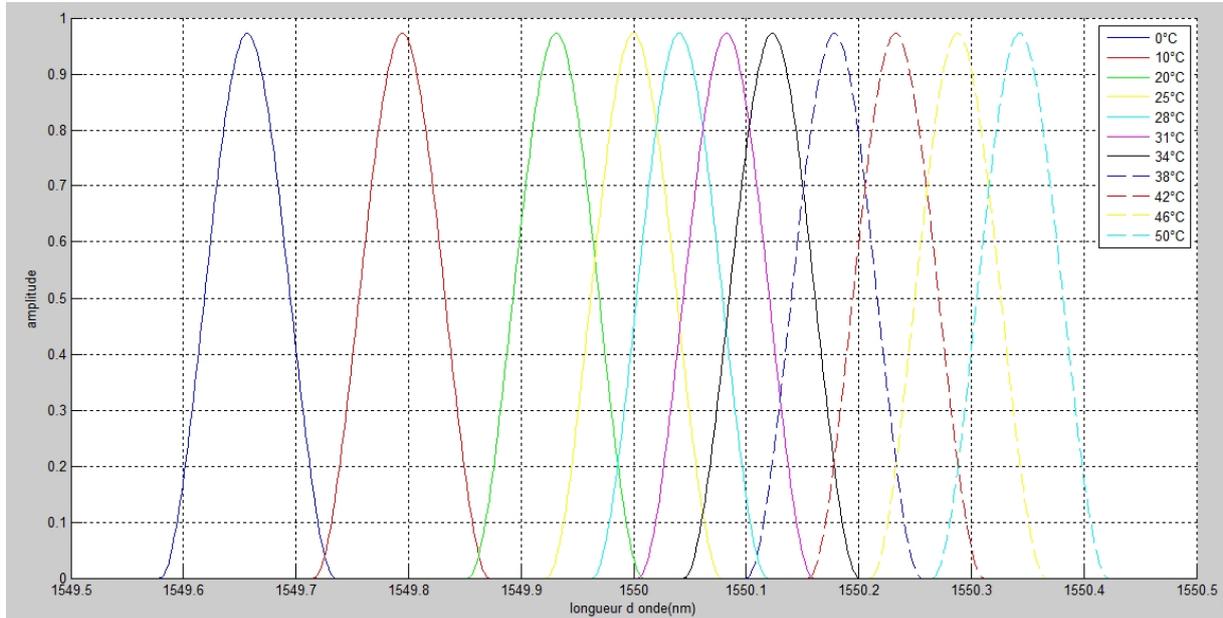


Fig IV-9 : Le décalage du spectre en fonction de la température.

On voit bien que lorsqu'on change la température le spectre se décale par rapport à la température de référence.

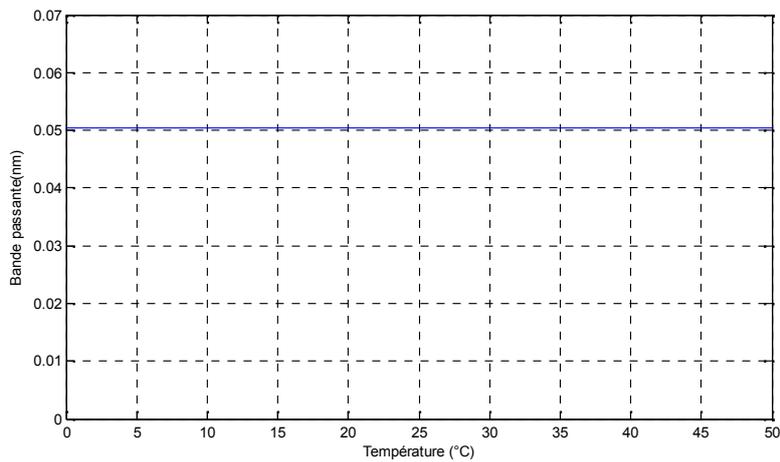


Fig IV-10 : variation de la bande mi-hauteur en fonction de la température

La largeur de la bande mi-hauteur est constante avec la variation de la température.

Chapitre IV

❖ On change La longueur d'onde réfléchi λ_B : **1330 nm** et on trouve les résultats suivants illustrés dans le tableau ci-dessous :

Température	Bande passante (nm)	Position de pic (nm)	Amplitude	Lobe secondaire G (nm)	Amplitude	Lobe secondaire D (nm)	Amplitude
0	0.0528	1329.7064	0.997523	1329.6464	0.000868591	1329.764	0.000940363
10	0.0528	1329.824	0.997524	1329.764	0.000855539	1329.8816	0.000939592
20	0.0528	1329.9416	0.997524	1329.884	0.00086444	1329.992	0.000936686
25	0.0528	1329.9992	0.997515	1329.9416	0.00093909	1330.0592	0.000887145
30	0.0528	1330.0592	0.997524	1330.0016	0.000877292	1330.1168	0.000933274
35	0.0528	1330.1168	0.99751	1330.0592	0.000936572	1330.1768	0.00089857
40	0.0528	1330.1768	0.997523	1330.1192	0.000888801	1330.2344	0.000927849
45	0.0528	1330.2344	0.997504	1330.1768	0.000932281	1330.2944	0.000908285
50	0.0528	1330.2944	0.997523	1330.2368	0.000899095	1330.352	0.000920672

Tab IV-2 : variation des différents paramètres en fonction de température

D'après le tableau on remarque que la longueur de Bragg λ_B varie linéairement avec la température .

La bande à mi-hauteur est constante avec la variation de la température.

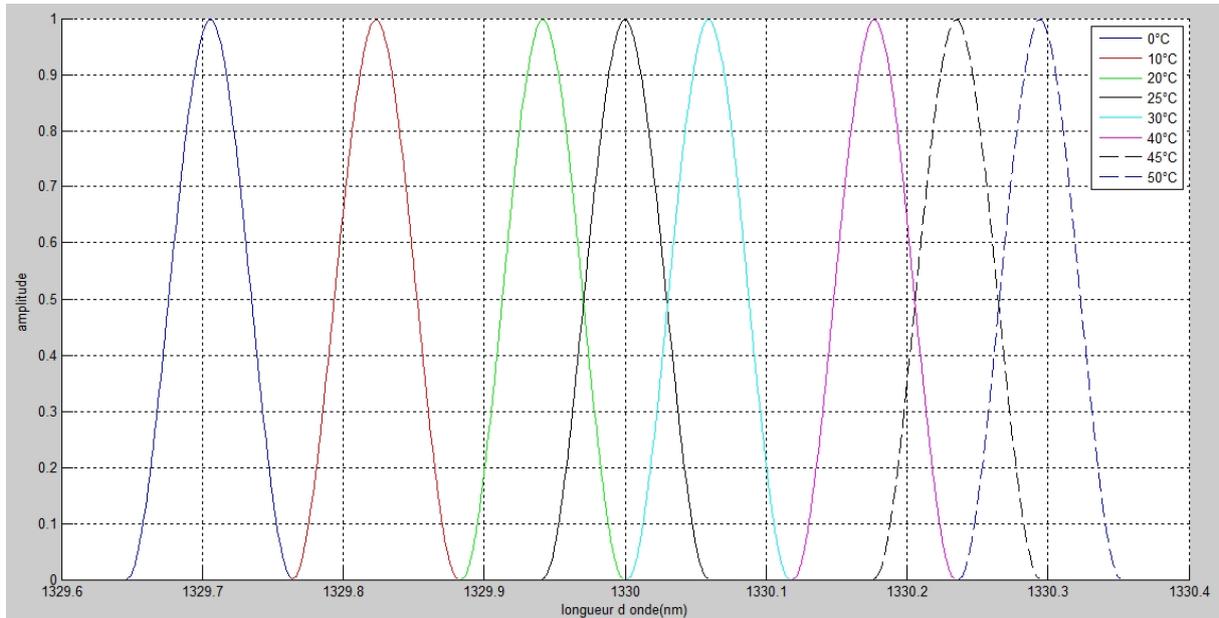


Fig IV-11 : Le décalage du spectre en fonction de la température.

Chapitre IV

- ❖ D'après les deux simulations on remarque que si on change la longueur d'onde (avec la variation de la température) on remarque même variation des paramètres (linéaire, constant).
- ❖ La bande mi-hauteur déférente entre les deux capteurs.

CONCLUSION :

- La longueur d'onde de Bragg varie linéairement avec température.
- Notre capteur peut être étalonné à base du signal réfléchi, ou signal transmis.
- La bande à mi-hauteur du signal est constante lorsque la température varie.

Chapitre IV

IV-3 : Capteurs à long pas :

Pour la simulation de capteur à réseaux de Bragg à long pas on change la température et on garde les paramètres suivants fixes :

- La longueur d'onde réfléchie λ_B : 1550 nm
- Coefficient dilatation thermique : $5 * 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
- Coefficient thermo-optique : $8.3 * 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- Le pas = $472.86835\mu\text{m}$

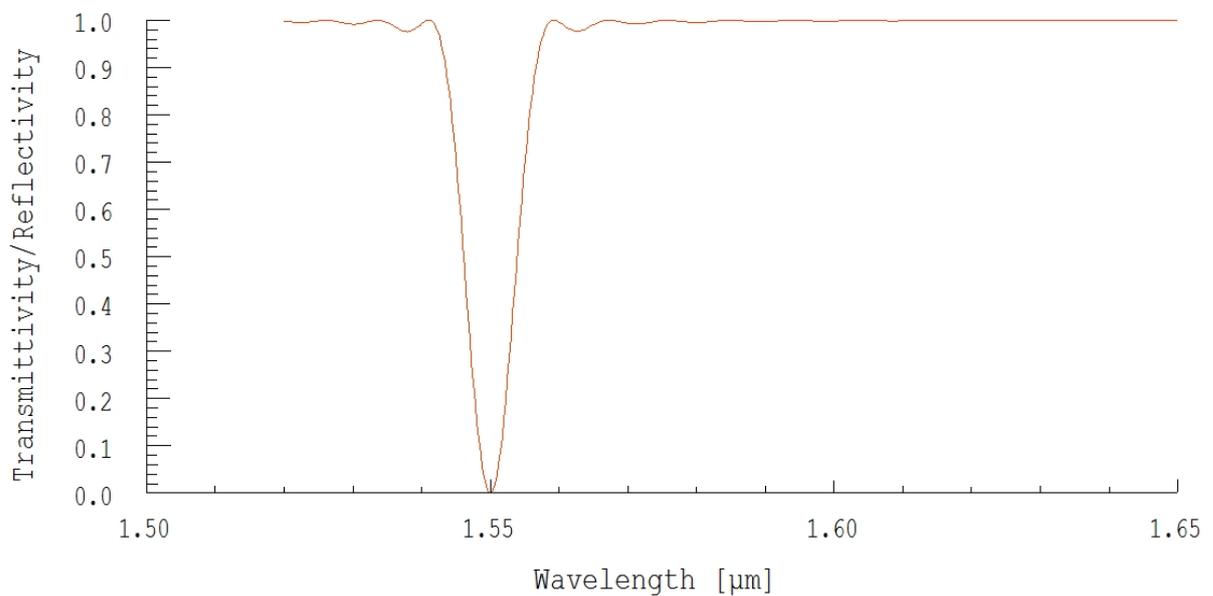


Fig IV-12: le signal transmis à 25°C .

D'après le graphe, on remarque que le pic est centré sur la longueur de Bragg ($\lambda_B = 1550 \text{ nm}$) choisie dans cette simulation comme référence à la température de 25°C (qui est la température de référence).

- ❖ On fait varier la température (0-50) et relevé les résultats suivants illustrés dans le tableau ci-dessous :

Chapitre IV

Température	Bande passante (nm)	Position de pic (nm)	Amplitude	Lobe secondaire G(nm)	Amplitude	Lobe secondaire D (nm)	Amplitude
20	7.58	1534.30	0.000240396	1522.60	0.975514	1546.26	0.976517
22	7.58	1540.54	0.000104687	1528.58	0.975802	1552.76	0.976737
24	7.58	1546.78	0.0000550164	1534.82	0.976019	1559.26	0.976995
25	7.58	1549.90	0.000442429	1537.94	0.976154	1562.64	0.977109
26	8.50	1553.28	0.000298958	1541.06	0.976285	1566.02	0.977263
27	7.58	1556.40	0.000129166	1544.18	0.976408	1569.14	0.977397
28	8.05	1559.78	0.000712064	1547.30	0.976522	1572.52	0.977502
29	8.05	1562.90	0.000305827	1550.42	0.976638	1575.9	0.977622
30	7.58	1566.28	0.000608544	1553.54	0.976769	1579.28	0.977753
31	7.58	1569.40	0.000984281	1556.66	0.976938	1582.92	0.977898
32	7.58	1572.78	0.000789502	1560.04	0.977014	1586.3	0.977985
34	7.58	1579.54	0.00109061	1566.54	0.977265	1593.06	0.978261
36	8.60	1586.30	0.00159249	1573.04	0.977494	1600.34	0.978492
38	9.20	1593.32	0.00254719	1579.80	0.977781	1607.36	0.978706
40	7.05	1600.08	0.00316505	1586.30	0.978014	1614.64	0.978947
42	7.05	1607.36	0.00384694	1593.32	0.978244	1621.92	0.979204
44	8.50	1614.38	0.00448427	1600.08	0.978465	1629.46	0.979431
46	7.58	1621.66	0.00542637	1607.10	0.978699	1637	0.979684
48	7.88	1629.20	0.00656436	1614.20	0.978936	1644.8	0.979912
50	7.00	1636.70	0.00765016	1621.40	0.979174	1652.6	0.980157

Tab IV-2 : variation des différents paramètres en fonction de température

A partir du tableau précédent, on trace les courbes suivantes.

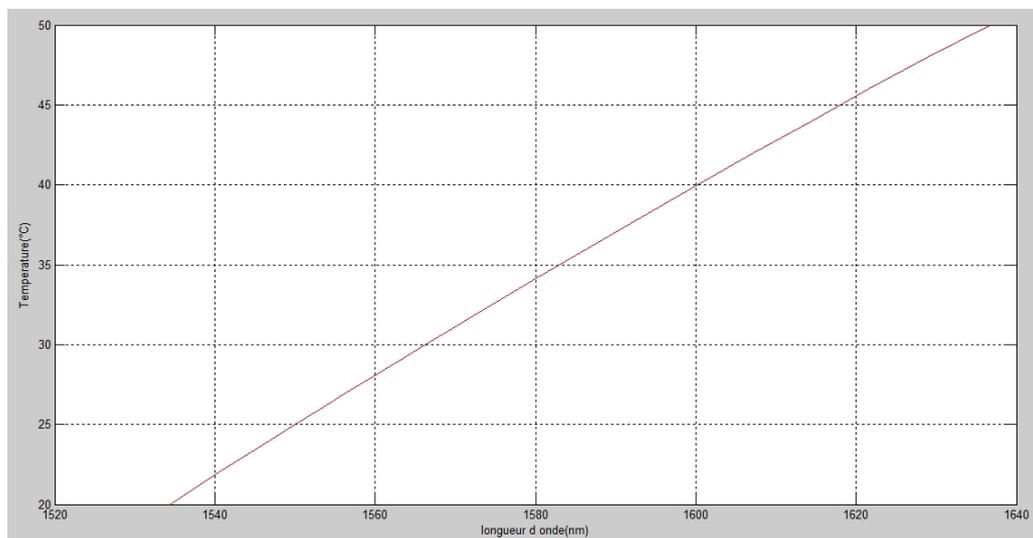


Fig IV-13 : variation longueur de Bragg (λ_B) en fonction de la température.

D'après le graphe on remarque que la longueur de Bragg λ_B varie linéairement avec la température.

Chapitre IV

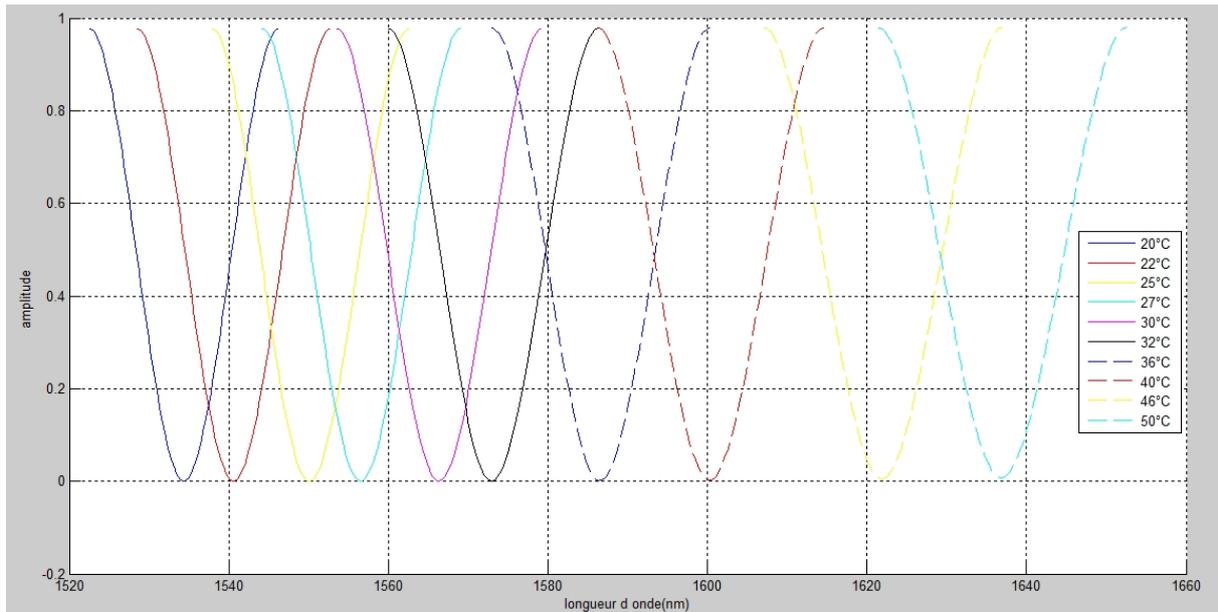


Fig IV-14 : Le décalage du spectre en fonction de la température.

La variation de température par rapport à la température de référence (25°C) introduit un décalage du spectre par rapport au spectre de référence (1.55 μ m).

Conclusion :

- La longueur d'onde de Bragg varie linéairement avec température.
- Notre capteur peut être étalonné à l'aide du signal réfléchi, ou signal transmis.
- Le spectre se décale en fonction de la température.

Chapitre IV

IV-4 : Reconstruction d'un réseau inconnu à partir du coefficient de réflexion

Dans cette simulation, on fait en sorte de reconstruire un réseau inconnu seulement avec la connaissance de coefficients de réflexion en suivant les étapes suivantes :

- Ouvrir un fichier existant déjà (par exemple).

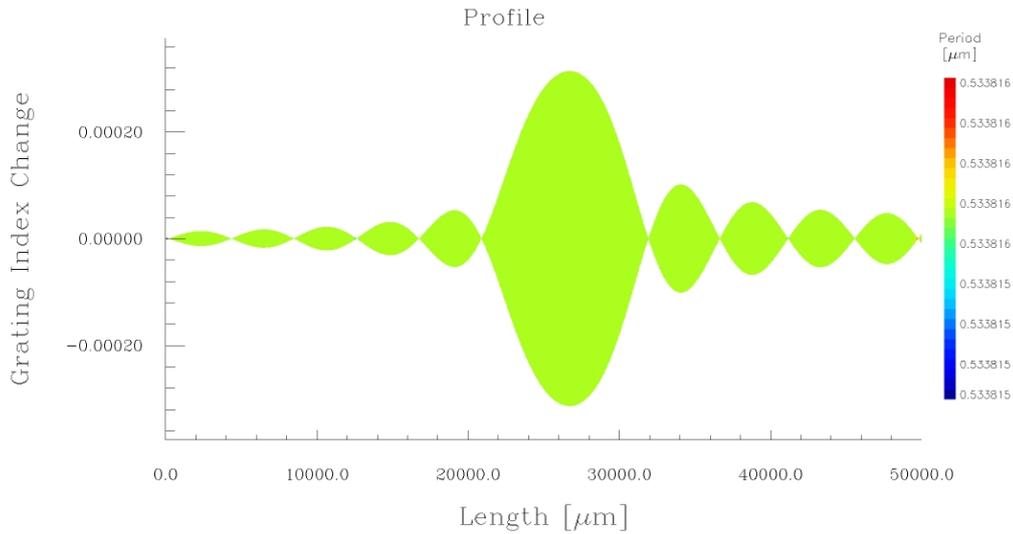


Fig IV-15 : le profil de réseau original

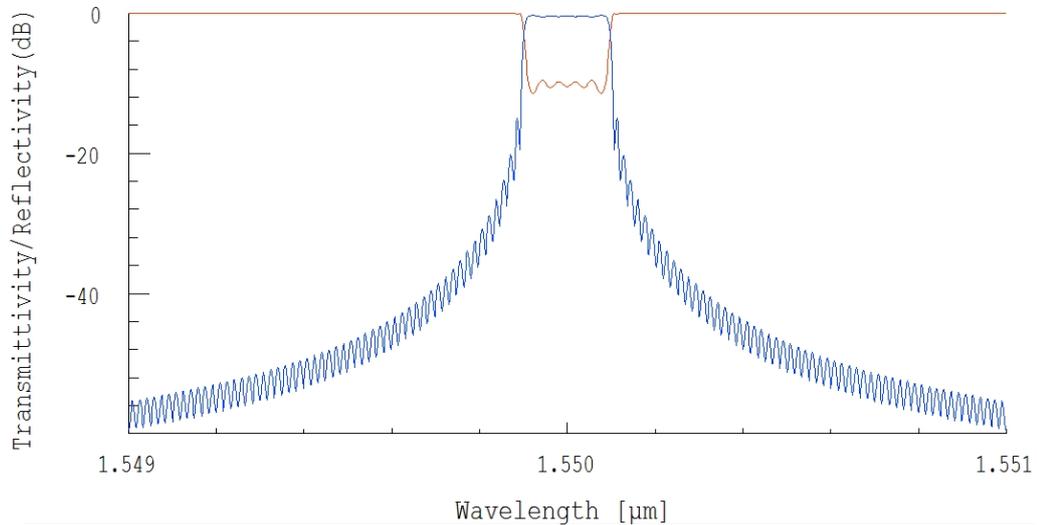


Fig IV-16 : le signal transmis et réfléchi

Après avoir ouvert le fichier, on vérifie les caractéristiques et les paramètres de réseau original le profil et la puissance (le signal transmit et réfléchi), et on va essayer de reconstruire ce réseau choisi dans cette simulation suivant les étapes ci-après :

Chapitre IV

- ❖ Sélectionner Tools > et exporter le spectre complexe et cocher le bouton réflexion (reflection1).

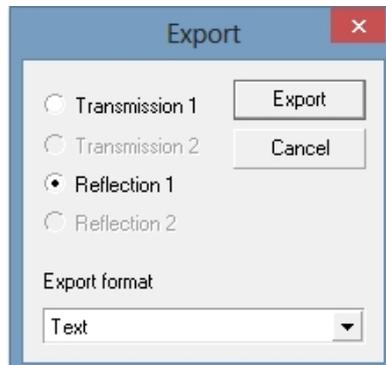


Fig IV-17 : exporter le signal complexe

- Cliquer sur le bouton export, sauvegarder et nommer le fichier.
 - fermer le réseau original.
- ❖ Dans cette étape on essaie de récupérer les paramètres de notre réseau reconstruire le réseau.
 - Ouvrir (créer) un nouveau projet et sélectionner single fiber.

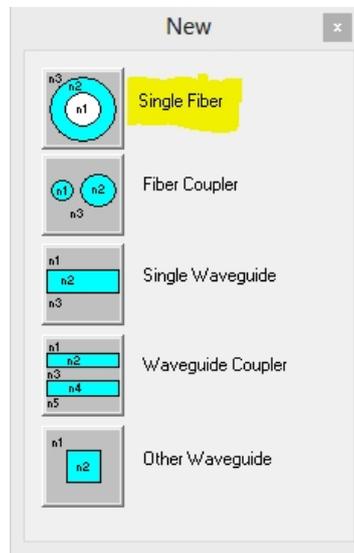


Fig IV-18 : ouvrir un nouveau projet

- Cliquer sur Calculations > Inverse Scattering Solver pour avoir la résolution inverse de problème (Inverse Problem Solver).
- Chercher le placement de notre fichier enregistré.

Chapitre IV

- On voit les paramètres de réseau par exemple la longueur, on suppose que la longueur de notre réseau est connu $50000\mu\text{m}$, mais nous somme libre de varier la longueur.
- choisir différentes longueur ($20000\mu\text{m}$ - $50000\mu\text{m}$) et appuyant sur le bouton « causality » pour vérifier le spectre.
- cliquer sur Start.

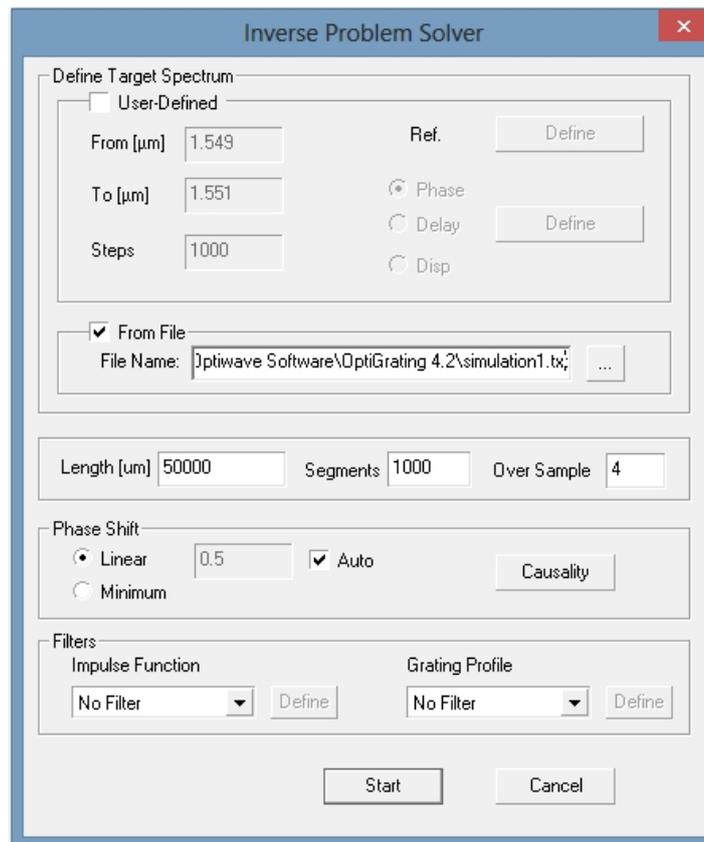


Fig IV-19 : la résolution inverse de problème

D'après la Fig(IV-20) lorsqu'on a choisi $20000\mu\text{m}$ on remarque que le spectre n'est pas reconstitué complètement alors il faut varier la longueur de réseau. On fait varier la longueur de réseau (choisir différentes longueurs) $25000\mu\text{m}$ $30000\mu\text{m}$ $35000\mu\text{m}$ $40000\mu\text{m}$ on voit que toujours le spectre n'est pas reconstitué complètement. Mais avec la longueur de $50000\mu\text{m}$ on remarque que le signal est complètement reconstruit (alors c'est la longueur du spectre original) comme montre la Fig(IV-21). alors cette longueur c'est la longueur adéquate.

Chapitre IV

- Après cette vérification on ferme lafenêreet voir le prof
- Cliquant sur Start

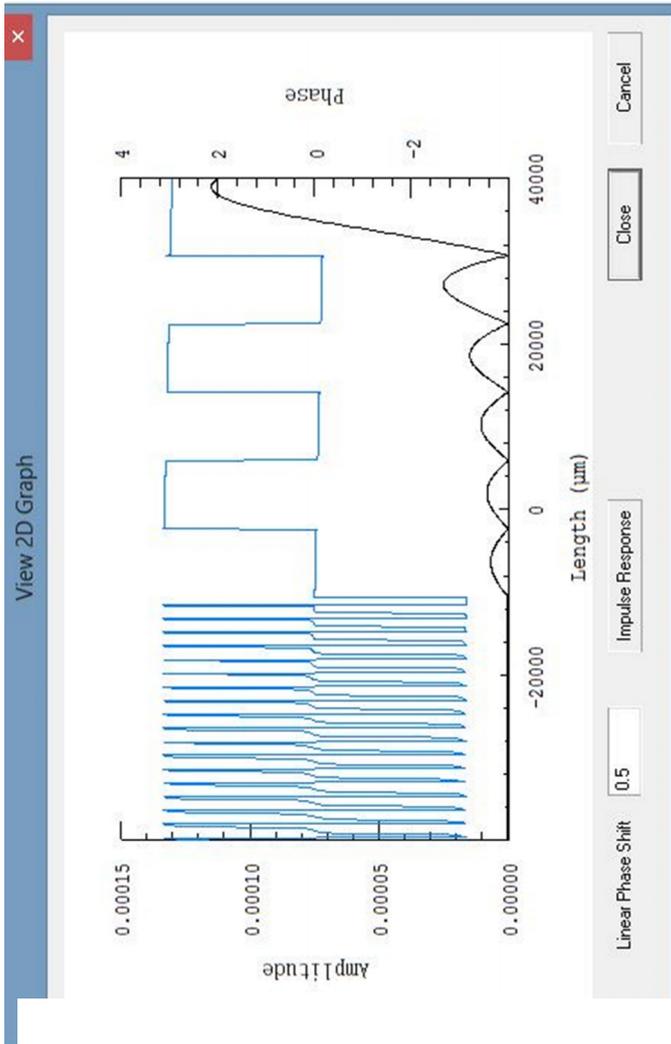


Fig IV-20 : vérification du spectre avec une longueur 20000 μm

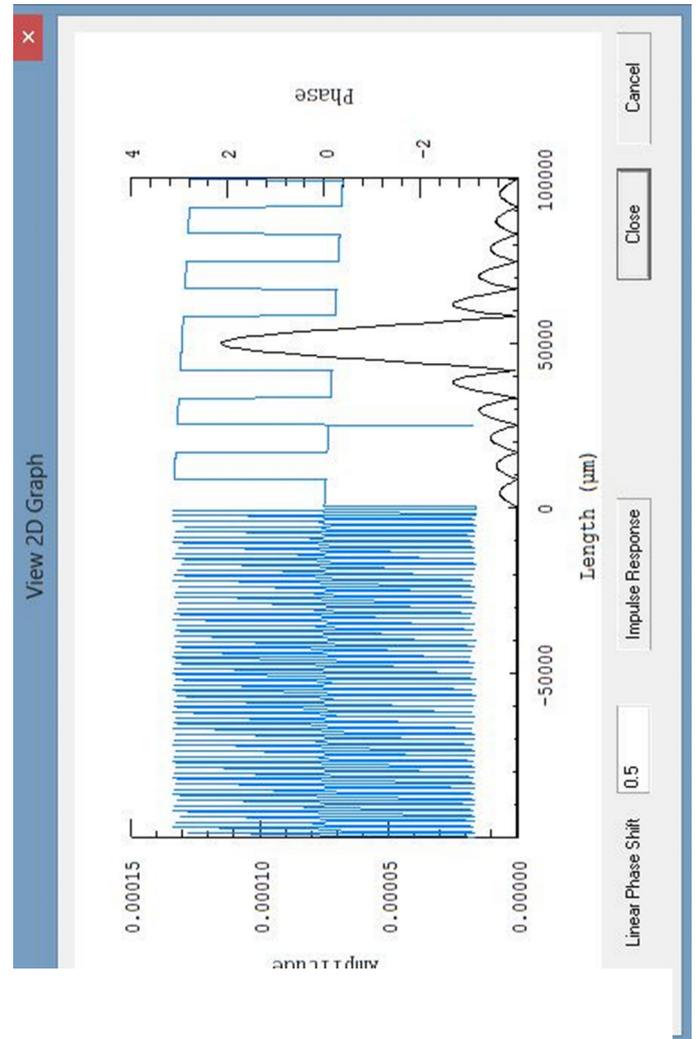
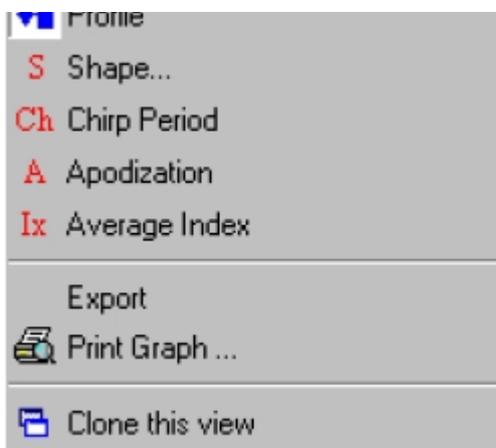


Fig IV-21 : vérification du spectre avec une longueur 50000 μm



Fig(IV-19) aller au profil et bouton droit de la souris.

Apparaitre cette Fig on clique sur Profil pour visualiser le profil de notre réseau.

Chapitre IV

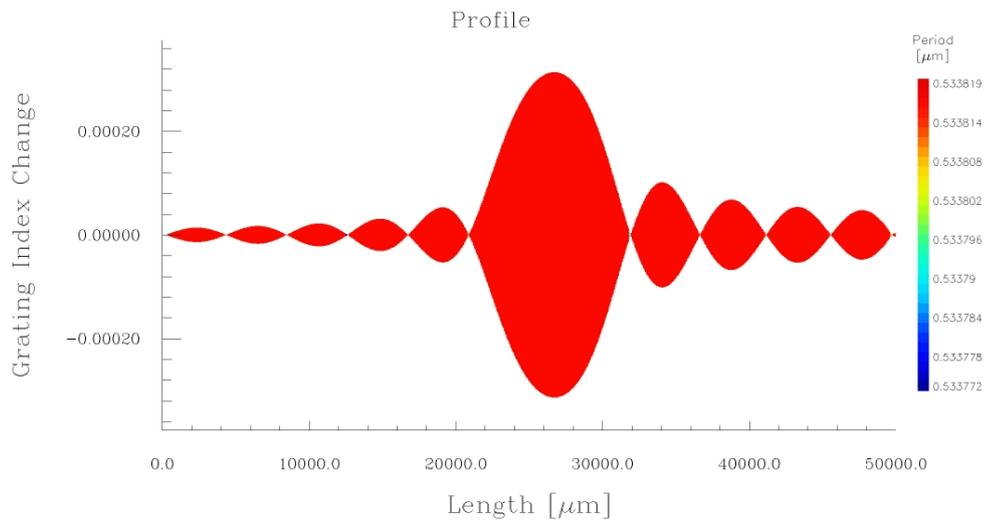


Fig IV-22 : le profil de réseau reconstruit

Lorsque on visualise le profil de signal reconstruit(Fig IV-22) et on le compare avec le profil de signal original (Fig IV-15) on constate que les deux profils sont identiques alors on a récupéré notre signal.

IV-5 : Filtres :

Parmi les applications des réseaux de Bragg, on trouve les filtres optiques (filtre pass-bande) alors on va simuler un réseau de Bragg comme filtre donc nous allons suivre les étapes suivantes :

- Créer un nouveau projet « new file ».
- Choisir une fibre monomode « single fiber ».
- Cliquer sur « calculation » se sélectionner « inverse problemsolver » comme montre la Fig(IV-23).
- Cocher « user-defind ».
- Définir la largeur de notre spectre.
- Cliquer sur « Define » et choisir la bande passante souhaitée [BW] illustré à la Fig(IV-24) on clique sur OK et Start pour visualiser le signal.

Chapitre IV



Fig IV-23 : la résolution inverse de problème

On peut définir la largeur de spectre dans cette simulation on a choisi (1.549 μm -1.551 μm).

cliquer sur « Définir » pour choisir la largeur de filtre comme montre la fig(IV-24) dans notre exemple BW=0.0003 μm .

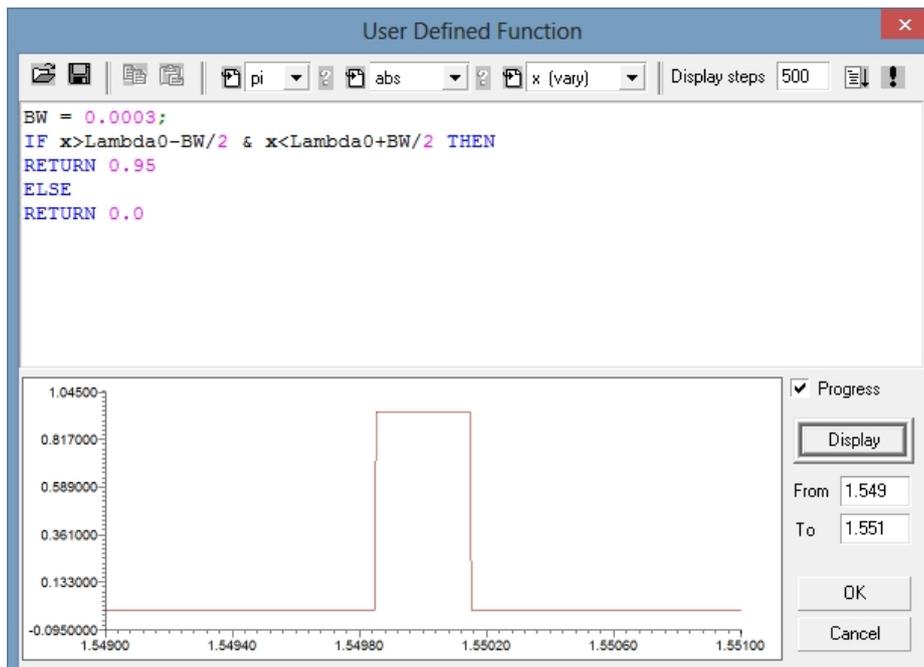


Fig IV-24 : choisir la bande passante

Chapitre IV

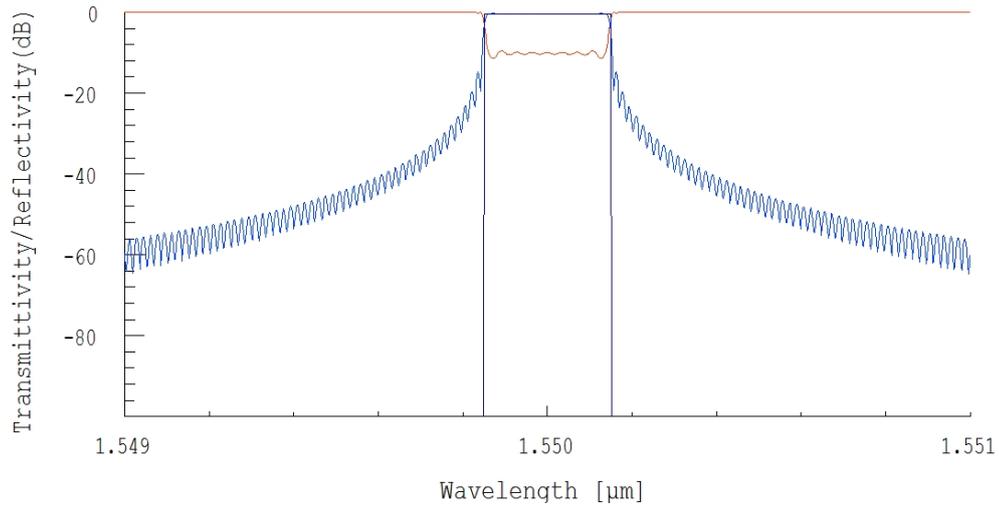


Fig IV-25 : le signal transmis et réfléchi avec le filtre

CONCLUSION :

Le logiciel OptiGrating est un outil très puissant dans la mesure où il nous permet d'effectuer plusieurs essais sans réaliser les capteurs et de fixer les paramètres et de faire varier la température. Donc on a pu simuler deux types de capteurs à réseaux de Bragg (capteur à long pas et capteur à petit pas) et voir quelle est la différence entre les deux.

Finalement, on peut conclure que la température varie linéairement avec la longueur d'onde pour les deux types de capteur.

Conclusion générale

L'objectif de ce projet est d'étudier les capteurs à réseau de Bragg et de simuler ces capteurs à l'aide de logiciel OptiGrating.

A l'issue de ce travail, on peut dire que le réseau de Bragg est un outil récent et important pour la réalisation des composants tout optiques.

Pour bien mener ce projet on a commencé par une recherche bibliographique sur les fibres optiques on a pu avoir une idée sur l'intérêt que donne ce support de transmission ainsi que les différents problèmes qu'il pose.

Ensuite, une recherche sur les réseaux de Bragg nous a permis de savoir ce que c'est un réseau de Bragg, ses utilisations et ses avantages. On a aussi présenté les différents types de réseaux et l'application de chaque type.

Les simulations réalisées à l'aide du logiciel OptiGrating nous ont permis de voir comment la longueur de Bragg se déplace lorsque la température varie.

On a vu que la variation de température est proportionnelle à la longueur de Bragg pour les capteurs à petit pas, et aussi proportionnelle pour les capteurs à long pas.

Pour la réalisation d'un capteur, il suffit de réaliser un échantillon de réseaux de Bragg et de faire varier la température entourant le réseau de Bragg, grâce à un analyseur de spectre, on peut relever soit le signal réfléchi ou/et le signal transmis pour mettre en évidence les phénomènes mais à condition d'avoir le matériel adéquat pour le tester.

Bibliographie :

- [1] : **BENADDOUN.Ahmed** « Etude des capteurs à réseaux de Bragg » Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master ENP 2013.
- [2] : **OUALI.Issam** « ETUDE ET SIMULATION DES EFFETS DISPERSIFS DANS LA FIBRE OPTIQUE POUR DES TRANSMISSIONS A HAUT DEBIT ET LONGUE DISTANCE » Projet fin d'étude ENP 2007.
- [3] : **Ivan Kaminow/Tingye Li** « OPTICAL FIBER TELECOMMUNICATION »
- [4] : **CHERBI_BAZI.Lynda** « Propagation et caractérisation des fibres optiques », Thèse de Doctorat ENP 2007.
- [5] : **GOURMALA Ouassila**, « Etude et Réalisation des Réseaux de Bragg pour des Applications Photoniques », mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2006
- [6]: **DRIDI Kais**, “Réalisation des réseaux de Bragg à long pas ”, projet de fin d'études, université de Moncton, 2006.
- [7]: « Dispersion_chromatique_Optronique ».
- [8]: « Mesures sur les fibres optiques ». Université Toulouse 3.
- [9]: « les fibres optiques ». Eing2120-7.
- [10]: **FERDINAND Pierre**, « Capteurs à fibre optique à réseaux de Bragg, » Techniques de l'ingénieur.
- [11]: **T. Erdogan** « fiber grating spectra » IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 15, pp. 1277–1294, 1997.
- [12]: **B. Malo, S. Theriault, D.C. Johnson, F. Bilodeau, J. Albert et K. O. Hill** «Apodised in-fibre Bragg grating reflectors photo-imprinted using a phase mask », Electron. Lett. vol. 31, p. 223-225, 1995.
- [13]: **OTHONOS A**, «Fiber Bragg Grating», Rev. Sci. Instrum .68, December 1997.
- [14]: **HÉNAFF Jeannine, VERRIER Isabelle**, « Composants à base de fibres optiques », Laboratoire H. Curien UMR 5516 Université de Saint-Étienne, 2012.
- [15]: **T.E.MURPHY**, « Design, fabrication and measurement of integrated Bragg grating optical filters », Doctor of philosophy at the MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, February 2001.
- [16]: **I.RIANT**, «Fiber Bragg grating for optical telecommunication», C.R.Physique , 2003.
- [17] **R.Romero, O.Fraza, F.Floreni, L.Zhang, PVS.Marques, H.M.Salagdo**, «Chirped Fiber Bragg grating based multiplexing and demultiplexer for DWDM applications», Optics and Lasers in Engineering 43 (2005).

- [18] **A.IOCCO**, « Tunable fiber Bragg grating filters », thèse de doctorat , Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, 1999.
- [19]: **P. J. Lemaire, T. Erdogan**, « Hydrogen-enhanced UV photosensitivity of optical fibers: Mechanisms and reliability», OSA conference, BGPP'9 5, Paper SuA4-1, 1995.
- [20]: **BICHLER.Anthony** « Modélisation et simulation de la propagation optique dans une fibre optique multimode précontrainte. Conception de capteurs à fibre optique à modulation d'intensité dédiés à la mesure de températures et d'étirements. » Thèse doctorat, Université de Strasbourg, 2011.
- [21]: **MEHENNI Mohamed** « Cours 4^{ème} année optoélectroniques ».Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2012.
- [22]: **OptiGrating** User's Reference and Tutorials, integrated and Fiber Optical Gratings Design Software.2008 Optiwave.
- [23]: **Raman Kashyap** « Fiber Bragg Gratings ».
- [24]: **Francis T.S.YU,ShizhuYin** « Fiber Optic Sensors» University Park, Pennsylvania.
- [25]: **John Crisp** « Introduction to Fiber Optics » 2nd Edition.
- [26]: **D. M. Meghavorian ET A. V. Daryan**, "Superimposed fiber Bragg grating simulation by the method of single expression for optical CDMA systems", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, no. 11, p.1546-1548, 2003.
- [27] : **CAUCHETEUR Christophe** : techniques de l'ingénieur « Introduction aux capteurs à fibre optique » Docteur en sciences de l'ingénieur, Chercheur qualifié du F.R.S.-FNRS à la Faculté Polytechnique de l'université de Mons. Date de publication : 10/09/2012
- [28] **Lecoy. P**, « télécommunications optiques », Editions Hermes, 1992.
- [29] **Cherbi.L, Mehenni,M** « modélisation de la dispersion modale de polarisation dans les fibres optiques », 19^{ième} colloque international Optique Hertzienne et Diélectriques (OHD 2007), pp 166, Valence, France 2007.
- [30] **UNGAR S., (1989)**, « Fibres Optiques », Dunod.