

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بلجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingéniorat
Département : Electronique
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Electronique
Spécialité : Systèmes des télécommunications

Mémoire
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Thème:

**Impact de la forme de modulation d'indice sur les
caractéristiques de sortie des FBGs**

Présenté par : *Mohamed Salah GUESSOUM*

Encadrant : *Fatima BRIK*

MCA

UBM Annaba

Jury de Soutenance :

Kaddour SAOUCHI	Professeur	UBMA	Président
Fatima BRIK	MCA	UBMA	Encadrant
Sadek Lafifi	Professeur	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

في هذا العمل، تمت دراسة تأثير نموذج تعديل الفهرس على الاستجابة الطيفية لـ FBG نظريًا عن طريق المحاكاة، باستخدام محاكي "Grating Mod" من برنامج Rsoft Photonics CAD ؛ الذي يقوم على نظرية الأنماط المزدوجة. ألياف Bragg المحززة (FBG) عبارة عن هيكل يتكون عن طريق تعديل معامل الانكسار لنواة الألياف، ويتم ذلك عمليًا عن طريق إضاءة الألياف الضوئية بالأشعة فوق البنفسجية. تم عرض وتحليل تأثير شكل تعديل الفهرس للشبكات المنتظمة وغير المنتظمة. من أجل استخدام هذا الجهاز لتقسيم الطول الموجي (WDM)، قمنا بفحص كيفية اختلاف عرض وشكل الطيف الناتج مع خصائص المرشحات، لذا فإن النتائج التي تم العثور عليها تؤكد استخدام شبكات حواجز شبكية. مرشح انتقائي، وحواجز شبكية Bragg غير موحدة كمرشحات واسعة النطاق لتعدد إرسال الطول الموجي. الكلمات الرئيسية: FBG، تعديل الفهرس، تعديل الشبكة، مضاعفة الطول الموجي.

Abstract

In this work, the impact of the index modulation shape on the spectral response of a FBG is studied theoretically by simulations, using the 'Grating Mod' simulator of the Rsoft photonics CAD software ; which is based on the coupled mode theory.

A Bragg grating fiber (BGF) is a structure formed by modulating the refractive index of the fiber core, practically by illuminating the optical fiber with ultraviolet radiation.

The influence of the form of index modulation for uniform and non-uniform gratings has been presented and analyzed.

In order to use this device for wavelength division multiplexing (WDM), it was examined how the width and shape of the output spectrum vary with the characteristics of the filters, so the results found confirm the use of uniform Bragg gratings as a selective filter, and non-uniform Bragg gratings as broadband filters for wavelength division multiplexing.

Keywords: FBG, Index modulation, Grating Mod, WDM

Résumé

Dans ce travail, l'impact de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale d'une FBG est étudié théoriquement par des simulations, en utilisant le simulateur 'Grating Mod' du logiciel Rsoft photonique CAD ; qui est basé sur la théorie des modes couplés.

Une fibre à réseau de Bragg (FBG) est une structure formée par la modulation de l'indice de réfraction du cœur de la fibre, pratiquement cela est fait, en illuminant la fibre optique par un rayonnement ultraviolet.

L'influence de la forme de modulation d'indice pour les réseaux uniformes et non uniformes a été présenté et analyser.

En vue d'utiliser ce dispositif pour le multiplexage en longueur d'onde (WDM), on a examiné comment varient la largeur et la forme du spectre de sortie avec les caractéristiques des filtres, ainsi les résultats trouvés confirment l'utilisation des réseaux de Bragg uniformes comme un filtre sélectif, et les réseaux de Bragg non uniformes comme des filtres large bande pour le multiplexage en longueur d'ondes.

Mots clés: FBG, Modulation d'indice, Grating Mod, WDM

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie Dieu qui m'a éclairé sur mon chemin et m'a donné patience, volonté et courage pour mener à bien ce projet.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mes parents qui m'ont toujours encouragé,

Il m'est impossible de trouver des mots pour leur remercier pour tout ce qu'ils ont fait. Et aussi à ma petite sœur

*Je remercie à Madame **BRIK FATIMA** qui a encadré cette Mémoire, pour ses conseils, pour ses efforts et sa gentillesse tout au long de ces années.*

*Je remercie les différents membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer mon travail : Monsieur **K.SAOUCHI** et **S.Lafifi** Professeurs du département d'Électronique, Université **BADJI MOKHTAR** de Annaba, qui nous ont fait l'honneur de participer au jury.*

*Je veux remercier aussi et l'ensemble des enseignants qui ont assuré notre formation durant toutes ces années d'étude, A tous nos enseignants et membres du département d'électronique de l'université **MOKHTAR ANNABA BADJI***

Dédicaces

Je remercie Dieu pour tout ce qu'il m'a donné

Pour compléter cette mémoire je dédie à :

Mes chers parents qui m'ont soutenu toute ma vie

Et chère sœur,

A tous mes proches et amis.

Guessoum Salah....

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau (2.1)	Différente Structure d'une fibre de Bragg (Uniforme, chirpé, apodisé)	19
Tableau (3.1)	Réponse spectrale de la FBG à pas constant avec une modulation d'indice de forme sinusoïdale et rectangulaire	25
Tableau (3.2)	Valeurs du coefficient de réflexion en fonction du coefficient Chirp	32

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure (1.1)	Structure d'une Fibre à Réseau Bragg	3
Figure (1.2)	Principe de fonctionnement de FBG	4
Figure (1.3)	Forme du profil d'indice uniforme suivant la direction de propagation d'un réseau à pas constant	5
Figure (1.4)	L'amplitude de variation de l'indice de réfraction	5
Figure (1.5)	Profil d'indice du réseau à pas variable	7
Figure (1.6)	Le profil de l'indice de modulation d'un réseau à saut de phase	8
Figure (1.7)	Le profil de l'indice du réseau à modulation inclinée	9
Figure (1.8)	Principe d'une liaison WDM/DWDM	9
Figure (2.1)	Couplage des modes dans une fibre	12
Figure (2.2)	Propagation des champs à travers la fibre à réseau de Bragg	14
Figure (2.3)	Boite de dialogue GratingMOD Generator	16
Figure (2.4)	Tableau de l'éditeur des symboles	17
Figure (2.5)	Boite de dialogue de GratingMOD simulation	18
Figure (2.6)	Éditeur de fonction pour Grating Taper	19
Figure (3.1)	Amplitude de la variation d'indice sous plusieurs Formes : a) Wire Frame, b) Height Coded, c) Contour Map	22
Figure (3.2)	Réponse spectrale d'un réseau de Bragg uniforme : a) la transmission b) la réflectivité	23
Figure (3.3)	Fenêtre de l'éditeur des fonctions	24
Figure (3.4)	Réponse spectrale du réseau uniforme obtenue pour les deux formes du profil d'indice (En rouge la forme rectangulaire, en noir la forme sinusoïdale)	26
Figure (3.5)	Editeur des fonctions	27
Figure (3.6)	Amplitude de la variation d'indice pour le réseau de Bragg non uniforme	28
Figure (3.7)	Réponse spectrale de la FBG du réseau non uniforme	29
Figure (3.8)	Forme des différentes fonctions utilisées pour décrire l'apodisation du réseau non uniforme (le Blackman, cosinus surélevé et le cosinus).	30
Figure (3.9)	Réponse spectrale d'une FBG à pas variable pour différentes forme de la fonction d'apodisation	31

Figure (3.10)	Réponse spectrale d'une FBG à pas variable pour différentes valeurs de coefficient chirp	32
Figure (3.11)	Variation du coefficient de réflexion R en fonction de coefficient chirp. (Courbe de simulation en noir, courbe de fitage en rouge)	34

LISTE DES ABREVIATIONS

FBG : Fibre Bragg Grating (Fibre à réseau de Bragg)

WDM : Wavelength-Division Multiplexing (Multiplexage en longueur d'onde)

FO : Fibre Optique

ITU : L'union Internationale de Télécommunication

DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing

UDWDM : Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing

CWDM : Coarse Wavelength Division Multiplexing (Multiplexage par division de longueur d'onde grossière).

SMF : Single Mode Fibre

MMF : Multimode Fibre

Table des matières

Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Table des matières	
INTRODUCTION GENERALE	1
 Chapitre 1 : La Physique de Réseaux de Bragg	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Le réseaux de Bragg (structure et principe).....	3
1.3 Techniques de fabrication des Réseaux de Bragg.....	4
1.4 Classification des réseaux de Bragg.....	4
1.4.1 Réseau de Bragg uniforme.....	5
1.4.2 Réseau de Bragg apodisé.....	5
1.4.3 Le Réseau de Bragg à pas variable.....	7
1.4.4 Réseau de Bragg à saut de phase.....	8
1.4.5 Les réseaux de Bragg à traits inclinés.....	8
1.5 Principe du WDM (Multiplexage en Longueur D'onde).....	9
1.6 Conclusion.....	11
 Chapitre 2 : Présentation du module Grating Mod et design de la structure simulée	
2.1 Introduction.....	12
2.2 Théorie des modes couplés	12

2.3 Présentation du module Grating Mod.....	15
2.3.1 GratingMod Layout Generator.....	15
2.3.2 Caractéristiques du Grating Mod.....	15
2.4 Design de la FBG via le Grating Mod.....	16
2.4.1 Etapes à suivre pour la simulation.....	16
2.4.2 Définition du profil de modulation d'indice.....	18
2.5 Conclusion.....	20

Chapitre 3 : Influence de la forme de modulation d'indice sur le spectre de sortie

3.1 Introduction.....	21
3.2 Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniformes.....	21
3.2.1 Résultats de simulation obtenus pour le réseau de Bragg uniforme.....	21
3.2.2 Influence de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale du réseau de Bragg uniforme.....	24
3.3 Analyse par simulation des réseaux de Bragg non uniformes.....	27
3.3.1 Résultats de simulation obtenus pour le réseau Bragg non uniforme.....	28
3.3.2 Influence de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale du réseau non uniforme.....	30
CONCLUSION GENERALE.....	36

Bibliographies

Introduction Générale

Le développement continu et croissant des systèmes de communication optiques à grande vitesse et de la technologie de multiplexage en longueur d'onde, a nécessité la création de nouveaux composants de fibres optiques et dispositifs sélectifs en longueur d'onde [1].

Le multiplexage en longueur d'onde (WDM), consiste à utiliser plusieurs longueurs d'ondes pour transporter plusieurs canaux sur la même fibre optique, ce qui a permis d'augmenter la capacité de transmission tout en gardant le réseau existant.

Les méthodes de multiplexage font appel à une fonction indispensable qui est le filtrage, qui a pour rôle la sélection d'un canal parmi plusieurs porteuses du Multiplexeur.

Parmi les technologies existantes pour réaliser des filtres optiques, nous citons : le Fabry-Pérot [2], le Phasar [3], et le réseau de Bragg [4].

Ces dernières années, l'utilisation des réseaux de Bragg comme filtres pour le multiplexage en longueur d'ondes appliqués en télécommunications par fibres optiques, ont suscité un grand intérêt.

Le fonctionnement des réseaux de Bragg, consiste en la modification de l'indice de réfraction du cœur de la fibre optique, ceci permet d'établir ou non une structure périodique caractérisée par la sélectivité de certaines longueurs d'onde spécifiques. Cette modulation d'indice peut avoir plusieurs formes.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à la simulation d'une FBG, et ceci en étudiant l'impact de la forme de modulation d'indice sur les caractéristiques de sortie.

Pour effectuer les différentes simulations de la réponse spectrale des réseaux de Bragg étudiés dans ce mémoire, on a utilisé le module Grating Mod du logiciel commercial Rsoft. Ce logiciel est basé sur la théorie des modes couplés, et optimisé pour effectuer un calcul rapide et fiable de la réponse spectrale d'un réseau de Bragg, que l'on définit d'une manière relativement simple.

Nous avons étudié l'influence de la forme de modulation d'indice sur les caractéristiques de sortie, pour les réseaux de Bragg uniformes et non uniformes (avec plusieurs fonctions mathématiques).

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités liées à la physique de la FBG, nous

décrivons sa structure, son principe de fonctionnement, ses dérivés ainsi que ses applications. Nous aborderons aussi la notion du multiplexage en longueur d'ondes (WDM).

Le deuxième chapitre va nous permettre de présenter l'outil de simulation utilisé, ainsi que la méthode de résolution pour le Gating Mod, qui est celle des modes couplés.

Le troisième chapitre est entièrement consacré aux résultats de simulations obtenus, et plus particulièrement à l'impact de la forme de modulation d'indice sur les caractéristiques de sorties, des réseaux de Bragg uniformes et non uniformes (apodisé et chirpé).

Enfin, une conclusion générale sur l'ensemble du travail est effectuée.

Chapitre I

La Physique des Réseaux de Bragg

1.1 Introduction

Dans ce chapitre on va s'intéresser aux réseaux de Bragg, ces derniers attirent tant qu'industriels que chercheurs à travers le monde grâce à leurs diverses applications.

Nous allons d'abord présenter la définition des réseaux de Bragg ainsi que leur principe de fonctionnement, ensuite nous présenterons les réseaux de Bragg Photo-inscrits, et enfin nous énumérons les différents types des réseaux de Bragg selon la modulation d'indice.

1.2 Le réseau de Bragg (structure et principe)

Le réseau de Bragg est un changement permanent de l'indice de réfraction d'une fibre optique

En effet, cette modification d'indice s'obtient par exposition du cœur de la fibre à une intense lumière, créée à partir d'un laser ultraviolet. Cette exposition a pour effet d'augmenter l'indice de réfraction des régions exposées aux fortes intensités, d'où on parle d'une modulation d'indice [5].

Les premiers réseaux inscrits à l'intérieur d'une fibre optique ont été produits en 1978, à Ottawa au centre de recherches sur les communications par Hill et al. [5]

La figure (1.1) montre la structure d'une FBG (fibre Bragg Grating).

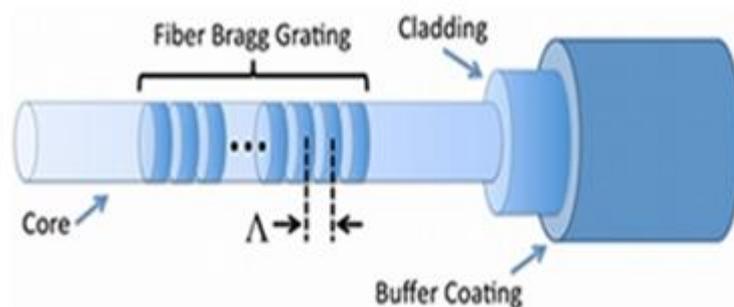


Figure (1.1) : Structure d'une Fibre à Réseau de Bragg

Quand la lumière se propage dans la fibre, le réseau réfléchit les longueurs d'onde qui vérifient la relation (dite de Bragg) :

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1.1)$$

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

n_{eff} : est l'indice effectif du mode fondamental (dans le cœur de la fibre).

La figure (1.2) illustre le principe de fonctionnement qui est basé sur le phénomène de diffraction et de l'interférence de la lumière. Dans la structure FBG, à chaque variation d'indice (interface), une faible fraction de la lumière incidente est réfléchiée (réflexion de Fresnel) [6]. La totalité de la lumière réfléchiée se recombine par interférence constructive à une longueur d'onde particulière, appelée longueur d'onde de Bragg λ_B . Cette la longueur d'onde est obtenue lorsqu'un fort couplage entre les modes de propagation se produit.

Les propriétés spectrales de la bande réfléchiée (ou transmise), peuvent être choisies volontairement. Elles ne dépendent que des paramètres physiques du réseau, en particulier de l'indice de réfraction.

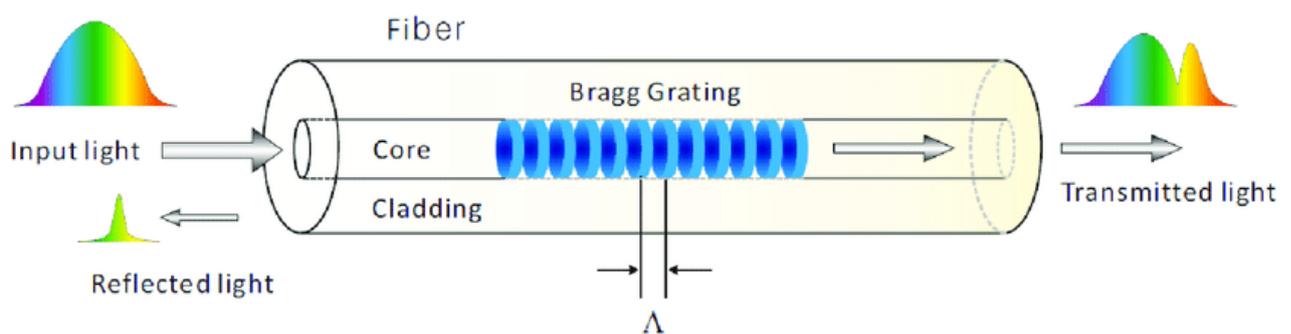


Figure (1.2) : Principe de fonctionnement de la FBG

1.3 Techniques de fabrication des Réseaux de Bragg

En ce qui concerne les procédés de fabrication, il existe actuellement principalement trois techniques de base qui permettent d'obtenir la modulation d'indice nécessaire avec la plus grande précision. Interférométrie (ou technique holographique) [7], technique point par point [8], méthode du masque de phase [9]. Il convient de noter que chaque stratégie a ses propres avantages et inconvénients. Par rapport aux méthodologies utilisées, cependant, l'approche du masque de phase présente plusieurs avantages.

1.4 Classification des réseaux de Bragg

Plusieurs types de réseaux de Bragg peuvent être gravés sur la fibre optique, cependant ils diffèrent les uns des autres selon le profil de l'indice de réfraction, qui est décrit selon plusieurs fonction mathématiques, ainsi on trouve :

1.4.1 Réseau de Bragg uniforme

Dans ce type de réseau la période est constante dans toute la longueur du réseau. Figure (1.3).

La modulation d'indice de réfraction varie suivant une fonction quasi-sinusoïdale sur une section de longueur L du cœur de la fibre optique, le profil de l'indice de réfraction s'écrit de la forme générale suivante [10] :

$$n(z) = n_0 + \left(\frac{\delta n(z)}{2}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} Z\right) \quad (1.2)$$

Où : z est l'abscisse le long de la fibre optique. En dehors de segment L du réseau, l'indice vaut l'indice moyen n_0 de la fibre optique], Λ est la période de modulation.

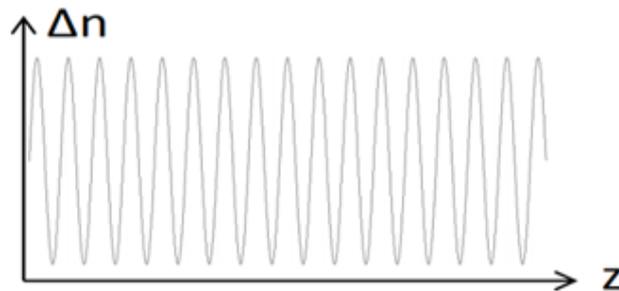


Figure (1.3) : Forme du profil d'indice uniforme suivant la direction de propagation d'un réseau à pas constant

1.4.2 Réseau de Bragg appodisé

L'appodisation dans le réseau montre que le changement d'indice de réfraction est modulé le long de la direction de propagation du réseau à chaque période. Figure (1.4)



Figure (1.4) : L'amplitude de variation de l'indice de réfraction

Mathématiquement, la fonction de modulation de l'indice de réfraction du réseau est multipliée par la fonction d'apodisation.

L'effet de l'apodisation dans le modèle de réseau de Bragg peut être exprimé en fonction de z , $g(z)$ dans l'indice de réfraction [11]. L'indice de réfraction du réseau de Bragg apodisé peut être exprimé par la formule suivante :

$$n(z) = n_0 + \delta n_{dc} + \delta n_{ac}(z) g(z) \cos \left(\frac{2\pi}{\Lambda(z)} + \varphi(z) \right) \quad (1.3)$$

Où n_0 est l'indice de réfraction du cœur de fibre sans perturbation, δn_{dc} est la valeur moyenne de la modulation de l'indice, en général $n_0 \gg \delta n_{dc}$. $\delta n_{ac}(z)$ est l'amplitude de modulation de l'indice le long de la fibre, $g(z)$ est la fonction d'apodisation, $\varphi(z)$ est la phase du réseau, et Λ est la période du réseau de Bragg. Plusieurs fonctions d'apodisation qui peuvent être utilisées dans le programme de simulation. On peut également définir pour chacun de ces profils, dans la liste suivante [12] :

-Réseau non-apodisé :

$$g(z) = 1 \quad (1.4)$$

- Profil de la fonction de Gaussian :

$$g(z) = \exp [-4\ln(2)\left[\frac{z-\frac{L}{2}}{L}\right]^2], \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.5)$$

-Profil de la fonction de Raised-cosine :

$$g(z) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left[\frac{\pi \left(z - \frac{L}{2} \right)}{FWHM} \right] \right), \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.6)$$

FWHM (full-width-at-half-maximum) est la largeur à mi-hauteur typiquement égal L ;

- Profil de la fonction de Sinc :

$$g(z) = \frac{\sin \left[\frac{2\pi}{L} \left(z - \frac{L}{2} \right) \right]}{\frac{2\pi}{L} \left(z - \frac{L}{2} \right)}, \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.7)$$

- Profil de la fonction de Hamming :

$$g(z) = \frac{1 + x \cos \left(\frac{2\pi \left(z - \frac{L}{2} \right)}{FWHM} \right)}{1 + x}, \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.8)$$

- Profil de la fonction de Blackman :

$$g(z) = \frac{1+(1+x) \cos\left(\frac{2\pi(z-\frac{L}{2})}{FWHM}\right) + x \cos\left(\frac{4\pi(z-\frac{L}{2})}{FWHM}\right)}{2(1+x)}, \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.9)$$

- Profil de la fonction de Tangente Hyperbolique :

$$g(z) = \frac{\tanh\left[x\left(1-2\left|\frac{z-\frac{L}{2}}{L}\right|\right)\right]}{\tanh(x)}, \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.10)$$

- Profil de la fonction Super Gaussienne :

$$g(z) = \exp\left\{-\ln 2 \left[\frac{2(z-\frac{L}{2})}{FWHM}\right]^{2m}\right\}, \quad 0 \leq z \leq L \quad (1.11)$$

m est le nombre d'ordre Gaussien, il faut $m > 1$ pour avoir une fonction super gaussienne

1.4.3 Réseau de Bragg à pas variable (dite chirpé)

Dans ce type de réseau, la période augmente progressivement d'un pas à l'autre (Figure 1.5)

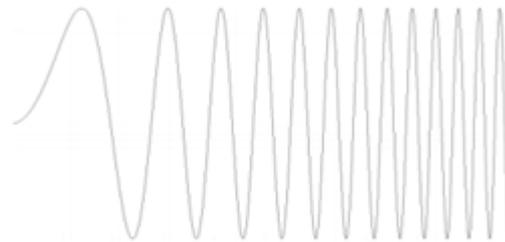


Figure (1.5) : Profil d'indice du réseau à pas variable

Un réseau "chirpé" est assimilable à un ensemble de sous réseaux concaténés, où chacun a sa propre période qui augmente suivant une fonction linéaire définie par :

$$\Lambda(z) = \Lambda_{init} + \Delta\Lambda \frac{z}{L} \quad (1.12)$$

Λ_{init} est la période initiale ($\Lambda_{Courtes} < \Lambda_{init} < \Lambda_{longues}$) et $\Delta\Lambda$ est le changement de période linéaire (la pente), L est la longueur totale du réseau.

On définit la longueur de Bragg centrale par :

$$\lambda_0 = 2n_{\text{eff}}\Lambda_0 = 2n_{\text{eff}}(\Lambda_{\text{courtes}} + \Lambda_{\text{longues}})/2 \quad (1.13)$$

1.4.4 Réseau de Bragg à saut de phase

Le réseau à saut de phase peut être considéré comme étant constitué de deux sous-réseaux adjacents S1 et S2, séparés par le saut de phase. Figure (1.6).

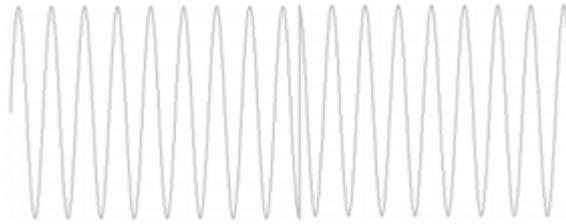


Figure (1.6) : Le profil de l'indice de modulation d'un réseau à saut de phase

La distance entre les deux sous-réseaux δL créé par un saut de phase \emptyset est donnée par la relation suivante [13] :

$$\delta L = \frac{\lambda_B}{4\pi n_{\text{eff}}} \emptyset \quad (1.14)$$

1.4.5 Réseaux de Bragg à traits inclinés

Le réseau de Bragg à traits inclinés est considéré comme un réseau-à pas courts, dans laquelle la modulation en indice est inclinée d'un angle θ par rapport à l'axe de propagation de la fibre optique, Ce type des réseaux présente une réponse spectrale plus compliqué que les réseaux uniformes. Figure (1.7) :

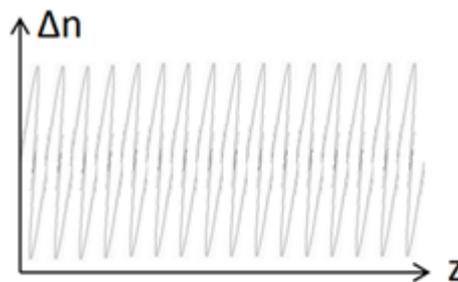


Figure (1.7) : Le profil de l'indice du réseau à modulation inclinée

La condition d'accord de phase est donnée par :

$$\lambda_{rés} = (n_{eff,cœur} + n_{eff,gaine}^m) \frac{\Lambda}{\cos\theta} \quad (1.15)$$

Où $\lambda_{rés}$ est la longueur de résonance, $n_{eff,cœur}$ l'indice effectif du mode se propageant dans le cœur et $n_{eff,gaine}^m$ est l'indice effectif du $m^{ième}$ mode de gaine.

1.5 Principe du WDM (Multiplexage en Longueur D'onde)

Le WDM consiste à utiliser des longueurs d'ondes distinctes pour transmettre différents signaux dans la même FO. Cette technologie a permis d'élargir le débit de transmission dans les liens point à point.

Plusieurs signaux générés indépendamment dans le domaine électrique sont convertis dans le domaine optique en utilisant des diodes lasers de différentes longueurs d'onde.

Les signaux résultants sont ensuite multiplexés et couplés à une FO. Dans le récepteur, un démultiplexeur sépare les différentes longueurs d'onde qui sont ensuite reconvertis vers le domaine électrique au moyen de photodiode [14]

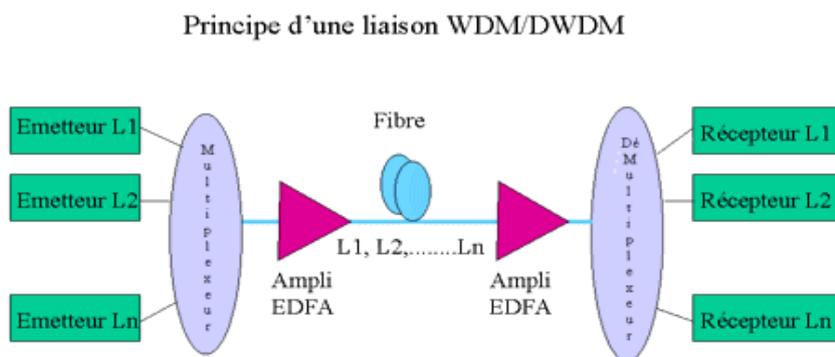


Figure (1.8) : Principe d'une liaison WDM/DWDM

La bande passante d'un système WDM peut s'élargir en accroissant soit le débit de chaque canal, soit le nombre de canaux.

Plutôt que de transmettre de l'information sur une seule longueur d'onde, on va utiliser plusieurs λ_f , et multiplier d'autant le débit de la liaison. De cette façon, on peut aisément augmenter le débit de transmission d'une FO sans avoir à la remplacer par une autre, il suffit simplement de disposer des émetteurs / récepteurs capables de distinguer les différentes longueurs d'onde utilisées.

L'union Internationale de Télécommunication (ITU), autorise l'utilisation de longueurs d'ondes comprises entre 1530 et 1565nm.

Le WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre longueurs d'ondes utilisable, cet intervalle peut être exprimé en nm ou en GHz.

Si cet intervalle est inférieur ou égale à 0.8nm, on parle de DWDM (Dense), des tests ont même été effectués avec des intervalles de 0.4 et 0.2 nm, où on parle alors de l'UDWDM (Ultra).

L'utilisation de 32 longueurs d'onde différentes sur une fibre optique à 10Gbits/s permet donc d'atteindre assez facilement un débit de 320Gbits/s.

Prochainement, lorsque 160 λ pourront être utilisées, la même fibre à 10Gbits/s pourra fournir un débit de 1.6Tbits/s.

Il existe une autre forme de WDM, moins performante, le CWDM (Coarse), la norme IUT permet au CWDM d'utiliser des longueurs d'ondes comprises entre 1270-1610nm respectivement espacées de 20nm, 18canaux au maximum sont utilisables.

Chaque type du WDM nécessite des FO et des émetteurs/ Récepteurs de lumière.

Dans la pratique, le WDM s'applique principalement avec des SMF tandis que le CWDM aux MMF.

1.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons pu définir la théorie et les concepts généraux des réseaux de Bragg.

Dans le chapitre qui suit, nous allons vous présenter l'application concrète de la structure faisant objet de cette étude, qui est le réseau de Bragg photo inscrits (FBG), et nous présenterons aussi et plus précisément le module GratingMOD du logiciel Rsoft Cad, destiné à leur simulation.

Chapitre II

***Présentation du module Grating Mod
et design de la structure simulée***

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la théorie des modes couplés ainsi que le logiciel utilisé Rsoft photonique et spécialement son module Grating mode.

Par la suite, on va voir les étapes à suivre pour simuler le réseau de Bragg avec différentes forme d'indice.

2.2 Théorie des modes couplés

Dans une fibre réelle (avec pertes), 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... 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. Or, il se trouve que le couplage entre ces modes contra-propagatifs peut être considérablement accru par une variation périodique induite de l'indice de réfraction, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'une structure non uniforme, figure (2.1)

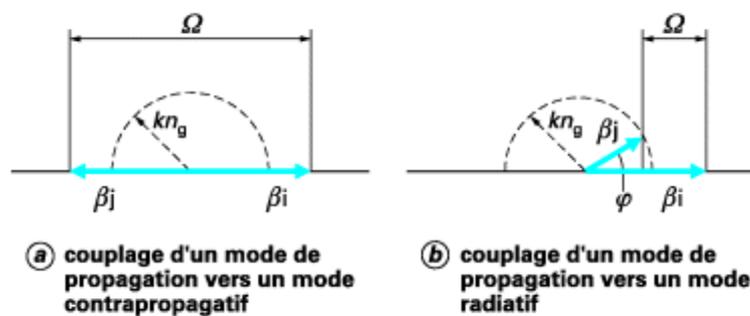


Figure (2.1) : Couplage des modes dans une fibre

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 :

$$|\beta_i - \beta_j| = \Omega \quad (2.1)$$

Avec :

$$\beta_i = 2\pi n_i / \lambda \quad (2.2)$$

Lorsque ces deux modes se propagent dans des sens opposés, on écrit $\beta_i + \beta_j = \Omega$ du fait que $\beta_i = -\beta_{-i}$. Si le couplage a lieu entre des modes guidés, les relations ci-dessus ne sont valables que pour des valeurs discrètes de Ω . A contrario, le couplage vers les modes radiatifs est moins strict puisqu'ils forment un continuum. La figure (2.1) illustre deux cas particuliers de couplage de modes qui vont nous intéresser pour les réseaux de Bragg. Il s'agit du couplage d'un mode de propagation :

- a) vers un mode contra-propagatif.
- b) vers un mode radiatif.

En ce qui concerne le couplage entre modes guidés contra-propagatifs, la condition de couplage est donc $\beta_i + \beta_j = \Omega$. En remplaçant ces trois termes par leur définition, on obtient aisément $\lambda = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$, avec n_{eff} indice effectif du guide pour le mode considéré.

Cette relation définit la longueur d'onde λ à laquelle a lieu le couplage pour Λ une période spatiale de « fluctuation » donnée. Dans le cas du couplage vers un mode radiatif, l'expression illustrée (figure 2.1.b) devient : $k n_g \cos \phi = \beta_i - \Omega$ avec $k = 2\pi/\lambda$ vecteur d'onde, d'où l'on tire :

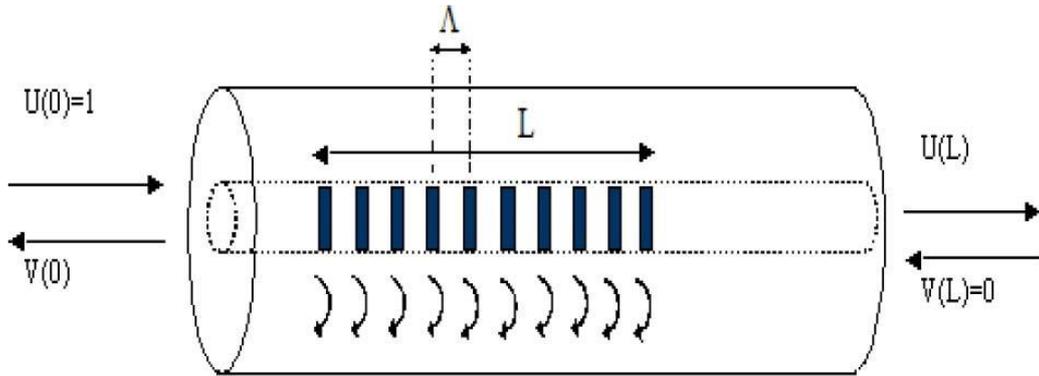
$$\lambda = (n_g \cos \phi - n_e) \Lambda. [4].$$

Considérons donc un réseau de Bragg avec L la longueur du réseau, Λ son pas, n_{eff} l'indice de réfraction du mode guidé, et λ_β longueur d'onde de Bragg, schématiquement illustré à la (figure 2.2) Elles se propagent dans l'axe optique de la fibre, ce qui permet de négliger les effets de polarisation dus à la structure de la fibre.

À partir de la théorie des modes couplés, on peut dériver le système d'équations bien connu décrivant l'évolution des amplitudes des champs $U(z)$ et $V(z)$ se propageant dans le réseau de Bragg donné par :

$$\frac{dU}{dz} = i\sigma(z)U(z) + ik(z)V(z) \quad (2.3)$$

$$\frac{dV}{dz} = -i\sigma(z)V(z) - ik(z)U(z) \quad (2.4)$$



(Figure 2.2) : Propagation des champs à travers la fibre à réseau de Bragg

Où $k(z) = \frac{\pi v(z) \Delta \bar{n}_{eff}(z)}{\lambda}$: représente le coefficient général du couplage alternatif (AC)

qui détermine l'échange d'énergie entre les modes tel que [15] :

$$\sigma = 2\pi n_{eff} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right) + \frac{2\pi \Delta \bar{n}_{eff}(z)}{\lambda} - \frac{1}{2} \frac{d\theta}{dz} : \text{représente le coefficient général du}$$

couplage moyen (DC) dont le premier terme donne la syntonisation initiale des deux modes indépendante de z , le second terme décrit la perte d'absorption dans le réseau et le troisième est un éventuel chirp dans le cas des réseaux à pas variable.

Le facteur de confinement est considéré égal à 0.8 (cas d'une fibre optique monomode).

2.3 Présentation du module Grating Mod

2.3.1 GratingMod Layout Generator

Le grating mod est un outil de conception général pour l'analyse et la synthèse complexes des différents mécanismes de couplage des différentes structures de réseau, y compris la fibre optique et le guide d'ondes intégré.

Il est basé sur la théorie de couplage de mode (CMT) [16]

2.3.2 Caractéristiques du Grating Mod

- Application de la condition de Bragg pour trouver la période à partir des modes spécifiques et d'une période spécifiée.
- Les modes optimaux sont utilisés pour réduire les erreurs.
- Un nombre arbitraire de réseaux à des positions arbitraires dans les structures à la fois en 2D et 3D peuvent être utilisés pour étudier les mécanismes du couplage.
- Les systèmes de réseaux multi-modes peuvent être analysés grâce à une mise en œuvre CMT multi-modes.
- Un outil de synthèse de pointe utilise une technique de synthèse à l'état de l'art pour résoudre le problème inverse.
- Les deux guides d'ondes et d'autres matériaux de dispersion peuvent être inclus.
- On peut déterminer le spectre transmis et réfléchi pour chaque mode.
- On peut calculer la phase en dispersion, et la temporisation.
- L'analyse spectrale et l'analyse de la condition de Bragg.

2.4 Design de la FBG via le Grating Mod

2.4.1 Etapes à suivre pour la simulation

a. Créer une structure

Pour concevoir la structure à simuler, allez dans "Utility" et sélectionnez "GratingMOD Grating Layout ", une boîte de dialogue apparaîtra.

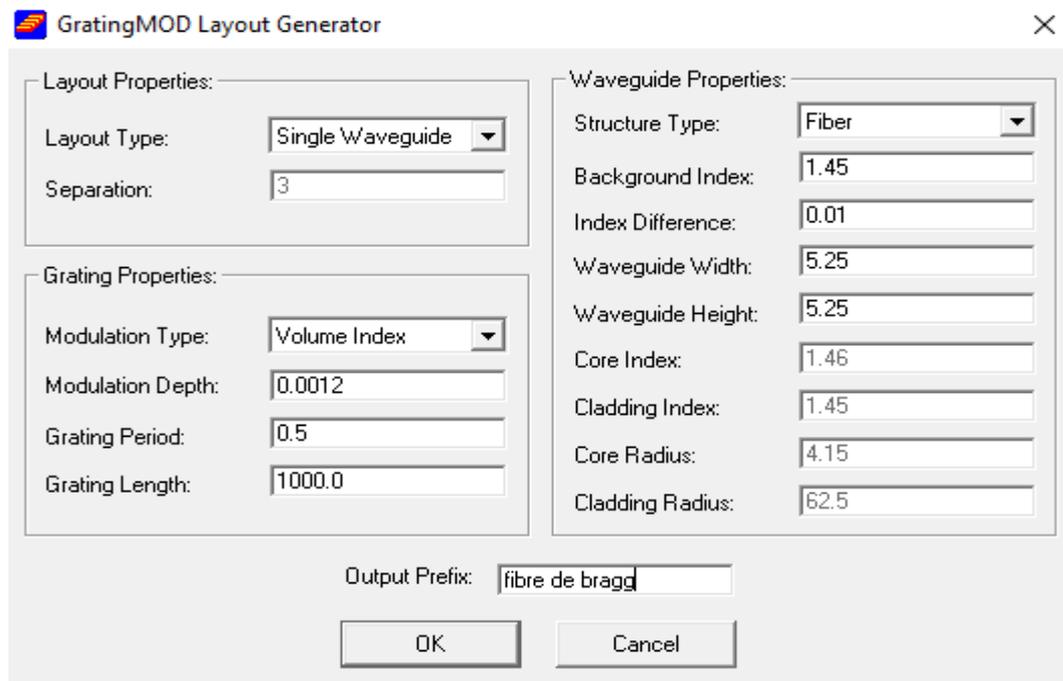


Figure (2.3) : Boite de dialogue GratingMOD Generator

Layout Type : C'est le type (dispositif) de la structure désirée.

Separation: Cela définit la séparation entre deux ou plusieurs structures.

Modulation Type : Ceci définit le type de modulation

Modulation Depth : C'est la profondeur de modulation (Δn).

Grating Period: Indique la période du réseau.

Grating Length: Indique la longueur du réseau.

Structure Type: Indique le type de structure.

Background index: C'est l'indice du substrat ou l'indice de la gaine.

Index Difference: C'est la différence d'indice entre le cœur et la gaine.

WaveguideWidth: Indique la largeur du guide d'onde (fibre optique).

Waveguide Height: Indique la hauteur du guide d'onde (fibre optique)

Core Index : Ceci représente l'indice du cœur de la fibre.

Cladding Index : Cela représente l'indice de la gaine.

Core radius: Définit le rayon du milieu où la lumière se propage.

b. Définition des variables

On utilise l'icône « **Edit Symbols** »  , pour placer les divers paramètres de la structure et définir ses différentes variables (longueur d'onde, l'indice de réfraction, le nombre de périodes, les dimensions...etc.), figure (2.4).

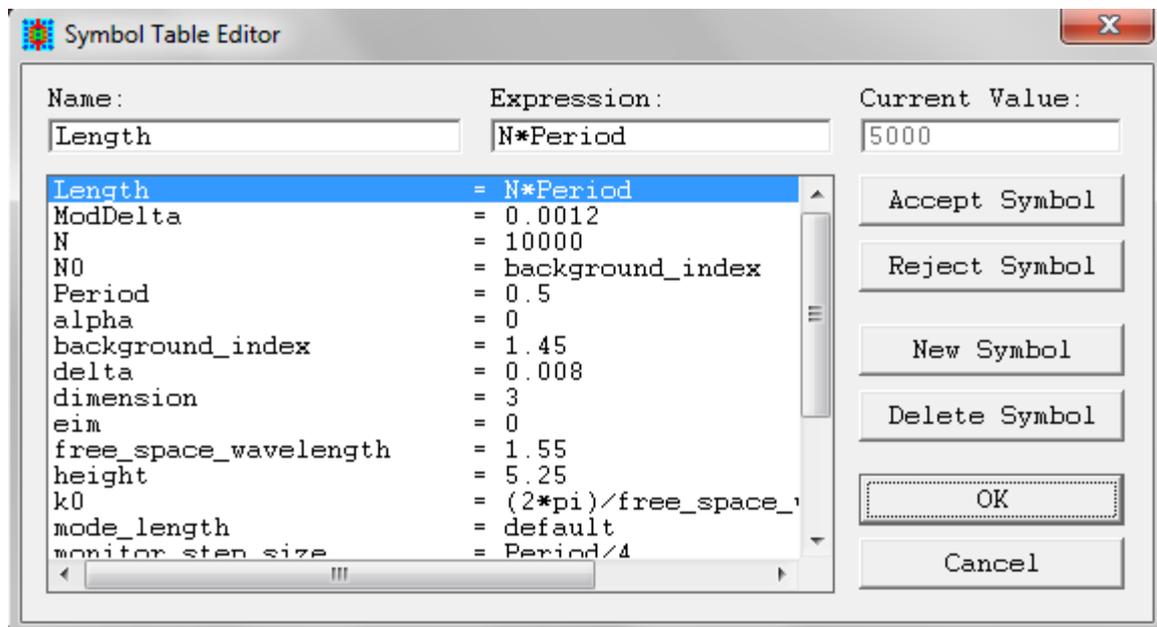


Figure (2.4) : Tableau de l'éditeur des symboles

c. Lancer la simulation

Pour démarrer la simulation, cliquez sur l'icône "**Perform simulation**" dans la barre d'outils de la fenêtre Rsoft CAD (boîte de dialogue).

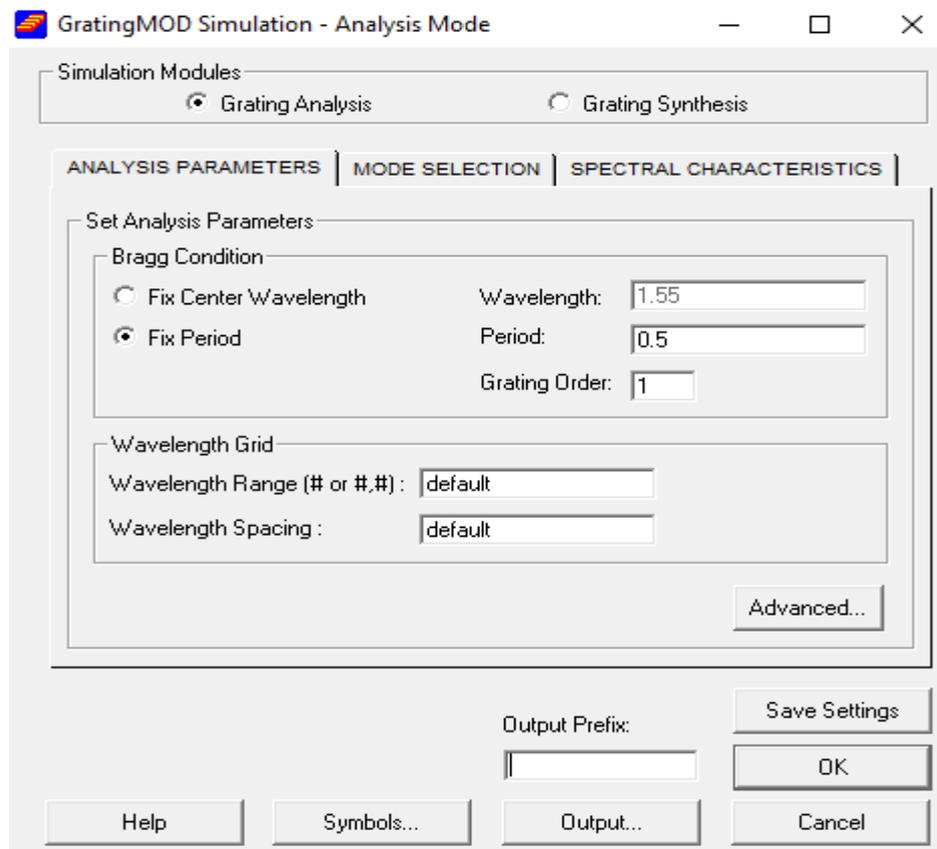


Figure (2.4) : Boite de dialogue de GratingMOD simulation

Le réseau est d'abord défini par l'utilisateur, et le Grating mode calculera ensuite la réponse spectrale et la longueur d'onde de Bragg qui correspondra.

2.4.2 Définition du profil de modulation d'indice

Afin d'étudier l'influence de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale de la FBG, le Grating Mod disposera d'un éditeur de fonction, qui permet d'introduire la forme du profil d'apodisation de forme (cosinus, Blackman, Cosinus surélevé), ainsi que pour le réseau chirpé.

Nous allons dans l'éditeur de fonction dans la case "Taper", et cliquons sur la fenêtre "User function editor", la boîte de dialogue de la figure (2.5) apparaîtra.

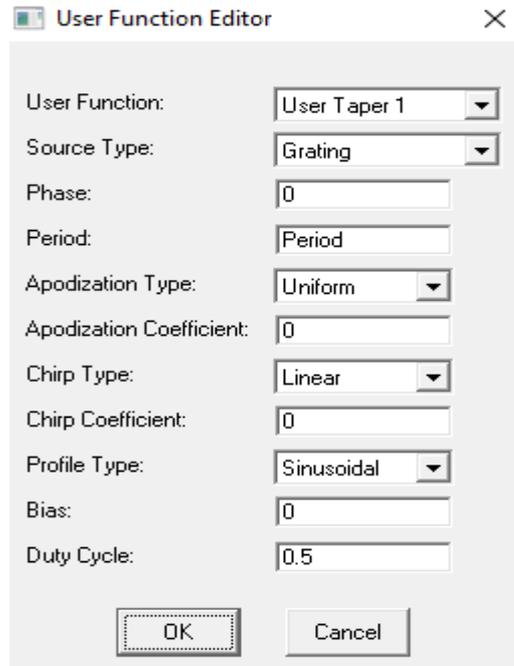


Figure (2.5) : Éditeur de fonction pour Grating Taper

Sur le tableau (2.1) sont regroupés l’allure de la modulation d’indice qui correspond aux différents types de réseaux de Bragg.

Réseau uniforme	Réseau Chirpé	Réseau Apodisé

Tableau (2.1) : Forme de la modulation d’indice d’une fibre de Bragg de type : uniforme, chirpé et apodisé respectivement

2.5 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons présenté l'outil de simulation utilisé : le Grating MOD, et décrit les étapes à suivre pour la conception des réseaux de Bragg, et ceci à travers les différentes boîtes de dialogues offerts par Grating Mod.

Dans le chapitre suivant sont présentés les résultats de simulation obtenus.

Chapitre III

***Influence de la forme de modulation d'indice
sur le spectre de sortie***

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les paramètres de simulation utilisés pour les deux structures de réseaux de Bragg (Uniformes, et non uniformes), ainsi que les résultats obtenus pour différentes formes de la modulation de l'indice de réfraction, et nous finissons d'apporter les explications adéquates, ainsi que le domaine d'utilisation des deux structures.

3.2 Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniformes

Le réseau de Bragg uniforme constitue le type de réseau où la période de Bragg Λ est constante. Pour simuler une FBG à pas constant, nous avons pris les suivants :

Longueur du réseau : Length=5000 μm , Le pas de réseau : Periode=0.5 μm , La modulation d'indice : Mod Delta=0.0003 et la différence d'indice : delta=0.008.

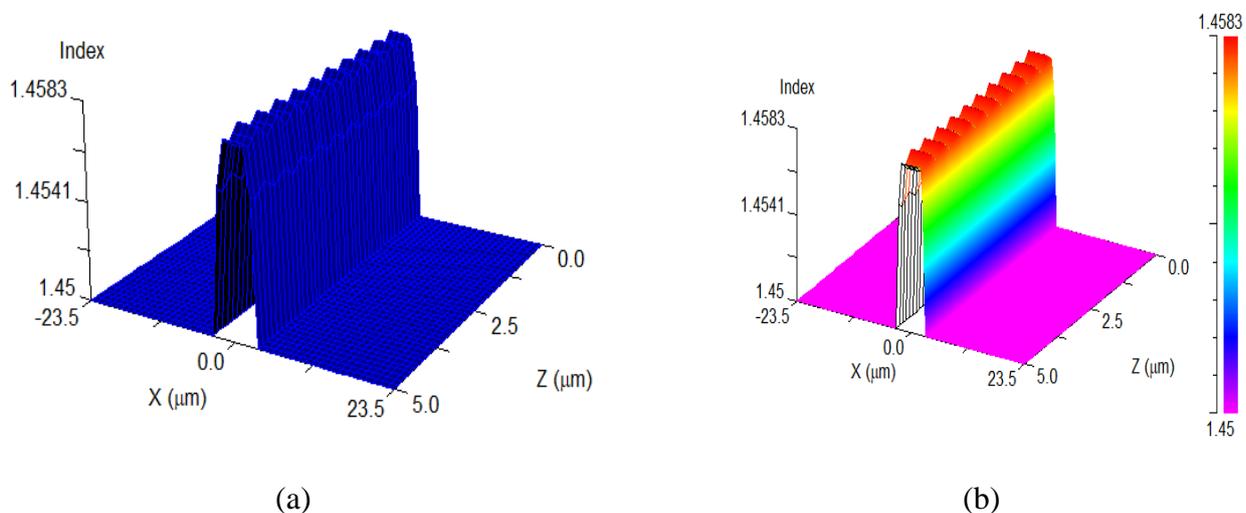
3.2.1 Résultats de simulation obtenus pour le réseau de Bragg uniforme

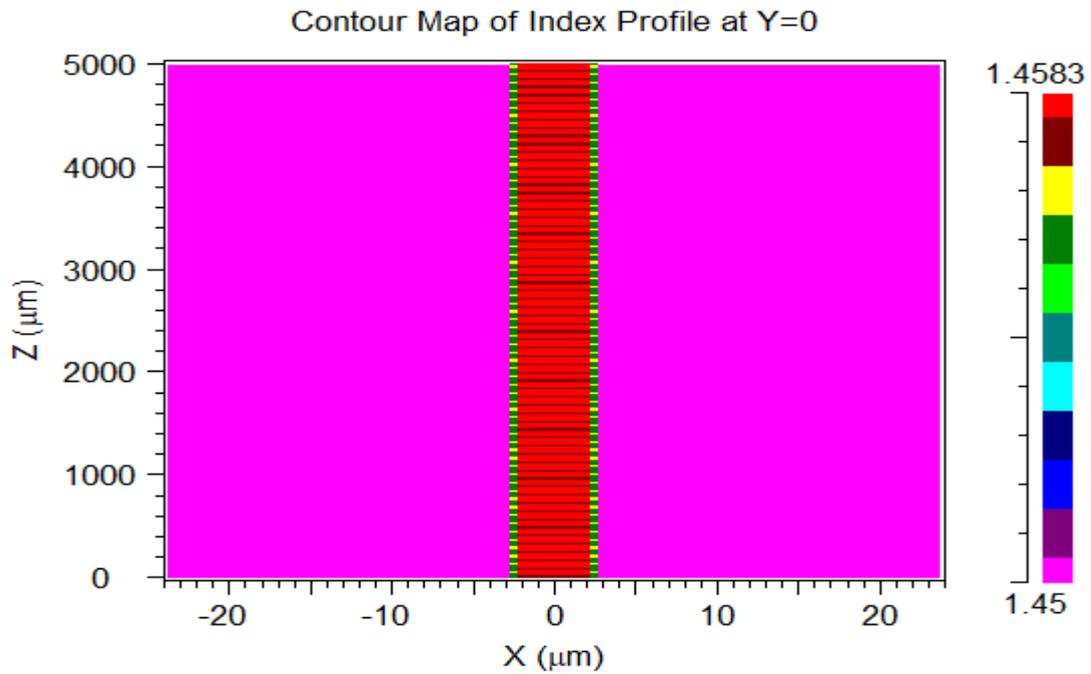
a) Le profil d'indice du réseau uniforme

Une fois que les paramètres sont acceptés, on attribue un titre dans la case « **Output File Prefix** » pour que nos paramètres soient sauvegardés dans un fichier.

On clique sur OK pour commencer la simulation.

L'outil « Display index profil » permet d'avoir le profil d'indice de réfraction sous plusieurs formats, figure (3.1) :





(c)

Figure (3.1) : Amplitude de la variation d'indice sous plusieurs Formes : a) Wire Frame, b) Height Coded, c) Contour Map

Dans les différents formats de structure qu'on a obtenue, on peut distinguer que le pas est constant et par conséquent la périodicité de notre réseau, le seuil obtenu pour l'amplitude vaut 1.4583 qui représente la somme de la variation dans la profondeur de modulation (qui est égale à 0,0003), et celle de la valeur minimale 0,008 (qui est la différence d'indice).

b) Réponse spectrale pour le réseau uniforme

La figure (3.2) rend compte de la réponse spectrale obtenue pour les mêmes paramètres de simulation qu'auparavant.

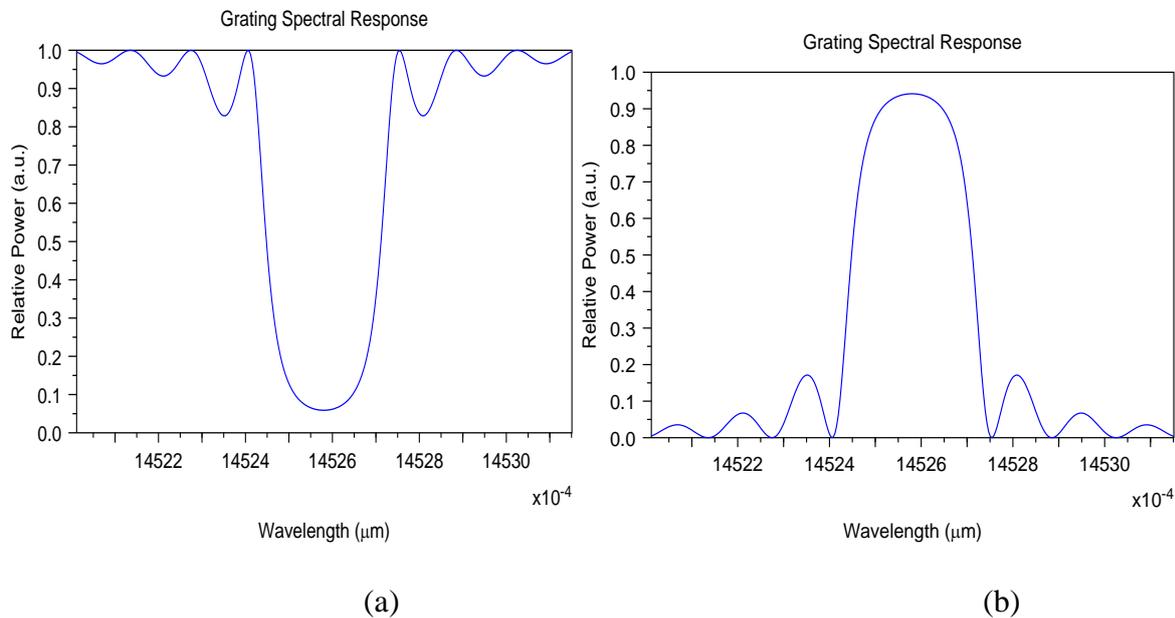


Figure (3.2) : Réponse spectrale d'un réseau de Bragg uniforme : a) la transmission b) la réflectivité

A partir du spectre en transmission de ce réseau de Bragg uniforme, on estime que son pouvoir réflecteur est d'environ 94%, figure (3.2.a) et à partir de sa réflectivité la longueur d'onde réfléchie est estimée à 1.4526μm, figure (3.2.b).

On définit la longueur d'onde de Bragg comme la longueur d'onde associée au centre du lobe principal du module du coefficient de réflexion, elle est estimée à 1.4526μm.

On constate aussi que les longueurs d'ondes centrées autour 1452nm sont très fortement réfléchies, alors que les longueurs d'ondes en amont et en aval sont transmises quasi intégralement.

❖ Le réseau uniforme réfléchit la lumière centrée autour d'une seule longueur d'onde.

3.2.2 Influence de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale du réseau de Bragg uniforme

En gardant les mêmes paramètres de l'exemple précédent, mais on change seulement le profil d'indice avec la forme rectangulaire, puis sinusoïdale.

Pour faire ceci, on va directement à la fenêtre des paramètres de segment vers l'éditeur des fonctions en cliquant sur « Profile Type », Comme s'est schématisé sur la figure (3.3) :

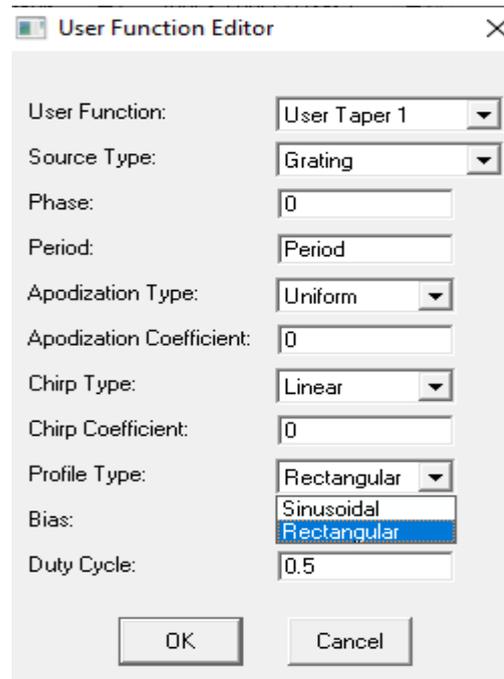


Figure (3.3) : Fenêtre de l'éditeur des fonctions

On reporte sur le tableau (3.1), le résultat trouvé pour les deux types de format du profil d'indice : sinusoïdale et rectangulaire, et ceci en fixant la période du réseau, puis la longueur d'onde.

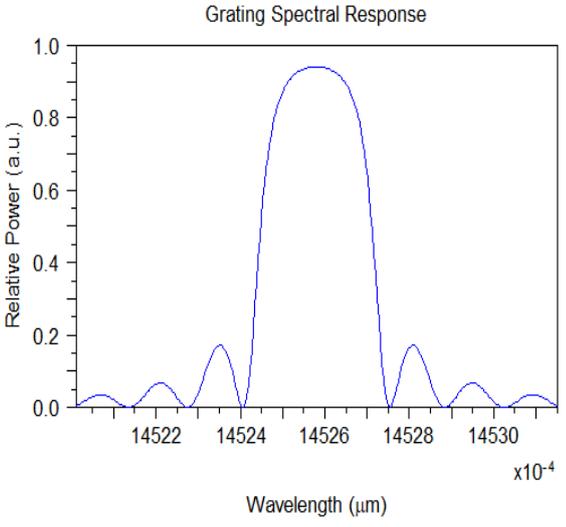
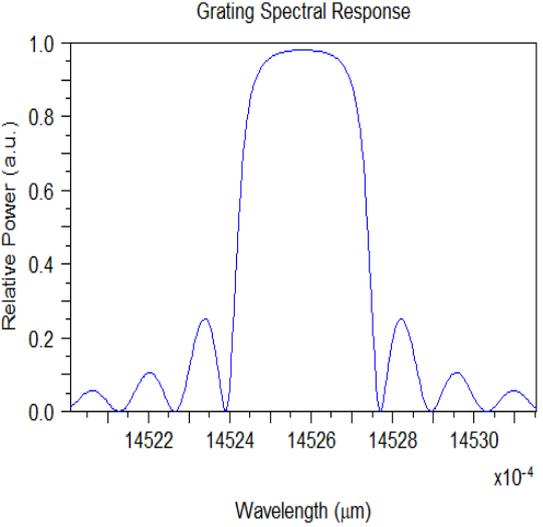
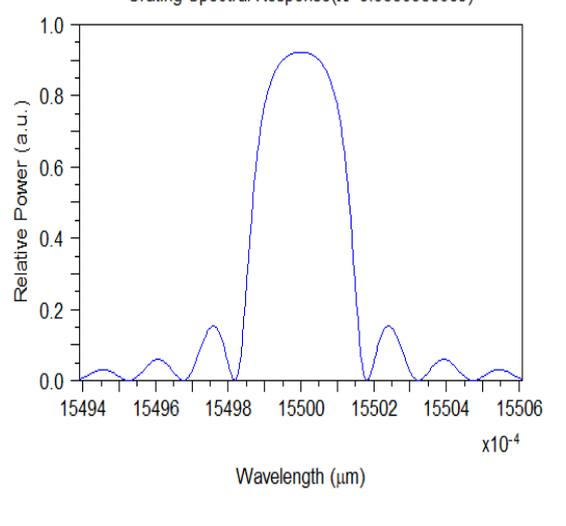
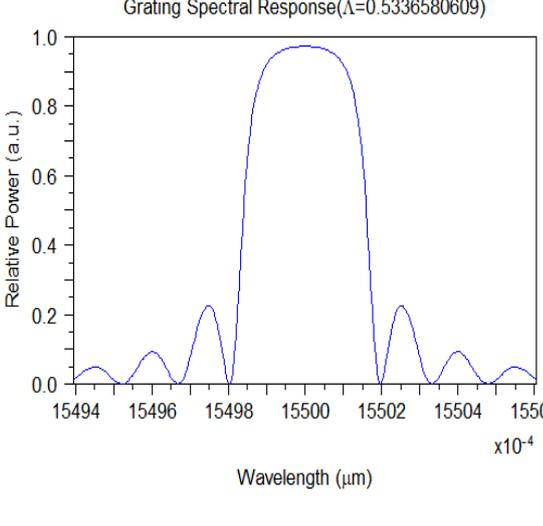
Réseau uniforme	Forme Sinusoïdale	Forme Rectangulaire
Période fixe $\Lambda=0.5\mu\text{m}$		
Longueur d'onde fixée $\lambda=1.55\mu\text{m}$		

Tableau (3.1) : Réponse spectrale de la FBG à pas constant avec une modulation d'indice de forme sinusoïdale et rectangulaire

- On relève un taux de réflectivité à la sortie de la FBG de 98% ; pour la forme de modulation d'indice rectangulaire.
- On relève un taux de réflectivité à la sortie de la FBG de 92% ; pour la forme de modulation d'indice sinusoïdale

On constate que la forme de la réponse spectrale pour le réseau uniforme est presque identique, pour les deux types du profil de la forme de modulation d'indice (Forme rectangulaire et sinusoïdale).

Cependant, elle plus significative pour le coefficient de réflexion dans la forme rectangulaire que par rapport à la forme sinusoïdale.

On constate aussi selon la figure (3.4) obtenue, que ces spectres présentent des bandes latérales (side lobes), qui sont dues à des réflexions multiples sur les deux extrémités de la FBG.

On peut les caractériser comme des oscillations en avant et en aval de la longueur d'onde centrale réfléchie.

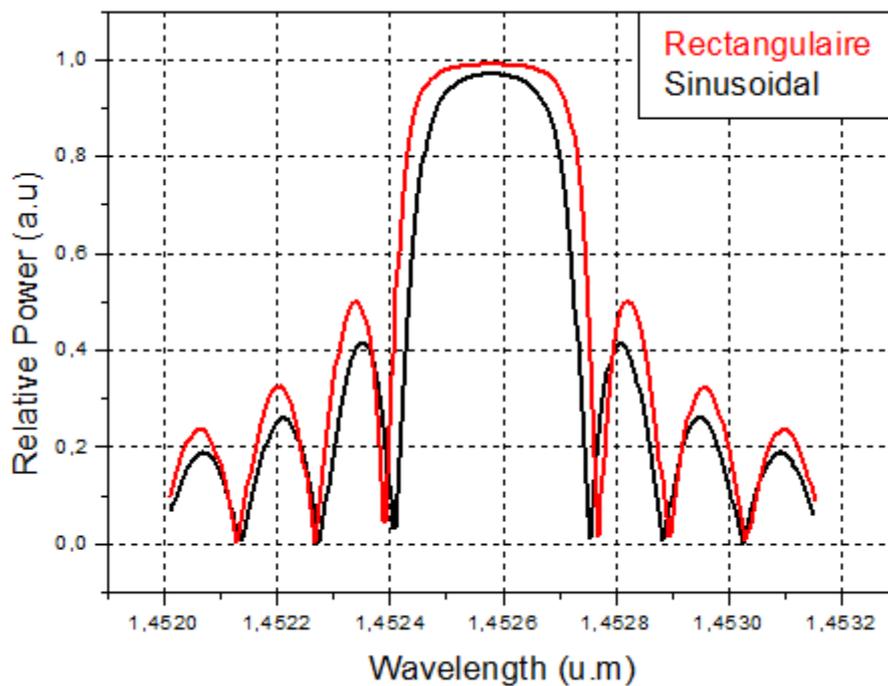


Figure (3.4) : Réponse spectrale du réseau uniforme obtenue pour les deux formes du profil d'indice (En rouge la forme rectangulaire, en noir la forme sinusoïdale)

3.3 Analyse par simulation des réseaux de Bragg non uniformes

On entend par réseau de Bragg non uniforme, toutes les modifications pouvant être appliquées au réseau de Bragg : notamment l'amplitude de la modulation d'indice et la période. Ce type de réseau peut être classé en réseau avec apodisation et le réseau chirpé.

Ce type du réseau présente donc :

- Soit une période non uniforme sur toute la longueur du réseau, la période peut être variée de façon symétrique, soit de manière progressive ou destructive entre les deux extrémités du réseau, la variation peut être linéaire en fonction de la longueur du réseau (chirp linéaire), ou bien quadratique (cosinus-sinus).
- Soit une amplitude variable selon le profil d'apodisation, qui peut être soit de type cosinus surélevé, cosinus, tangente hyperbolique ou bien Blackman. [13]

Pour simuler une FBG non uniforme : on a gardé les mêmes paramètres globaux que la structure précédente, et les changements s'effectueront à partir de la définition des variables.

Afin de paramétrer un réseau de Bragg à pas long (Chirpé), on va directement à partir de la fenêtre des paramètres de segment vers l'éditeur des fonctions en cliquant sur « Tapers ». Et là, on met dans « Apodization type » sur Cosine (cosinus) comme il est indiqué dans la figure (3.5).

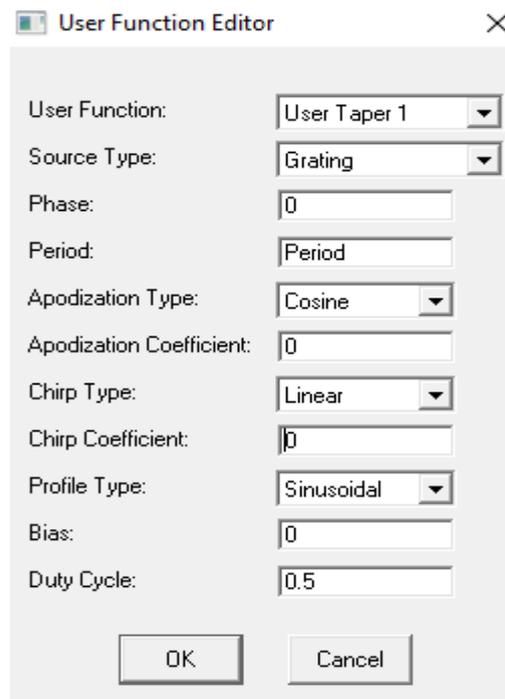


Figure (3.5) : Editeur des fonctions

3.3.1 Résultats de simulation obtenus pour le réseau Bragg non uniforme

a) Profil d'indice du réseau de Bragg non uniforme

La figure (3.6) représente le profil d'indice de la FBG non uniforme dite aussi à pas variable.

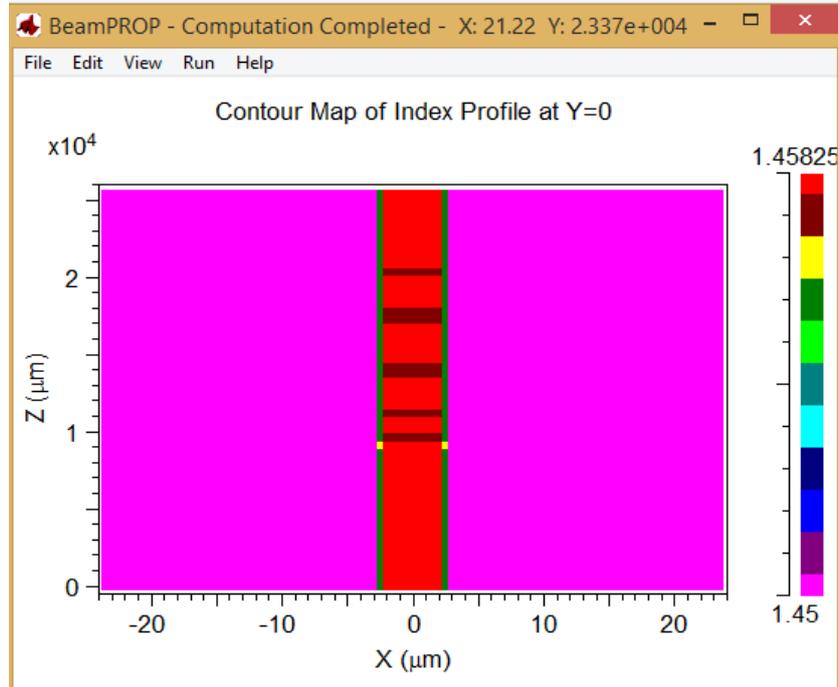


Figure (3.6) : Amplitude de la variation d'indice pour le réseau de Bragg non uniforme

On constate, que le pas du réseau varie suivant l'axe de propagation z , ainsi que son amplitude.

b) Réponse spectrale pour le réseau de Bragg non uniforme

Nous présentons dans la figure (3.7) la réponse spectrale obtenue pour la FBG à pas variable décrite auparavant.

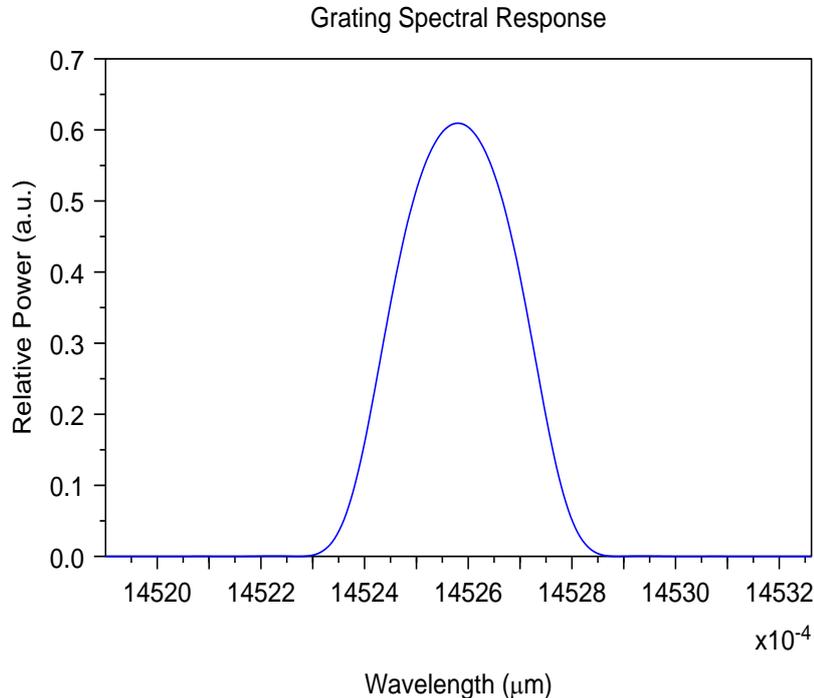


Figure (3.7) : Réponse spectrale de la FBG du réseau non uniforme

On constate dans ce cas, que la longueur d'onde $\lambda=1.4526\mu\text{m}$ est réfléchié avec un pourcentage de **62%**, alors que les autres longueurs d'ondes en amont et en avale sont nulles.

Certes le réseau à pas variable a réduit l'amplitude du coefficient de réflexion, cependant il a minimisé considérablement les oscillations des longueurs d'ondes qui se trouvent avant et après la longueur d'onde centrale.

- ❖ On en déduit que le réseau non uniforme permet donc d'obtenir une courbe lisse par rapport au réseau uniforme.

3.3.2 Influence de la forme de modulation d'indice sur la réponse spectrale du réseau non uniforme

a) Réseau apodisé

On présente sur la figure (3.8) ci-dessous, les différents profils utilisés lors de la simulation, sachant que leur fonctions mathématiques correspondantes sont décrite au (chapitre 1 paragraphe 1.4.2)

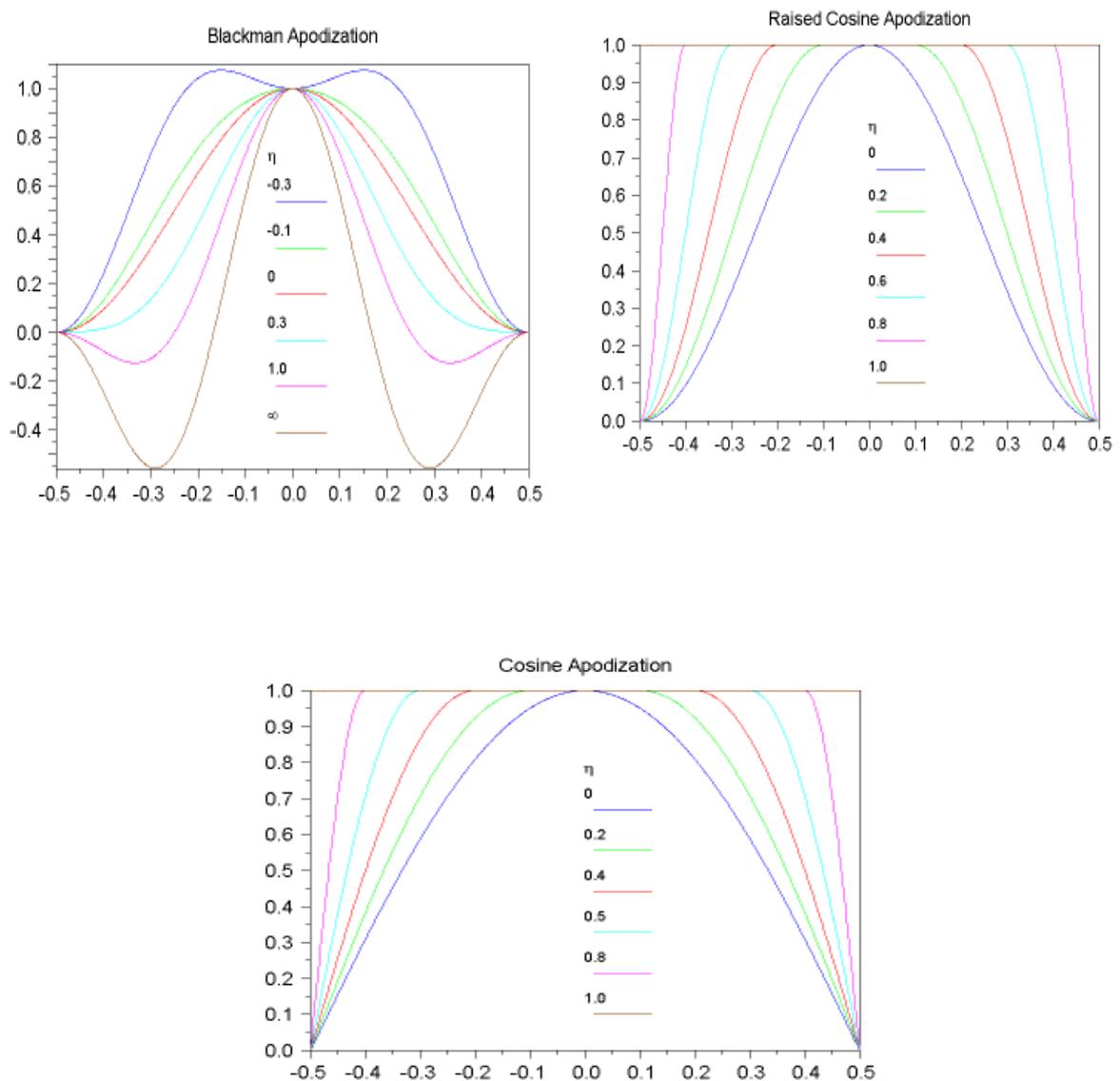


Figure (3.8) : Forme des différentes fonctions utilisées pour décrire l'apodisation du réseau non uniforme (le Blackman, cosinus surélevé et le cosinus)

La figure (3.9) rend compte de la réponse spectrale obtenue avec les différentes formes de fonction d'apodisation.

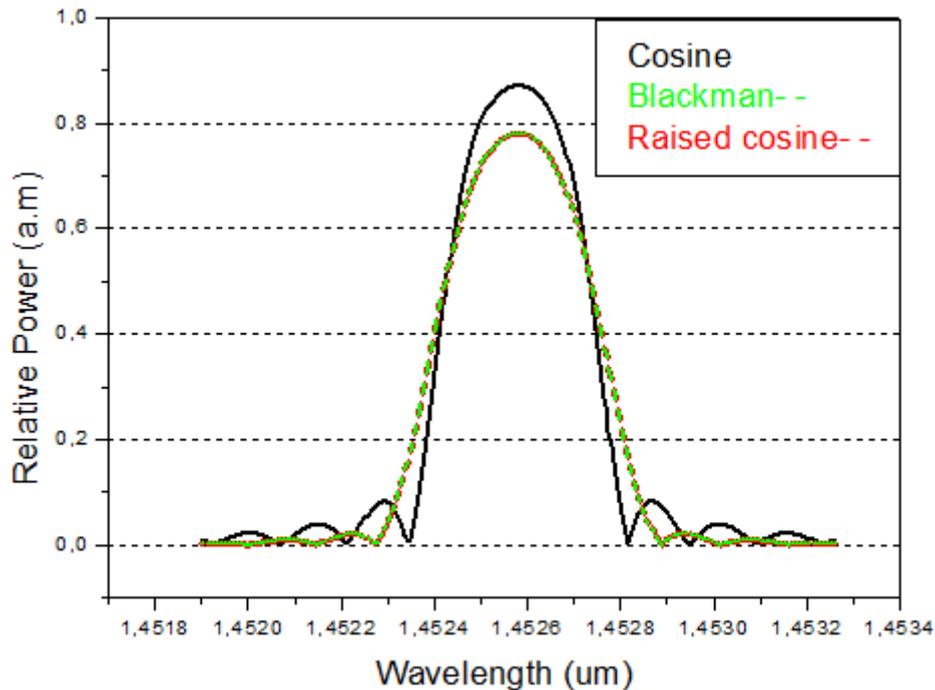


Figure (3.9) : Réponse spectrale d'une FBG à pas variable pour différentes forme de la fonction d'apodisation

On remarque que la forme de la fonction d'apodisation influe sur les caractéristiques de sortie de la FBG, notamment sur le coefficient de réflexion et la largeur à mi-hauteur.

On constate également que le profil d'apodisation Cosinus, donne le meilleur coefficient de réflexion par rapport aux deux autres profils (Blackman et Cosinus surélevé)

- ❖ L'apodisation permet de supprimer les lobes secondaires dans la réflectivité, et notamment la forme Blackman.

b) Réseau chirpé

Pour voir mieux l'influence du chirp sur le spectre de sortie, on présente dans la section suivante les résultats de simulation obtenus.

Pour plusieurs valeurs du coefficient Chirp ($g=0.001$ jusqu'à 0.006), nous avons mesuré la valeur du coefficient de réflexion qui lui correspond,

Le tableau (3.2) résume les résultats de simulation obtenus :

Coefficient chirp	Coefficient de réflexion	Facteur de Qualité (Q)
0.001	0.426	815
0.002	0.310	397
0.003	0.255	262
0.004	0.222	198
0.005	0.199	159
0.006	0.182	132

Tableau (3.2) : Valeurs du coefficient de réflexion en fonction du coefficient Chirp

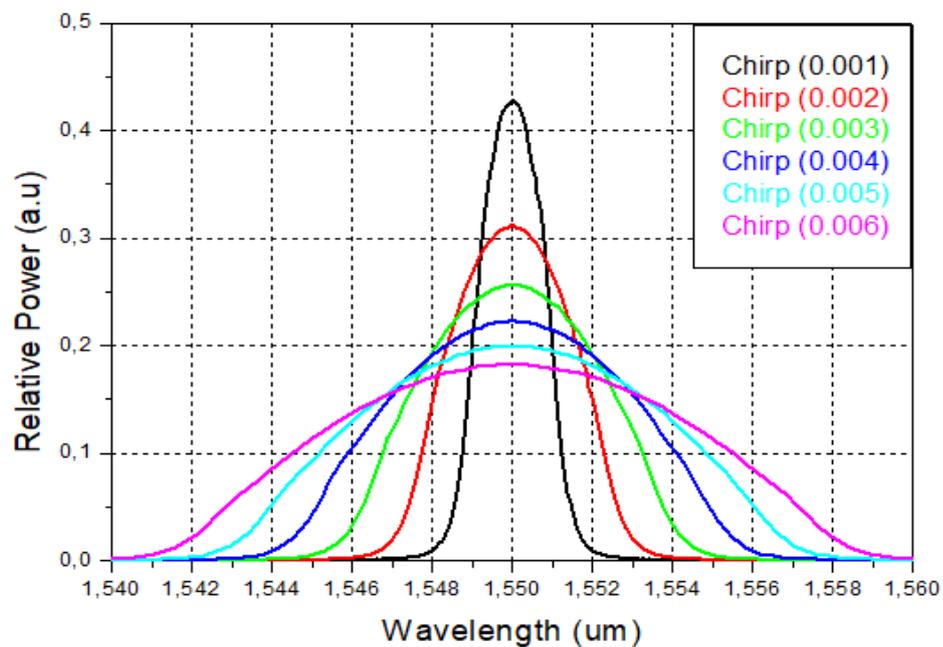


Figure (3.10) : Réponse spectrale d'une FBG à pas variable pour différentes valeur de coefficient chirp

On constate que la courbe de la réponse spectrale s'élargit quand le coefficient chirp augmente, et elle englobe une gamme de longueur d'ondes réfléchies très voisines, d'où son application comme un filtre large bande pour le multiplexage en longueur d'ondes (WDM)

Les longueurs d'ondes ainsi réfléchies pour le coefficient chirp de 0.006 sont respectivement : $\lambda_1 = 1.55096985\mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.5519679 \mu\text{m}$, $\lambda_3 = 1.55295141\mu\text{m}$ et $\lambda_4 = 1.55388516\mu\text{m}$ et $\lambda_5 = 1.55483421\mu\text{m}$ et $\lambda_6 = 1.55583592\mu\text{m}$.

Ce qui donne une largeur de $0.00097\mu\text{m}$, ce qui correspond à 1nm.

- **Le facteur de Qualité(Q)**

On définit le facteur de qualité comme étant le rapport de la fréquence propre (fréquence à laquelle le gain est maximal) à la largeur de la bande passante de la résonance du système [17] :

$$Q = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (3.1)$$

Plus le facteur de qualité est élevé, plus la bande passante est petite, et plus la résonance est "piquée". Le facteur de qualité permet donc de quantifier la "qualité d'un filtre" (qu'il soit électronique, acoustique, optique...), plus Q est élevé, plus le filtre est sélectif.

- ❖ Le facteur de qualité calculé montre que le coefficient chirp de 0.001 permet d'avoir un filtre sélectif, ce qui est proche au réseau uniforme donc on a un filtrage d'une seule longueur d'onde.
- ❖ Cependant avec un chirp élevé de 0.0006, on obtient un filtre large bande avec un espacement entre canaux de 1nm qui trouve son application pour le multiplexage en longueur d'onde WDM.

Pour mieux voir la variation du coefficient de réflexion R en fonction du coefficient chirp, la figure (3.10) nous rend compte de la variation, ainsi que la relation qui relie le coefficient de réflexion, avec le coefficient chirp :

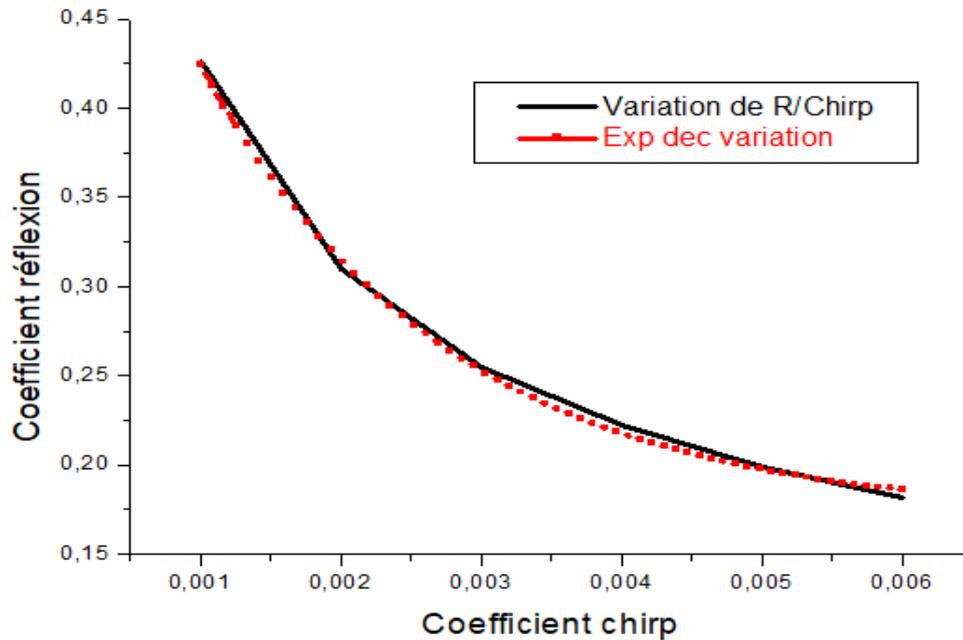


Figure (3.11) : Variation du coefficient de réflexion R en fonction de coefficient chirp.

(Courbe de simulation en noir, courbe de fitage en rouge)

Effectivement nous avons fité la courbe de la variation du coefficient de réflexion en fonction du coefficient chirp par une fonction exponentielle du premier ordre qui résulte de l'ajustement indiqué ci-dessous.

Fit Data1_B to $y_0 + A1e^{-x/t1}$:

Chi² 2,36315E-5
R² 0,99828

y0	0,17082	0,00674
A1	0,44489	0,01617
t1	0,00178	1,35967E-4

L'analyse de tous ces résultats nous conduit à conclure que :

- ❖ Le réseau chirpé peut être considéré comme un filtre large bande pour le multiplexage en longueur d'onde (WDM), qui correspond à l'espacement entre canaux imposé par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications).
- ❖ L'apodisation des réseaux de Bragg est particulièrement nécessaire dans les systèmes de démultiplexage, où les lobes latéraux limiteraient la distance minimale entre les canaux.

Conclusion Générale

Dans ce projet de fin d'études, nous avons essayé de montrer tout ce qui concerne la théorie des réseaux de Bragg photo-inscrits, et nous avons aussi essayé de simuler les différentes structures de ces réseaux à l'aide du logiciel Rsoft et de son module de conception Grating MOD.

Afin de mener à bien notre travail, nous avons d'abord passé par une étude théorique, ce qui nous a permis de se familiariser avec notre sujet et de comprendre les bases à partir desquelles nous avons entamé notre simulation.

Pour simuler les réseaux de Bragg, nous avons choisi le logiciel Rsoft, qui est lié à sa facilité d'utilisation, aux différents avantages qu'il présente, et aux facteurs permettant simuler deux structures de réseaux de Bragg : uniformes et non uniformes.

Selon les spectres obtenus, nous avons remarqué que chaque type de réseau a ses propres caractéristiques. La différence est apparue dans l'amplitude et au niveau de la réponse spectrale de chaque structure et selon le profil d'indice proposé.

Les réseaux de Bragg uniformes (à pas constant) réfléchissent la lumière centrée autour de la longueur d'onde de Bragg, donc ils servent comme des filtres sélectifs.

Les réseaux non uniformes (apodisé et chirpé), quant à eux, réfléchissent la lumière avec suppression des lobes secondaires :

- Le coefficient de réflexion est plus significatif pour le profil d'indice de forme rectangulaire que par rapport à la forme sinusoïdale.
 - L'apodisation permet de supprimer les lobes secondaires dans la réflectivité, et notamment le profil d'apodisation Blackman.
 - Le réseau chirpé peut être considéré comme un filtre large bande pour le multiplexage en longueur d'ondes (WDM).
- En perspective, nous comptons étudier ces structures à base de cristaux photoniques.

Bibliographies & webographies

- [1] : Pierre Lecoy, Télécommunications sur fibres optiques, Lavoisier 2009.
- [2] : F. Brik, N. Paraire, T. Boumaza, M. Bouchemat
« Minimization of thermal effect in a waveguide structure optical switch» *Applied Physics B Lasers and optics*, Vol.97, 841-847, 2009. DOI 10.1007/s00340-009-3613-x
- [3] : F.Brik, A.Labbani, "Optimization of a tunable photonic crystal filter for coarse wavelength division multiplexing", *J. NANO- ELECTRON. PHYS.* Vol.12, N°6 06035 (2020).
- [4] : F.Brik, F. Fares, A. Fares, " Influences of different optogeometric parameters on the spectral response of optical fiber bragg grating", *6th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2019) 23-27 October 2019, Antalya, TURKEY.*
- [5]: Hill, K. O., et al. "Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication." *Applied physics letters* 32.10 (1978): 647-649.
- [6] : Minimization of Fresnel reflection by antireflection fiber Bragg gratings inscribed at the fiber ends 15 APR 2019 |
- [7] : G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn. Formation of Bragg gratings in optical fibers by transverse holographic method. *Opt. Lett.*, 14:823-825, 1989.
- [8]: A. Martinez, M. Dubov, I. Khrushchev, and I. Bennion. Direct writing of Bragg gratings by femtosecond laser. *Electron Letters*, 40:1170-1172, 2004
- [9]: K. O. Hill and G. Meltz. Fiber Bragg grating technology: fundamental and overview. *J. Lightwave Technology*, 20:1263-1276, 1997.
- [10] : T. Erdogan, Fiber grating spectra, *J. Lightwave Technology*. 15, (1997) 1277-1294.
- [11] : W.P. Hong, Optical solitary wave solutions for the higher order nonlinear Schrödinger equation with cubic-quintic non-Kerr terms, *Opt. Commun.* 194, (2001) 217-223
- [12] : F. Azzouzi, H. Triki, K. Mezghiche, A. El Akrmi, Solitary wave solutions for high dispersive cubic-quintic nonlinear Schrödinger equation, *Chaos. Solitons and Fractals*. 39, (2009) 1304-1307.
- [13] : R. Zengerle and O. Leminger, Phase-shifted Bragg grating filters with improved transmission characteristics, *J. Lightwave Technol.* 13, (1995) 2354-2358.
- [14] : F. Brik, support de cours 'optoélectronique', université BMA, 2017.

[15] : J. E. Sipe et al, "Propagation through nonuniform grating structures," J. Opt. Soc. Am., vol. A.11, pp. 1307–1320, 1994

[16] : Manuel Grating MOD™ 1.1 User Guide Mode.

[17] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_de_qualité