

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE  
Département : ELECTRONIQUE  
Domaine : SCIENCES ET  
TECHNIQUES  
Filière : ELECTRONIQUE  
Spécialité : Réseau et  
Télécommunication

## Mémoire

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

Compensation de la dispersion dans la fibre optique par un  
réseau de Bragg

Présenté par :

Bendekoum Yasmine

Chaib Chaima

Encadrant : *Sahraoui Leila*

M.C.B

UBMA ANNABA

### Jury de Soutenance :

Saouchi Kaddour	Professeur	UBMA	Président
<i>Sahraoui Leila</i>	M.C.B	UBMA	Encadrant
Zadam Mohammed	M.C.B	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

## *Remerciements*

*Nous remercions, ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements à nos Parents qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Et nous remercions Mm SAHRAOUI Leïla notre directrice de mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils judicieux tout au long de ce travail*

*Nous remercie les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre travail : Mr SAOUCHI Kaddour et Mr ZADAM Mohammed*

*Professeurs au département d'électronique, université BADJI MOKHTAR de Annaba, qui nous ont fait l'honneur de participer au jury*

*Et nous remercions tous les enseignants du département d'électronique, sans oublier aussi nos collègues et amies*

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

*A la mémoire de mon père disparu trop tôt,  
A ma très chère mère, que dieu la garde !*

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien  
et leurs prières tout au long de mes études.*

*A ma sœur ces encouragements permanents, et son soutien moral.*

*A toute ma famille, à mes meilleurs amis, à mon binôme Yasmine  
qui m'ont encouragé et soutenu,*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce  
mémoire soit réalisé*

*Je vous dis merci du plus profond de moi même*

*Chaïma*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à ma famille*

*et plus particulièrement à mes parents et mon frère*

*Pour leur amour, leurs confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel.*

*A mes meilleurs amis à mon binôme Chaïma  
qui mon encourager et soutenu,*

*A tous ceux qui ont contribué de pré ou de loin pour que ce  
mémoire soit réalisé*

*Je vous dis merci du plus profond de moi même.*

*Yasmine*

## **Résumé**

La fibre optique présente de nombreux avantages en télécommunications avec un débit très qui dépasse les 100 Mb/s par rapport aux réseaux xDSL.

Les réseaux de Bragg inscrit dans la fibre optique est un composant passif avec une multitude d'applications comme le génie civil, le pétrole, le gaz, l'aviation et la communication optique, notamment dans les modules de compensation de la dispersion chromatique comme les systèmes multiplexés en longueurs d'onde (WDM).

Notre travail représente une analyse des caractéristiques du réseau de Bragg avec une application sur les réseaux apodisé et à pas variable (chirpé), qui nous a permit la création d'un filtre optique sélectif pour les longueurs d'onde les plus courtes qui sont réfléchi à la fin du réseau de Bragg.

**Mots clés :** Adsl, fibre optique, dispersion chromatique, réseaux de Bragg à pas variable, WDM

## **ABSTRACT**

Optical fiber has many advantages in telecommunications with a very high speed that exceeds 100 Mb/s compared to xDSL networks.

Bragg gratings inscribed in optical fiber is a passive component with a multitude of applications such as civil engineering, offshore, aviation and optical communications, particularly in chromatic dispersion compensation modules such as multiplexed systems in wavelengths (WDM).

Our work represents an analysis of the characteristics of the Bragg grating with an application on apodized and variable pitch (chirped) gratings, which allowed us to create a selective optical filter for the shortest wavelengths which are reflected at the end of the Bragg grating.

**Keywords ::** Adsl, optical fiber, chromatic dispersion, variable pitch Bragg gratings, WDM

تتمتع الألياف الضوئية بالعديد من المزايا في الاتصالات السلكية واللاسلكية بسرعة عالية جداً تتجاوز

100 ميجا بايت / ثانية مقارنة بشبكات xDSL.

حواجز شبكية Bragg منقوشة في الألياف الضوئية هي عنصر سلبى مع العديد من تطبيقات مثل الهندسة المدنية والنفط والغاز والظيران والاتصالات البصرية ،

خاصة في وحدات تعويض التشتت التوني مثل الأنظمة متعددة الإرسال في الأضوال الموجية (WDM).

يمثل عملنا تحليلاً لخصائص Bragg grating مع تطبيق على حواجز شبكية متغيرة ومتغيرة الحجم ، مما سمح لنا بإنشاء مجموعة انتقائية

مرشح بصري لأقصر الأضوال الموجية التي تتعكس في نهاية شبكة Bragg.

الكلمات الرئيسية: Adsl ، الألياف الضوئية ، التشتت التوني ، الخصوة المتغيرة ، Bragg

WDM

## *Liste des abréviations*

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.  
DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer.  
VDSL: Very-high-bit-rate DSL.  
DSL: Digital Subscriber Line.  
FTTx: Fiber To The X  
FTTN: Fiber To The Neighborhood (Fibre jusqu'au quartier)  
FTTC : Fiber To The Curb (Fibre jusqu'au trottoir)  
FTTS : Fiber To The Street (Fibre jusqu'à la rue - bâtiment)  
FTTN : Fiber To The Node (Fibre jusqu'au répartiteur)  
FTTB : Fiber To The Building (Fibre jusqu'au bâtiment)  
FTTCab : Fiber To The Cab (Fibre jusqu'au sous-répartiteur)  
FTTP : Fiber To The Premises (Fibre jusqu'aux locaux - entreprises)  
FTTH : Fiber To The Home (Fibre jusqu'au domicile)  
FTTE : Fiber To The Entreprise (Fibre pour les entreprises)  
FTTO : Fibre To The Office (Fibre jusqu'au bureau - entreprises) Liste des acronymes  
FTTLA : Fiber To The Last Amplifier (Fibre jusqu'au dernier amplificateur)  
NRA : Nœud de Raccordement d'Abonnés.  
HFC :HybridFiber Coaxial.  
SR : Sous Réparateurs.  
PC : Point DE Concentration  
PON : Passive Optical Network  
GTR : Garantie de Temps de Rétablissement (  
MMF: Multi Mode Fibre  
Laser: Light Amplification by Simulated Emission of Radiation  
FBG : Fiber Bragg Grating (Fibre à réseau de Bragg)  
CWDM : Coarse WDM  
TDM : Time Division Multiplexing  
DWDM : Dense Wavelength-Division Multiplexing  
WDM: Wavelength Division Multiplexing.  
DWDM : Dense Wavelength-Division Multiplexing  
UV: Ultra Violet.  
FFP: Filter Fabry Perot.  
FP : Fabry-Pérot  
OCDMA Optical Code Division Multiple Access

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Utilisation de la bande passante .....	3
Figure 1.2 :Schéma d'une connexion ADSL .....	4
Figure 1.3 : Débit théorique en fonction de la portée [5].....	4
Figure 1.4 : Du Nœud de Raccordement Optique (NRO) à l'utilisateur [7].....	5
Figure 1.5 : Différents Catégories constituant de technologie FTTx.....	6
Figure 1.6 : Réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution.....	7
Figure 1.7 : Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur.....	8
Figure 1.8 : Evolution du débit en fonction des technologies xDSL et FTTH [7] .....	10
Figure 1.9 : structure d'une fibre optique [5].....	12
Figure 1.10 : principe de transport de la lumière dans une fibre optique. [5].....	12
Figure 1.11 : des fibres optiques monomode.....	14
Figure 1.12 : La fibre à saut d'indice .....	14
Figure 1.13 : La fibre à gradient d'indice.....	15
Figure 2.1 : Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales.[30] .....	18
Figure 2.2: (A gauche en haut : spectre de la lumière injectée ; en haut à droite : spectre de la lumière transmise ; au centre : FBG avec symbolisées la transmission la réflexion de la lumière ; en bas à gauche : spectre de la lumière reflétée) [27].....	19
Figure 2.3 : Représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre [33], $\lambda_B$ : longueur d'onde de Bragg, L : longueur du réseau, $n_{co}$ : indice de cœur, $\Delta_{(n_{mod})}$ : indice de modulation, $\Delta n_{moy}$ : indice moyen, $\Lambda$ : pas du réseau.....	19
Figure 2.4 : géométrie du transfert d'énergie entre les modes allé et retour dans un réseau de Bragg [34]. .....	21
Figure 2.5 : Les différents types de réseau de Bagg[ 42].....	24
Figure 2.6 : (a) Filtre passe bande fabriquée par un réseau de Bragg associé avec un circulateur ; (b) un multiplexeur OADM fabriqué avec association d'un réseau de Bragg et deux circulateurs. ....	25
Figure 2.7: Filtres optiques .....	25
Figure 2.8 : principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur.....	26
Figure 2.9 : le découpage en temps entre les différentes connexions [40]. .....	27
Figure 2.10 : Types de WDM Le WDM est divisé en deux types :.....	28
Figure 2.11: Les longueurs d'ondes CWDM [35]......	28
Figure 2.12 : Les longueurs d'ondes DWDM [41].....	29
Figure 2.13 : Codage spectral OCDMA. ....	29
Figure 2.14: Mesure de température autour d'un A380 [46]. .....	30



Figure 2.15 : Passerelle équipée de réseaux de Bragg .....	31
Figure 3.1 : Représentation du logiciel RSoft CAD .....	32
Figure 3.2 : fenêtre des caractéristiques principales .....	33
Figure 3.3 : La table des symboles.....	34
Figure 3.4 : Configuration du chirp et l'apodisation.....	35
Figure 3.5 : Paramètres de Simulation .....	36
Figure 3.6 : Choix de des données affichés .....	36
Figure 3.7 : Exemple d'Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniforme.....	38
Figure 3.8 : La réflexion, transmission :ModDelta=0.0003 ;length 5000 ,1000 ,15000 ,20000. Réseau uniform en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas.....	40
Figure 3.9 :La réflexion, transmission :ModDelta=0.0005 ;length 5000 ,1000 ,15000 ,20000. Réseau uniform en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas.....	40
Figure 3.10 :La réflexion, transmission:ModDelta=0.0008 ; length 5000 ,1000 ,15000 ,20000. Réseau uniform en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas.....	41
Figure 3.11 :La réflexion, transmission :ModDelta=0.0012,length 5000 ,1000 ,15000 ,20000. Réseau uniform en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas.....	41
Figure 3.12 : La réflexion, Transmission : C= 0,001 , 0,003 ModDelta= 0,0005 , 0.0008 length 1000 , Réseau chirpé et apodisé avec cosin squared.....	43
Figure 3.13 : graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.001 .....	44
Figure 3.14: graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.002 .....	45
Figure 3.15 : graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.003 .....	46
Figure 3.16 : La Réflectivité C = 0.003, ModDelta = 0.0003 ,0.0005, 0.0008, 0.0012.....	48
Figure 3.17 : La Réflectivité C =0.005, ModDelta =0.0003, 0.0005, 0.0008, 0.0012.....	48
Figure 3.18 : Réflectivité Mode delta =0.0012, Chirp = 0.001, 0.003, 0.005.....	49
Figure 3.19 : Réflectivité Mode delta =0.0012, Chirp = 0.001, 0.003.....	49

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Comparaison entre xDSL et FTTH.....	9
Tableau 1.2: Comparaison du débit entre FTTH et ADSL.....	10
Tableau 1.3: comparaisant entre les déférents types de la fibre.....	15
Tableau 3.1: la réflectivité en fonction des de la longueur et ModDelta Réseau uniform.....	42
Tableau 3.2: la réfléctivité en fonction des de la longueur et ModDelta réseau apodisé avec cosin squared .....	42
Tableau 3.3: Réflectivité et Transmission pour C =0.001 .....	44
Tableau 3.4: Réflectivité et Transmission pour C =0.002 .....	45
Tableau 3.5: Réflectivité et Transmission pour C =0.003 .....	46
Tableau 3.6: Variation de la réflectivité pour C 0,003 et 0,005 en fonction de ModDelta .....	47

# Sommaire

Introduction Générale .....	1
<b>CHAPITRE 1 .....</b>	<b>.....</b>
1. Introduction :.....	3
2. Réseaux d'accès :.....	3
2.1. Bandes utilisées par L' ADSL .....	3
2.2. Le principe de l'ADSL (Schéma d'une connexion ADSL): .....	4
2.3. Les évolutions du système l'xDSL : .....	4
3. Les réseaux d'accès avec fibre optique :.....	5
3.1. Les réseaux d'accès FTTX.....	5
3.2. Qu'est ce que le FTTx :.....	7
3.3. Les Catégories de technologie FTTx .....	7
3.3.1. Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution .....	7
3.3.2. Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur .....	8
3.4. Comparaison entre xDSL et FTTH .....	9
4. Généralités sur les fibres optiques .....	11
4.1. Définition .....	11
4.1.1. Le cœur .....	11
4.1.2. La gaine optique .....	11
4.1.3. Le revêtement de protection .....	11
4.2. Principe de transport de la lumière dans une fibre optique :.....	12
4.3. Différents type de fibre optique .....	13
4.3.1. La fibre monomode .....	13
4.3.2. Fibre optique multimode .....	14
5. Conclusion .....	16
<b>CHAPITRE 2 .....</b>	<b>.....</b>
1. Introduction.....	17
2. Présentation du réseau de Bragg .....	17
3. Principe de fonctionnement [27] :.....	18
4. La théorie et généralité : .....	20
4.1. Théorie des modes couplés [29] :.....	20

5. Les types de réseau de Bragg :	23
5.1. Réseau de Bragg uniforme :	23
5.2. Réseau de Bragg « tilted » ou « blazed » :	24
5.3. Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped » :	24
5.4. Réseau de Bragg apodisé :	24
6. Applications Du Réseau de Bragg	25
6.1. Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication :	25
6.2. Filtre optique	25
6.3. Compensation de la dispersion chromatique	26
6.4. Le multiplexage Dans le domaine des modes de transmission	27
6.5. Multiplexage TDM (Time Division Multiplexing) :	27
6.6. Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplexing):	27
6.6.1. Coarse WDM (CWDM):	28
6.6.2. Dense WDM (DWDM):	28
7. D'autres application du réseau de Bragg	30
7.1. Les réseaux de Bragg dans l'aéronautique et l'aviation :	30
7.2. Les réseaux de Bragg dans l'automobile :	30
7.3. Les réseaux de Bragg pour le génie civil	31
8. Conclusion :	31
<b>CHAPITRE 3</b>	
1. Introduction :	32
2. Représentation du logiciel RSoft CAD utilisé dans la simulation :	32
2.1. Présentation du module Grating Mod [27]	32
2.1.1. Paramétrage de simulation	33
2.1.2. les caractéristiques principales de la fibre	33
2.2. L'outil Display index profil :	35
2.3. GratingMOD Simulation	35
2.3.1. Grating Analysis :	36
3. Exemple d'Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniforme :	38
4. Simulation et discussion des résultats :	39
4.1. Première partie :	39
4.2. Deuxième partie :	43

4.3. Troisième partie : .....	47
5. Conclusion : .....	50
Conclusion Générale .....	51
Référence Bibliographique .....	52

## Introduction générale

---

Les dix dernières années ont été marquées par une croissance explosive des télécommunications optiques, alimenté en partie par le développement et l'extension rapide de l'internet. Les systèmes de télécommunications optiques cherchent constamment à améliorer leurs performances et leur capacité, mais également se déploient de plus en plus jusqu'à l'utilisateur final.

Les communications par fibre optique ont été très développées puisque elles offrent maintenant des possibilités incroyables au niveau du temps de transmission (vitesse de la lumière dans la fibre) et du taux de transmission totale qui est très supérieur aux réseaux classiques ADSL et même les réseaux les plus récents qui sont xDSL. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors inexplorés.

Les nouvelles technologies de communication FTTx, (Fiber To The...) qui permettent des débits de 10, 50 ou 100 Mbit/s, puisque l'affaiblissement de la fibre est moins important que celui du cuivre à très haut débit, Elles offrent une multitude d'usages innovants et présentent de nombreux avantages tels que : une bande passante plus élevée / une capacité de transfert de données plus élevée / des liaisons de communication optiques fiables et à faible coût. L'objectif principal de la FTTH est de rendre un réseau « tout optique. Aujourd'hui, les forfaits fibre des opérateurs offrent 200, 300, 500 Mb/s, et même souvent 1 Gb/s [1].

Les réseaux de Bragg inscrits dans les fibres optiques sont des composants passifs, ils représentent une modification permanente de l'indice de réfraction du cœur de la fibre optique. En 1978, au centre de recherche Canadien de communications, Ottawa, Ontario, Canada, K.O.Hill est le premier qui a démontré que l'indice de réfraction change dans une fibre optique à base de silice et de germanium, en émettant un faisceau de lumière intense dans une fibre. En 1989, une nouvelle technologie d'écriture des réseaux de Bragg, irradiation par la lumière ultraviolette, a été démontrée par Meltz et Al. Beaucoup de recherches ont été établies ensuite pour améliorer la qualité et la durabilité de ces réseaux [2].

Les méthodes d'inscription des réseaux de Bragg ont été ces dernières années considérablement améliorées si bien que le champ d'utilisation de ces composants s'est fortement étendu vers différents domaines d'application, les FBG sont actuellement déployés dans différents secteurs tels que le pétrole et le gaz, les FBG sont utilisés pour surveiller les problèmes liés aux pipelines, mesure de température et de pression de gaz [3].

Dans le secteur de l'énergie, les FBG peuvent être utilisés pour surveiller le comportement mécanique des pales d'éoliennes, déviation en flexion. Dans le secteur biomédical, les FBG sont principalement utilisés pour diagnostic cardiovasculaire, de gastro-entérologie, d'urologie, neurologique diagnostic. Pour les systèmes de transmission, les FBG sont principalement utilisés pour compenser la dispersion, filtrage optique, égalisation de gain et le multiplexage optique (OADM) ainsi que dans les systèmes WDM, afin d'ajouter/baisser la fréquence dans un système WDM qui utilise plusieurs canaux qui ont des longueurs d'onde différentes qui peuvent être transmis par la même fibre [4].

Notre travail s'inscrit autour des systèmes à base de FBG en utilisant le logiciel Rsoft CAD, pour une analyse des caractéristiques du réseau de Bragg avec une application sur les réseaux à pas variables (chirpés).

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre est divisé en deux parties:

## Introduction générale

---

- La première partie a été consacré pour présenter les réseaux d'accès à base de la technologie ADSL et les réseaux d'accès avec fibre optique, les différentes technologies FTTx qui constituent l'offre de déploiement d'accès ont été définies. Une comparaison des deux réseaux d'accès en termes d'évolution du débit a été effectuée
- La fibre optique a fait l'objet de la deuxième partie du chapitre avec la présentation des différents types de la fibre optique.

Le deuxième chapitre : fournit une étude générale sur les réseaux de Bragg, le principe de fonctionnement, ses caractéristiques, ainsi que quelques applications importantes du réseau de Bragg.

Le troisième chapitre intitulé simulations et résultats, présente une simulation avec le logiciel Rsoft CAD, pour l'étude des caractéristiques du réseau de Bragg, plus particulièrement les réseaux à pas variables (chirpés).

*RÉSEAUX D'ACCÈS*

*ET*

*FIBRE OPTIQUE*



## 1. Introduction :

Ce chapitre est consacré aux réseaux d'accès à base de la technologie ADSL et les réseaux d'accès avec fibre optique, les différentes technologies FTTx qui constituent l'offre de déploiement d'accès. Ces réseaux d'accès sont énumérés et décrit avec une mise au point sur l'impact de l'évolution des deux systèmes sur le débit de connexion. La fibre optique fait l'objet de la deuxième partie du chapitre avec la présentation des différents types de fibre optique.

## 2. Réseaux d'accès :

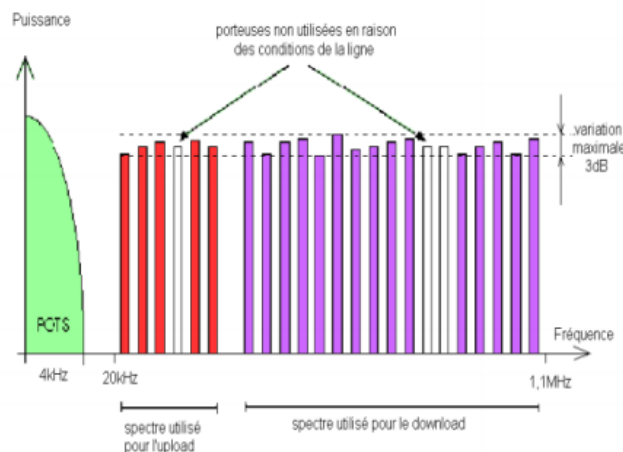
L'ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line (liaison numérique asymétrique), de la famille xDSL est une technologie de transport des données numériques sur une ligne téléphonique via les fils de cuivre sur des distances courtes de quelques kilomètres.

La bande passante d'une ligne téléphonique est de 4Khz, avec l'ADSL cette bande est étendue jusqu'à 1.1 Mhz. Grâce à un simple filtre chez l'abonné et un multiplexeur DSLAM installé sur le central téléphonique, un réseau, disposant d'un débit ADSL atteignant au maximum 800 Kbits/s en montant et 8192 Kbits/s en descendant [5]

### 2.1. Bandes utilisées par L' ADSL

L'ADSL utilise le multiplexage de fréquence, La bande est alors divisée en 3 sous bandes:

- Entre 0 à 4khz pour le téléphone classique
- Entre 4 à 100khz (jusqu'à 640kb/s) pour le canal de l'abonné vers le réseau Internet (canal descendant)
- Entre 100 à 1 Mhz (jusqu'à 8Mb/s) pour le canal allant de l'internet vers l'abonné (canal montant) [5]



**Figure 1.1 : Utilisation de la bande passante**

L'ADSL permet aux données numériques de transiter sur le même réseau câblé que la téléphonie fixe. Pour ce faire, votre ligne téléphonique et vos données numériques utilisent tout simplement des fréquences différentes. La ligne téléphonique utilise en effet la bande de fréquence située entre 300 et 3400 Hz quand les données numériques transitent sur des fréquences supérieures à 80 kHz. Cela vous permet d'utiliser Internet et d'utiliser la téléphonie fixe sans coupure.

### 2.2. Le principe de l'ADSL (Schéma d'une connexion ADSL):

L'ADSL fournit une liaison pour accès Internet avec des débits relativement élevés (0.5 à 24Mb/s), permettant l'utilisation simultanée téléphone et internet avec une liaison permanente et nécessite d'utiliser un modem/routeur ADSL. Des équipements spéciaux au niveau du réseau de télécommunication doivent être installés (DSLAM: DSL Access Multiplexer), Les DSLAM séparent le trafic téléphonique et le trafic vers internet.

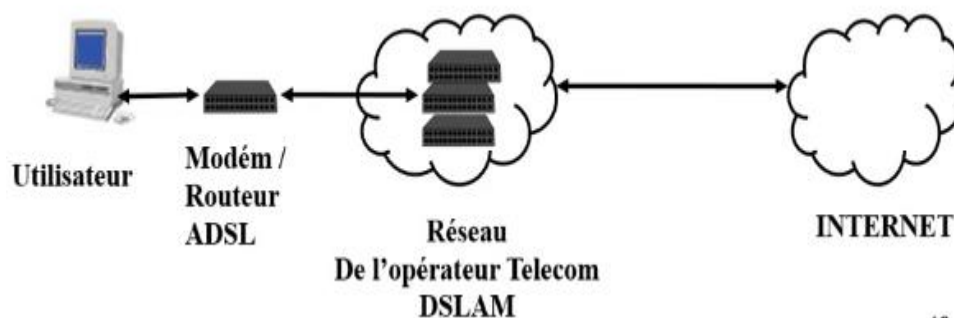


Figure 1.2 : Schéma d'une connexion ADSL

### 2.3. Les évolutions du système l'xDSL :

La figure suivante représente la montée en débit des technologies xDSL

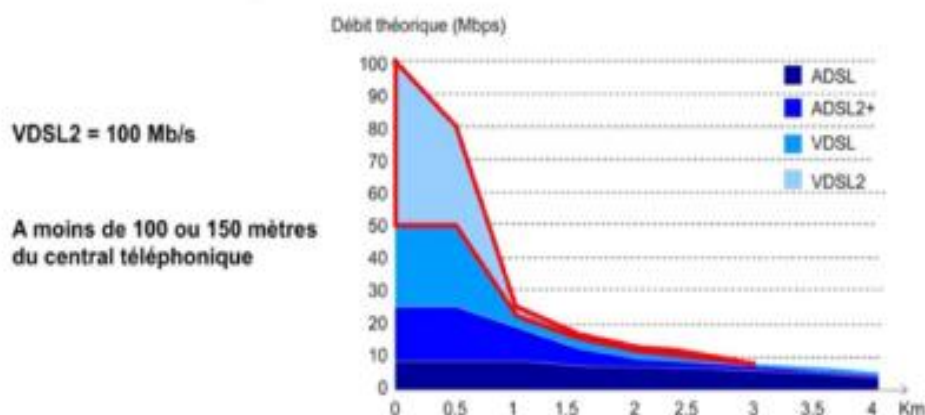


Figure 1.3 : Débit théorique en fonction de la portée [5]

Les technologies xDSL reposent sur l'utilisation des réseaux téléphoniques. Avec l'ADSL, on peut atteindre des débits de 10 Mb/s, jusqu'au central téléphonique.

Avec la VDSL2, on peut atteindre un débit de 100 Mb/s, à condition d'être à 100-150 mètres du central téléphonique. La fibre optique permet d'étendre ce rayon de couverture avec des débits beaucoup plus importants.

La notion de débit correspond à la quantité d'informations échangées entre deux terminaux pendant un temps donné. Tant que ce débit est inférieur à 30 Mb/s, on parle d'offres bas débit ou haut débit. Ces offres haut débit HD sont dispensées essentiellement par les technologies XDSL. Dès lors qu'on dépasse 30 Mb/s, on parle, en France, d'offres très haut débit, c'est ce que pourra nous offrir la fibre optique et les réseaux FTTH. [5]

## 3. Les réseaux d'accès avec fibre optique :

L'utilisation de la fibre optique présente de nombreux avantages. Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée, capacité de charge plus élevée, sont aussi plus minces et plus légères, offre moins de dégradation du signal (des faibles pertes) , aucune interférence électromagnétique et une grande résistance aux attaques chimiques et aux variations en température.

Un autre déploiement des réseaux d'accès est assuré avec Les différentes technologies FTTx avec plus d'avantages d'améliorations du réseau de télécommunications

### 3.1. Les réseaux d'accès FTTX

Les différentes technologies FTTx constituent l'offre de déploiement des réseaux d'accès.

On déploie de la fibre optique monomode jusqu'au trottoir, jusqu'au bâtiment, jusqu'à la maison, jusqu'au bureau. Les derniers mètres sont réalisés avec d'autres supports, qui peuvent être de la paire cuivrée, de la fibre optique plastique, une solution sans fil, de la fibre optique multimode.

FTTx correspond à la fibre dont la distribution va jusqu'au «x». Cet acronyme représente le terme générique pour désigner un large éventail d'options d'architecture de réseau à large bande. Ces architectures utilisent la fibre optique pour une partie ou la totalité de leur connectivité du dernier kilomètre. Le «x» représente le point de terminaison de la fibre, comme la maison, l'antenne, le bâtiment, etc. Seule la solution FTTH, fibre jusqu'à la maison, utilise la fibre optique monomode jusqu'au domicile de l'utilisateur. [6]

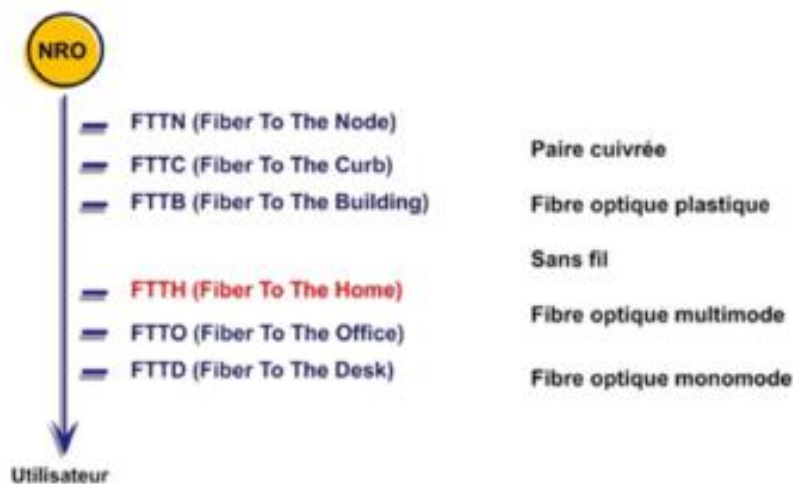


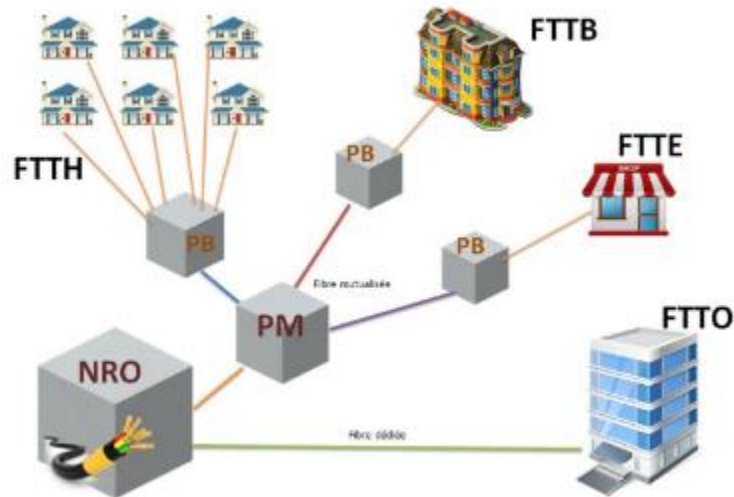
Figure 1.4 : Du Nœud de Raccordement Optique (NRO) à l'utilisateur [7]

Le FTTx utilise la fibre optique comme support. Les données sont donc transmises par des impulsions lumineuses d'un laser à la vitesse de la lumière. [8]

Contrairement au transport sur paire cuivrée où l'information est transmise par impulsions électroniques, la fibre met en œuvre une transmission optique de l'information. Les données peuvent donc être véhiculées à la vitesse de la lumière. En pratique, les débits peuvent atteindre 2,4 Gbit/s symétriques, ce qui est très supérieur à ce que l'on pouvait atteindre jusqu'à maintenant avec le support cuivré.

## Réseaux d'accès et la fibre optique

L'autre avantage de la fibre optique est, qu'en la traversant, le signal ne se dégrade pas en fonction de la distance. En effet, la fibre optique est insensible aux perturbations magnétiques ambiantes. Ainsi, l'atténuation à 1550 nm est d'environ 0.2 dB/km soit près de 75 fois moins importante que pour une paire de cuivre de 4/10 de millimètre. Résultat, après 100 km de propagation, il reste encore 1% de la puissance injectée dans la fibre, ce qui est suffisant pour détecter le signal. La fibre optique permet d'atteindre un plus haut débit de connexion par rapport à d'autres technologies déjà présentes (ADSL, câble coaxial, etc.).[10]



**Figure 1.5 :** Différents Catégories constituant de technologie FTTx

### 3.2. Qu'est ce que le FTTx :

Différents acronymes utilisés et architecture correspondante :

FTTP : Fiber To The Premises (Fibre jusqu'aux locaux – entreprises)

FTTH : Fiber To The Home (Fibre jusqu'au domicile)

FTTB : Fiber To The Building (Fibre jusqu'au bâtiment)

FTTS : Fiber To The Street (Fibre jusqu'à la rue – bâtiment)

FTTD : Fiber To The Door (Fibre jusqu'au pas de porte)

FTTO : Fiber To The Office (Fibre jusqu'au bureau)

FTTE / FTTZ : Fiber To the Telecom Enclosure / Fiber To the Telecom Zone

FTTF : Fiber To The Frontage

FTTdp : Fiber To The distribution point

FTTCab : Fiber To The Cab (Fibre jusqu'au sous-répartiteur)

FTTN / FTTLA : Fiber To The Node / Fiber To The Last Amplifier (Fibre jusqu'au dernier amplificateur)

FTTC : Fiber To The Curb

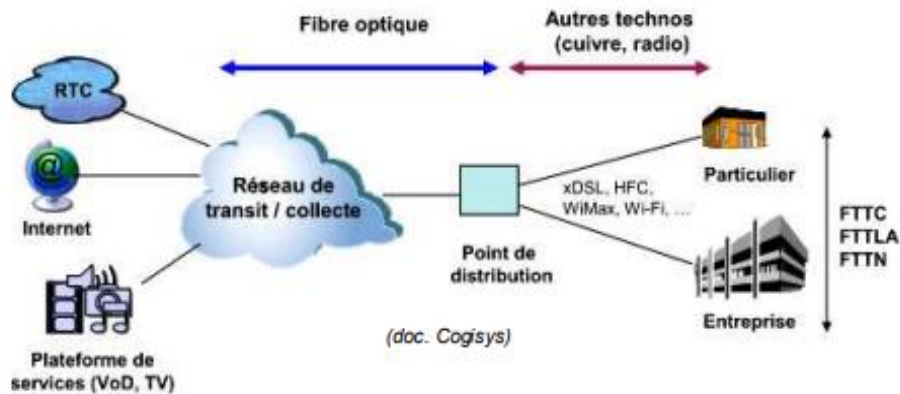
FTTK : Fiber To The Kerb (Fibre jusqu'au trottoir)

## 3.3. Les Catégories de technologie FTTx

Dans réseaux FTTx on trouve classés en deux grandes catégories :

### 3.3.1. Les réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution

La fibre optique est déployée jusqu'au point de distribution (entrée d'une zone d'activité, quartier résidentiel...), puis le raccordement final des usagers est réalisé par une autre technologie (câble, ADSL, réseaux hertzien, ...). [11]



**Figure 1.6 :** Réseaux de desserte optique jusqu'à un point de distribution

Le point de distribution peut être situé au niveau :

- D'un NRA (noeud de raccordement d'abonnés, anciennement appelé « central téléphonique ») ou d'une station de base (Wi-Fi, Wi-Max). On parle de FTTN (Fiber to the Node).
- D'un sous répartiteur (une armoire de rue). On parlera de FTTC (Fiber to the Cabinet ou Fiber to the Curb),
- Du dernier amplificateur, dans le cas des réseaux des câblo-opérateurs. Il s'agit de FTTLA (Fiber to the Last Amplifier)
- FTTN OU MED (MONTÉE EN DÉBIT) - FIBER TO THE NODE

Un réseau FTTN (Fiber To The Node) est constitué de fibre optique jusqu'au sous-répartiteur (SR). Ce dernier est une armoire qui regroupe plusieurs paires de cuivre du quartier. On appelle aussi ces opérations des Montées en Débit (MeD) ou FTTC (Fiber to the Cabinet – fibre jusqu'au sous-répartiteur). [13]

Cette technologie permet une amélioration du débit et de l'atténuation du signal chez les clients, en rapprochant le NRA et les équipements haut-débit (DSLAM) du logement.

- FTTC : Fiber To The Curb

Dans un déploiement FTTC (fibre jusqu'au trottoir), le câblage optique se termine généralement à moins de 300 mètres du bâtiment du client. Les câbles à fibres optiques sont installés le long de la route longeant le bâtiment considéré. En utilisant la technique FTTC, la dernière connexion entre le trottoir et le domicile ou l'entreprise peut utiliser le câble coaxial. Les différents services de communication utilisent une seule ligne. [13]

## Réseaux d'accès et la fibre optique

En tant que déclinaison du réseau FTTN, FTTC s'affiche comme une topologie dans laquelle la fibre passe d'un point émetteur en amont à un point de distribution côté trottoir à proximité du bâtiment du client.

- FTTLA (Fiber To The Last Amplifier)

La connexion jusqu'au dernier amplificateur est en fibre optique, puis un câble dit coaxial, en cuivre, apporte la connexion jusqu'à votre domicile [14].

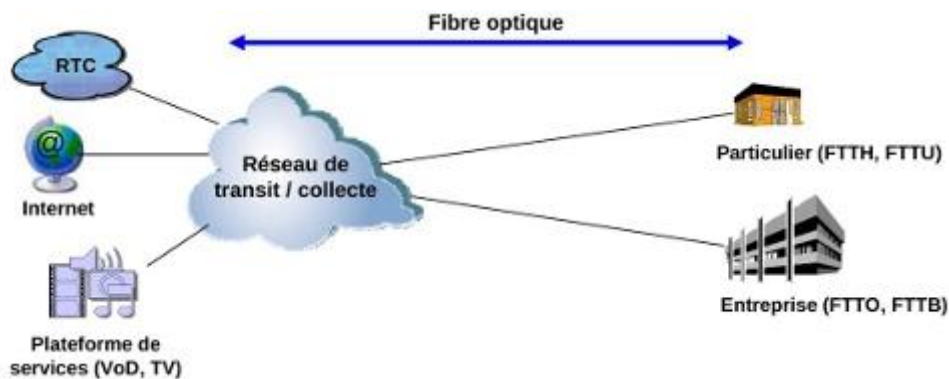
La technologie a l'avantage d'être moins chère, mais la présence de câbles en cuivre ralentit ses performances. C'est moins sensible dans le débit descendant, c'est à dire votre vitesse de téléchargement, qui reste similaire à la vitesse de la FTTH. Mais le débit montant – la vitesse à laquelle vous envoyez vos données – est en revanche nettement plus lent que la fibre de bout en bout. Elle reste malgré tout largement supérieure à la vitesse de l'ADSL ou du VDSL.

La FTTLA n'était utilisée que par SFR, mais l'opérateur s'est engagé à ne plus développer que la FTTH ; la technologie est donc appelée à – lentement – disparaître au profit d'une fibre plus rapide.

### 3.3.2. Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur

Pour lesquels on distingue :

- les réseaux de desserte optique déployés jusqu'au bâtiment d'une entreprise ou au pied d'un immeuble (FTTO / FTTB pour Fiber To The Office / Fiber To The Building). La desserte interne de l'entreprise ou des foyers au sein de l'immeuble est ensuite réalisée généralement via un réseau « cuivre ».
- les réseaux de desserte optique jusqu'au foyer de l'abonné (FTTU / FTTH pour Fiber To The User / Fiber To The Home).



**Figure 1.7 :** Les réseaux de desserte optique jusqu'à l'utilisateur

- FTTB : Fiber To The Building (Fibre jusqu'au bâtiment)

La FTTB, de l'anglais "Fiber to the Building" ou "Fibre jusqu'au Bâtiment", est une technique de raccordement qui consiste à amener la fibre optique au pied de chaque immeuble, puis d'utiliser pour les derniers mètres le réseau existant, à savoir le câble cuivre du réseau téléphonique commuté (RTC) utilisé pour la connexion ADSL, ou le câble coaxial (technologie DOCSIS) qui permet l'accès à la télévision "câblée". [15]

La FTTB est donc un mode de raccordement hybride, associant plusieurs technologies. L'opérateur télécom porte la fibre du Nœud de Raccordement Optique (NRO) jusqu'au site de l'entreprise, mais s'appuie sur une ancienne technologie une fois arrivé au bas de l'immeuble.

La FTTB fait partie des technologies apportant un accès Internet dit Très Haut Débit (THD), c'est-à-dire supérieur à 30 Mbps. Les débits en FTTB s'élèvent jusqu'à 1 Gbps en débit

## Réseaux d'accès et la fibre optique

descendant, et à 60 Mbps en débit montant. Un débit suffisant pour les usages professionnels les plus courants

- FTTO : Fiber To The Office (Fibre jusqu'au bureau)

La FTTO concerne les entreprises qui avec ce type d'offre peuvent bénéficier d'une fibre dédiée depuis le NRO jusqu'à leur local, au lieu d'une fibre partagée dans le cas du FTTH avec architecture PON. [13]

Un contrat d'accès FTTO permet également un débit symétrique et garanti et un engagement du fournisseur sur le rétablissement de la connexion en cas d'incident via la Garantie de Temps de Rétablissement (GTR).

- FTTH : Fiber To The Home (Fibre jusqu'au domicile)

La Fiber To The Home ou fibre optique jusqu'au domicile (FTTH), est l'installation et l'utilisation de la fibre optique à partir d'un point central directement vers des bâtiments individuels tels que des résidences ; ainsi que des immeubles d'habitation et des entreprises pour fournir un accès Internet à haut débit. Le FTTH augmente considérablement les vitesses de connexion disponibles pour les utilisateurs d'ordinateurs ; par rapport aux technologies autrefois utilisées dans la plupart des endroits.[15]

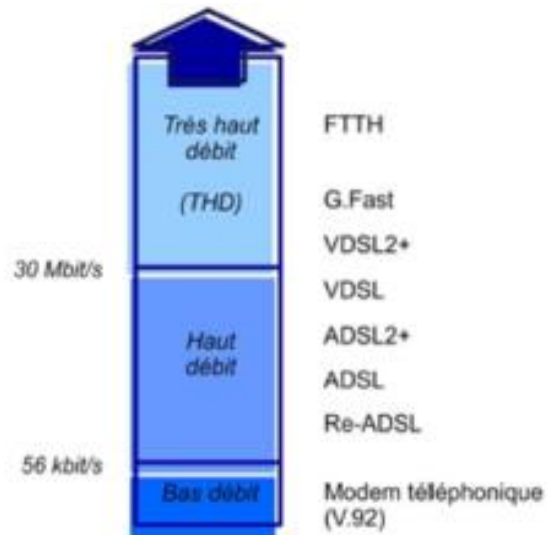
### 3.4. Comparaison entre xDSL et FTTH

Le FTTH promet des vitesses de connexion allant jusqu'à 100 mégabits par seconde (Mbps) ; permettant de proposer des services de communications électroniques à très haut débit en situation fixe. Ces vitesses sont 20 à 100 fois plus rapides que celles d'un modem câble ; ou d'une connexion DSL (Digital Subscriber Line) classique. Le débit internet le plus rapide pour une solution internet fibre optique est aujourd'hui de 10 Gbps

Le tableau 1.1 indique l'évolution de la technologie xDSL en fonction de sa bande passante et de la distance ; ainsi que sa comparaison avec FTTH.

Transport	ADSL	ADSL2	ADSL2+	VDSL	VDSL2	FTTH PON
Bande passante	D : 8 M	12 M	24 M	55 M	100 M	100+
	U : 1 M	3.5 M	1 M	19 M	100 M	100+
Distance	3-5 Km			<= 1.3 Km		<= 100 Km

**Tableau 1.1:** Comparaison entre xDSL et FTTH [13]



**Figure 1.8 :** Evolution du débit en fonction des technologies xDSL et FTTH [7]

Différence entre la fibre optique et l'ADSL		
	Fibre optique (500 Mb/s)	ADSL (8 Mb/s)
Pour un film HD de 5 Go	<b>1 min et 20 secondes</b>	1 heure et 23 minutes
Pour un album de musique de 250 Mo	<b>4 secondes</b>	4 minutes et 16 secondes
Pour un fichier de 50 Mo	<b>0.8 seconde</b>	50 secondes

**Tableau 1.2:** Comparaison du débit entre FTTH et ADSL [16]



## 4. Généralités sur les fibres optiques

### 4.1. Définition

Une fibre optique est un guide d'onde optique de symétrie circulaire, constitué de deux ou plusieurs couches de matériaux diélectriques transparents (verre ou plastique) d'indices de réfraction légèrement différents. La fibre la plus simple est composée de deux couches homogènes, séparées par un écart d'indice : on parle de fibre saut d'indice.

'Tyndall' a découvert qu'avec les fibres optiques, la lumière peut être transmise par le phénomène de réflexion interne totale. Pendant les années 1950, les fibres optiques à grand diamètre d'environ 1 ou 2 millimètres ont été utilisées dans les endoscopes pour voir les parties intérieures du corps humain [17]. Les fibres optiques peuvent fournir une voie beaucoup plus fiable que l'atmosphère. En 1966, 'Kao' et 'Hockham' ont publié un document sur le système de communication par fibres optiques [18] avec une énorme perte de 1000 dB/km. Par contre, dans l'atmosphère il y a une perte de quelques dB/km. Immédiatement Kao et ses collègues de travail se sont rendu compte que ces pertes étaient élevées en raison d'impuretés dans le matériau de la fibre. En utilisant une fibre en silice pure, ces pertes ont été réduites à 20 dB / km en 1970 par 'Kapron', 'Keck' et 'Maurer' [19]. Avec cette perte d'atténuation, l'espacement des répéteurs pour les liaisons à fibres optiques devient comparable à celui des systèmes à câbles de cuivre.

Ainsi, le système de communication à fibre optique est devenu une réalité.

Contrairement au support de la transmission sur cuivre, la fibre optique n'est pas de nature électrique. La transmission par fibre optique utilise de la lumière avec des longueurs d'ondes juste supérieures à celles de la lumière visible. La fibre optique se présente sous forme d'un cylindre de verre de quelques centaines de micromètres de diamètre. Il existe plusieurs types de fibres mais tous sont constitués de la même façon d'un cœur et d'une gaine toutes deux sont des matériaux transparents en verre ou en plastique. Un revêtement protecteur, en plastique souple, entoure la gaine.

#### 4.1.1. Le cœur

C'est dans cette zone, constituée de verre, que la lumière est guidée et se propage le long de la fibre.

#### 4.1.2. La gaine optique

Constituée dans les mêmes matériaux que le cœur qu'elle entoure, la gaine optique de la fibre utilisée dans les télécommunications est donc, comme le cœur, composée de silice. Cependant c'est un silice de moins bonne qualité, la gaine optique n'est pas destinée à la transmission.

#### 4.1.2. Le revêtement de protection

Généralement en plastique, il assure la protection mécanique de la fibre optique. Il sert également pour la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation. Cette couche extérieure n'intervient pas dans la transmission de la lumière. [21]



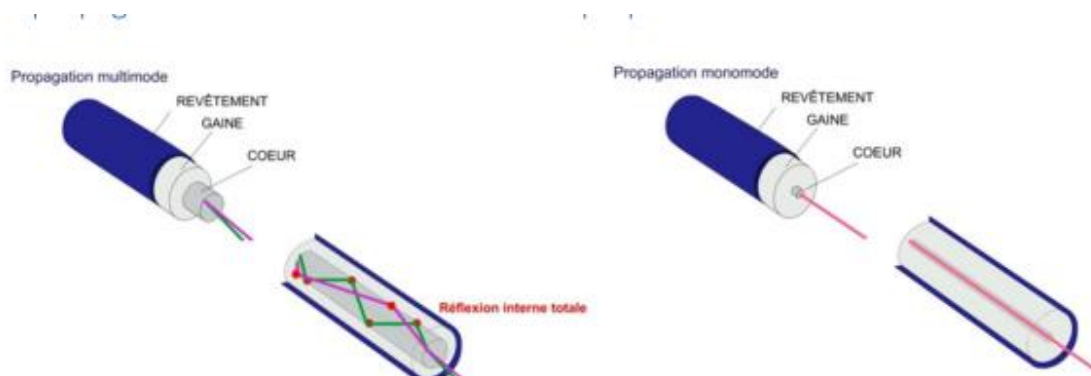
$n_1 > n_2$  : condition de guidage de la lumière

**Figure 1.9** : structure d'une fibre optique [5]

Les signaux lumineux vont circuler dans le cœur, tandis que la gaine les empêche qu'ils de s'échapper de la fibre. Pour ce faire, le cœur et la gaine sont fabriqués de telle sorte qu'ils disposent d'indices de réfraction différents, l'indice de réfraction du cœur  $n_c$  doit être plus grand que l'indice de réfraction de la gaine  $n_g$ . Le cœur cylindrique dans lequel est confiné la lumière, est entouré d'une couche périphérique d'indice  $n_2$  légèrement inférieur appelée gaine optique (figure 1.9).

## 4.2. Principe de transport de la lumière dans une fibre optique :

La fibre optique étant un guide d'onde exploitant les propriétés de réfraction de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. La figure suivante illustre la structure de la fibre, ainsi que la réfraction de la lumière à l'intérieur de la fibre. Cette dernière se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux constituant le cœur et la gaine.



**Figure 1.10**: principe de transport de la lumière dans une fibre optique. [5]

Effectivement, un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en

zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec des pertes minimales même lorsque la fibre est courbée. Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres.

Le premier est la différence d'indice normalisé, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine

$$\Delta n = \frac{n_c - n_g}{n_c} \quad (1.1)$$

Le second est l'ouverture numérique de la fibre (N.A. pour Numerical Aperture). Concrètement, ce paramètre est le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte, et l'angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre :

$$N.A. = \sin\theta_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \quad (1.2)$$

### 4.3. Différents type de fibre optique

Le nombre de chemins emprunté par la lumière dans la fibre en optique représente le mode de propagation. Dans une fibre multimode, la lumière peut prendre un grand nombre de chemins (voir le schéma). Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les fibres monomodes et multimodes.

Dans une fibre monomode, elle est prisonnière d'un trajet direct. Elle conserve donc vitesse et cohérence. La fibre monomode est donc une fibre plus performante que la fibre multimode, mais elle nécessite l'utilisation de sources lumineuses (laser) très puissantes. Le nombre de modes est donné par [20]:

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (1.3)$$

(Approximation vraie pour un grand nombre de modes avec  $V$  représente la fréquence normalisée)

#### 4.3.1. La fibre monomode

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on favorise l'utilisation des fibres monomodes (dites SMF, pour Single Mode Fibre). Avec un cœur très fin qui n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances.

Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin). Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. En revanche, il existe un autre type de dispersion : la dispersion intermodale. Son origine est la largeur finie du train d'onde d'émission qui implique que l'onde n'est pas strictement monochromatique, réellement, toutes les longueurs d'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans le guide ce qui induit un élargissement de l'impulsion dans la fibre optique

Son cœur est extrêmement fin (environ 9 microns). La transmission des données y est assurée par des lasers émettant des longueurs d'onde de 1300 à 1550 nanomètres et par des amplificateurs optiques situés à intervalles réguliers.

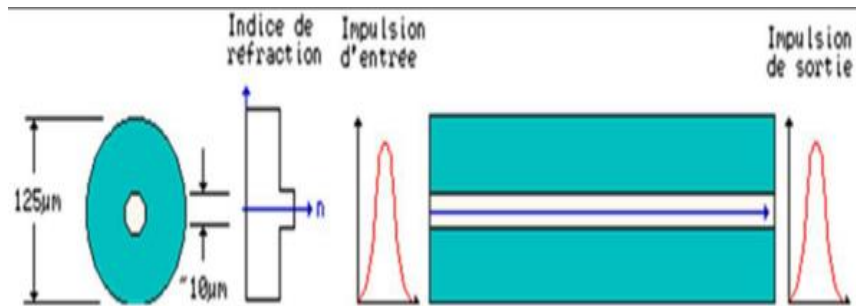


Figure 1.11 : des fibres optiques monomode.

### 4.3.2. Fibre optique multimode

Les fibres multimodes (dites MMF, pour Multi Mode Fibre), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristique de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances.

La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5  $\mu\text{m}$  pour le bas débit). Cependant les fibres les plus récentes, de type OM3, permettent d'atteindre le Gbit/s sur des distances de l'ordre du km [22].

Dans cette famille, nous trouvons deux sous catégories:

#### A- La fibre à saut d'indice :

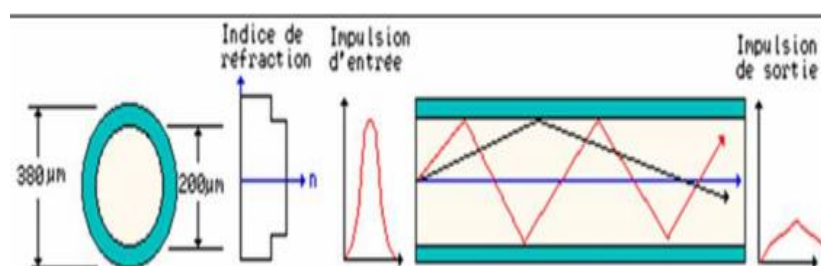


Figure 1.12 : La fibre à saut d'indice

Reconnu comme ordinaire car le cœur à un diamètre assez gros, par rapport à la longueur d'onde de la lumière (de l'ordre du  $\mu\text{m}$  dans l'infrarouge). Elle est distinguée par la facilité de mise en œuvre mais avec des pertes et une distorsion importante du signal.

D'autre part, il existe des fibres monomode à saut d'indice différentes de des fibres multimode. Le diamètre de leurs cœurs varie entre 6  $\mu\text{m}$  et 8  $\mu\text{m}$ , tandis que le diamètre de leurs gaines est de 125  $\mu\text{m}$ .

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{si } r < a \text{ (coeur)} \\ n_2 & \text{si } r \geq a \text{ (gaine)} \end{cases}$$

## B- La fibre à gradient d'indice :

Cette fibre est caractérisée par deux améliorations :

-Le diamètre du cœur est de deux à quatre fois plus petit. Le cœur est constitué de couches successives, à indice de réfraction de plus en plus grand.

- un rayon lumineux qui ne suit pas l'axe central de la fibre est ramené "en douceur" dans le droit chemin. les résultats sont nettement de qualité amélioré (voir figure suivante).

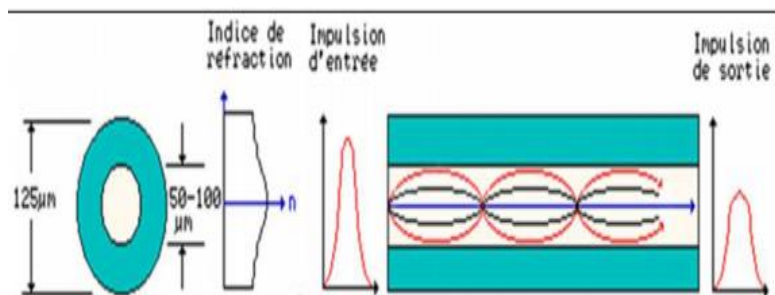


Figure 1.13. La fibre à gradient d'indice

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^2} & \text{si } r < a \text{ (coeur)} \\ n_2 \sqrt{1 - 2\Delta} & \text{si } r \geq a \text{ (gaine)} \end{cases}$$

On distingue particulièrement pour cette fibre, une Bande passante raisonnable, bonne qualité de transmission mais avec la difficulté de mise en œuvre.

Tableau 1.3: comparaisant entre les différents types de la fibre

Structure	Avantage	Inconvénients	Application pratique
Multimod à saut indice	-Grande ouverture numérique -Connexion facile -Faible prix -Facilite de mis en œuvre	Pertes , Dispersion et distorsion élevées du signal	Communication courtes distantes réseaux locaux
Multimode à gradient indice	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications courts et moyennes distances
Monomode	Bande passante très grande ; atténuation très faible , faible dispersion	Prix très élevé	Communication longues distance

### **5. Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les réseaux d'accès à base de la technologie xDSL et les réseaux d'accès avec fibre optique, après l'exhibition du principe de fonctionnement, les bandes de fréquences utilisées, le débit théorique en fonction de la portée et l'évolution du système l'xDSL a été exposé. Les différentes technologies FTTx qui constituent l'offre de déploiement des réseaux d'accès sont définies avec une comparaison en terme d'évolutions du débit avec l'xDSL. Dans la deuxième partie du chapitre la fibre optique ainsi que les différents types de fibre sont définies.

# *LA FIBRE À RÉSEAU*

*DE*

*BRAGG (FBG)*

### 1. Introduction :

La fibre à réseau de Bragg (FBG) est un dispositif optique passif qui contiennent des modulations périodiques de l'indice de réfraction du cœur de la fibre optique (fibre monomode ou multimode) sur une longueur finie [23, 24, 25]. Ces variations périodiques sont généralement une perturbation de la propriété de photosensibilité du cœur de la fibre. Ces variations périodiques peuvent être formées par utilisant un certain nombre de techniques incluant holographiques [26], masque de phase [27] et technologie point par point. [28]. Les FBG en raison de leurs principaux avantages comme une sensibilité et une résolution élevées, trouve d'énormes applications en tant que capteurs dans divers domaines de mesure, en tant qu'éléments de compensation de dispersion dans la fibre optique dans systèmes de transport. De plus, les FBG sont actuellement déployés dans différents secteurs tels que le pétrole et le gaz

Dans ce chapitre nous allons exposer le réseau de Bragg ces caractéristiques, les types de réseau et quelques applications

### 2. Présentation du réseau de Bragg

Découvert en 1978 par Ken Hill , le réseau de Bragg a été fabriqué en utilisant un laser visible se propageant le long du cœur de la fibre [26].

En 1989, Gerald Meltz et ses collègues ont démontré la technique transversale plus flexible où l'illumination du laser est faite du côté de la fibre. Cette technique utilise le pattern d'interférence de la lumière laser ultraviolet pour créer la structure périodique du réseau de Bragg dans le cœur de fibre [27].

Aujourd'hui, on utilise plus souvent la technique du masque de phase afin de fabriquer la fibre à réseau de Bragg [29].

Une fibre à réseau de Bragg (FBG, Fiber Bragg Grating) est un type de réflecteur de Bragg distribué le long de la fibre. Le réseau est construit dans un court segment de la fibre optique, qui réfléchit les longueurs d'onde particulières de la lumière et transmet toutes les autres. Ce segment est obtenu en ajoutant une variation périodique ou aperiodique de l'indice de réfraction dans le cœur de la fibre, qui génère un miroir diélectrique spécifique.

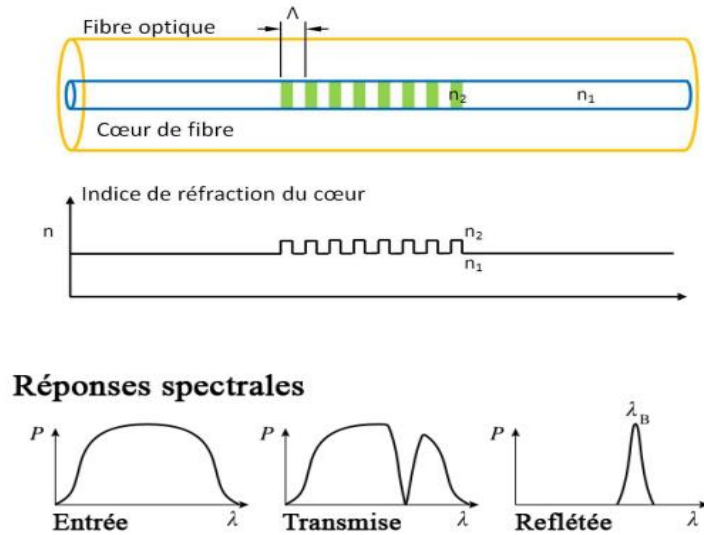
Considéré comme structure résonnante, la fibre à réseau de Bragg agit comme un miroir Sélectif de la longueur d'onde très précise ; c'est un filtre à bande étroite. Cela signifie que si la lumière d'une source à bande large parcourt la fibre optique, seule la lumière sur une largeur spectrale très étroite, centrée sur la longueur d'onde du réseau de Bragg sera reflétée. La lumière restante poursuivra son chemin le long de la fibre jusqu'au prochain réseau de Bragg sans avoir perdu de son pouvoir.

La fibre à réseau de Bragg peut donc être utilisée comme un filtre optique en ligne pour bloquer certaines longueurs d'onde, ou comme un réflecteur en longueur d'onde spécifique.

La figure 1 montre la structure de la fibre à réseau de Bragg ainsi que les profils spectraux de l'entrée, de la réflexion et de la transmission, respectivement.



## La fibre à réseau de Bragg (FBG)



**Figure 2.1 :** Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales.[30]

Grâce aux caractéristiques physiques, la fibre à réseau de Bragg s'emploie dans deux domaines principaux : senseur et télécommunication.

Pour l'application comme senseur, avec la flexibilité extraordinaire et bonne sensibilité au changement de la température, la fibre à réseau de Bragg peut alors être utilisée comme dispositifs de détection directe tels que capteur de pression, de vibration de séisme et de température [27-28].

L'application essentielle de la fibre à réseau de Bragg est dans le domaine des systèmes de télécommunications optiques, avec plusieurs application comme :

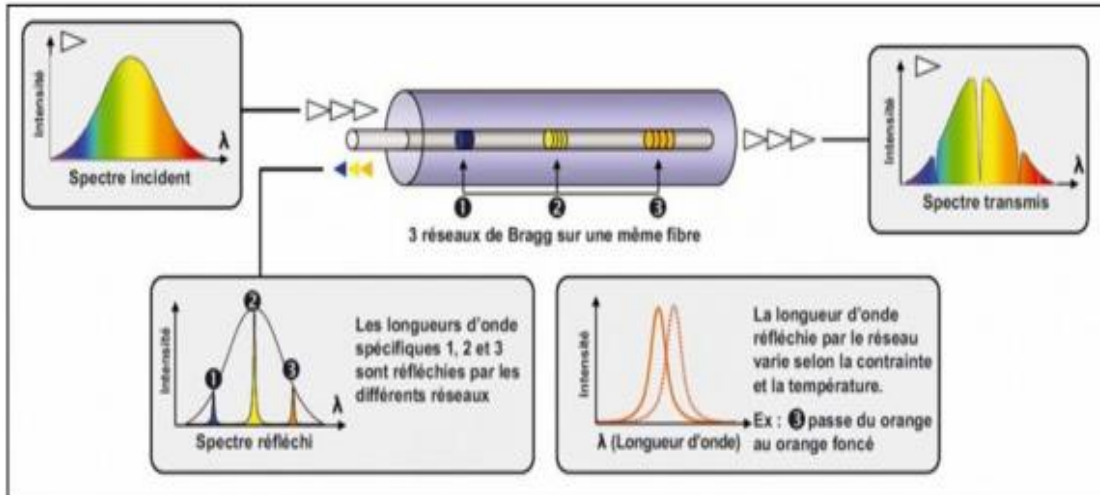
Filtre coup-bande ou filtre éjecteur de bande, laser à fibre optique, compensateur de dispersion chromatique pour les systèmes de communication à haut débit (40 Gb/s). Elles sont également appliquées dans les multiplexeurs et démultiplexeurs optiques avec un circulateur optique, ou multiplexeur optique d'insertion-extraction (OADM, Optical Add-Drop Multiplexer).

### 3. Principe de fonctionnement [27] :

Le réseau de Bragg est une structure symétrique, qui reflète toujours la lumière selon la longueur d'onde peu importe d'où provient la lumière.

Différents capteurs fabriqués à partir de réseaux ayant une longueur d'onde spécifique peuvent être implémentés en série sur une même ligne optique (typiquement jusqu'à 16).

## La fibre à réseau de Bragg (FBG)



**Figure 2.2 :**(A gauche en haut : spectre de la lumière injectée ; en haut à droite : spectre de la lumière transmise ; au centre : FBG avec symbolisées la transmission la réflexion de la lumière ; en bas à gauche : spectre de la lumière reflétée) [27].

La figure (2.2) montre la représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre. Lorsque la période et l'amplitude de la modulation de l'indice sont constantes, le réseau est appelé uniforme et représente la structure de base pour décrire les différents types de réseau de Bragg existants. La modulation de l'indice de réfraction de la fibre optique résultante de l'irradiation UV s'écrit :

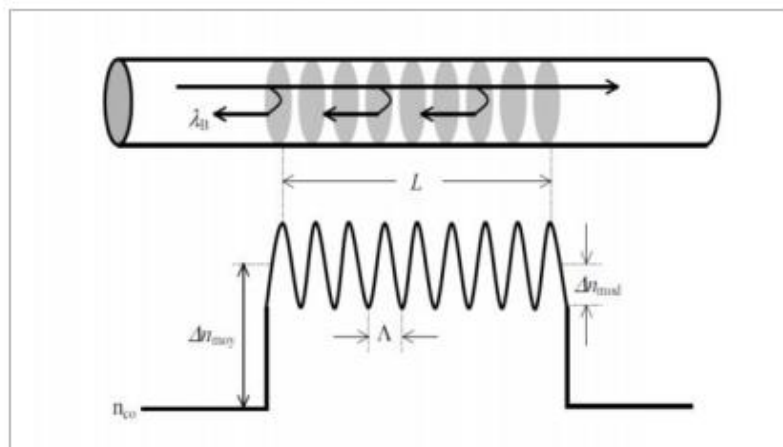
$$\Delta n(z) = \Delta n_{moy} + \Delta n_{mod} \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \quad (2.1)$$

$\Delta n_{moy}$  : La variation de l'indice moyen

$\Delta n_{mod}$  : L'amplitude de la modulation

$z$  : La position dans le réseau

$\Lambda$  : La période ou pas de variation de l'indice de réfraction.



**Figure 2.3 :** Représentation schématique d'un réseau de Bragg à fibre [33],  $\lambda_B$  : longueur d'onde de Bragg,  $L$  : longueur du réseau,  $n_{co}$  : indice de cœur,  $\Delta n_{mod}$  : indice de modulation,  $\Delta n_{moy}$  : indice moyen,  $\Lambda$  : pas du réseau

Le pas du réseau est fixé par les paramètres géométriques et les variations de l'indice par l'amplitude du signal UV. Les variations périodiques de l'indice de réfraction vont produire une résonance à la longueur d'onde de Bragg  $\lambda_b$  due à l'échange d'énergie entre les différents modes se propageant dans la fibre :

$$\lambda_b = 2n_{eff}\Lambda \quad (2.2)$$

Où  $n_{eff}$  est l'indice effectif du réseau. De ce fait, seules les longueurs d'onde autour de la longueur d'onde de Bragg sont affectés par les effets de la structure périodique. Pour les autres, la structure sera pratiquement transparente [27].

Le réseau provoque un couplage des modes se propageant dans la fibre. De plus, comme seul un mode transversal existe dans les fibres optiques monomodes, le couplage se produit alors entre les deux sens de propagation différents de ce mode. Le coefficient de couplage, défini comme l'ordre de grandeur de l'interaction entre les modes dans la fibre, est décrit par :

$$K = \frac{\pi\Delta n_{mod}}{\lambda_b}\eta \quad (2.3)$$

Dans le cas d'une modulation de l'indice de forme sinusoïdal. Le facteur de confinement dans la fibre optique a une valeur de  $\eta \approx 0.83$ . L'influence du réseau sur l'onde incidente peut être expliquée à partir du fait que le réseau est un composant sélectif en longueur d'onde.

#### 4. La théorie et généralité :

Les caractéristiques du spectre de réseau sont modélisées par plusieurs méthodes. La théorie utilisée en générale est celle des modes couplés. Cette théorie présente la propagation des ondes optiques dans un guide d'onde avec une petite variation de l'indice à travers la longueur du guide d'onde.

##### 4.1. Théorie des modes couplés [29] :

La modélisation du couplage induit dans les champs d'une fibre par le réseau de Bragg considère celui-ci comme une perturbation dans l'axe de propagation  $z = [0, L]$  de la fibre. Comme seule le mode fondamental se propage dans une fibre monomode, le couplage est contra-propagatif, i.e. se réalisera entre les deux sens possibles de propagation, soient alors  $E_1$  le mode fondamental et  $E_2$  le mode généré par la perturbation, (fig 2.4) définis par :

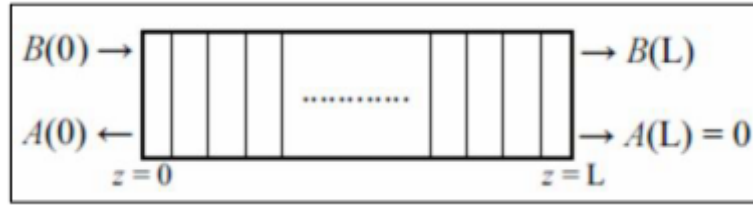
$$E_1 = B(z)\exp(-j\beta_1 z) \quad (2.4)$$

et

$$E_2 = A(z)\exp(-j\beta_2 z) \quad (2.5)$$

Où  $A(z)$  et  $B(z)$  sont les amplitudes des champs aller et retour, et les constantes de propagation respectives. Ces constantes de propagation sont liée au pas de perturbation par  $\beta = \pi/\Lambda$

## La fibre à réseau de Bragg (FBG)



**Figure 2.4** : géométrie du transfert d'énergie entre les modes allé et retour dans un réseau de Bragg [34].

D'après la théorie des modes couplés, la perturbation périodique de la fibre, le réseau de Bragg, peut provoquer un échange d'énergie entre les deux modes. La loi de la conservation de l'énergie exige :

$$\frac{d}{dz} (|A(z)|^2 - |B(z)|^2) = 0 \quad (2.6)$$

Le couplage entre les deux modes est ainsi gouverné par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \frac{dA(z)}{dz} &= kB(z) \exp(-j2(\Delta\beta)z) \\ \frac{dB(z)}{dz} &= k^* A(z) \exp(j(\Delta\beta)z) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Où  $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$  est la condition de couplage et le coefficient de couplage qui représente la force du couplage entre les champs contre-propagatif et qui s'écrit comme suit :

$$K = k \exp[-j(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi)] \quad (2.8)$$

Ces équations sont appelées les équations des modes couplés. Leur solution dépend des conditions aux limites définies. Dans ce cas,  $E_1(z)$  est le mode aller et  $E_2(z)$  le mode retour produits par le réseau, alors  $E_2(z=L)=0$ . Comme il s'agit d'une perturbation obéissant à la loi de Bragg, la condition de phase exige que  $\Delta\beta = 0$  en conséquence :

$$\begin{aligned} A(z) &= B(0) \frac{\sinh[k(z-L)]}{\cosh(kL)} \\ B(z) &= B(0) \frac{\cosh[k(z-L)]}{\sinh(kL)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Le guidage de la lumière dans le réseau est alors convenablement défini par le produit sans dimension  $kL$

Afin de déterminer la réflectivité du réseau de Bragg, nous considérons les conditions aux limites suivantes sur les champs électromagnétiques: pour un réseau de Bragg le mode contre propageant n'est pas présent à la sortie, ce qui nous donne :  $B(L) = 0$ , et le mode aller n'est pas couplé à l'entrée du réseau, c'est à dire que :  $A(0) = 1$  (puissance incidente). La réflectivité est alors donnée par :  $r = \frac{B(0)}{A(0)}$

Encore une fois, nous distinguons deux régions :

Pour les fréquences comprises dans la bande interdite  $|k| < |\Delta\beta|$

$$R = |r|^2 = \frac{(kL)^2 \sinh^2(\gamma L)^2}{(\gamma L)^2 \cosh^2(\gamma L) - (\Delta\beta L)^2 \sinh^2(\gamma L)} \quad (2.10)$$

Pour les fréquences supérieure dans la bande interdite  $|k| < |\Delta\beta|$

$$R = |r|^2 = \frac{(kL)^2 \sinh^2(\gamma L)^2}{(\Delta\beta L)^2 \sin^2(\gamma L) - (\gamma L)^2 \cos^2(\Delta\beta L)^2} \quad (2.11)$$

L'indice de la transmission s'écrit alors,

$$T(\lambda) = \frac{\gamma_B^2}{(\Delta\beta L)^2 \sinh^2(\gamma_B L) - \gamma_B^2 \cosh^2(\gamma_B L)^2} \quad (2.12)$$

Où  $\gamma_B = \sqrt{\Delta\beta^2 - k^2}$  pour  $|k| < |\Delta\beta|$

Parmi les deux façons d'aborder le calcul des réponses spectrales d'un réseau de Bragg, la méthode de matrice de transfert a été retenue, en raison de sa simplicité de mise en œuvre, de sa vitesse de calcul et de la précision des résultats obtenue. Cette méthode consiste à identifier une matrice 2\*2 à chaque section uniforme du réseau. Le réseau est alors fractionné en N sections uniformes. Si  $R_i$  et  $T_i$  sont les amplitudes des champs se propageant à travers chaque section  $i$ , alors  $R_0 = R(L/2) = 1$  et  $T_0 = T(L/2) = 0$ , car il n'existe pas de mode retour se propageant pour  $z \geq L/2$ . La propagation à travers chaque section est alors décrite par la matrice  $M$ , définie par :

$$\begin{bmatrix} R_i \\ T_i \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} R_{i-1} \\ T_{i-1} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Pour un réseau de Bragg à fibre, la matrice  $M$  est donnée par :

$$M_i = \begin{bmatrix} \cos(\gamma L_i) - j \frac{\Delta\beta}{\gamma} \sin(\gamma L_i) & j \frac{k}{\gamma} \sin(\gamma L_i) \\ -j \frac{k}{\gamma} \sin(\gamma L_i) & \cos(\gamma L_i) + j \frac{\Delta\beta}{\gamma} \sin(\gamma L_i) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Où  $L$  est la longueur de la section uniforme,  $\Delta\beta$  et  $k$  les coefficients de couplage associés à chaque section et  $\gamma_B = \sqrt{\Delta\beta^2 - k^2}$ . Une fois la matrice de chaque section a été calculée, les amplitudes des champs sont obtenues à partir de :

$$\begin{bmatrix} R_N \\ T_N \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} R_0 \\ T_0 \end{bmatrix}, M = M_N \cdot M_{N-1} \cdot M_{N-2} \dots M_i \cdot M_l \quad (2.15)$$

Le produit des matrices donne une matrice de transfert totale  $M$  caractérisant la propagation à travers le réseau. Le nombre de sections uniformes nécessaires pour estimer avec précision les réponses spectrales des réseaux non uniformes ; apodisés et à pas variables, est  $\sim 100$ .

Pour des réseaux non uniformes, tels que le réseau à saut de phase et échantillonnés,  $M$  est alors déterminée par le nombre de sections uniformes dans le réseau et en insérant une matrice de saut de phase entre les facteurs  $M_i$  et  $M_{i+1}$  du produit (3.15) pour saut de phase localisé juste après la  $i$ ème section :

$$M_s = \begin{bmatrix} \exp\left(\frac{-j\phi_i}{2}\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(\frac{j\phi_i}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Les effets des variations de la valeur de chaque paramètre constituent un réseau de Bragg peuvent ensuite être facilement déduits des modélisations des réponses spectrales complexes du composant. Les variables indispensables pour effectuer la modélisation sont :

- Pour la fibre : les paramètres opto-géométriques de la fibre, les indices du cœur et de la gaine, leurs diamètres, etc.
- Pour le réseau : le pas, la longueur, le coefficient de couplage, la variation du pas, l'apodisation, les sauts de phase, etc.
- Pour la source optique incidente : la largeur et la résolution spectrale.

### 5. Les types de réseau de Bragg :

#### 5.1. Réseau de Bragg uniforme :

Ce sont des réseaux standards qui ont une période constante et des pas perpendiculaires à l'axe de la structure (la fibre ou guide d'onde). Par exemple pour un réseau de Bragg consiste en une variation périodique dans le cœur d'une fibre optique, selon l'axe de la fibre.  $\Delta n_{eff}(z)$

Généralement un réseau de Bragg est une modulation périodique de l'indice du cœur de la fibre. On peut formuler cette perturbation d'indice comme suit :

$$\Delta n_{eff}(z) = \Delta \bar{n}_{eff}(z) \left\{ 1 + v(z) \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \theta(z)\right) \right\} \quad (2.17)$$

Où  $\Delta \bar{n}_{eff}(z)$

est la modification moyenne de l'indice de réfraction,  $v(z)$  la visibilité ou apodisation de la modulation,  $\Lambda$  la période de la modulation et  $\theta(z)$  sa phase.[ 34 ]

Cette modulation d'indice réalise un filtre en longueur d'onde. En effet, les longueurs d'onde situées autour de la longueur d'onde de Bragg vérifiant la loi de Bragg sont partiellement réfléchies par le réseau, les autres sont transmises, avec période  $\Lambda$  de modulation d'indice et  $n_{eff}$  l'indice de réfraction effectif du mode fondamental.

$$\lambda_b = 2n_{eff}\Lambda$$

On peut identifier ainsi les simulations de différents types de réseaux dont la modulation d'indice est représentée sur la figure 2.5.

Les FBG primaires ou FBG peuvent généralement être sous-catégorisés en uniforme, apodisé, chirpé, super-structure, déphasé, incliné FBG et réseaux ROGUE et peuvent généralement fonctionner jusqu'à 350 °C. La figure 2 représente le schéma de profil et son réflectivité en fonction de la longueur d'onde pour certains FBG couramment utilisés

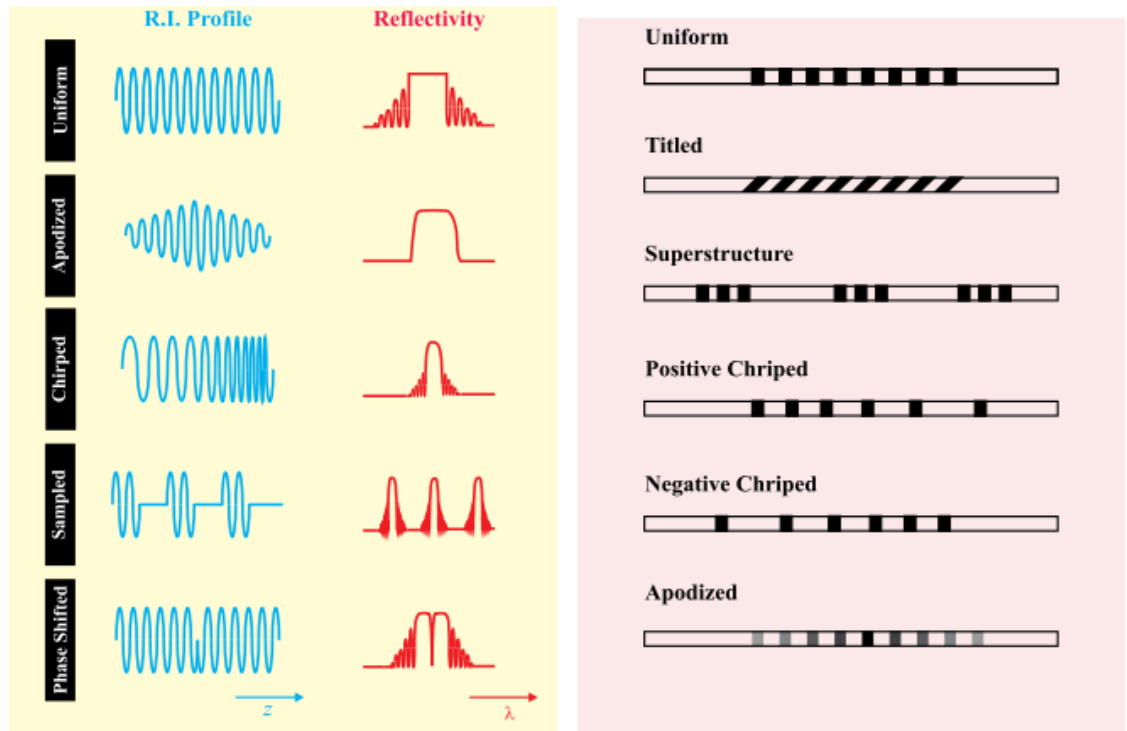


Figure 2.5 : Les différents types de réseau de Bragg[ 42]

### 5.2. Réseau de Bragg « tilted » ou « blazed » :

Les réseaux « tilted » ont des pas inclinés d'un certain angle par rapport à l'axe de la fibre à titre d'exemple (figure 2.5) ce qui permet un couplage de la lumière à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du cœur. [33]

### 5.3. Réseau de Bragg à pas variable ou « chirped » :

Souvent, soit par la conception même du réseau soit à cause des techniques de fabrication utilisées, le réseau de Bragg dévie un peu de cette structure parfaite. Si le pas du réseau varie légèrement tout au long de la structure, on dit alors qu'il présente un écart ou « chirp ».

Dans les réseaux chirpés la période augmente progressivement d'un pas à les grandes longueurs d'onde sont réfléchies en début de réseau et les plus courtes en fin de réseau ; ainsi la dispersion peut être compensée et le signal d'origine rétabli. [33]

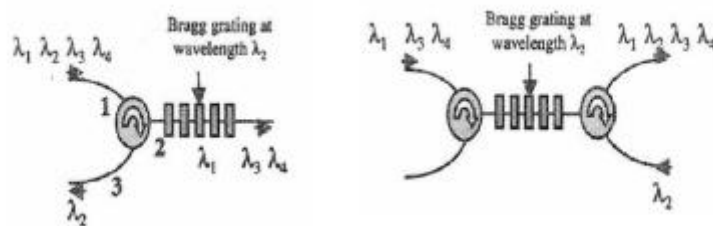
### 5.4. Réseau de Bragg apodisé :

Dans ces réseaux l'amplitude du coefficient de couplage  $c$  varie le long de la structure. C'est à dire une variation de son coefficient de couplage le long de la structure. Cette variation est obtenue ici par une modification de la profondeur de gravure [33].

## 6. Applications Du Réseau De Bragg

### 6.1. Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication :

Grace à leurs multiples avantages divers, Les réseaux de Bragg photoinscrits dans les fibres optiques sont très sollicité pour l'égalisation du gain des amplificateurs, la stabilisation en longueur d'onde des pompes ou des sources, et pour les lasers à fibre. Ils sont devenus indispensable car ils représentent de faibles pertes d'insertion, une très faible sensibilité à la polarisation et une conception extrêmement flexible. Il sont aussi également des candidats très intéressants pour les applications de filtrage complexe ou de compensation de dispersion chromatique fine [43].



**Figure 2.6:** (a) Filtre passe bande fabriquée par un réseau de Bragg associé avec un circulateur ; (b) un multiplexeur OADM fabriqué avec association d'un réseau de Bragg et deux circulateurs.

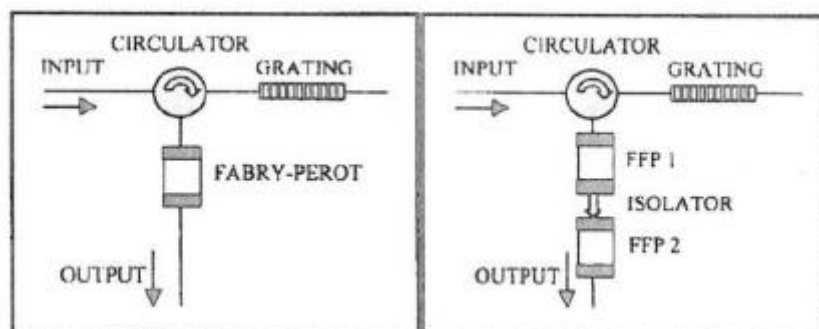
### 6.2 Filtre optique

Un exemple d'application du réseau de Bragg comme filtre optique en association avec un Fabry

Pérot est décrit dans cet exemple :

- Filtre composé d'un réseau de Bragg et d'un FFP

Un filtre basé sur un réseau de Bragg imprimé sur fibre, un circulateur optique et un Fabry-pérot est décrit sur la (figure) :



**Figure2.7 :** Filtres optiques

(a) association d'un réseau de Bragg et d'un FFP.

(b) association d'un réseau de Bragg et deux FFP



Le signal d'entrée est réfléchi par le FBG est dirigé à travers le circulateur vers le Fabry pérot.

Donc le filtre global consiste en la mise en cascade de deux filtres indépendants, chacun est

caractérisa par sa propre fonction de transfert :  $T_{FBG}(F)$  et  $T_{FPP}(F)$  et la fonction de transfert global est :

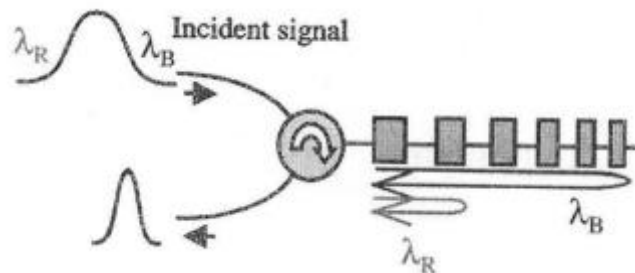
$$T(f) = T_{FBG}(F) \cdot T_{FPP}(F) \quad (2.18)$$

### 6.3. Compensation de la dispersion chromatique

La dispersion chromatique lors de la transmission par fibre est un des principaux facteurs limitatifs de l'augmentation du débit de transmission.

L'impulsion n'est pas vraiment monochromatique, dans les fibres dispersives, Les différentes fréquences du spectre d'impulsion se propagent à différentes vitesses, ce qui entraîne l'élargissement de l'impulsion. Les impulsions peuvent se recouvrir, ce qui détériore la transmission de l'information. Le problème s'aggrave quand le débit augmente. En effet, quand le débit augmente, les impulsions sont plus courtes et spectralement plus larges. On peut éliminer cette dispersion en utilisant des fibres à dispersion négatives, cependant de grande longueur de fibres sont exigées et ça devient encombrant et coûteux et en plus les fibres compensatrices montrent plus d'atténuation lors de la transmission donc il faut ajouter des amplificateurs. En outre, ces fibres sont sensibles aux effets non linéaires [43].

Ces dernières années on utilise désormais des réseaux chirpés pour remplacer les fibres compensatrices. la (**figure 2.8**) montre un réseau de Bragg utilisé en réflexion en association avec un circulateur.



**Figure 2.8** : principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur

Les grandes longueurs d'ondes sont immédiatement réfléchies tandis que le plus courtes se propage un peu plus. La solution est intéressante puisque on remarque des pertes minimales, peu encombrantes et l'insensibilité aux effets non linéaires.

La dispersion introduite peut être exprimé approximativement par :

## La fibre à réseau de Bragg (FBG)

$$DC = \frac{2n_{eff}L}{c\Delta\lambda} \cong \frac{10L(mm)}{\Delta\lambda(mm)} (ps/nm)$$

Où  $L$  et  $\Delta\lambda$  représentent respectivement la longueur et la variation de la longueur d'onde  $n_{eff}$

l'indice effectif du cœur et  $c$  la vitesse de la lumière qui sont remplacé respectivement par 1.45 et  $3.10^8$  m/s.

La formule prouve que la compensation de la dispersion de 100km de fibre de transmission est possible pour un canal en utilisant un réseau de longueur inférieur à 100 millimètres.

### 6.4. Le multiplexage Dans le domaine des modes de transmission

les réseaux de Bragg uniformes de courtes périodes se sont démarqué la première fois vers des applications du filtrage et du multiplexage, agissant en tant que filtres sélectifs de longueur d'onde. Le spectre du filtrage peut 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, en contrôlant la réponse de la phase, les FBG permettent la réalisation presque n'importe quelle forme spectrale désirée.

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.

### 6.5. Multiplexage TDM (Time Division Multiplexing) :

Ce mode de transmission est censé diviser la bande passante de la fibre optique en unités de temps, que vont partager les diverses communications, ce qui permet à l'émetteur de conduire plusieurs canaux numériques élémentaires à faible débit sur un même support de communication à plus haut débit [40].

La figure ci-dessous présente le découpage en temps entre les différentes connexions :

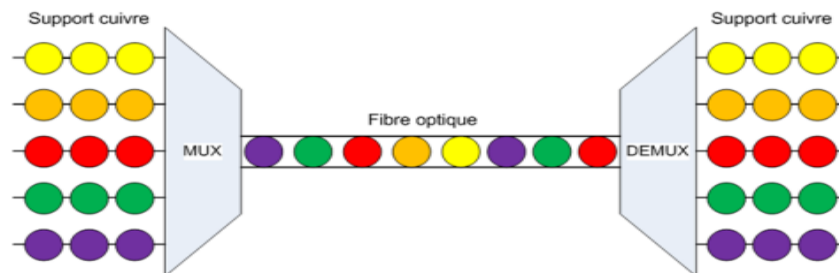


Figure 2.9 : le découpage en temps entre les différentes connexions [40].

### 6.6. Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplexing):

Le multiplexage en longueur d'onde, nécessite d'envoyer dans une seule fibre  $N$  porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit. C'est la bande passante qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur. Et chaque sous-bande est affectée à une voie comme c'est expliqué dans la figure (2.10) [41].

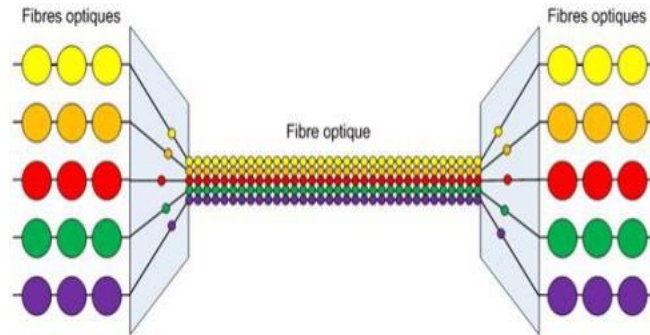


Figure 2.10 : Types de WDM

Le WDM est divisé en deux types :

### 6.6.1 Coarse WDM (CWDM):

Le Coarse WDM utilise des longueurs d'ondes multiples espacées de 20 nm. L'ITU (International Télécommunication Union) précise 18 longueurs d'ondes CWDM allant de 1271 nm à 1611 nm. Les émetteurs, les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'ondes [41]. La figure ci-dessous présente les longueurs d'ondes CWDM :

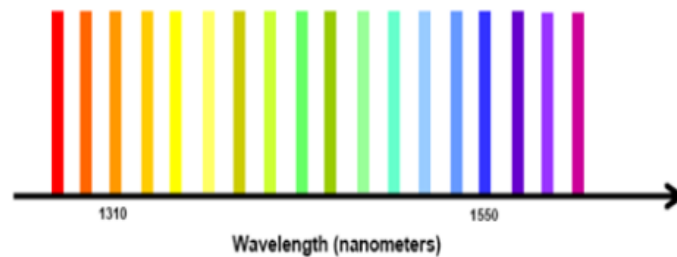
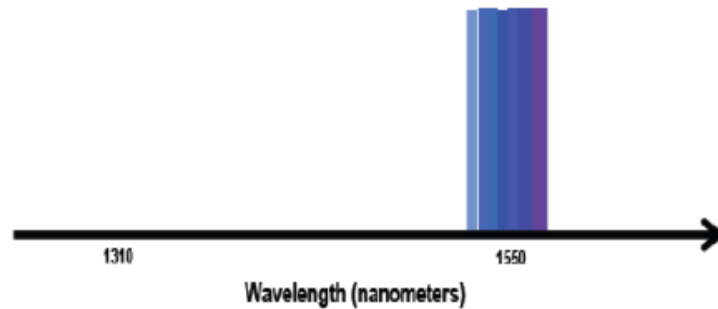


Figure 2.11: Les longueurs d'ondes CWDM [35].

### 6.6.2 Dense WDM (DWDM):

Le dense WDM utilise plusieurs longueurs d'ondes avec des petits espaces, et elles sont situées dans la gamme de longueur d'onde localisée entre 1530 nm et 1565 nm (la Bande C). L'ITU spécifie le centre des longueurs d'ondes du DWDM. Effectivement, dans les N déploiements de DWDM conçus à ce jour, les fréquences sont espacées de 100 GHz, ce qui autorise 40 longueurs d'onde dans la bande C. Le DWDM requiert des émetteurs optiques, des multiplexeurs/démultiplexeurs qui ont un contrôle étroit sur la longueur d'onde [41].

La figure ci-dessous présente les longueurs d'ondes DWDM :



**Figure 2.12 :** Les longueurs d'ondes DWDM [41].

Effectivement dans le domaine dense on retrouve l'application de filtre sélectif à base de réseau chirpé et de réseau échantillonnés [44]

On retrouve l'application du multiplexage dans exemple de **L'OCDMA spectral**

L'OCDMA est une CDMA dans les systèmes optiques (Optical Code Division Multiple Access) est une technique, basée sur l'étalement de spectre qui consiste à attribuer à chaque utilisateur transmettant des données par la fibre optique un code d'étalement ou une signature propre à lui qui permet d'identifier le récepteur destinataire. [38]

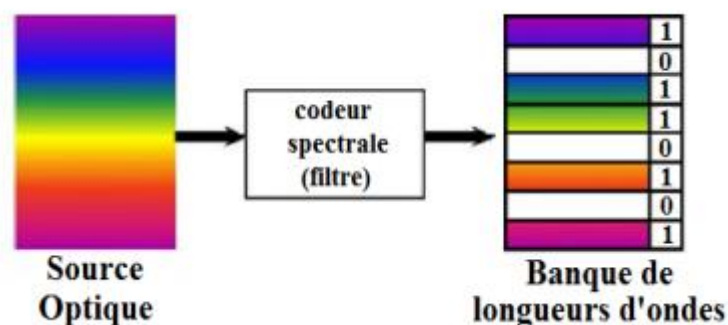
Dans **L'OCDMA spectral** l'encodage spectral, plusieurs longueurs d'ondes sont émises par un utilisateur à l'aide d'une batterie de filtres placés en sortie d'une source optique. Ce filtre doit se positionner à l'émission ainsi qu'à la réception. Chaque utilisateur est disposé d'un code propre à lui, ce dernier est défini grâce à une combinaison spécifique des composantes spectrales et qui doit être orthogonale aux autres codes des autres abonnés.

L'obtention des composants spectraux du code est faite à l'aide de fibres à réseaux de Bragg qui réfléchissent des longueurs d'onde différentes ou bien des dispositifs appelés « Spatial Light Modulator » (SLM) permettant un codage plus flexible [39].

La technique OCDMA par longueurs d'onde est limitée par différents points :

- Le poids des codes utilisés correspond au nombre de filtres mis en œuvre.
- Ce poids ne peut pas être unitaire sinon on se retrouve dans le cas WDM.
- L'utilisation d'un nombre important de raies implique un large domaine spectral, de ce fait

les performances seront dégradées à cause de la présence de la dispersion et l'amplification.



**Figure 2.13 :** Codage spectral OCDMA.

### 7. D'autres application du réseau de Bragg

La fibre optique est présente dans le domaine de hydrocarbures et le gaz , depuis plusieurs dizaines d'années. Son implantation permet de mesurer des pressions, des températures ou des contraintes. Le réseau de Bragg permet de monitorer différentes structures telles que des conduites d'hydrocarbures. Par exemple dans le cadre du projet CEPM [45], des conduites en acier ont été équipées de chapelets de 4 réseaux de Bragg sur leur périmètre extérieur. Ces réseaux ont permis de suivre le comportement des conduites sous pression jusqu'à l'endommagement. Ces mesures ont validé la prédiction des calculs sur le comportement des conduites sous pression.

#### 7.1. Les réseaux de Bragg dans l'aéronautique et l'aviation :

Les réseaux de Bragg sont habituellement maintenant utilisés dans aéronautique. Leur utilisation se fait à la fois lors des qualifications de l'avion, mais aussi de manière définitive lors de l'exploitation de celui-ci. Ils sont déployé dans la mesure de température afin de de réaliser une cartographie thermique autour de l'avion et ainsi de déterminer son périmètre de sécurité sur les aéroports. La figure suivante montre le traitement de mesur sur un Airbus A380. Trois fibres optiques de 125 m équipées chacune de 13 réseaux de Bragg ont été utilisées

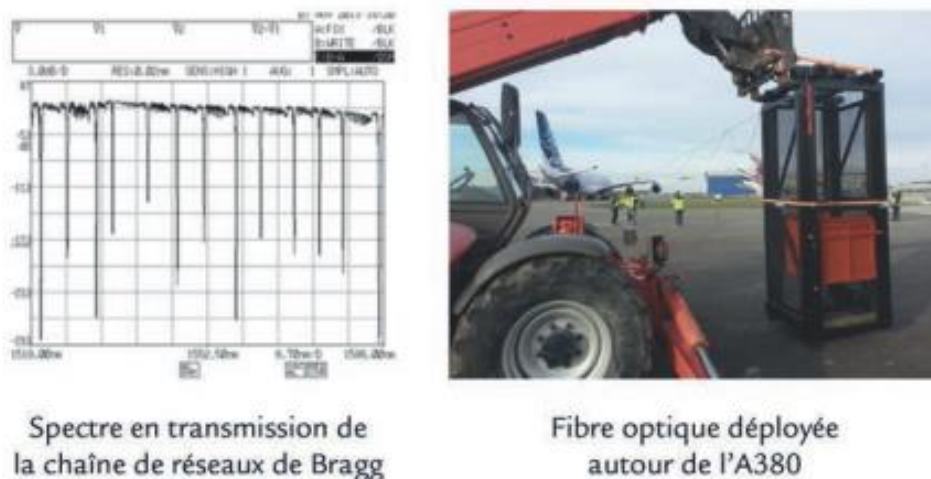


Figure 2.14: Mesure de température autour d'un A380 [46].

#### 7.2. Les réseaux de Bragg dans l'automobile :

Dans le domaine de l'automobile, les réseaux de Bragg peuvent être utilisés pour la qualification des processus et des véhicules, mais pas encore intégrés dans les véhicules à large publique. La fibre utilisée dans les voitures sert aujourd'hui essentiellement pour l'éclairage d'habitacle (fibre plastique) ou encore pour les systèmes multimédia [46].

### 7.3. Les réseaux de Bragg pour le génie civil

Les capteurs à fibre optique (CFO) sont utilisés pour l'instrumentation des infrastructures de génie civil depuis près de trois décennies. Ce type de capteurs présente de nombreux avantages par rapport aux capteurs traditionnels. En effet, l'atténuation du signal est faible dans les fibres optiques, ce qui permet des mesures déportées à plusieurs dizaines de kilomètres. De plus, elles sont électriquement neutres et insensibles aux bruits électromagnétiques, ce qui peut représenter un atout essentiel, par exemple pour l'instrumentation des centrales électriques. Ensuite, leur diamètre est inférieur au mm (0,125 mm en standard), si bien que le poids et la taille des capteurs limitent au maximum les effets d'inclusion.



Passerelle équipée  
de réseaux de Bragg

**Figure 2.15 :** Passerelle équipée de réseaux de Bragg

### 8. Conclusion :

Les premiers réseaux de Bragg ont été implantés il y a maintenant une trentaine d'années. Cette technologie est dorénavant « mature » et autorise de multiples applications. De nombreux travaux restent en cours dans ce domaine afin de faciliter le procédé de fabrication, comme par exemple le développement de gaine transparente aux UV pour éviter de dénuder la fibre, ou la photoinscription, ouvrant ainsi de nouveaux champs d'application. Nous avons présenté dans ce chapitre le réseau de Bragg, son principe de fonctionnement, les différents types de réseau de Bragg et plusieurs applications du réseau de Bragg allant de la télécommunication jusqu'à l'aviation et le génie civil.

**SIMULATION**

**ET**

**RÉSULTATS**

## 1. Introduction :

Pour la conception des réseaux de Bragg à fibre en vue des applications dans le domaine des télécommunications, il est très utile de disposer d'outils de modélisation des réseaux, afin d'optimiser les analyses des caractéristiques pour la simulation. En se basant sur la théorie du couplage des modes dans les guides d'onde, qui permet d'estimer la dépendance spectrale des réseaux de Bragg de façon direct et conforme avec leur structure réelle. La plupart des réseaux peuvent être modélisés en faisant appel à l'une des solutions des équations de modes couplés..

Le développement des méthodes de modélisation optiques précises et rapides reste donc primordial pour l'étude de ces structures. Parmi les outils de modélisation qui donne la réponse spectrale complexe du réseau, à partir de la quelle peuvent être déduites la réflexion et la transmission, en distingue le logiciel **RSoft CAD**.

Dans notre travail de simulation et d'analyse nous avons utilisé ce logiciel pour créer et étudier les caractéristiques du réseau de Bragg a fin de pouvoir mettre en évidence certaine application du réseau Bragg.

## 2. Représentation du logiciel RSoft CAD utilisé dans la simulation :

Le RSoft CAD est un programme de base destiné à la simulation des dispositifs optiques (guides d'ondes et fibres). C'est un programme constitué avec des modules de simulation intégrés : BeamPROB, FullWAVE, BandSOLVE, FemSIM, LaserMOD, DiffractMOD et GratingMOD. Notre travail est basé sur le module GratingMOD

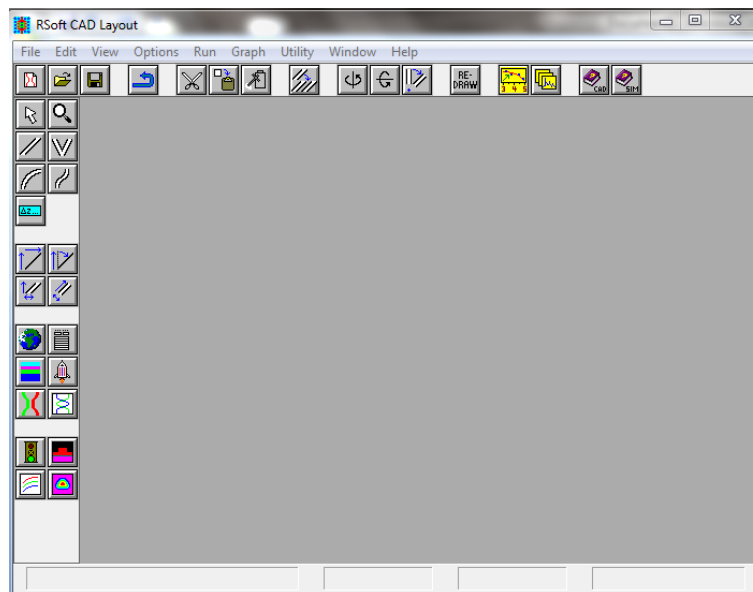


Figure 3.1 : Représentation du logiciel RSoft CAD

### 2.1. Présentation du module Grating Mod [27] :

Le GratingMOD, est un outil de conception générale, d'analyse, de simulation et de synthèse pour différents mécanismes et structures optiques. Etant basé sur la théorie de couplage de mode, il peut traiter différentes structures du réseau, à la fois pour les fibres optiques et les guides d'ondes intégrés.



Grâce à GratingMOD on peut :

- \_ Déterminer le spectre transmis et réfléchi pour chaque mode.
- \_ Calculer la phase, la dispersion et la temporisation.
- \_ Avoir l'analyse spectrale et la condition de Bragg.

### 2.1.1. Paramétrage de simulation :

Pour ouvrir et concevoir la structure qu'on veut simuler, on sélectionne Utility /GratingMOD du menu principal de la fenêtre CAD. La figure 3.2 montre la fenêtre associée à cet utilitaire. Dans cette fenêtre, les caractéristiques principales de la structure peuvent être définies. Plus tard, ces différentes caractéristiques peuvent être modifiées via la table des symboles.

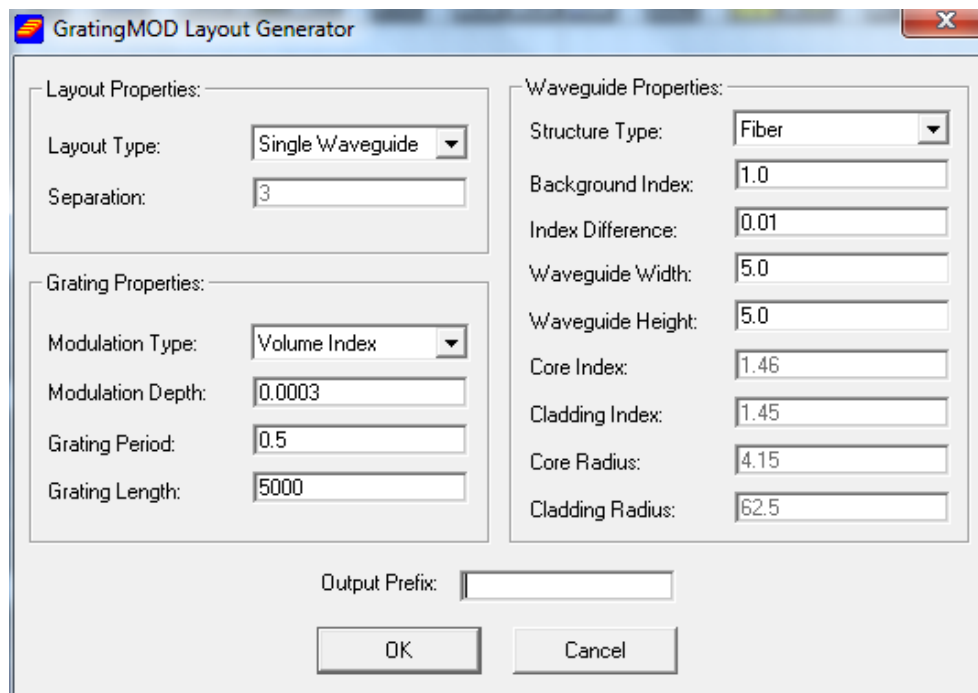


Figure 3.2 : fenêtre des caractéristiques principales

### 2.1.2. Les caractéristiques principales de la fibre :

**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 qu'on va utiliser dans notre structure.

**Modulation Depth** : C'est la profondeur de modulation ( $\Delta n$ ).

**Grating Period**: Indique la période du réseau.

**Grating Length**: Indique la longueur du réseau.

**Structure Type**: Indique le type de structure qu'on va utiliser dans notre simulation.

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

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

**Waveguide Width**: Indique la largeur du guide d'onde (fibre optique).

## Simulation et Résultats

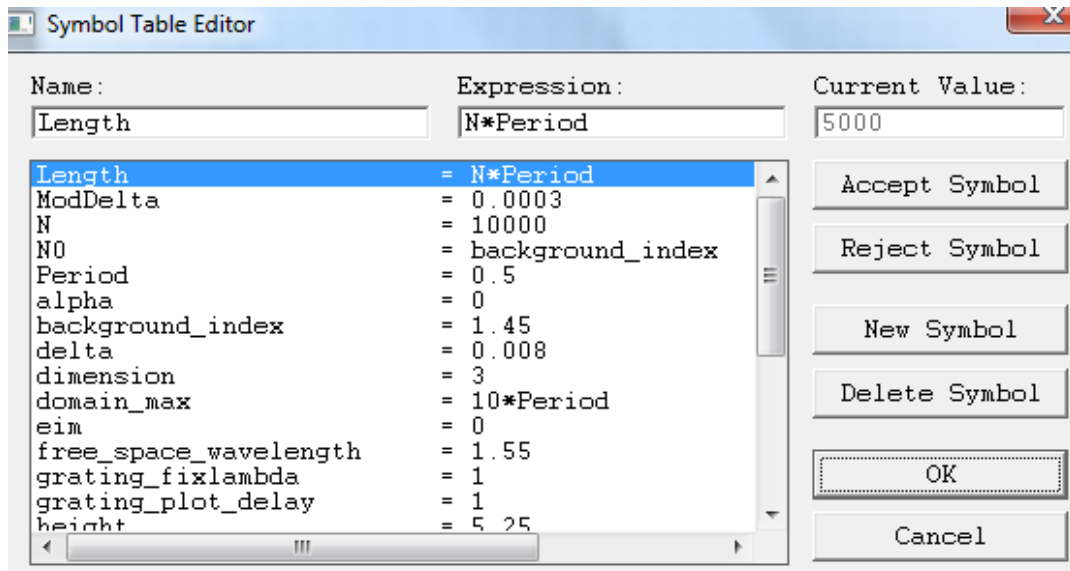
**Waveguide Height:** Indique la hauteur du guide d'onde (fibre optique)

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

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

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

Une fois qu'un réseau est créé, une série de symboles est définie dans la table des symboles qui peut être utilisée pour modifier les valeurs par défaut. Une liste de ceux-ci est illustrée ci-dessous :



**Figure 3.3 :** La table des symboles

Les paramètres importants sont définis :

**ModDeltat :** C'est la profondeur de modulation ( $\Delta n$ ).

**Period :** Période sur la fibre

**Free space wavelength :** Longueur d'onde centrale

**Length :** Longueur de la fibre

Pour définir la variation du pas variable de réseau (chirp type), la fonction l'apodisation, on clique sur l'icône Taper : une boîte de dialogue s'affichera figure (3.4),

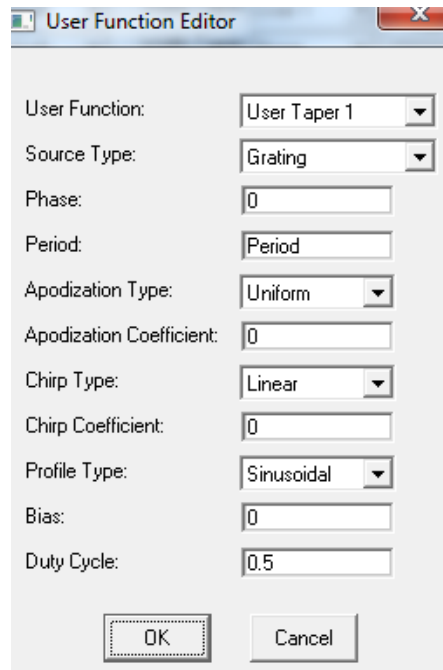
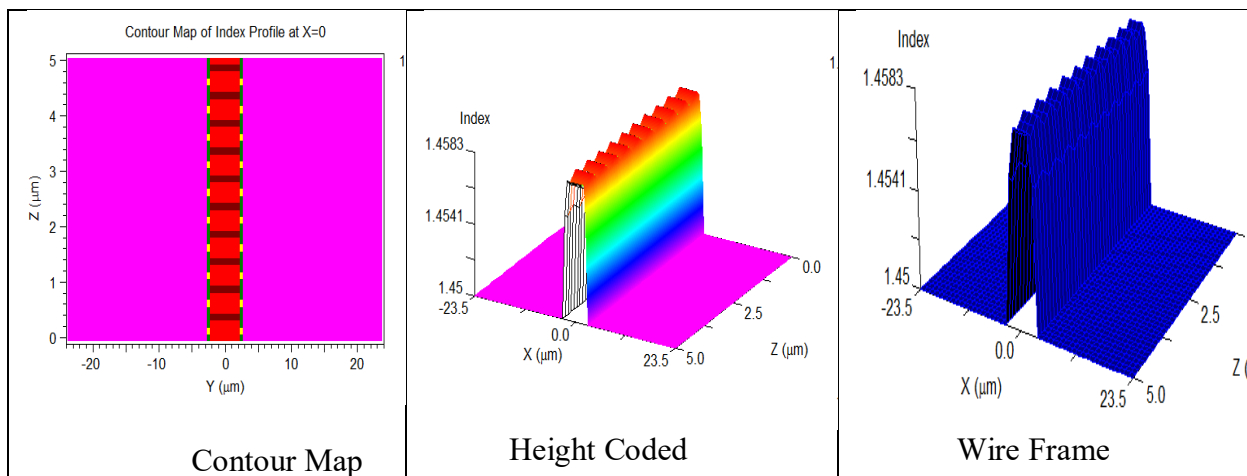


Figure 3.4 : Configuration du chirp et l'apodisation

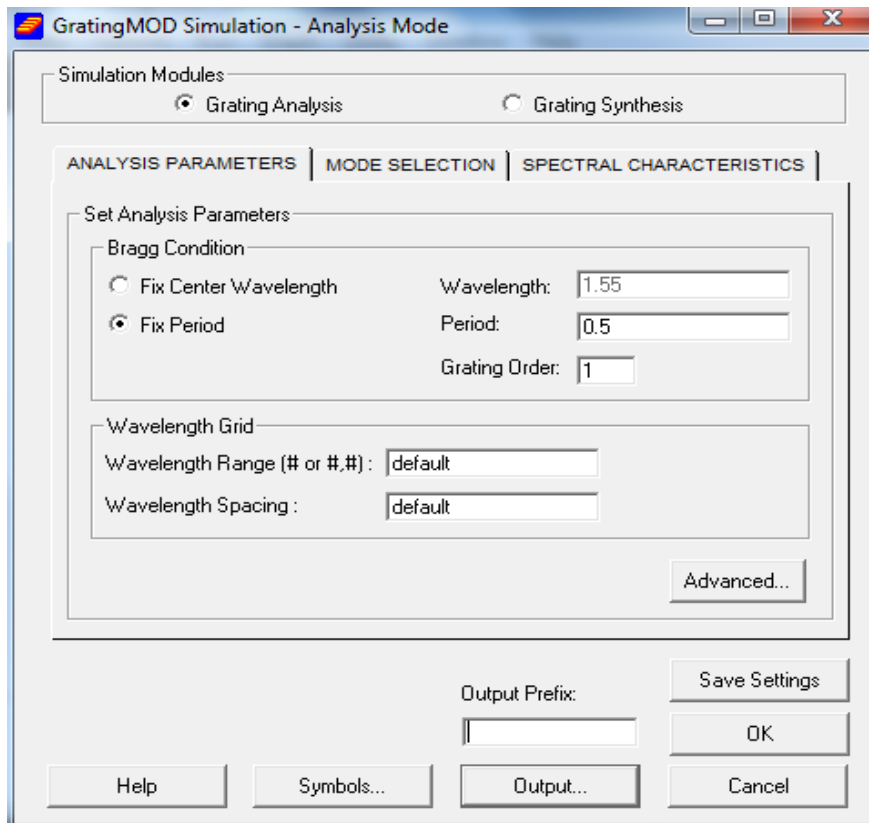
## 2.2. L'outil Display index profil :

L'outil « Display index profil » permet d'avoir le profil d'indice de réfraction sous plusieurs formats



## 2.3. GratingMOD Simulation

La fenêtre d'analyse permet à l'utilisateur de définir les paramètres de simulation qui concernent la simulation du réseau de Bragg. Donc le réseau est d'abord défini par l'utilisateur, et le GratingMOD calculera ensuite la réponse spectrale et de la dispersion de la structure de fibre conçue. La figure (3.5) montre la boîte de dialogue qui correspond.



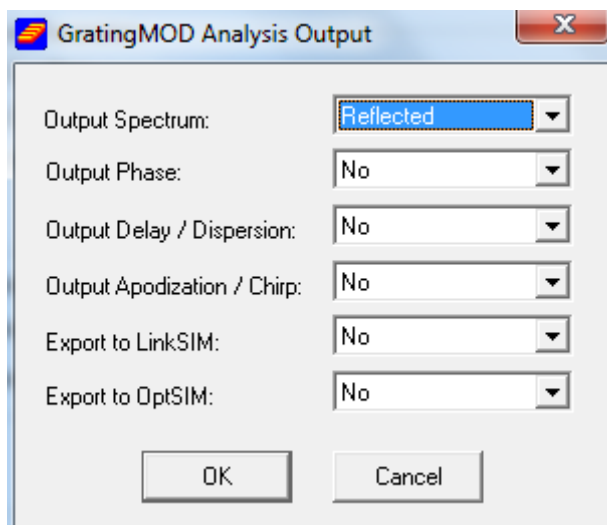
**Figure 3.5** : Paramètres de Simulation

### 2.3.1. Grating Analysis :

Cette option permet de calculer la réponse spectrale du réseau conçu. La réflectivité est calculée soit en fixant le pas ou bien la longueur d'onde désirée.

Grating Mod génère des fichiers d'enregistrement des données et un fichier de traçage grâce à l'outil 'WinPlot'.

Le format des données de sortie est contrôlé en cliquant sur le bouton Output, comme indiqué sur la figure suivante :



**Figure 3.6** : Choix de des données affichés

## Simulation et Résultats

---

**Output Spectrum** : ici on choisie d'afficher la réflectivité, la transmission, les deux en même temps. Les données calculées et enregistrées dans un fichier de sortie sont en unités d'amplitude.

**Output Phase** : Choisissez si la phase est affichée dans le spectre de sortie.

**Output Delay/Dispersion** : Ici le délai et la dispersion sont affichés dans la sortie. Le délai et la dispersion seront calculés à partir de la phase du spectre et seront affichés dans la même fenêtre. Le retard sera tracé par rapport à l'axe gauche, alors que la dispersion sera tracée par rapport à l'axe alternatif droit.

**Output Apodization/Chirp** : on affiche le profil de la perturbation (apodization) du réseau. L'apodization sera normalisée de 0 à 1. Et le Chirp sera la période réelle qui varie selon la position du réseau.

## Simulation et Résultats

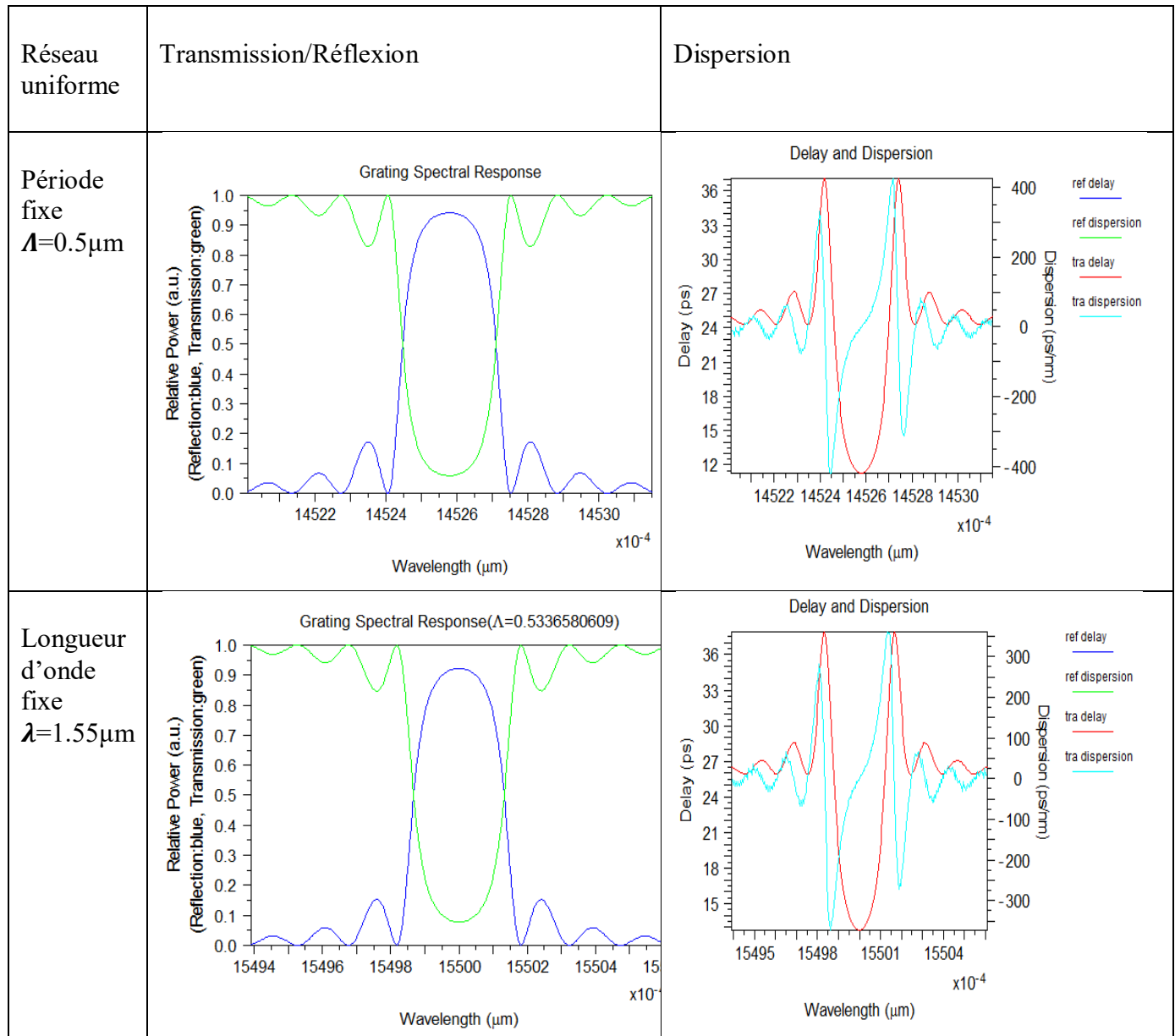
### 3. Exemple d'Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniforme :

Le réseau de Bragg uniforme constitue le type de réseau où la période de Bragg  $\Lambda$  est constante

Pour simuler une FBG à pas constant, nous avons pris les paramètres suivants :

longueur du réseau :  $length=5000\mu\text{m}$  , la période du réseau : **Period** $=0.5\mu\text{m}$  , la modulation d'indice : **ModDelta** $=0.0003$  et la **différence d'indice** :  $\text{delta}=0.008$

#### Réponse spectrale :



**Figure 3.7 :** Exemple d'Analyse par simulation des réseaux de Bragg uniforme

### 4. Simulation et discussion des résultats :

La simulation et les résultats sont réparti en trois partie distinctes :

- **Première partie** : représente une étude de la réflexion et la transmission de deux réseaux, un uniforme et l'autre apodisé avec cosinus carrée (cos squared)
- **Deuxième partie** : concerne les tendances de variation de la réflectivité et la transmission avec des valeurs fixe du chirp toute on augmentant les valeurs de l'amplitude de la modulation sur un réseau chirpé et apodisé avec cosinus carrée (cos squared)
- **Troisième partie** : le but de cette dernière partie est de créer un filtre optique. En utilisant un réseau à pas variable appelé réseau chirpé et apodisé avec cosinus carrée (cos squared) avec des variations de période (longueurs du réseau).

#### 4.1. Première partie :

Cette partie de simulation interprète une variation de l'amplitude de modulation (ModDelta) dans un réseau uniforme et un réseau apodisé avec une fonction cosinus carrée (cos squared) pour la longueur d'onde centrale fixe  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ .

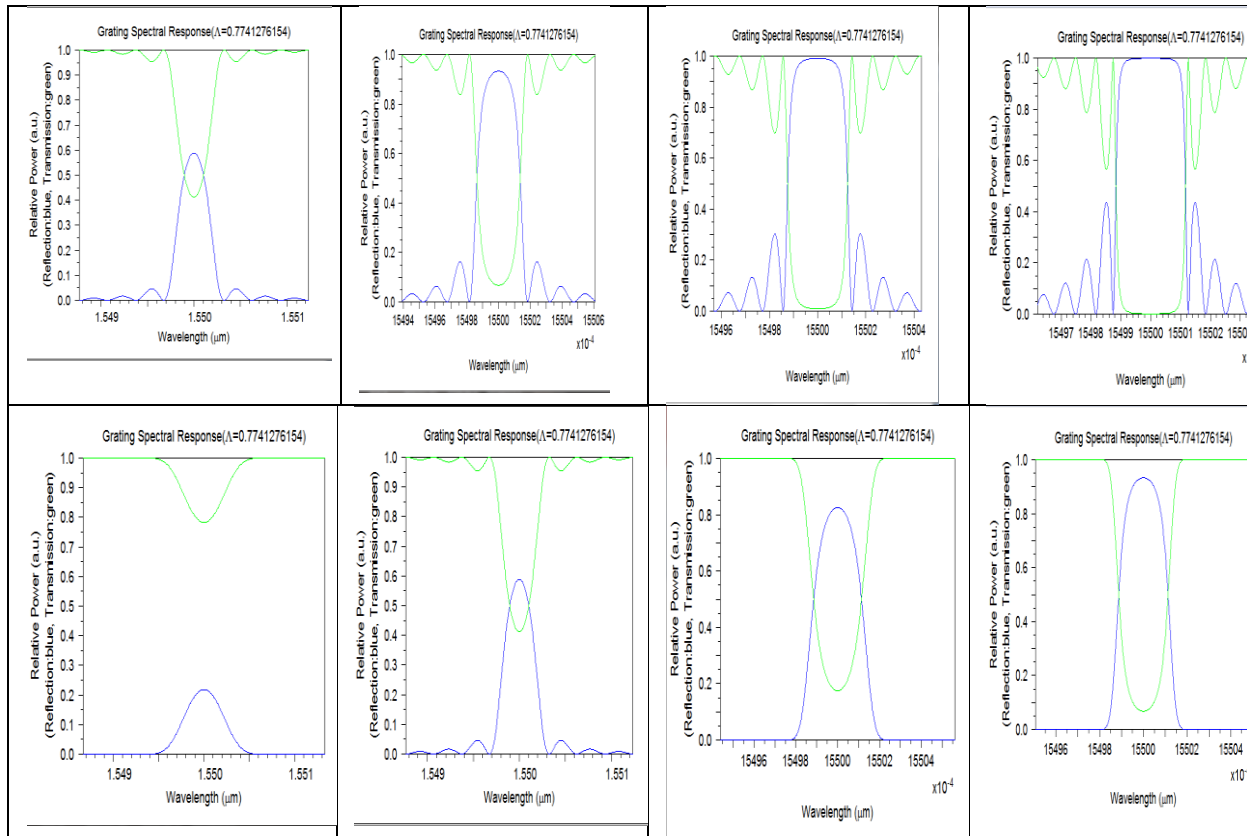
L'étude de la réflexion fait l'objet de cette Première partie : Dans un réseau uniforme et un réseau apodisé avec une fonction cosinus carrée (cos squared),

-On effectue une variation de l'amplitude de modulation (ModDelta), dans un réseau uniforme et un réseau apodisé avec une fonction cosinus squared pour la longueur d'onde centrale fixe  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ .

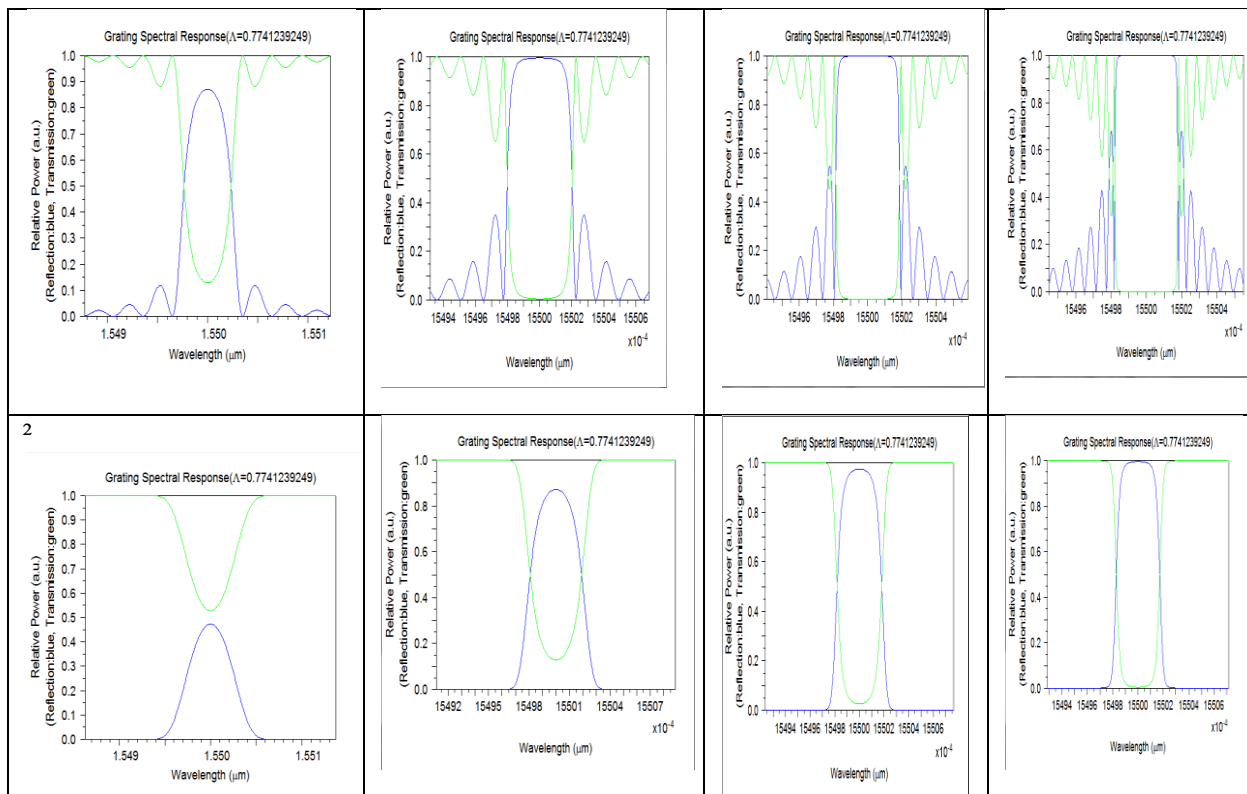
-**ModDelta**=0.0003, 0.0005, 0.0008, 0.0012

- **length** (Les longueurs du réseau) : (5000 ,1000 ,15000 ,20000) $\mu\text{m}$  pour Réseau uniforme et réseau apodisé cosinus squared

# Simulation et Résultats



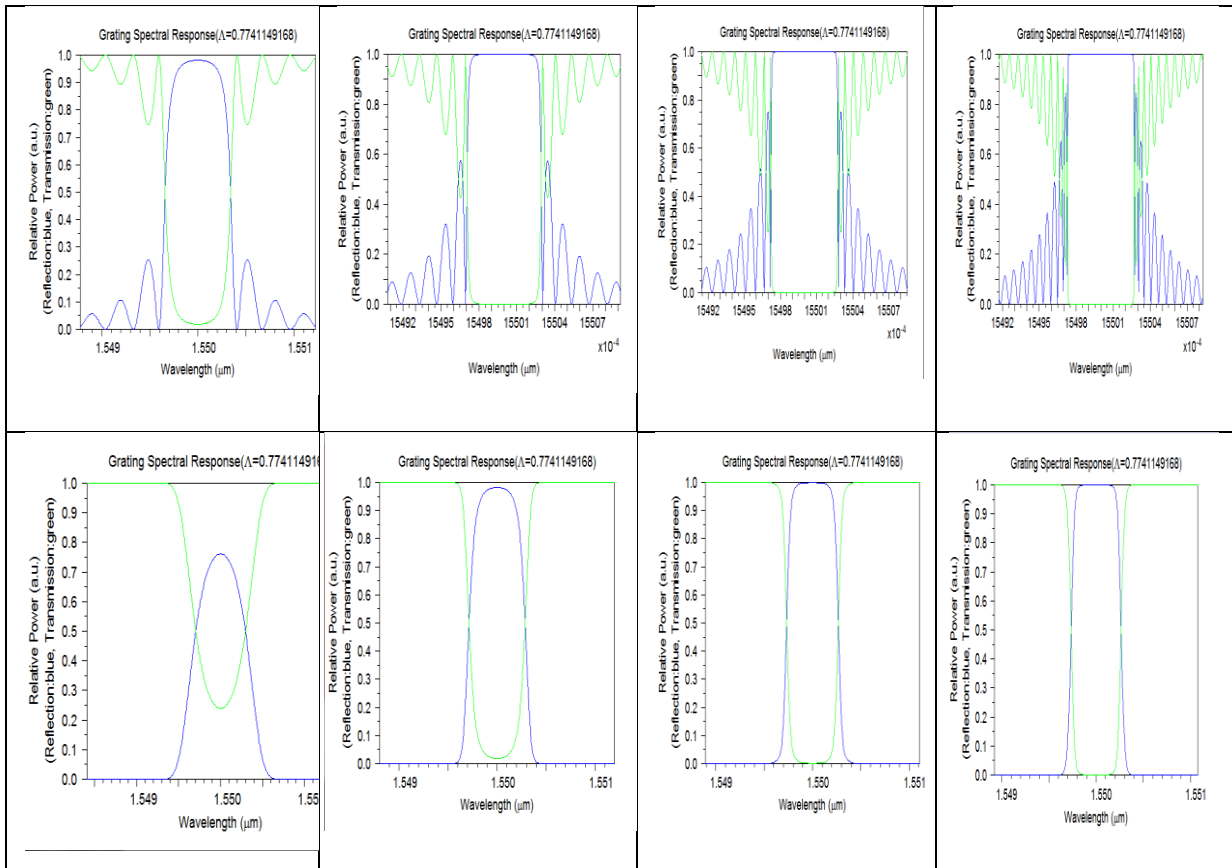
**Figure.3.8 :**La réflexion, transmission : $\text{ModDelta}=0.0003$  ;length 5000 ,1000 ,15000 ,20000.  
Réseau uniforme en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas



**Figure.3.9 :**La réflexion, transmission : $\text{ModDelta}=0.0005$ , length 5000 ,1000 ,15000 ,20000.  
Réseau uniforme en haut et réseau avec une apodization cosinus squared en bas

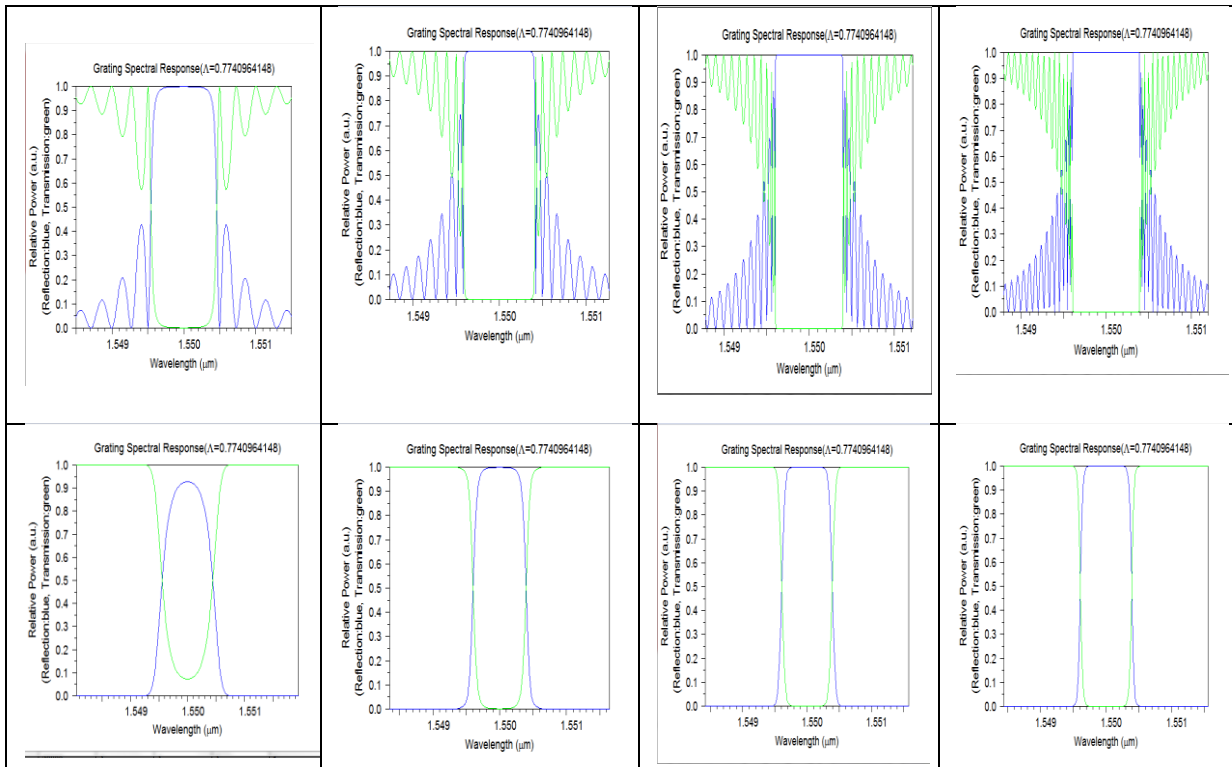


# Simulation et Résultats



**Figure.3.10** :La réflexion, transmission :ModDelta=0.0008, length

5000 ,1000 ,15000 ,20000. Réseau uniforme en haut et réseau avec une apodization cosinus squared en bas



**Figure.3.11** :La réflexion, transmission :ModDelta=0.0012,length 5000 ,1000 ,

## Simulation et Résultats

15000 ,20000. Réseau uniform en haut et réseau avec une apodization cosin squared en bas

**Tableau 3.1** : la réflectivité en fonction des de la longueur et ModDelta Réseau uniform

Length	0.0003	0.0005	0.0008	0.0012
5000	0.58	0.87	0.89	1
10000	0.93	1	1	1
15000	0.99	1	1	1
20000	1	1	1	1

**Tableau 3.2** : la réflectivité en fonction des de la longueur et ModDelta réseau apodisé avec cosin squared

Length	0.0003	0.0005	0.0008	0.0012
5000	0.21	0.45	0.76	0.927
10000	0.59	0.88	0.98	1
15000	0.81	0.95	1	1
20000	0.92	1	1	1

Sur les figures 3.8 jusqu'à 3.11 nous avons affiché la réflexion et la transmission pour les différentes variations des paramètres pour les reseaux uniforme et apodisé.

Les résultats de la simulation présentés dans les tableaux précédant comporte une variation de l'amplitude de modulation (ModDelta) dans un réseau uniforme et du réseau apodisé avec une fonction cosinus carrée (cos squared) pour la longueur d'onde centrale fixe  $\lambda=1.55\mu\text{m}$

Suite à la comparaison des résultats des deux réseaux en remarque que :

Pour le réseau uniforme la réflectivité débute à 0.58 avec une longueur de 5000  $\mu\text{m}$  et augmente avec la variation de ModDelta et la longueur du réseau, pour atteindre 1 à 0.0012, mais on constate que le nombre des lobes secondaires et leurs réflectivités augmentent et devient très élevé pour la longueur de 20000  $\mu\text{m}$  dans un réseau uniforme

La réflectivité dans le réseau apodisé est faible surtout pour Modelta 0.0003, 0.0005 et elle augmente progressivement avec les valeurs de longueur du réseau pour atteindre un max égale à 1 pour 0.0008 à des longueurs de 15000  $\mu\text{m}$ , 20000  $\mu\text{m}$

Avec un réseau apodisé, on a réussi à éliminer les lobes secondaire du spectre de réflexion dès le début de la simulation pour la longueur de 10000  $\mu\text{m}$  avec ModDelta 0.0003.

On peut en déduire de cette première partie que l'augmentation de l'amplitude de modulation nous permet de garantir une bonne réflectivité, associé cette dernière à un réseaux apodisé, on peut éliminer les lobes secondaire qui sont extrêmement gênants lorsque les réseaux de Bragg sont utilisés dans des systèmes de transmission comportant différents canaux, car ils limitent la séparation spectrale.

## Simulation et Résultats

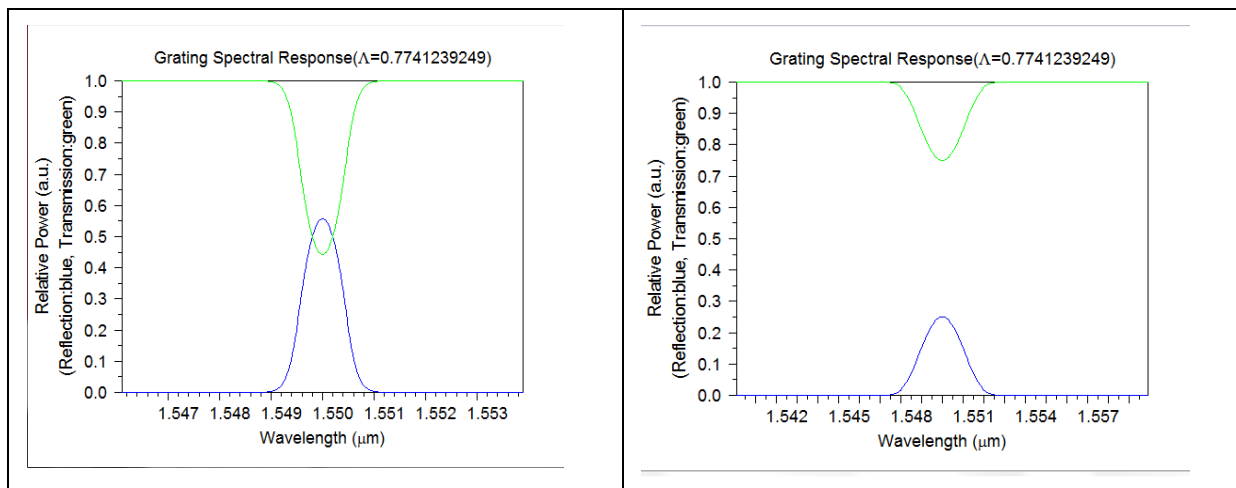
### 4.2. Deuxième partie :

Dans cette partie nous nous sommes concentré sur la variation de la réflectivité et la transmission avec des valeurs fixe du chirp tout en augmentant les valeurs de l'amplitude de la modulation afin de conserver une bonne réflectivité du signal, nous avons également utilisé un réseau apodisé pour éviter d'avoir les lobes secondaires qui s'avère être un handicap majeur lors de la transmission avec plusieurs canaux.

Pour démontrer l'impact du chirp sur la réflectivité et la transmission : La valeur du chirp  $C$  est fixé à 0.001 puis à 0.002 et à 0.003 en effectuant une variation de ModDelta avec les valeurs 0.0003, 0.0005 et 0.0008. Nous avons affiché les deux exemples suivants :

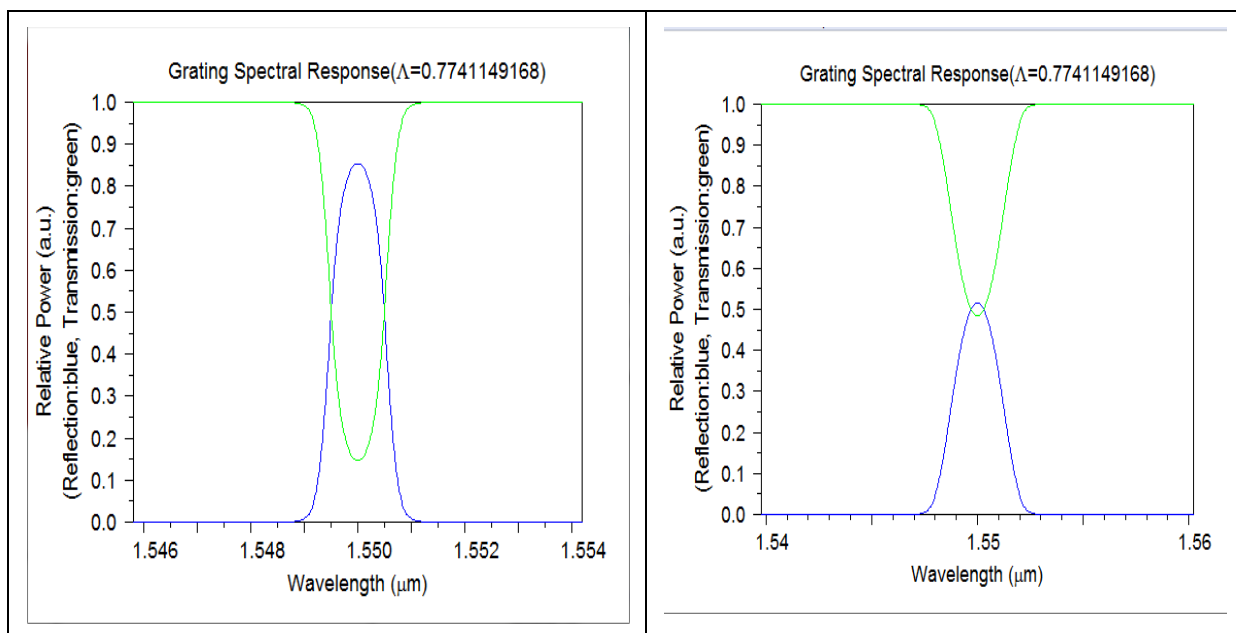
Pour  $C=0,001$  ModDelta=0.0005

$C=0,003$  ModDelta=0.0005



Pour  $C=0,001$  ModDelta=0.0008

$C=0,003$  ModDelta=0.0008



**Figure.3.12** : La réflexion, Transmission :  $C=0,001$  ,  $0,003$  ModDelta=  $0,0005$  ,  $0,0008$  length 1000 , Réseau chirpé et apodisé avec cosin squared.

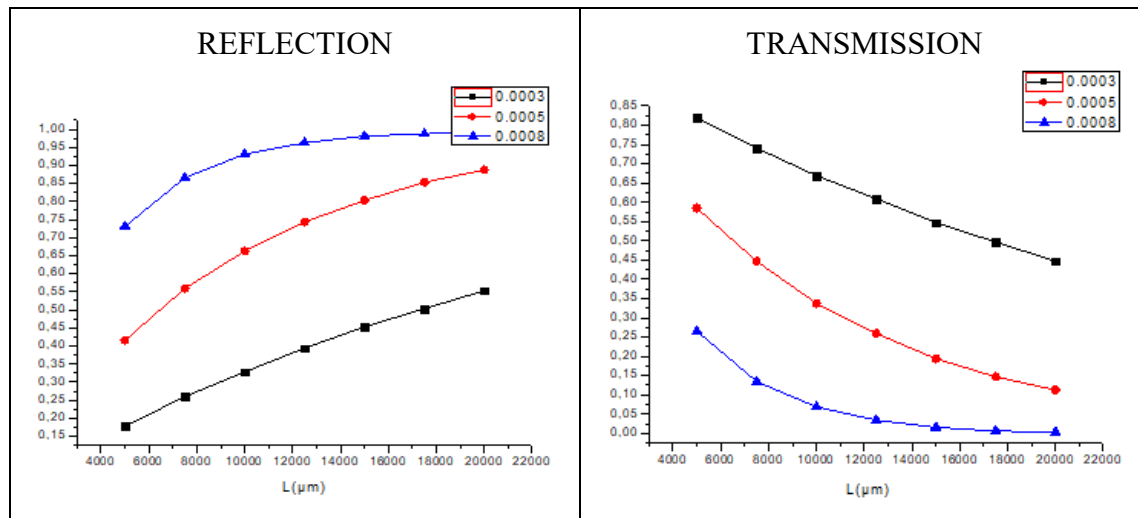
Ces deux exemples montrent clairement que la valeur du chirp a un effet négatif sur la réflectivité, elle diminue même pour ModDelta égale à 0.0008

## Simulation et Résultats

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants, avec différentes variations pour les valeurs du chirp  $C$  et ModDelta : 0.0003 0.0005 0.0008 autour d'une longueur d'onde centrale de  $1,55 \mu\text{m}$

**Tableau 3.3** : Réflectivité et Transmission pour  $C = 0.001$

REFLECTIVITE/ $C = 0.001$			TRANSMISSION/ $C = 0.001$		
0.0003	0.0005	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008
0.1781	0.4156	0.7312	0.8187	0.5844	0.2656
0.2594	0.5594	0.8656	0.7406	0.4469	0.1344
0.3281	0.6625	0.9313	0.6687	0.3375	0.06875
0.3937	0.7438	0.9625	0.6094	0.2594	0.03438
0.4531	0.8031	0.9812	0.5469	0.1938	0.01563
0.5031	0.8531	0.9875	0.4969	0.1469	0.00625
0.5531	0.8875	0.9938	0.4469	0.1125	0.003125



**Figure 3.13** : graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.001

En fonction des graphes présentés au dessus, lorsqu'on fixe le chirp à 0.001 avec la variation du ModDelta, on constate une augmentation des valeurs dans la réflectivité et une diminution dans la transmission.

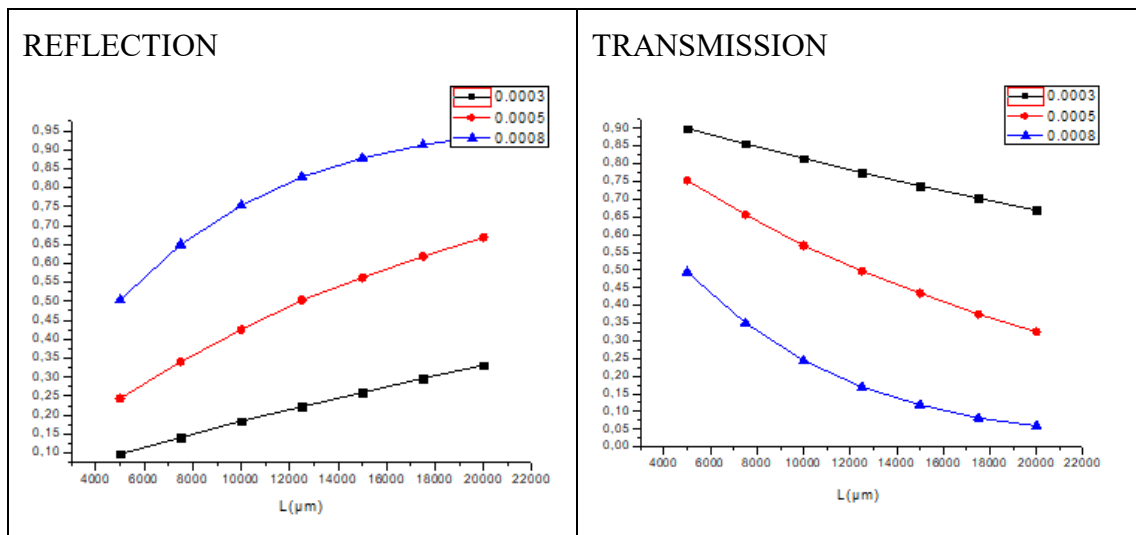
Malgré que le chirp à un effet sur la diminution de la réflectivité, cette dernière augmente progressivement avec la valeur de ModDelta 0.0008 jusqu'à 0.9938 puisque le chirp est faible.

Par contre la transmission diminue avec l'augmentation des valeurs de ModDelta et devient nulle pour la valeur de 0.0008.

## Simulation et Résultats

**Tableau 3.4** : Réflectivité et Transmission pour C =0.002

REFLECTIVITE/ C =0.002			TRANSMISSION/ C =0.002		
0.0003	0.0005	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008
0.09688	0.2437	0.5031	0.9	0.7531	0.4938
0.1406	0.3406	0.65	0.8562	0.6563	0.35
0.1844	0.425	0.7531	0.8156	0.5687	0.2437
0.2219	0.5031	0.8281	0.775	0.4969	0.1688
0.2594	0.5625	0.8781	0.7375	0.4344	0.1187
0.2969	0.6188	0.9125	0.7031	0.375	0.08125
0.3312	0.6687	0.9375	0.8187	0.5844	0.2656



**Figure 3.14** : graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.002

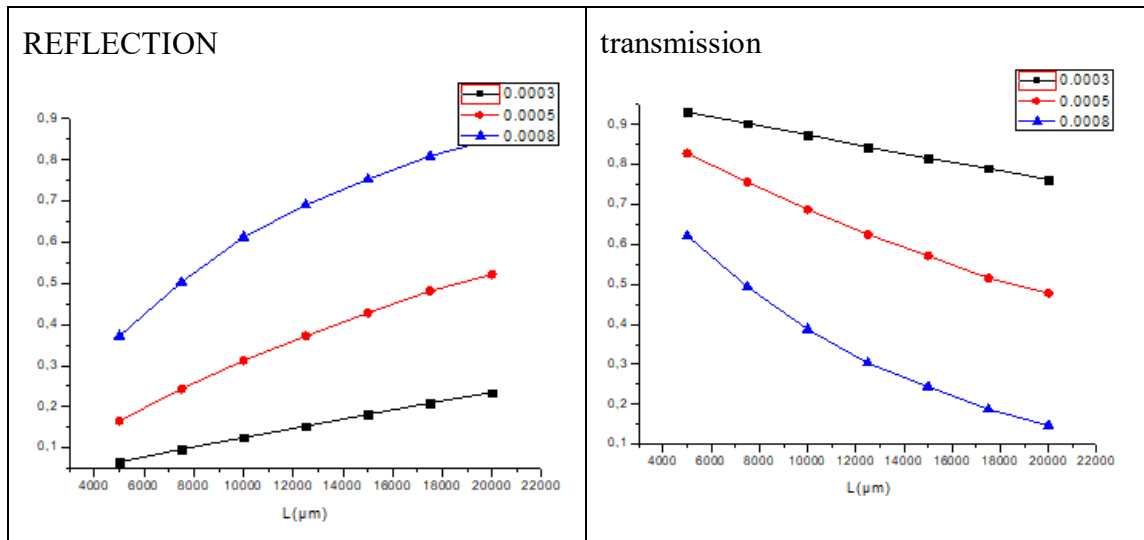
Ici avec un chirp de 0.002 on distingue une diminution des valeurs de la réflectivité à comparer avec les résultats précédents, c'est du à la valeur du chirp qui est devenu 0.002

Une amélioration est constatée pour la transmission, malgré l'augmentation de ModDelta.

## Simulation et Résultats

**Tableau 3.5** : Réflectivité et Transmission pour  $C = 0.003$

REFLECTIVITE/ $C = 0.003$			TRANSMISSION/ $C = 0.003$		
0.0003	0.0005	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008
0.06563	0.1656	0.3719	0.9313	0.8281	0.6219
0.09688	0.2437	0.5031	0.9031	0.7562	0.4938
0.125	0.3125	0.6125	0.875	0.6875	0.3875
0.1531	0.3719	0.6906	0.8438	0.625	0.3031
0.1812	0.4281	0.7531	0.8156	0.5719	0.2437
0.2094	0.4813	0.8094	0.7906	0.5156	0.1875
0.2344	0.5219	0.85	0.7625	0.4781	0.1469



**Figure 3.15** : graphes de Réflectivité et Transmission chirp= 0.003

Ces derniers résultats où le chirp est égale à 0.003 on constate que la réflexion atteint la valeur 0.85 pour ModDelta 0.0008, et pour 0.0003 elle arrive à peine à 0.2344

Par ailleurs en remarque que pour un chirp élevé la transmission est meilleure, puisque elle représente des graphes qui sont l'inverse à la réflexion. Les résultats sont inversement promotionnels au ModDelta, puisque pour la valeur de 0.0003 elle commence à 0.9313 et termine à 0.7625

Donc dans cette partie, on arrive à montrer clairement l'impact du chirp sur la réflectivité et la transmission, ainsi que l'effet du ModDelta.

## Simulation et Résultats

### 4.3. Troisième partie :

L'objectif de cette dernière partie est de concevoir un filtre optique avec certaines caractéristiques. En utilisant un réseau à pas variable appelé réseau chirpé qui fonctionne comme un groupe de miroirs qui reflète certaines longueurs d'onde dans une bande de Bragg.

Donc, on doit définir les caractéristiques du réseau chirpé utilisé dans ce travail, qui est créé et contrôlé par plusieurs paramètres, qui sont la valeur du chirp, l'amplitude modulation et la fonction d'apodisation et la période

Ici la période est variable avec des valeurs qui augmentent progressivement afin de pouvoir distinguer les résultats pour des longueurs d'ondes courtes qui se réfléchissent à la fin du réseau de Bragg

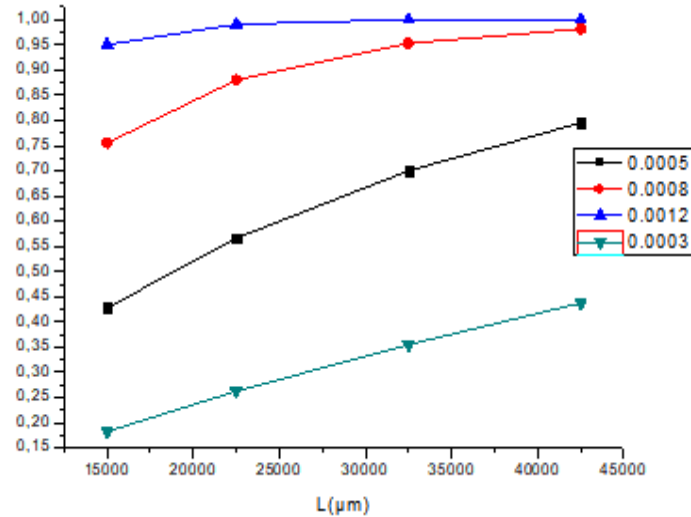
- la fonction d'apodisation utilisée est la fonction **cosinus squared** (cosinus carré)
- L'amplitude modulation **ModDelta** est variable : 0.0003, 0.0005, 0.0008, 0.0012
- Chirp C: 0.003, 0.005
- **Length** (La longueur du réseau):  $N \cdot (\text{period} + x \cdot \text{period})$  ou  $N=5000$  et  $(x=2, 4, 8, 16)$ , on a utilisé cette formule pour atteindre des longueurs jusqu'à 45000 et être à la fin du réseau.

Les tableaux suivants résument les résultats retrouvés :

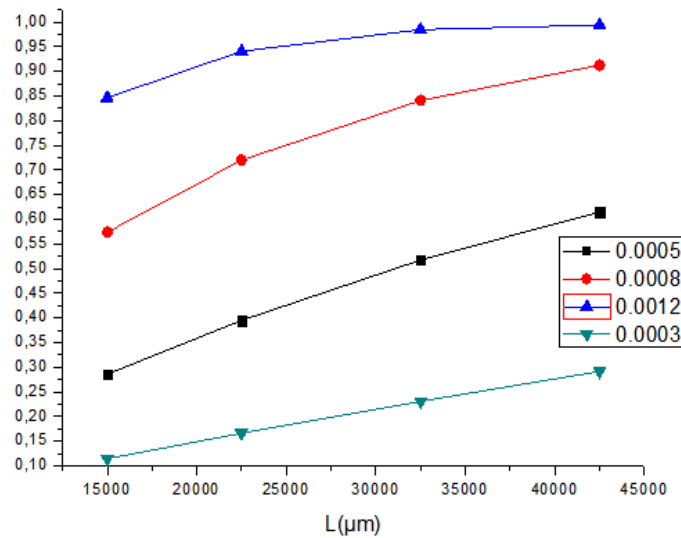
**Tableau 3.6** : Variation de la réflectivité pour C 0,003 et 0,005 en fonction de ModDelta

ModDelta	0,0003	0,0005	0,0008	0,0012
R à C=0,003	0.1825	0.4281	0.755	0.95
	0.2625	0.5662	0.8803	0.9906
	0.355	0.7	0.9531	1
	0.4375	0.795	0.9812	1

ModDelta	0,0003	0,0005	0,0008	0,0012
R à C=0,005	0.1144	0.2859	0.5737	0.8466
	0.1663	0.395	0.72	0.9406
	0.2306	0.5175	0.8409	0.9844
	0.2916	0.6147	0.9125	0.9938



**Figure 3.16 :** La Réflectivité  $C = 0.003$ ,  $\text{ModDelta} = 0.0003, 0.0005, 0.0008, 0.0012$



**Figure 3.17 :** La Réflectivité  $C = 0.005$ ,  $\text{ModDelta} = 0.0003, 0.0005, 0.0008, 0.0012$

Dans cette partie on a fixé le chirp à deux valeurs avec la variation du ModDelta.

Ici on remarque une diminution de la réflectivité lorsque le chirp augmente de 0,003 à 0,005.

On remarque également que la réflectivité diminue pour la valeur de  $C$  égale à 0,005 pour différentes valeurs de ModDelta, alors quelle augmente progressivement jusqu'à 1 pour la valeur de ModDelta égale à 0,0012, cela est relatif avec l'augmentation la longueur du réseau de Bragg, et cela est conforme aux résultats retrouvés dans les partie précédentes.

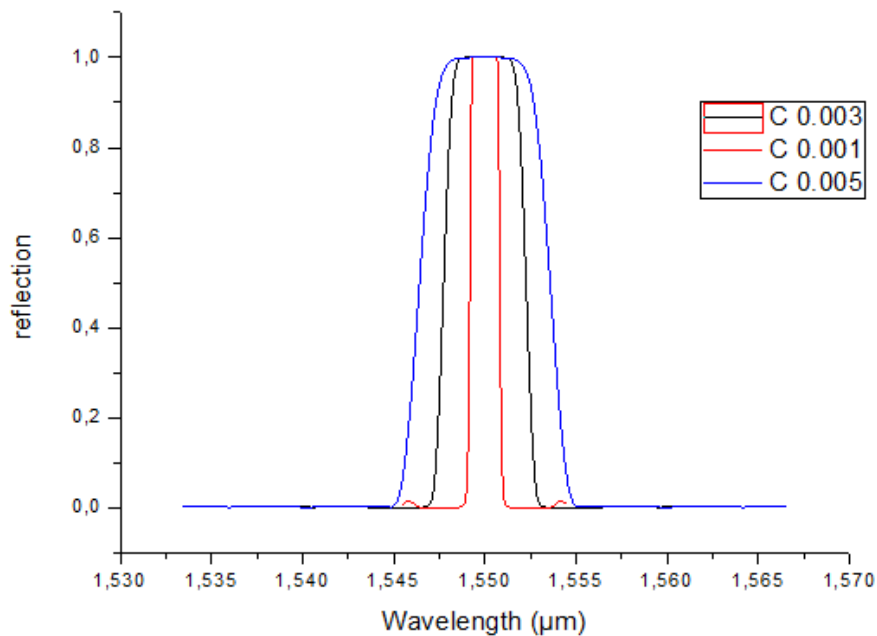
Pour des valeurs extrêmes de longueur on peut avoir une réflectivité totale pour le ModDelta 0.0012 et elle devient stable pour les valeurs de 0.0008 et 0.0012 lorsque le chirp  $C$  est faible à 0,003.



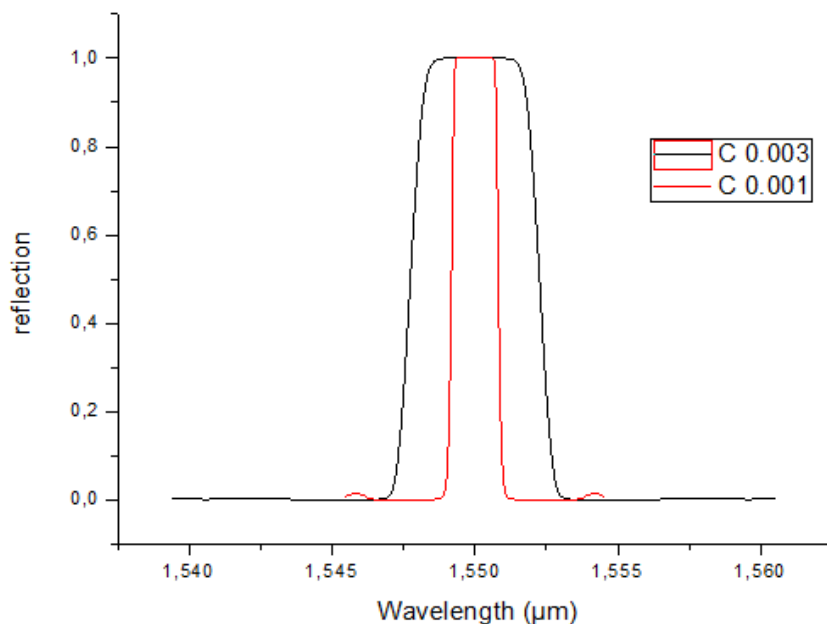
## Simulation et Résultats

Après analyse des résultats retrouvés nous avons cherché à modéliser la réflectivité en fonction de longueur d'onde pour les valeurs extrêmes de la période (la longueur du réseau chirpé) et de ModDelta 0.0012 à des valeurs de chirp qui varie de 0.001, 0.003, 0.005.

Puis on a également illustré la réflectivité pour ModDelta 0.0012 pour deux valeurs : 0.001, 0.003, On retrouve alors les graphes suivant :



**Figure 3.18 :** Réflectivité ModDelta =0.0012, Chirp = 0.001, 0.003, 0.005



**Figure 3.19 :** Réflectivité ModDelta =0.0012, Chirp = 0.001, 0.003

## Simulation et Résultats

---

Les deux figures précédentes montrent clairement qu'avec différentes valeurs de chirp on peut avoir des bandes de fréquences différentes et on aperçoit une distinction des longueurs d'ondes qui se réfléchissent à la fin du réseau.

La réflectivité est élevée, préservée par l'augmentation de ModDelta 0.0012, pour un chirp à 0.001 nous avons une sélectivité des fréquences qui représente la réflexion des longueurs d'onde les plus courtes aux extrémités du réseau (la fin du réseau).

**5. Conclusion :** on peut en conclure après toute cette simulation est analysée que :

- l'augmentation de l'amplitude de modulation nous permet d'assurer une bonne réflectivité, associée à un réseau apodisé, on peut éliminer les lobes secondaires qui sont extrêmement gênants lorsque les réseaux de Bragg sont utilisés dans des systèmes de transmission comme le WDM à plusieurs canaux.
- On a confirmé également l'impact du chirp sur la réflectivité et la transmission, le chirp présente un effet négatif sur la réflexion.
- La transmission est meilleure, elle représente des graphes qui sont l'inverse à la réflexion pour les mêmes valeurs du chirp, mais elle diminue avec l'évolution de ModDelta.

Avec l'augmentation progressive de la longueur du réseau sur la même étude de variation du chirp, nous avons aperçu :

- La réflectivité est préservée par l'augmentation de ModDelta.
- Une séparation des longueurs d'ondes avec augmentation de ModDelta et la longueur du réseau de Bragg à pas variable (chirpé).
- On peut créer ici un filtre sélectif pour les longueurs d'ondes les plus courtes qui se réfléchissent à la fin du réseau, ce genre de filtre est très utilisé dans le mode de multiplexage dense DWDM.

## Conclusion générale

---

Nous avons présenté dans le premier chapitre les réseaux d'accès ADSL et les réseaux à fibre optiques, quelques notions de base ont été définies sur la technologie ADSL et l'évolution du réseau vers les différentes normes xDSL.

Pour les réseaux d'accès à fibre optique, la solution FTTH, offre une multitude d'applications innovantes et permet d'atteindre un débit qui dépasse les 100 Mb/s, nous avons exposé une comparaison des deux réseaux en terme de débits et les améliorations apportées par la technologie FTTx

Dans la deuxième partie nous avons rappelé les concepts de base qui régissent la fibre optique en commençant par la structure de la fibre, son fonctionnement, ses caractéristiques, ses types, et ses applications.

Le deuxième chapitre a été consacré aux réseaux de Bragg à fibres optiques leur grande flexibilité et leur conception les rend très intéressants pour des applications adaptées aux besoins de l'utilisateur, telles que l'égalisation du gain ou la compensation chromatique de dispersion, les réseaux de Bragg trouvent beaucoup d'applications dans les systèmes de communications optiques, notamment dans les systèmes multiplexés en longueurs d'onde WDM qui est un module de compensation de la dispersion chromatique.

Dans le troisième chapitre nous avons exposé les résultats de la simulation effectuée avec le logiciel RSoft CAD, qui présentent plusieurs approches réalisées dans le but d'étudier les caractéristiques du réseau de Bragg :

- Une comparaison d'un réseau uniforme et un réseau apodisé à base de cosinus squared en fonction de la variation de l'amplitude de la modulation

- Une étude des caractéristiques d'un réseau de Bragg chirpé et apodisé à base de cosinus squared, où on a remarqué une compensation de la diminution de la réflexion avec l'augmentation de l'amplitude de la modulation et la longueur du réseau

La dernière étude représente l'analyse d'un réseau chirpé et apodisé à base de cosinus squared mais avec des variations de période (longueur du réseau) qui nous a permis la réalisation d'un filtre optique sélectif pour les longueurs d'onde les plus courtes qui sont réfléchies à la fin du réseau.

**Perspectives :** d'autres analyses et recherches peuvent être effectuées sur les réseaux chirpés et apodisés en utilisant d'autres fonctions d'apodisation comme la fonction gaussienne ou la fonction cosinus surélevé pour modéliser d'autres filtres optiques comme les filtres passe bande.

# RÉFÉRENCES

# BIBLIOGRAPHIQUES

## Références Bibliographiques

---

- [1] Fiber to the home Council Europe FTTH Handbook Edition 6, par Eileen Connolly Bul, année 2014
- [2] K. O. Hill and G. Meltz, "Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview," *J. Light. Technol.* 15(8), 1263 – 1276 (1997).
- [3] Wang, J., Ren, L., Jiang, T., Jia, Z., Wang, G.-x., 2020b. A novel gas pipeline burst detection and localization method based on the FBG caliber-based sensor array. *Measurement* 151, 107226.
- [4] Mahiuddin, M., 2020 "Development of an OADM to reduce the incoherent crosstalk in WDM system". *ICT Express*.
- [5] Pr. Catherine LEPERS, « Chapitre 1: Introduction aux réseaux d'accès optiques FTTH » MOOC Réseaux d'accès optiques FTTH, Institut Mines-Telecom /Telecom Sud Paris 2020
- [6] Fibre Guide, consulté le : 09MARS 2020.URL : <https://fibre.guide/deploiement/technologies>
- [7] Eric GANGLOFF « Chapitre 3 : La chaîne FTTH », MOOC Réseaux d'accès optiques FTTH, Directeur d'Etudes, cours en ligne, Institut Mines-Telecom /Telecom SudParis 2020
- [8] Walspurger.J «L'avenir de l'ADSL »Ingénieur 2000 – Informatique/Réseaux 3ème année 2007
- [9] Mirgot.J Sagnimorte.T « architecture et performance des réseaux FTTH » telecom life 2007
- [10] J-A.BALLA MEKONGO, « Conception et Réalisation d'une Plate-Forme de Dimensionnement du Réseau FTTH de Matrix Telecoms. A », Université de Maroua Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, République du Cameroun, 2018.
- [11] Claude Lahache « Déploiement de la fibre optique » Reportage chez l'opérateur historique Orange Étude menée en 2014 à la demande de l'ARCEP
- [12] Khenniche Mohamed Oussama « Etude comparative entre l'ADSL et la Fibre Optique » mémoire de master réseaux et télécommunication, Université Mohamed Khider de Biskra Département de Génie Electrique septembre 2020
- [13] Guide To Fiber Optiques & Premises Carling, THE Fibre optic Association, Inc 2021
- [14] moneyexpert.com «FTTB, FTTdp, FTTH, FTTLA: les différentes technologies defibre»<https://www.moneyexpert.com/fr/box-internet/fttb-fttdp-ftth-fttla-les-differentes-technologies-de-fibre/#fttla-la-fibre-optique-jusquau-dernier-amplificateur>
- [15] Hilem. J , Hamadou. F, Brahmi. H « Etude Et Simulation D'un Reseau Fth Base Sur La Norme G-Pon » Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Département de Génie électrique, Réseaux et Télécommunication Promotion 2019-2020

## Références Bibliographiques

---

- [16] : Document : Algérie télécom évolution du réseau d'accès haut débit vers très haut débit : janvier 2017
- [17] PIERRON 2011, 'La réfraction - la réflexion totale', Physique – Chimie, Programme : BO spécial n° 4 du 29 avril 2010.
- [18] A-E. Willner, S-R. Nuccio, B-G. Potter, "Photonic Communications Engineering: Module 3 -Attenuation in Optical Fibers", 8 September 2010.
- [19] A. Ghatak, K. Thyagarajan, "Optical Waveguides and Fibers", Department of Physics Indian Institute of Technology New Delhi, India, 2000 University of Connecticut, pp 255.
- [20] M. Cardo-saban Réfraction et Indice de réfraction, disponible sur site : <http://www.dicoptic.izispot.com/>, Le, pp 1-3, 03 Juillet 2008.
- [21] G. Pinson. Physique appliquée : Liaison par fibre optique, Émetteurs et récepteurs de lumière, Photocoupleur. Optoélectronique - B33/1,
- [22] BENDRIHEM ABDELAZIZ «Etude des phénomènes liés à la propagation dans les fibres optiques»2010.
- [23]. Kaplan, N., Jasenek, J., Červeňová, J., Ušáková, M., 2018. Magnetic optical FBG sensors using optical frequency-domain reflectometry. *IEEE Trans. Magn.* 55 (1), 1–4.
- [24] Yang, D., Liu, Y., Wang, Y., Zhang, T., Shao, M., Yu, D., Fu, H., Jia, Z., 2020. Integrated optic-fiber sensor based on enclosed EFPI and structural phase-shift for discriminating measurement of temperature, pressure and RI. *Opt. Laser Technol.* 126, 106112.
- [25] Koo, K.N., Ismail, A.F., Othman, M.H.D., Samavati, A., Tai, Z.S., Rahman, M.A., Bakhtiar, H., Mat, M.A., 2020. Fabrication and modification of temperature FBG sensor: role of optical fiber type and Cu sputtered thickness. *Phys. Scr.* 95 (9), 095509.
- [26] Hill, K.O., Fujii, Y., Johnson, D. C., Kawasaki, B. S. (1978) "Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection fiber fabrication", *Appl. Phys. Lett.* 32 (10): 647.
- [27] Meltz, G., Morey, W., Glenn, W., (1989) "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method", *Opt. Lett.* 14 (15): 823.
- [28] Marshall et al., 2010
- [29] Bashir Ahmed Tahir, Jalil Ali, Rosly Abdul Rahman, "Fabrication of fiber grating by phase mask and its sensing application", *Journal of optoelectronics and advanced materials* Vol. 8, No. 4, August 2006, p. 1604 – 1609.
- [30] XunqiWu « Etude de cavités optiques formées de miroirs de Bragg à réseaux à pas variable: application aux filtres et lasers » Supélec, 2012. Français. NNT: 2012SUPL0001

## Références Bibliographiques

---

- [31] P. Ferraro, G. De Natale (2002). "On the possible use of optical fiber Bragg gratings as strain sensors for geodynamical monitoring". *Optics and Lasers in Engineering* 37 (2-3): 115–130.
- [32] J.R. Dunphy et al., "Embedded optical sensor capable of strain and temperature measurement using a single diffraction grating", issued March 21, 1995.
- [33] [www.photoniques.com/http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168041](http://www.photoniques.com/http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168041).
- [34] Raman kashyap. *Fiber Bragg Gratings*. Academic Press, 1999.
- [35] T. Erdogan, « fiber grating spectra », *J.Lightwave Technol*, vol. 15. Août 1997.
- [36] MEZGHICHE KAMEL thèse de doctorat Etude et caractérisation des réseaux de Braggfibrés « Fiber Bragg Gratings » Université Badji Mokhtar badji Mokhta, Année 2011.
- [37] KHATER Yasser KHOBZI Mohammed N Technique OCDMA : Applications dans les réseaux de communications optiques En vue de l’obtention du Diplôme de MASTER Réseaux et Télécommunications 06 – 2020
- [38] LARIBI.H. Et AISSA MADAOUIS. Etude d’un système OCDMA avec les codes Hadamard pour les signaux optiques incohérents. Mémoire de Master. Tlemcen : Université ABOU BAKR BELKAD – TLEMEN. 2016. 96 pages.
- [39] ZOUINE.Y. Contribution par la simulation système à l’étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2005.191.
- [40] D. REVUZ, E. DURIS, Transmission sur Fibre Optique, consulté le : 07 MARS 2020. URL:[http://igm.univ-ly.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/index.html](http://igm.univ-ly.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html)
- [41] A.CHAARI, SUPINFO International University, 14/03/2017 à 22:39:36, consulté le : 12MARS 2020. URL:<https://www.supinfo.com/articles/single/4171-types-multiplexage-fibre-optique-partie-2>
- [42] Chaluvadi V Naga Bhaskar, Subhradeep Pal, Prasant Kumar Pattnaik “Recent advancements in fiber Bragg gratings based temperature and strain measurement” Elsevier SciencesDirect *Results in Optics* 5 (2021) 100130
- [43] K. MEZGHICHE, Etude et caractérisation des réseaux de Bragg fibrés : Fiber Bragg Grating. Université de Bordj Badji Mokhtar, 2011

## Références Bibliographiques

---

- [44] R. Hedara, M .chikh-bled, Abdallah ikhlaf « Modélisation des composants à base des réseaux de bragg particulier. Application: les lasers accordables » Laboratoire de télécommunication, Département de télécommunication, Mediterranean Telecommunication journal vol 3, n°2, july 2013
- [45] Projet collaboratif CEPEM (système de contrôle intégré de structures composites en mer profonde), partenaires : IFREMER Université P. Sabatier, Armines, Saipem, Structil, IDIL Fibres Optiques. Financement : OSEO
- [46] Lionel Quéstel Les capteurs à réseaux de Bragg Article in Photoniques · January 2016