



N° d'ordre :  
N° de série :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'EL-OUED  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
Département D'électronique

Mémoire de fin d'étude présenté  
Pour l'obtention du diplôme de

# Licence ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et techniques**  
Filière : **Electronique**  
Spécialité : **Télécommunications**

Présenté par : **SEGHAIRI IMAN**

**GHRIB HADJER**

## Utilisation des réseaux de Bragg pour la Compensation de la Dispersion Chromatique dans les Fibre Optique

Déposé le 03-06- 2014

Au niveau du jury composé de :

|    |                            |    |                      |
|----|----------------------------|----|----------------------|
| M. | <b>NACEREDDINE Lakhdar</b> | MA | Président            |
| M. | <b>BOULILA Mohamed</b>     | MA | Examineur            |
| M. | <b>MEDJOURI Abdelkader</b> | MA | Directeur du mémoire |

2013-2014

# Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier "ALLAH", nous créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire*

*"MEDJOURI Abdelkader"*

*Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous nos professeurs de département des sciences et technologie à domaine télécommunications, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.*

*Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi, «Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier».*

*Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant.*

*Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.*

*A vous tous, MERCI !*

*SEGHAIRI Iman*

*GHRIB Hadjer*

# Dédicaces

*En premier lieu:*

*Je merci à Allah pour donne moi la force de complétant cette mémoire*

*"AL HAMO LELLAH"*

*Et*

*J'ai l'honneur de dédier ce mémoire :*

*À la femme qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui est sacrifiée pour mon bonheur, ma Mère, Fatma ...*

*À l'homme qui a été mon ombre durant toutes Ces années des études, lécole de mon enfance , mon Père, Khaled ...*

*À mon directeur du mémoire, Abdelkader Medjouri, de m'avoir permis de réaliser dans ce travail vos qualités professionnelles et votre rigueur pour moi sont des exemples à suivre, un remerciement particulier pour cet homme ...*

*À mon binôme, d'avoir eu le courage d'achever ce travail, ma cher G.Hadjer ...*

*À Mes frères et sœurs, Salim, Nedjmeddine, Samia, Razika et n'oublie pas les enfants Zohra, Amir, Wissam ...*

*À les hommes, en premier lieu, qui n'oublie pas, Adouani Oualid et Fouad Sichi ...*

*À mes amis, L.Ahlam, H.Ahlam, C.Khawla, A.Hanane, B.Kawthar, H.Hadjer, M.Saida, R.Soumia, T.Djihad, A.Safeia, A.Fatiha, M.Yamina et G.Imane ...*

*À Tous mon profs dont j'ai de l'estime, Merci pour tout ...*

*S. Imane* 

# Dédicaces

*En premier lieu:*

*Je dédie cette thèse à mon parant, Consacrer ce simple geste humble consacrer à la nation chère au cœur de la poitrine chaude de la grande net blanc à ma chère mère **ghrib khadija** qui n'a pas empêché un moment pour prier pour moi et mes encouragements .*

*Consacrer à ma cher père **ghrib djamal** les yeux clairs et base dans cette vie .*

*Pour chacun des frères bien-aimés: **marieme**, j'espère que c'est baccalauréat obtenu et surpasser dans l'étude , et **halima** , **sara** , **assma** et mon cœur mon frère **med saleh** , et le petit poussin **nessrin** .*

*je demande à dieu de les garder pour moi .*

*Je dédie un don du cœur du filet de notre **pixine** et notre famille bougie mes grands parents **zeneb** et **moradj ghrib** .*

*Pour chacun de mes oncles et leurs épouses et leurs enfants et particulièrement à ma chère tante **somia** et impliqué et ses enfants **zahra** et **islam** .*

*Je dédier à mon fiancé **Adel** et chaque membre de la famille qui je suis la plus grande estimation .*

*Consacrer pour chaque m'a aidé même si l'aidée ou m'ont soutenu moralement pour chacun de mes amis **fouad sichi** et **houssam eddin chaouch** .et pour mieux filles serendipity nous à réunis et l'étude : **iman** , **hadjer**, **yassmin**, **somia**, **saida** ,**djihad** ,**houda** ,**kawthar**, **ammoura** et **rahma** .*

*A tous les enseignants et toutes les enseignantes de faculté de la sciences techniques*

*G. Hadjer* 

# Table des matières

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Table des matières .....</b>                                        | <b>I</b>   |
| <b>Liste des figures .....</b>                                         | <b>II</b>  |
| <b>Liste des tableaux .....</b>                                        | <b>II</b>  |
| <b>Abréviation.....</b>                                                | <b>III</b> |
| <br>                                                                   |            |
| <b>Introduction générale .....</b>                                     | <b>1</b>   |
| <br>                                                                   |            |
| <b>Chapitre I : La fibre optique (FO) .....</b>                        | <b>2</b>   |
| 1.1.    Introduction .....                                             | 3          |
| 1.2.    Historique .....                                               | 4          |
| 1.3.    Structure .....                                                | 6          |
| 1.4.    Guidage de la lumière dans la fibre optique .....              | 7          |
| 1.4.1.    Fibre multimode à saut d'indice .....                        | 7          |
| 1.4.2.    Fibre multimode à gradient d'indice .....                    | 7          |
| 1.4.3.    Fibre monomode .....                                         | 7          |
| 1.5.    Caractéristiques .....                                         | 8          |
| 1.5.1.    Pertes .....                                                 | 8          |
| 1.5.1.1.    Pertes par absorption .....                                | 8          |
| 1.5.1.2.    Pertes par diffusion .....                                 | 9          |
| 1.5.1.3.    Pertes par Courbures .....                                 | 9          |
| 1.5.1.4.    Pertes dues aux raccordements ( jonctions, épissure) ..... | 10         |
| 1.5.2.    Dispersion chromatique .....                                 | 10         |
| 1.5.3.    Dispersion model de polarisation .....                       | 12         |
| 1.5.4.    Effets non linéaires .....                                   | 13         |

|                                                                      |                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------|
| 1.5.4.1.                                                             | Au premier ordre .....                               | 13        |
| 1.5.4.2.                                                             | Au second ordre .....                                | 13        |
| 1.5.4.3.                                                             | Au troisième ordre .....                             | 14        |
| 1.6.                                                                 | Conclusion .....                                     | 14        |
| <b>Chapitre II : Système de transmission par fibre optique .....</b> |                                                      | <b>15</b> |
| 2.1.                                                                 | Introduction .....                                   | 16        |
| 2.2.                                                                 | Structure de système de transmission .....           | 16        |
| 2.2.1.                                                               | Emetteur .....                                       | 17        |
| 2.2.2.                                                               | Ligne .....                                          | 18        |
| 2.2.3.                                                               | Récepteur .....                                      | 19        |
| 2.3.                                                                 | Réseaux .....                                        | 19        |
| 2.3.1.                                                               | Le réseau longue et très longue distance (WAN) ..... | 20        |
| 2.3.2.                                                               | Le réseau métropolitain (MAN) .....                  | 20        |
| 2.3.3.                                                               | Le réseau d'accès .....                              | 20        |
| 2.3.4.                                                               | Contexte de l'étude .....                            | 21        |
| 2.4.                                                                 | Technique de multiplexage .....                      | 21        |
| 2.4.1.                                                               | Multiplexage en longueurs d'onde .....               | 22        |
| 2.4.2.                                                               | Multiplexage par répartition de code .....           | 23        |
| 2.4.3.                                                               | Multiplexage dans le domaine temporel .....          | 25        |
| 2.5.                                                                 | Conclusion .....                                     | 26        |
| <b>Chapitre III : Réseaux de Bragg .....</b>                         |                                                      | <b>27</b> |
| 3.1.                                                                 | Introduction .....                                   | 28        |
| 3.2.                                                                 | Structure .....                                      | 28        |
| 3.3.                                                                 | Principe .....                                       | 29        |
| 3.4.                                                                 | Type .....                                           | 30        |
| 3.4.1.                                                               | Réseau de Bragg à pas variable .....                 | 31        |
| 3.5.                                                                 | Conclusion .....                                     | 31        |

|                                                                                                                                                      |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Chapitre IV : Simulation de l'utilisation des réseaux de Bragg pour la compensation de la dispersion chromatique dans les fibre optique .....</b> | <b>32</b>     |
| 4.1. Introduction .....                                                                                                                              | 33            |
| 4.2. description de la chaine de transmission .....                                                                                                  | 33            |
| 4.2.1. Emetteur .....                                                                                                                                | 34            |
| 4.2.1.1. La Donnes électrique .....                                                                                                                  | 34            |
| 4.2.1.2. La source optique .....                                                                                                                     | 34            |
| 4.2.1.3. Modulateur .....                                                                                                                            | 34            |
| 4.2.2. Canal de transmission .....                                                                                                                   | 35            |
| 4.2.3. Récepteur .....                                                                                                                               | 35            |
| 4.3. Résultat de simulation .....                                                                                                                    | 35            |
| 4.3.1. Analyse subjective.....                                                                                                                       | 35            |
| 4.3.2. Analyse objective .....                                                                                                                       | 37            |
| 4.4. Conclusion .....                                                                                                                                | 38            |
| <br><b>Conclusion générale .....</b>                                                                                                                 | <br><b>39</b> |
| <b>Annexes .....</b>                                                                                                                                 | <b>IV</b>     |
| <b>Bibliographie .....</b>                                                                                                                           | <b>V</b>      |

# Liste des figures

## Chapitre I : La fibre optique

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig 1.1</b> - Structure de fibre optique .....                                                                                                                             | 6  |
| <b>Fig 1.2</b> -La fibre multimode à saut d'indice.....                                                                                                                       | 6  |
| <b>Fig 1.3</b> -La fibre multimode à gradient d'indice.....                                                                                                                   | 6  |
| <b>Fig 1.4</b> -La fibre monomode.....                                                                                                                                        | 7  |
| <b>Fig 1.5</b> - le chemin optique dans la fibre à saut d'indice.....                                                                                                         | 7  |
| <b>Fig 1.6</b> - le chemin optique dans la fibre à gradient d'indice .....                                                                                                    | 7  |
| <b>Fig 1.7</b> - le chemin optique dans la fibre monomode .....                                                                                                               | 8  |
| <b>Fig 1.8</b> -Les niveaux d'énergie de la silice forment une bande de niveaux occupés et une bande de niveaux vides, séparés par une bande interdite de largeur $E_g$ ..... | 8  |
| <b>Fig 1.9</b> - Pertes dues aux courbures (macroband)et microcourbures (microband) .....                                                                                     | 9  |
| <b>Fig 1.10</b> - Les différents décalages au raccordement de fibres et leur abaissement(brun) .....                                                                          | 10 |
| <b>Fig1.11</b> - Représentation des modes dégénérés du mode LP01 .....                                                                                                        | 12 |

## Chapitre II : Système de transmission par fibre optique

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig 2.1</b> -Schéma d'un système de transmission optique.....                  | 16 |
| <b>Fig 2.2</b> -Schéma de principe d'un émetteur optique.....                     | 17 |
| <b>Fig 2.3</b> - Une ligne de transmission par fibres optiques .....              | 18 |
| <b>Fig 2.4</b> - Schéma de principe d'un récepteur optique .....                  | 19 |
| <b>Fig 2.5</b> -Diagramme d'une liaison par multiplexage en longueurs d'onde..... | 22 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig 2.6</b> -Diagramme du codage des données d'un utilisateur..... | 23 |
| <b>Fig 2.7</b> -Différentes techniques OCDM.....                      | 24 |
| <b>Fig 2.8</b> -Chaine de transmission CDMA.....                      | 24 |
| <b>Fig 2.9</b> - diagramme de multiplexage temporel des données.....  | 25 |

### **Chapitre III : Réseaux de Bragg**

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig3.1</b> - Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales..... | 28 |
| <b>Fig 3.2</b> -Schéma d'un milieu périodique.....                                                                                      | 29 |
| <b>fig3.3 a</b> -exemples de cristaux photonique 2D et 3D.....                                                                          | 30 |
| <b>Fig 3.3</b> -Fibre à réseau de Bragg à pas variable linéairement.....                                                                | 31 |

### **Chapitre IV : Simulation de l'utilisation des réseaux de Bragg pour la compensation de la dispersion chromatique dans les fibre optique**

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig4.1</b> - chaine de transmission optique avec compensation de la dispersion chromatique..... | 33 |
| <b>Fig 4.2</b> - l'émetteur.....                                                                   | 34 |
| <b>Fig 4.3</b> - Diagramme de le codage a type NRZ à l'information.....                            | 34 |
| <b>Fig 4.4</b> - l' Canal de transmission optique.....                                             | 35 |
| <b>Fig 4.5</b> - le récepteur.....                                                                 | 35 |

## **Liste des tableau**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tab 4.1</b> - les valeurs de dispersion négative de FBG ..... | 35 |
|------------------------------------------------------------------|----|

# Abréviations

- ✚ **AO** : Amplificateur Optiques
- ✚ **ASK** : Amplitude-Shift Keying
- ✚ **CDM** : Code Division Multiplexing
- ✚ **CDMA** : Code Division Multiple Access
- ✚ **CSRZ** : Carrier-Suppressed RZ
- ✚ **DFA** : Desserte par Fibre de l'Abonné
- ✚ **DWDM** : Dense Wavelength Division Multiplexing
- ✚ **EAM** : Electro-Absorption Modulator
- ✚ **F** : Fibre optique
- ✚ **FBG** : Fiber Bragg Grating
- ✚ **FDM** : Frequency Division Multiplexing
- ✚ **FTTB** : Fiber To The Building
- ✚ **FTTC** : Fiber To The Curb
- ✚ **FTTH** : Fiber To The Home
- ✚ **ITU** : International Télécommunication Union
- ✚ **MAN** : Metropolitan Area Network
- ✚ **MZM** : Mach-Zehnder Modulator
- ✚ **NRZ** : Non Retour à Zéro
- ✚ **OCDM** : Optical Code Division Multiplexing
- ✚ **PDH** : Plesiochronous Digital Hierarchy
- ✚ **PSK** : Phase –Shift Keying
- ✚ **R** : Régénérateur
- ✚ **RZ** : Retour à Zéro
- ✚ **SDH** : Synchronous Digital Hierarchy
- ✚ **SONET** : Synchronous Optical NETwork
- ✚ **TDM** : Time Division Multitplexing
- ✚ **U-DWDM** : Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing
- ✚ **WAN** : Wide Area Network
- ✚ **WDM** : Wavelength Division Multiplexing

# Introduction Générale

Durant les dix dernières années, le monde a vu une croissance explosive des télécommunications optiques, alimentée en partie par l'expansion rapide d'internet. Non seulement les systèmes de télécommunications optiques cherchent constamment à améliorer leur performance et leur capacité, mais également se déploient de plus en plus au niveau de l'utilisateur final. [1]

La fibre optique est un support physique de transmission de données IP à très haut débit. Fin et souple comme un cheveu, un brin de fibre optique véhicule de manière guidée un signal lumineux qui a la particularité d'atteindre des vitesses élevées sur de grandes distances, en ne subissant ni affaiblissement ni perturbation électromagnétique.

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne).

L'objectif de ce travail est l'étude de l'utilisation des réseaux de Bragg pour la compensation de la dispersion chromatique dans les fibres optiques.

Dans le premier chapitre nous exposons une étude générale sur la fibre optique, à partir de sa structure jusqu'à ses caractéristiques. Le plus important est la perte et la dispersion chromatique.

Dans le deuxième chapitre nous étudions le système de transmission de l'émetteur au récepteur, avec une brève sur les techniques de transmission optique.

Dans le dernier chapitre nous avons étudié la compensation de la dispersion chromatique par fibre de Bragg.

Enfin, on fait une simulation pour confirmer l'efficacité de la compensation avec FBG.

# Chapitre I : La fibre optique

## Sommaire :

1. Introduction
2. Historique
3. Structure
4. Guidage de la lumière dans la fibre optique
5. Caractéristiques
6. Conclusion

## 1.1. Introduction:

On en parle beaucoup, mais qu'est-ce que c'est exactement ? Et à quoi ça sert?

Pour aller vite, c'est un fil de verre, entouré d'une gaine "réfléchissante". Sa propriété principale est de servir de "tuyau" dans lequel on peut faire circuler de la lumière. En plus de servir à construire tout un tas de gadgets amusants, on peut lui trouver quelques applications plus technologiques, allant de l'endoscopie au transfert de données numériques. La fibre optique se met à ressembler furieusement à n'importe quel câble électrique et perd beaucoup de son aspect poétique. ( C'est également le cas pour l'endoscope ). [2]

Dans ce chapitre, nous allons faire une brève description des différents composants constituant une fibre optique , ensuite nous allons expliquer le passage de la lumière dans la fibre optique , enfin nous allons afficher quelques caractéristiques spéciales de la fibre optique.

## 1.2. Historique:

À l'époque des Grecs anciens, le phénomène du transport de la lumière dans des cylindres de verre était déjà connu. Il était, semble-t-il, mis à profit par les artisans du verre pour créer des pièces décoratives. Plus tard, les techniques de fabrication utilisées par les artisans vénitiens de la Renaissance pour fabriquer les "millefiori" ressembleraient beaucoup aux techniques actuelles de fabrication de la fibre optique. L'utilisation du verre en conjonction avec la lumière n'est donc pas récente. [16]

La première démonstration scientifique du principe de la réflexion totale interne fut faite par les physiciens français Jean-Daniel Colladon et Jacques Babinet à Paris au début des années 1840. [16]

On doit la première tentative de communication optique à Alexander Graham Bell, connu pour l'invention du téléphone. En effet, il mit au point, au cours des années 1880, le photophone. Cet appareil permettait de transmettre la lumière sur une distance de 200 mètres. La voix, amplifiée par un microphone, faisait vibrer un miroir qui réfléchissait la lumière du soleil. Quelque 200 mètres plus loin, un second miroir captait cette lumière pour activer un cristal de sélénium et reproduire le son voulu. [16]

En 1927, Baird et Hansell tentèrent de mettre au point un dispositif d'images de télévision à l'aide de fibres. Quelques années plus tard, en 1930, Heinrich Lamm réussit à transmettre l'image d'un filament de lampe électrique grâce à un assemblage rudimentaire de fibres de quartz. Cependant, il était encore difficile à cette époque de concevoir que ces fibres de verre puissent trouver une application. [16]

La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, lorsque le fibroscope flexible fut inventé par Van Heel et Hopkins. Cet appareil permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées. [16]

Les télécommunications par fibre optique restèrent impossibles jusqu'à l'invention du laser en 16 mai 1960 par Theodore Maiman Harold . Le laser offrit en effet la possibilité de transmettre un signal sans pertes sur une grande distance . Dans sa publication de 1964 ,

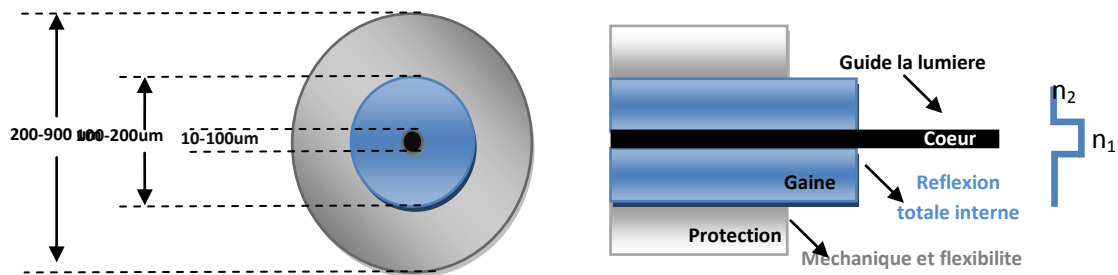
Charles Kao , des Standard Télécommunications Laboratories, décrit un système de communication à longue distance et à faible perte en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Les pertes de phase entraînées par l'usage d'une fibre de verre homogène constituaient le principal obstacle à l'utilisation courante de la fibre optique. [16]

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre ; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre pour la longueur d'onde 1 550 nm. utilisée dans les télécommunications). Leur fibre optique était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'information qu'un simple câble de cuivre, ce qui correspondait au rapport des longueurs d'onde utilisées. [16]

Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. En France, la DGT a installé la première liaison optique à Paris entre les centraux téléphoniques des Tuileries et Philippe-Auguste. On estime qu'aujourd'hui plus de 80 % des communications à longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câbles à fibres optiques partout dans le monde. La fibre optique s'est, dans une première phase (1984 à 2000), limitée à l'interconnexion des centraux téléphoniques, eux seuls nécessitant de forts débits. Cependant, avec la baisse des coûts entraînée par sa fabrication en masse et les besoins croissants des particuliers en très haut débit, on envisage depuis 1994 et 2005 son arrivée même chez les particuliers : DFA pour desserte par fibre de l'abonné FTTH (Fiber To The Home), FTTB (Fiber To The Building), FTTC (Fiber To The Curb), etc. [16]

### 1.3. Structure de fibre optique:

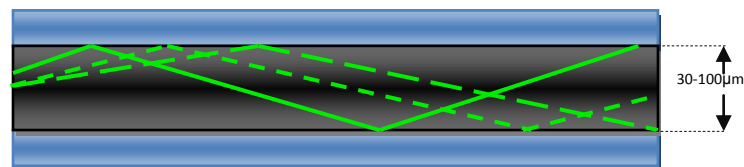
Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique qui possède généralement une symétrie de révolution. Une fibre classique (figure 1.1), est constituée par deux couches de matériaux transparents à base de silice appelées le cœur, d'indice de réfraction  $n_1$ , et la gaine optique qui entoure le cœur, d'indice  $n_2$ . L'indice  $n_1$  est supérieur à  $n_2$  ce qui garantit la réalisation de la condition de réflexion totale sur la gaine d'un rayon se propageant dans le cœur et qui permet le guidage. [3,5]



**Fig 1.1-** Structure de fibre optique

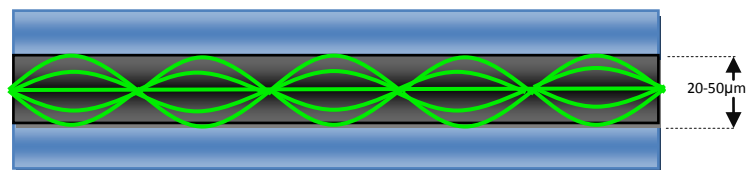
Il existe trois types de fibres optiques :

Le premier type de fibre est appelé la fibre multimode à saut d'indice (figure 1.2). Une fibre optique à saut d'indice possède un cœur (30-100µm) et une gaine (100-200µm) avec des indices de réfraction uniformes. [3]



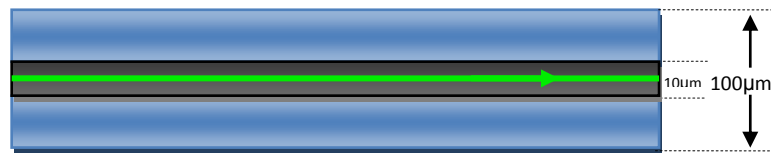
**Fig 1.2-** La fibre multimode à saut d'indice

Et le deuxième type de fibre est appelé la fibre multimode à gradient d'indice (figure 1.3), ce qui les différencie des fibres à gradients d'indice où l'indice de réfraction varie avec la distance radiale de la fibre. [3]



**Fig 1.3-** La fibre multimode à gradient d'indice

Le troisième type de fibre est la fibre monomode (figure1.4). [3]

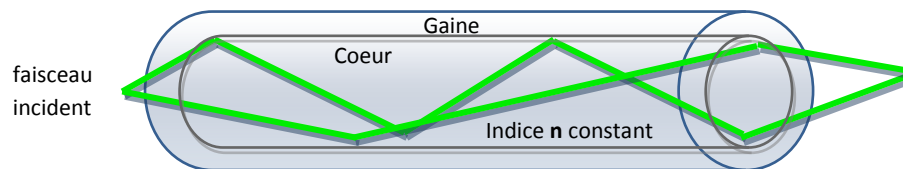


**Fig 1.4-**La fibre monomode

### 1.4. Guidage de la lumière dans la fibre optique:

#### 1.4.1. Fibre multimode à saut d'indice:

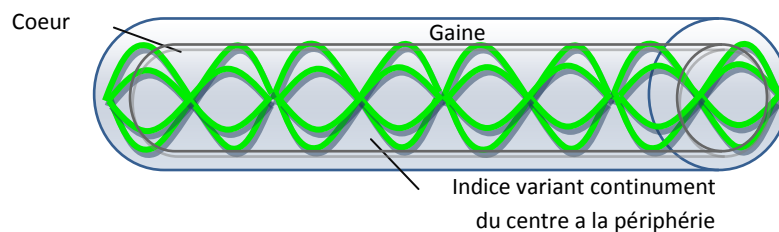
Les fibres à saut d'indice présentent un coeur transparent d'indice constant, et une gaine sombre, il y a alors réflexion du rayon lumineux à la frontière entre les deux matériaux. Cependant, le chemin optique varie, ce qui est gênant puisqu'un même signal se retrouve étendu à la sortie (figure1.5). [4]



**Fig 1.5-** le chemin optique dans la fibre à saut d'indice

#### 1.4.2. Fibre multimode à gradient d'indice:

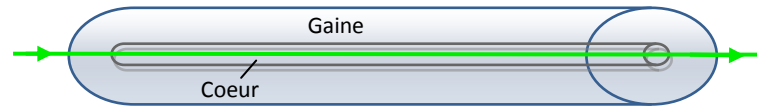
Ici l'indice varie peu à peu du centre à la gaine, la forme de la trajectoire est plus sinusoïdale car le rayon est dévié au fur et à mesure qu'il s'éloigne du centre. La variation de chemin optique est ici plus faible car le coeur a un diamètre moindre. L'étalement du signal est moins important grâce à la variation de l'indice (figure1.6) . [4]



**Fig 1.6-** le chemin optique dans la fibre à gradient

#### 1.4.3. Fibre monomode:

Dans une fibre monomode (figure1.7), on obtient un seul mode grâce à la très faible dimension du coeur. Ainsi le chemin de la lumière est imposé, il n'y en a qu'un seul: celui du coeur. Il existe expérimentalement des fibres optiques monomodes à cristal photonique. [4]



**Fig 1.7-** le chemin optique dans la fibre monomode

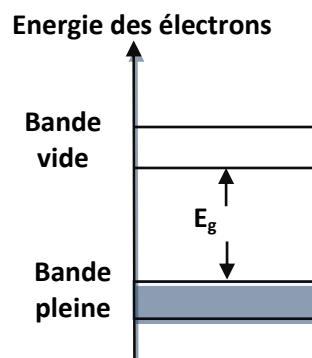
### 1.5. Caractéristiques:

#### 1.5.1. Pertes:

En tant que canal de transmission, la fibre optique est sujette, comme tout autre canal de transmission, à des déperditions de puissances du signal optique. On peut attribuer ces pertes de puissances à des types distincts de causes:

##### 1.5.1.1. Pertes par absorption:

Le verre peut absorber une partie de l'énergie de la lumière. Si  $f$  est la fréquence de la lumière ( $f = c/\lambda_0$ ), l'énergie est absorbée par multiples de l'énergie des photons correspondants soit  $hf$ . L'énergie absorbée peut servir à porter un électron d'un niveau d'énergie supérieur à celui où il se trouvait. On dit que la lumière a excité une transition électronique. Pour cela, il faut lui communiquer une énergie égale à la différence entre un niveau permis inoccupé et le niveau initial. Dans le verre, les niveaux d'énergie permis des électrons se trouvent dans des bandes. Les niveaux occupés les plus élevés forment une bande, appelée bande de valence. A température ambiante, aucun niveau inoccupé n'existe dans cette bande. La bande suivante, formée de niveaux inoccupés, s'appelle la bande de conduction. Elle est séparée de la bande de valence par une bande interdite de largeur  $E_g$  (figure1.8). [10]



**Fig 1.8-** Les niveaux d'énergie de la silice forment une bande de niveaux occupés et une bande de niveaux vides, séparés par une bande interdite de largeur  $E_g$

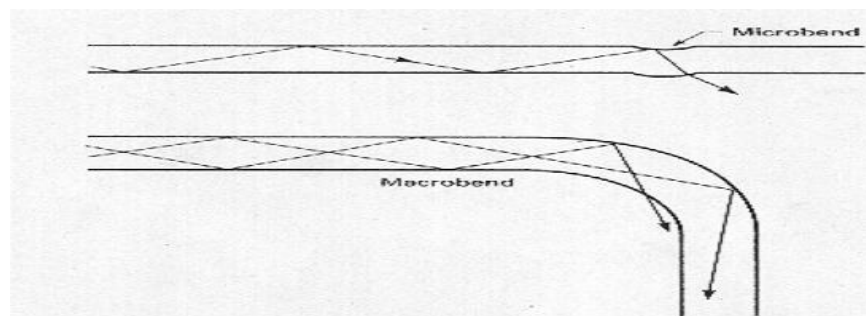
### 1.5.1.2. Pertes par diffusion:

La silice est un matériau amorphe: les molécules de SiO<sub>2</sub> sont connectées entre elles dans une structure aléatoire. Cela produit des fluctuations de l'indice de réfraction, sur des longueurs de l'ordre de 0,1µm ou moins. Chaque fois que la lumière rencontre une irrégularité de dimension inférieure à sa longueur d'onde, elle est diffusée, c'est-à-dire qu'elle est réémise dans toutes les directions. Cette diffusion est appelée diffusion de "Rayleigh". Certaines des directions de diffusion sont telles que la condition de réflexion totale à la surface entre le coeur et la gaine n'est plus satisfaite. Une partie de la lumière est donc perdue dans la gaine suite à la diffusion de Rayleigh. [10]

Il n'est pas possible d'éviter complètement les pertes par diffusion, car la diffusion de Rayleigh est due à la nature même du verre qui a une structure amorphe. Le coefficient d'atténuation due à la diffusion de Rayleigh varie comme  $\lambda^{-4}$ ; il diminue donc très vite lorsque la longueur d'onde augmente. Pour la silice dopée au GeO<sub>2</sub>, le coefficient d'atténuation par diffusion de Rayleigh vaut environ  $1,79 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$  à 1µm, soit 0,78dB/km. A 1,55µm, le coefficient d'atténuation par diffusion de Rayleigh est 1,554 fois plus faible, soit  $3,1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$  ou 0,13dB/km. [10]

### 1.5.1.3. Pertes par Courbures:

La fibre ne peut pas dans une application réelle, être exempte de courbures et de microcourbures et dans ces zones le risque pour un rayon lumineux de ne plus satisfaire la condition de réflexion totale est inévitable, ce qui se traduit par une perte dans la gaine par simple réfraction. L'atténuation provoquée par une courbure dépend de la dimension du coeur et aussi du rayon de courbure. Aux courbures de la fibre, il se produit une conversion de mode et en plus une perte d'énergie due au rayonnement (Figure 1.9). [6]



**fig 1.9-** Pertes dues aux courbures (macrobend)et microcourbures (microbend)

#### 1.5.1.4. Pertes dues aux raccordements ( jonctions, épissure):

Il est indispensable de raccorder de nombreuses fibres pour les transmissions à grande distance. Il est nécessaire aussi de couper les fibres à la longueur appropriée à chaque répéteur et de les connecter à d'autres composants. [6]

La figure 1.10. montre les déplacements qui peuvent survenir lors d'une connexion bout à bout : Un exemple concret de mesure de pertes dues à des décalages est présenté sur la figure 1.10. [6]

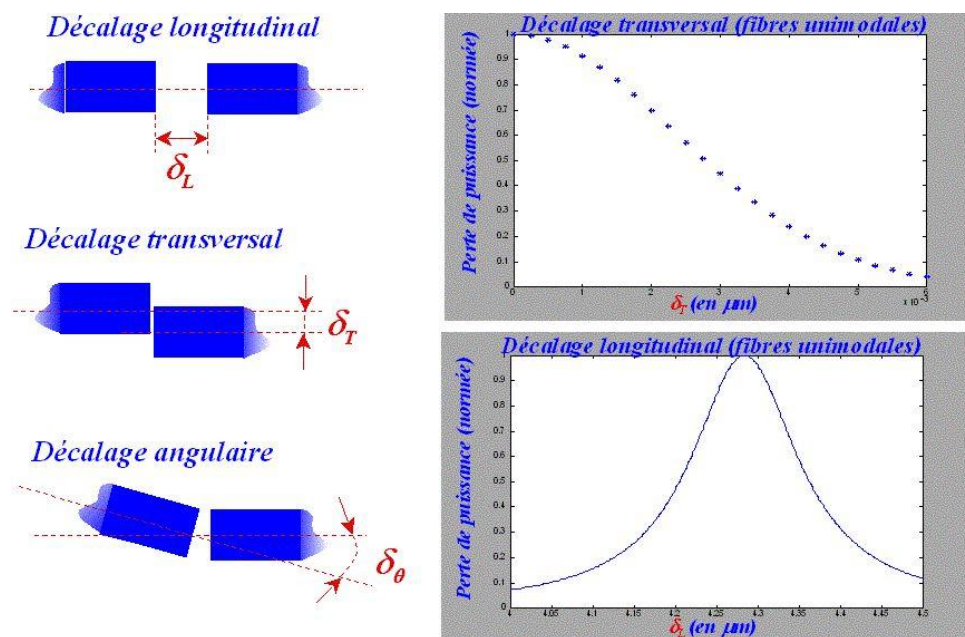


fig 1.10- Les différents décalages au raccordement de fibres et leur abaissement (brun)

#### 1.5.2. Dispersion chromatique:

Dans les fibres optiques monomodes dont le profil est à symétrie de révolution, la dispersion chromatique est la cause principale de l'élargissement des impulsions. Définissons quelques termes avant de commencer l'étude de cette dispersion. [5]

L'indice de groupe, N est tel que:

$$N = \frac{c}{v_g} \quad (1.1)$$

avec  $c$  : vitesse de la lumière

Soit  $n$  l'indice effectif de ce mode à la longueur d'onde donnée: [5]

$$n_e = \frac{\beta}{k_0} \quad (1.2)$$

où  $V_g$ , la vitesse de groupe associée, est définie par:

$$V_g = \left( \frac{d\omega}{d\beta} \right) \dots \dots \dots (1) \quad (1.3)$$

En intégrant la définition fournie par l'équation (1), on obtient:

$$N = n_e + k_0 \frac{dn_e}{dk_0} \quad (1.4)$$

Le temps de groupe devient par conséquent:

$$t_g = \frac{L}{V_g} = \frac{L}{c} \frac{d\beta}{d\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)} = -\frac{L\lambda^2}{2\pi c} \frac{d\beta}{d\lambda} \quad (1.5)$$

L'allongement temporel  $\tau$  est défini par:

$$\tau = \frac{dt_g}{d\lambda} \Delta\lambda \quad (1.6)$$

avec  $\Delta\lambda$ , largeur spectrale de l'impulsion.

La dispersion chromatique  $D_{\text{chrom}}$  peut alors se définir par:

$$D_{\text{chrom}} = \frac{\tau}{L\Delta\lambda} = \frac{1}{L} \frac{dt_g}{d\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_0'' \quad (\text{ps}/(\text{nm.km})) \quad (1.7)$$

$$\text{Avec : } \beta_0'' = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} = \frac{\partial}{\partial \omega} \left( \frac{\partial \beta}{\partial \omega} \right) = \frac{\partial}{\partial \omega} \left( \frac{1}{V_g} \right),, \text{ dispersion de vitesse de groupe} \quad (1.8)$$

$$D_{\text{chrom}} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_e}{d\lambda^2} \quad (\text{ps}/\text{nm.km}) \quad (1.9)$$

En première approximation et en négligeant la contribution croisée des deux dérivés premières par rapport à l'indice  $n$  et la fréquence  $V$ , la dispersion chromatique apparaît comme la somme de la dispersion du matériau,  $D_{\text{mat}}$  et de la dispersion du guide,  $D_{\text{guide}}$ . Elle s'exprime alors selon : [5]

$$D_{\text{chrom}} = D_{\text{mat}} - D_{\text{guide}} \quad (1.10)$$

### 1.5.3. Dispersion modèle de polarisation:

Le mode fondamental d'une fibre optique monomode LP<sub>01</sub>(figure1.11) est composé de deux modes électromagnétiques dégénérés caractérisés par deux directions de polarisation perpendiculaires. Dans une fibre monomode «idéale», ces deux modes, notés LP<sup>x</sup><sub>01</sub> et LP<sup>y</sup><sub>01</sub>, se propagent à des vitesses identiques. Lorsque la fibre présente une biréfringence, qui peut être due à des contraintes (élongation, courbures, micro courbures ...), on observe une levée de la dégénérescence des constantes de propagation entre les deux modes. Les deux composantes du mode se propagent alors à des vitesses différentes. [5]



**Fig1.11-**Représentation des modes dégénérés du mode LP<sub>01</sub>

La propagation simultanée dans la fibre de ces deux modes de polarisation introduit un phénomène de dispersion dite de polarisation qui est un facteur limitant de la capacité des lignes de transmission optique monomode. [5]

On peut définir la variation de constante de propagation comme étant:

$$\delta\beta = \beta_x - \beta_y \quad (1.11)$$

avec  $\delta\beta$  très petit devant les constantes de propagation  $\beta_x$  et  $\beta_y$

On exprime également la longueur de battement  $L_B$ :

$$L_B = \frac{\lambda}{\beta_x - \beta_y} \quad (1.12)$$

qui est définie comme la longueur de propagation après laquelle chaque état de polarisation se retrouve identique à lui même. [5]

Le concept de dispersion de polarisation est plus difficile à appréhender que celui de la dispersion chromatique du fait du couplage aléatoire des modes de polarisation. Ce

phénomène rend nécessaire une analyse statistique de la dispersion de polarisation avec comme conséquence immédiate le fait que la valeur obtenue (en picoseconde) n'est qu'une valeur moyenne. [5]

Celle-ci dépendant de tous les paramètres extérieurs (température, pression, contrainte, etc), il est généralement admis que cette valeur fluctue au cours du temps et suit une loi de probabilité de Maxwell-Boltzmann. Pour la métrologie, ceci induit que toute mesure effectuée devra être moyennée dans le temps. [5]

Cette dispersion est faible, de l'ordre de quelques dixièmes de Ps/ km pour une fibre monomode standard. [5]

### 1.5.4. Effets non linéaires:

Chaque type de matériau présente des susceptibilités électriques différentes. Ils donnent donc des effets non linéaires de différents ordres. On classe alors ces effets suivant cet ordre. [17]

#### 1.5.4.1. Au premier ordre:

Seul le premier terme de la polarisation intervient :

$$\vec{P}^{(1)}(\omega) = \epsilon_0 \chi^{(1)}(\omega) \vec{E}(\omega) \quad (1.13)$$

Il s'agit de l'optique linéaire classique où la fréquence de l'onde créée est forcément égale à celle de l'onde initiale. Les effets alors observés sont la réfraction des ondes et la biréfringence. [17]

#### 1.5.4.2. Au second ordre:

La polarisation s'écrit :

$$\vec{P}^{(2)}(\omega_1, \omega_2) = \epsilon_0 \chi^{(2)}(\omega_1, \omega_2) \vec{E}(\omega_1) \vec{E}(\omega_2) \quad (1.14)$$

On peut notamment citer les effets suivants : [17]

- La génération de la fréquence somme  $\omega_1 + \omega_2$ , dont un cas particulier est la génération de seconde harmonique lorsque  $\omega_1 = \omega_2$ . Les pointeurs lasers verts sont un exemple

d'application: une émission source à 1064nm (infrarouge) est doublée à 532nm (vert), le doublage en fréquence impliquant une division par 2 en longueur d'onde.

- L'Effet Pockels lorsque  $\omega_1 = 0$ .
- La rectification optique est le phénomène réciproque de l'effet Pockels, ou électro-optique. Lorsqu'un cristal non linéaire  $\chi^{(2)}$  est éclairé par un faisceau lumineux, un champ de polarisation électrique statique est engendré par rectification optique selon le processus :

$$\vec{P}^{(2)}(\Omega) = \epsilon_0 \chi^{(2)}[\omega + \Omega, -\omega; \Omega] \vec{E}(\omega + \Omega) \vec{E}^*(\omega) \quad (1.15)$$

### 1.5.4.3. Au troisième ordre

La polarisation s'écrit : [17]

$$\vec{P}^{(3)}(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) = \epsilon_0 \chi^{(3)}(\omega_1, \omega_2, \omega_3) \vec{E}(\omega_1) \vec{E}(\omega_2) \vec{E}(\omega_3). \quad (1.16)$$

On peut citer les effets suivants :

- le mélange paramétrique à quatre ondes, dont un cas particulier est la génération de troisième harmonique (laser UV).
- les diffusions inélastiques Raman, Brillouin.
- l'effet Kerr.
- la diffusion inélastique Stokes, l'absorption à deux photons et l'émission à deux photons

## 1.6. Conclusion:

La télécommunication en générale est destinée à parvenir la vitesse maximale dans la transmission d'informations avec le coût le plus faible, la fibre optique obtenu cette condition, par la transmission la lumière qui porte l'information à travers la fibre sous forme optique. La transmission par fibre optique a cause de la nature et la structure ou les liaisons optiques, qui plus vraisemblablement à la perte, cela s'ajoute à la dispersion chromatique et la dispersion de polarisation.

# **Chapitre II : Système de transmission par fibre optique**

## **Sommaire :**

- 1. Introduction**
- 2. Structure**
- 3. Réseaux**
- 4. Technique de multiplexage**
- 5. Conclusion**

## 2.1. Introduction:

Ce chapitre introduit les systèmes de transmissions optiques. Après une brève introduction des différents types de les fibres optiques, nous décrivons les éléments constituant les extrémités d'une liaison point à point à savoir l'émetteur et le récepteur du signal. Le principe de quelques formats de modulation sont décrits ainsi que les principaux éléments constituant le module de réception. Les principales techniques employées pour augmenter la capacité des liaisons sont exposées.

L'origine des principales dégradations subies par le signal au cours de sa transmission sont ensuite passées en revue, à savoir l'atténuation dans la fibre, le bruit d'émission spontanée amplifiée des amplificateurs optiques, la dispersion chromatique, de polarisation et les effets non linéaires, que nous avons présenté dans le première chapitre.

Nous définissons finalement les différentes techniques de caractérisation de la qualité du signal en sortie.

## 2.2. Structure:

comme tous les systèmes de transmission de l'information, le système de transmission optique est composant d'un émetteur, d'un canal de transmission et d'un récepteur (figure2.1). l'émetteur génère un signal optique à partir du signal d'information numérique électrique à transmettre. Le signal optique se propage dans le canal de transmission jusqu'au récepteur. à la fin de ligne de transmission, un récepteur permet de reconvertir le signal optique dans le domaine électrique. Les système de transmission optique peuvent être répertoriés suivant deux catégories: La transmission guidée, et la transmission non-guidée (espace libre). dans cette étude, nous sommes intéressés uniquement à la transmission guidée utilisant les fibres optiques comme support de transmission. [11]

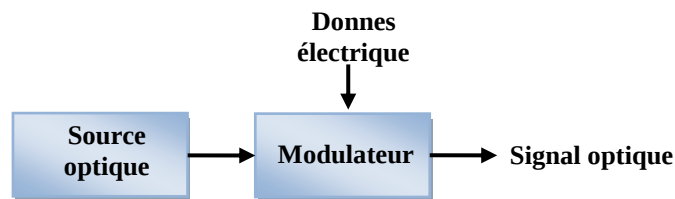


**Fig 2.1**-Schéma d'un système de transmission optique

### 2.2.1. Emetteur:

L'élément principale d'un émetteur est la source lumineuse qui va porter l'information, Les sources lasers à semi-conducteurs se sont révélées avantageuses pour les transmissions sur fibres optiques pour plusieurs raisons: faible encombrement, faible consommation énergétique, bonne sélectivité en longueur d'onde, faible bruit d'intensité, et possibilité de moduler la puissance optique via courant de polarisation. [11]

La modulation directe via le courant de polarisation du laser permet de réduire considérablement le cout d'un système de transmission optique néanmoins, elle est rarement utilisée pour des systèmes de transmission à longue distance et à des débit supérieurs à 10Gbit/s à cause de la fréquence instantanée (chip) induite par la modulation du courant du laser. ce chip cumulé à la dispersion chromatique peut être préjudiciable à très haut débit. dans le cas particulier de transmission longues distance et à très haut débit, un émetteur optique est par conséquent constitué d'un modulateur externe (figure 2.2). [11]



**Fig 2.2**-Schéma de principe d'un émetteur

Nous trouvons aujourd'hui deux types de modulateurs électro-optiques :le modulateur à électro-absorption (EAM pour électro-Absorption Modulator) et le modulateur à base Niobate de lithium (LiNbO<sub>3</sub>)de type interféromètre de Mach-Zehnder (MZM pour Mach-Zehnder Modulator). Le premier modulateur utilise l'effet franz-keldysh ou la variation de l'absorption optique d'un semi-conducteur est induite par une tension. ce modulateur présent plusieurs intérêts : [11]

Possibilité de l'intégrer à une source laser, ce qui réduit ainsi l'encombrement de la source et du modulateur externe, un taux d'extinction de 15dB peut être obtenu avec une tension de commande de quelques volts et une bande passante de modulation peuvent aller jusqu'à 100Gbit/s. malgré ses avantages, il reste tout de même un chirp résiduel. le deuxième type de modulateur utilise l'effet électro-optique dans le Niobate de lithium (LiNbO<sub>3</sub>) ou la phase du signal est modulée par une tension de commande. en intégrant le LiNbO<sub>3</sub> dans un interféromètre de Mach-Zehnder, il est possible de réaliser une modulation d'amplitude à

partir de cette modulation de phase. lorsque les tensions sur les deux bras de l'interféromètre surnager bien ajustées, il est possible de générer un signal optique sans chrip. [11]

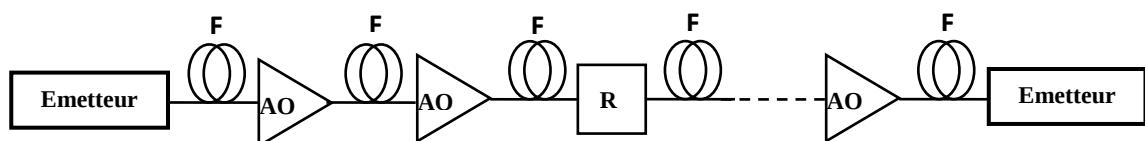
De plus, par rapport au modulateur à électro-absorption qui ne peut réaliser que la modulation d'amplitude, le modulateur March–Zehnder peut réaliser le format CSRZ ou encore une modulation de la phase du signal en ajustant les tensions appliquées sur chaque bras du modulateur . [11]

### 2.2.2. Canal de transmission:

Le rôle d'un canal de transmission est de transmettre le signal optique de puis l'émetteur jusqu'au récepteur avec le moins de distorsion possible. la figure 2.3 représente une ligne de transmission par fibre optique. l'avantage principale des fibre optiques pour la transmission est leurs faible pertes, jusqu'à 0.2dB/km pour les longueurs d'onde de télécommunications optique actuelles de 155nm. Malgré cet avantage, la puissance optique transmise est seulement de 1%. après 100km de transmission. pour cette raison, après une certaine distance de propagation le signal doit être nécessairement réamplifié par les amplificateur optiques (AO), ou encore régénéré par de régénérateurs(R). [11]

Une autre source de dégradation du signal optique est la dispersion de la fibre optique conduisant à un élargissement des impulsions au cours de la propagation. Lorsqu'une impulsion est élargie plus que le temps bit dédié, le signal est dégradé. Le problème de dispersion est prédominant pour les fibres multimodes dû aux différentes vitesses de groupe pour différents modes de la fibre (typiquement de 10ns/km). Par conséquent de la fibre monomode est utilisée pratiquement dans tous les systèmes de transmission optique depuis les années 80s. [11]

La chapitre suivante va détailler les origines des dégradations subies par le signal optique durant sa transmission et la problématique de la montée en débit afin de justifier le besoin d'un traitement tout-optique du signal qui est le thème principal de ces travaux de recherche . [11]



**Fig 2.3-**Une ligne de transmission par fibres optiques

**F:**fibre optique;

**AO :**Amplificateur optique;

**R:** régénérateur

### 2.2.3. Récepteur:

La figure 2.4 illustre le principe d'un récepteur. Il est constitué en premier lieu d'une photodiode dont la bande passante doit être théoriquement supérieur ou égale à la moitié du débit de l'information pour respecter le critère de Nyquist. Cette photodiode convertit le signal binaire optique en signal binaire électrique. Elle reproduit à l'identique les fluctuations de puissance optique en fluctuations de courant. Cependant, sous certaines conditions la photodiode peut également ajouter des fluctuations d'amplitude liées aux effets thermique ou à la nature quantique des photons. Le signal électrique est ensuite envoyé vers un amplificateur limiteur dont le rôle est de conserver une tension électrique constante en sortie sur une certaine plage de tension d'entrée. Il adapte pour cela son gain en détectant la puissance moyenne en entrée. Cet amplificateur permet d'éviter des fluctuations de la puissance optique moyenne qui répercutent sur la tension moyenne du signal binaire, et nécessite alors un ajustement du seuil en tension pour la prise de décision. Le récepteur expérimental que nous avons utilisé possède un amplificateur limiteur. [11]

Une fraction du signal est envoyée sur une récupération d'horloge afin de récupérer le rythme de l'information. Après avoir récupéré une horloge synchronisée aux données nous arrivons sur le circuit de décision. Avec l'horloge, nous déterminons l'instant de décision qui est la plupart du temps optimal au centre du temps bit. la tension du signal reçu au moment de décision va être comparée à la tension de seuil. Si la tension reçu est inférieure (supérieure) au seuil, alors la bascule de décision génère un symbole "0" ("1" respectivement). Les données électriques transmises sont alors retrouvées au niveau du récepteur. [11]

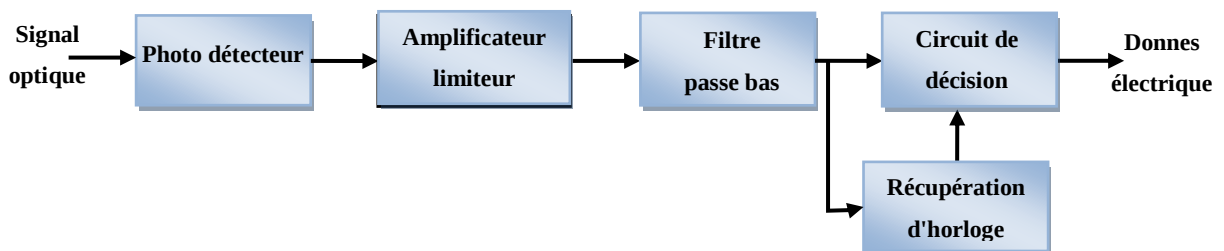


Fig 2.4-Schéma de principe d'un récepteur optique

### 2.3. Réseaux:

Selon la distance cible de transport de l'information, le réseau est dit "longue et très longue distance" (>150 km), "métropolitain" (entre le transport longue distance et l'utilisateur) ou encore "d'accès" (jusqu'à l'utilisateur). [7]

### **2.3.1. Le réseau longue et très longue distance (WAN):**

WAN (Wide Area Network), ou le réseau longue distance (Long Haul) qui couvre typiquement des distances comprises entre 150 et 700km permet de relier des villes, des régions entre elles. Les réseaux très longue distance (Very Long Haul entre 700 et 1500km - Ultra Long Haul 150<km) sont, quant à eux, plus dédiés aux liaisons internationales. Enfin les liaisons sous-marines doivent répondre aux contraintes liées à leur environnement .[7]

Les liaisons longue et très longue distances sont en général de type "point à point" où une fibre permet de relier un point à un autre par opposition à une liaison dite "en anneau" où l'architecture de la liaison est plus complexe. [7]

Si les liaisons terrestres doivent être le plus flexible possible, les liaisons sous marines sont, elles, développées pour une liaison donnée. Le type de fibre (très faibles pertes  $\sim 0,2\text{dB} / \text{km}$  ) et l'espacement entre répéteurs (30-65km) sont alors optimisés pour une meilleure performance de chaque liaison. Dans les liaisons terrestres par contre, les maîtres mots sont la flexibilité et le coût. La fibre présente alors souvent plus de pertes et l'espacement entre répéteurs peut varier entre 80et120km.La régénération optique peut se situer dans ce cadre.[7]

### **2.3.2. Le réseau métropolitain (MAN):**

MAN (Metropolitan Area Network), ou le réseau métropolitain, comme son nom l'indique, se situe à l'échelle des villes et plus largement des zones métropolitaines. Il présente en général une architecture complexe, où l'information doit commuter du réseau longue distance au réseau local jusqu'à l'utilisateur. La capacité des réseaux métropolitains sont souvent insuffisantes. Car si les réseaux longues distances ont été adaptés aux volumes croissants de communications, le réseau métropolitain présente souvent des zones d'engorgement. [7]

Dans le contexte économique actuel, les solutions qui semblent adéquates, sont celles qui permettent d'augmenter la capacité du réseau tout en augmentant les fonctionnalités et la flexibilité de l'infrastructure existante. La régénération optique 2R s'inscrit dans ce contexte.

### **2.3.3. Le réseau d'accès:**

Le réseau d'accès optique est le réseau qui évolue le plus à l'heure actuelle. La tendance est au "tout optique à l'utilisateur". Les solutions peuvent atteindre 2,5Gbit/s. Ceci implique le

développement de nouvelles fonctions optiques adaptées à ce marché principalement tourné vers le très bas coût. [7]

### **2.3.4. Contexte de l'étude:**

La régénération 2R optique pourrait trouver sa place dans les réseaux longue distance et métropolitain. Dans les deux cas, et pour rester réaliste, les dispositifs devront être compatibles avec le multiplexage en longueur d'onde des données. [7]

La plupart des réseaux optiques sont souvent plus complexes qu'une simple liaison point à point, et sont en général une interconnexion de plusieurs réseaux. Le traitement optique du signal doit pouvoir être efficace pour des signaux n'ayant pas le même historique de propagation ou n'ayant pas le même débit binaire d'information. [7]

La réalité des réseaux est par conséquent autrement plus complexe que les conditions expérimentales de laboratoire. La considération de la régénération dans une liaison point à point est cependant une première étape de validation de l'efficacité d'un dispositif. D'autre part, l'analyse de la régénération en fonction de la dégradation du signal, de la puissance incidente ou du débit, peut rendre compte de la robustesse du dispositif et de son potentiel pour les réseaux plus réalistes. [7]

## **2.4. Techniques de multiplexage en optique:**

La bande passante des fibres optiques permet théoriquement l'établissement de systèmes de transmission à des débits très élevés. Cependant, le traitement électronique des données, à l'émission et à la réception, impose des limitations en termes de débits, dues aux composants électroniques dont la bande passante reste bien en deçà de celle accessible par l'optique. [9]

L'augmentation du nombre d'utilisateurs et de la quantité d'informations échangées dans les réseaux de communication a poussé au développement de solutions pour augmenter la capacité des réseaux, et profiter de l'avantage en bande qu'offre la fibre optique. Des techniques de multiplexage ont ainsi été développées, chacune permettant de transmettre  $N$  signaux de débit  $D$  sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal global de débit  $N \times D$ . Ces techniques de multiplexage doivent néanmoins respecter la condition nécessaire de pouvoir restituer les données propres à chaque utilisateur après leur transmission sans créer d'interférences entre les données des différents utilisateurs. Pour cela,

le signal physique représentant les données de chaque utilisateur se distingue des autres signaux par sa bande spectrale, sa propre fenêtre temporelle ou encore son propre code. Ceci permet alors de les séparer finalement avec des techniques de démultiplexage appropriées. [9]

### 2.4.1. Multiplexage en longueurs d'onde :

Développés dans les années 1980, les systèmes de multiplexage en longueurs d'onde (WDM) constituent en optique, l'équivalent des systèmes de multiplexage par répartition de fréquence (FDM) dans le domaine des radiofréquences. On attribue à chaque utilisateur une longueur d'onde spécifique qui distingue les données le concernant. La Figure 2.5 montre le schéma d'un système de transmission en WDM. [9]

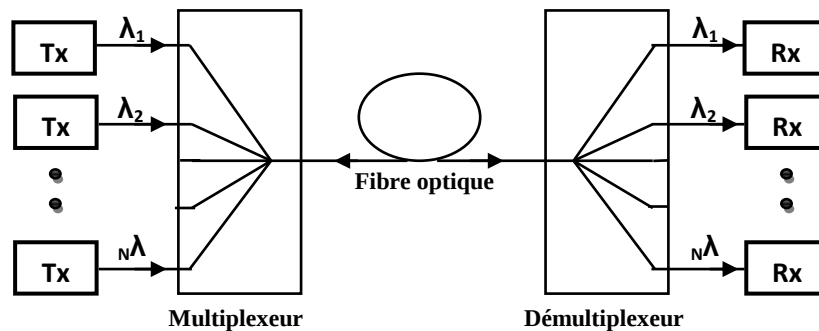


Fig 2.5-Diagramme d'une liaison par multiplexage en longueurs d'onde

Les données émises par des sources optiques à longueurs d'ondes distinctes sont transmises simultanément sur la même fibre optique. Le débit total obtenu est la somme des débits de tous les utilisateurs. [9]

À la réception, les données de chaque utilisateur sont extraites à partir des signaux multiplexés, par filtrage optique à la longueur d'onde correspondant aux données de l'utilisateur souhaité, avant d'être détectées pour le traitement dans le domaine électrique. [9]

Beaucoup de techniques d'extraction de longueur d'onde ont été développées dans ce sens, dont on citera principalement les réseaux de coupleur 3dB associés à des filtres Fabry-Perrot, des réseaux de Bragg sur fibres et des circulateurs montés en cascade, ou encore les Phasars (Phased-Array de multiplexer). [9]

L'ITU (International Télécommunication Union) a défini une grille pour les longueurs d'ondes utilisées dans la fenêtre allant de 1530 à 1565nm. L'espacement entre canaux est normalisé à 1.6nm ou 0.8nm. Le DWDM (Dense-WDM) a ensuite été défini pour un

espacement entre canaux inférieur à 0.8nm, puis l'U-DWDM (Ultra Dense WDM) pour un espacement atteignant 0.08nm. Les premiers systèmes WDM commercialisés ont fait leur apparition au milieu des années 1990, mais cette technique a connu son vrai essor après 2001, avec le franchissement de la barre de 10Tb/s. Cette technique est principalement utilisée dans les réseaux longues distances WAN (Wide Area Network) conçus pour les transmissions à très hauts débits. La principale limitation de cette technique réside dans la stabilité des longueurs d'onde attribuées aux utilisateurs, une contrainte qui devient d'autant plus pénalisante que l'espacement entre canaux se réduit. L'autre difficulté est celle de l'égalisation des niveaux de puissances des différents canaux, car les courbes de gain des amplificateurs ne sont pas constantes sur l'ensemble du spectre alloué au WDM. [9]

#### 2.4.2. Multiplexage par répartition de code:

Cette technique permet la transmission des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence et en même temps. Le principe consiste à attribuer à chaque utilisateur un code, appelé également "signature", constitué d'une suite de bits rapides (appelés "chips" pour les distinguer des bits de données de l'utilisateur). Le débit après codage est celui des données utilisateur multiplié par la longueur de la séquence de codes (7 dans le cas de la Figure.2.6).

Le multiplexage par répartition de code (Code Division Multiplexing: CDM) permet d'étaler spectralement le signal transmis sur une bande N fois plus large que celle du signal initial, N étant la longueur de la séquence de code. Cependant, tous les utilisateurs exploitent la même bande spectrale, mais leurs données transmises se distinguent par le code propre à chaque utilisateur, ce qui permet d'éviter les interférences d'accès multiples, à condition que les codes utilisés soient orthogonaux. [9]

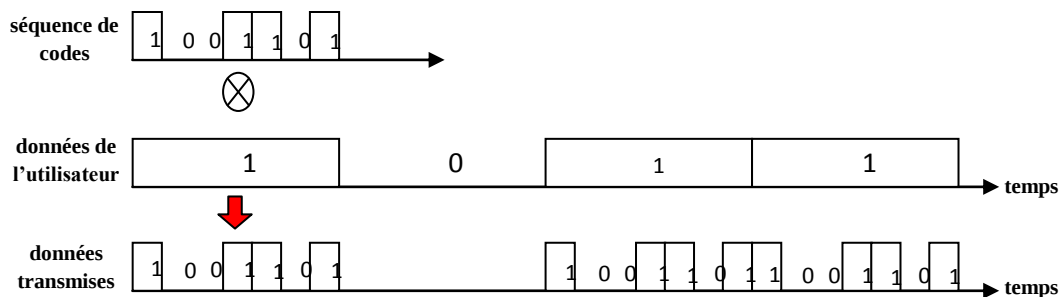
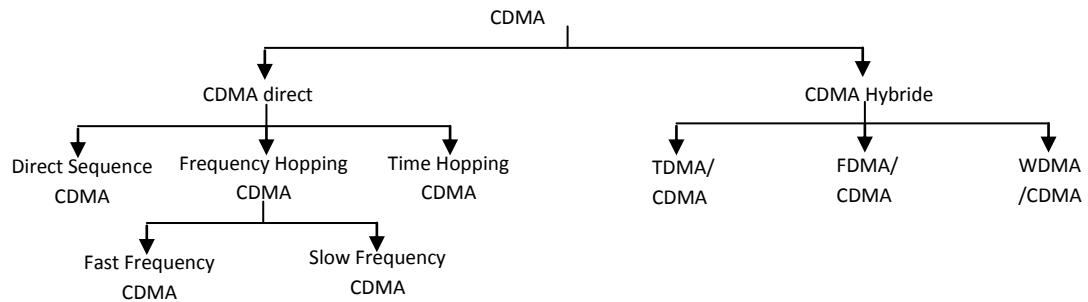


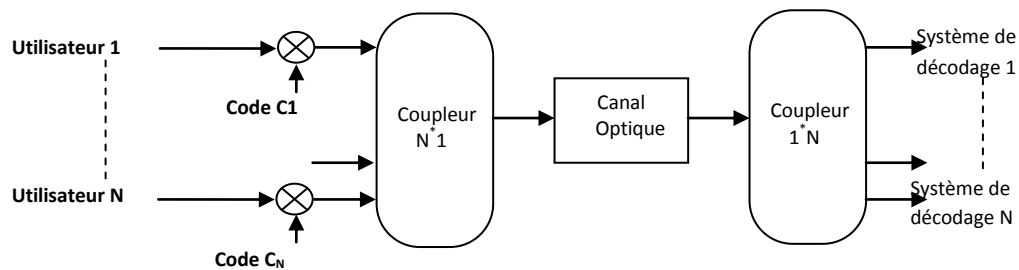
Fig 2.6-Diagramme du codage des données d'un utilisateur



### Fig 2.7-Différentes techniques OCDM

Le CDMA hybride consiste à associer la technique du CDMA aux autres techniques de multiplexage. Le CDMA direct se divise en CDMA à séquence directe, ainsi que le CDMA à saut de fréquence et le CDMA à saut temporel. Utilisée initialement dans le domaine de la radiofréquence, l'adaptation du CDMA à l'optique, appelé Optical Code Division Multiplexing (OCDM) a été étudiée à partir de 1986. [9]

La Figure.2.8 décrit le schéma d'un système de transmission en CDMA.



**Fig 2.8-Chaine de transmission CDMA**

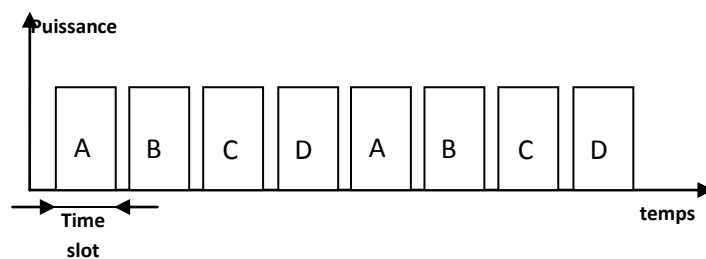
Les données d'un utilisateur  $i$  sont codées avec le code  $C_i$  avant d'être combinées dans un coupleur  $N \times 1$ ,  $N$  étant le nombre d'utilisateurs. Après transmission, un second coupleur  $1 \times N$  permet de distribuer le signal optique sur  $N$  voies, associées chacune à un système de décodage. Chaque système de décodage possède le code  $C_i$  lui permettant d'extraire les données de l'utilisateur  $i$  avant conversion dans le domaine électrique. [9]

La principale méthode de codage en optique des données consiste à utiliser un ensemble de lignes à retard. Le décodage optique, utilise un système de lignes à retard dans l'ordre inversé de celui utilisé pour le codage. [9]

L'intensité lumineuse ne pouvant avoir que des valeurs positives ou nulles, l'une des principales limitations du OCDM réside dans le fait qu'il n'est pas possible d'y utiliser des codes bipolaires, contrairement au domaine de la radiofréquence. Or, le nombre de codes orthogonaux est très réduit dans une famille de codes dont la longueur est inférieure à 100 chips. Afin de résoudre ce problème, l'OCDM cohérente a été développée. Elle consiste à coder la phase de l'onde lumineuse, qui peut prendre des valeurs positives ou négatives, au lieu de l'amplitude du signal lumineux. Cela permet de tirer profit de tous les codes bipolaires, qui ont été développés pour la radiofréquence, et dont un bien plus grand nombre permet de constituer des familles de codes orthogonaux de même longueur. [9]

### 2.4.3. Multiplexage dans le domaine temporel :

Le multiplexage temporel (Time Division Multiplexing) consiste à allouer toute la bande de fréquence à tous les utilisateurs, mais uniquement de manière séquentielle, à tour de rôle pour chacun d'entre eux (Figure 2.9). L'axe de temps est divisé en périodes fixes et égales appelées "Time Slots". Chaque utilisateur transmet ses données dans le Time Slot qui lui est consacré. Le multiplexage en TDM permet alors de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débit en un seul canal à un débit N fois plus élevé, N étant le nombre d'utilisateurs dans le système. [9]



**Fig 2.9** - diagramme de multiplexage temporel des données

On retrouve cette technique de multiplexage dans les hiérarchies de multiplexage des infrastructures des opérateurs des télécommunications, tels que les canaux T1 aux États-Unis, qui regroupent 24 voies à 64Kbits/s en une voie à 1,544Mbits/s, ou sur des canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies en une voie à 2,048Mbits/s. Ces canaux peuvent être à leur tour regroupés pour former des canaux de plus hauts débits. La hiérarchie de débit ainsi créée est appelée hiérarchie plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). [9]

Les technologies Synchronous Optical Network (SONET) et Synchronous digital Hierarchy (SDH), utilisées dans les réseaux de transport de données téléphoniques, exploitent également cette technique de multiplexage pour assembler plusieurs lignes de communication.

Les techniques WDM et TDM se basent sur la partition de grandeurs physiques, tels que le spectre optique pour le WDM ou le temps pour le TDM, entre les différents utilisateurs. Par contre, tous les utilisateurs partagent la même bande spectrale ainsi que le même temps pour la technique CDM. [9]

Toutes ces techniques peuvent être combinées afin d'augmenter d'avantage les débits de transmission.

### **2.5. conclusion:**

Nous savons à présenter ce qu'est un signal optique pour les télécommunications, et comment il est généré et reçu.

Nous avons vu à la lecture de ce chapitre que le signal numérique transmis dans une liaison optique subit un grand nombre de dégradations. Ces dégradations, et malgré les différentes compensations possibles, limitent la portée des liaisons car le signal détecté peut ne pas être analysé correctement et l'information ne pas être transmise convenablement.

L'étude de la transmission d'un signal dans une liaison optique nécessite par conséquent l'analyse de la qualité de la transmission: différents critères ont été présentés.

La régénération optique, qui fait l'objet de ces travaux, est une solution pour étendre la portée des liaisons. Elle a été étudiée ici dans une liaison point à point, ce qui n'est pas représentatif de la complexité de la plupart des liaisons. Mais cette étude constitue une première étape pour valider l'efficacité du dispositif.

# Chapitre III : réseau de Bragg

## Sommaire :

- 1. Introduction**
- 2. Structure**
- 3. Principe**
- 4. Type**
- 5. Conclusion**

### 3.1. Introduction:

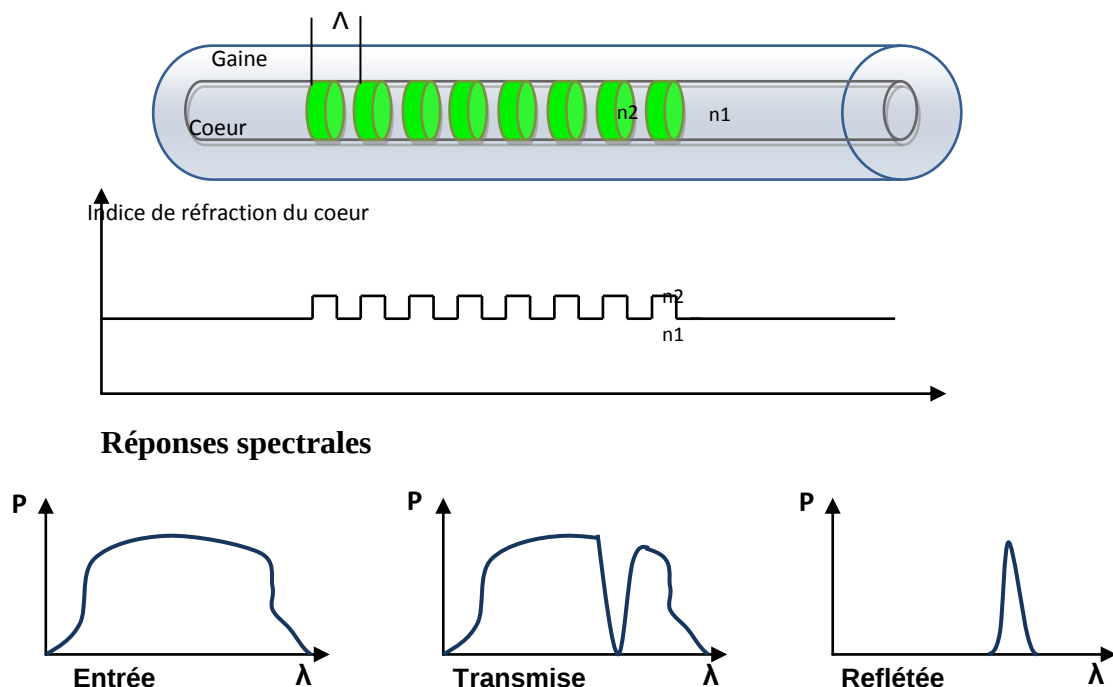
Une fibre à réseau de Bragg (FBG, Fiber Bragg Grating) est un type de réflecteur de Bragg distribué le long de la fibre. Le réseau est construit dans un court segment de la fibre optique, qui réfléchit les longueurs d'onde particulières de la lumière et transmet toutes les autres. Ce segment est obtenu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

Dans ce chapitre, nous représentons la structure et le principe de réseau de Bragg et leur types.

### 3.2. Structure:

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 3.1 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. [12]



**Fig3.1-** Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales

Une fibre à réseau de Bragg est une structure à perturbation périodique de l'indice de réfraction dans un guide d'onde. Une petite quantité de lumière incidente est réfléchie à

chaque changement périodique de l'indice de réfraction. Les ondes de lumière réfléchies à chaque période interfèrent et se recombinent en une réflexion élevée à une longueur d'onde particulière lorsque le mode de couplage le plus puissant se produit. C'est la condition de Bragg, et la longueur d'onde, à laquelle se produit cette réflexion, est appelée la longueur d'onde de Bragg. [12]

Seules les longueurs d'onde qui satisfont à la condition de Bragg sont excitées et fortement réfléchies. La réflectivité de la lumière atteint un pic à la longueur d'onde de Bragg. Alors, la longueur d'onde de Bragg  $\lambda_B$  est définie ci-dessous:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (3.1)$$

$n_{\text{eff}}$  est l'indice de réfraction effective du guide, et  $\Lambda$  est le pas du réseau. De l'équation (3.1), on voit que la longueur d'onde de Bragg dépend de l'indice effectif ainsi que du pas. Si une fibre présente un long réseau de Bragg avec un faible saut d'indice de réfraction, son pic de réflexion est élevé sur une bande étroite. La fibre à réseau de Bragg a plusieurs avantages tels que structure simple, faible perte d'insertion, haute sélectivité de longueur d'onde, insensibilité à la polarisation et compatibilité totale avec les fibres optiques monomodes standard des télécommunications. [12]

### 3.3. le principe:

pour comprendre ce qu'est un cristal photonique, commençons par une approche unidimensionnelle: le miroir de Bragg. Ce dispositif est constitué d'une succession de couches de matériaux transparents dont les indices de réfraction sont tous différents, A chaque interface entre deux couches , la lumière est partiellement réfléchiée et transmise . [15]

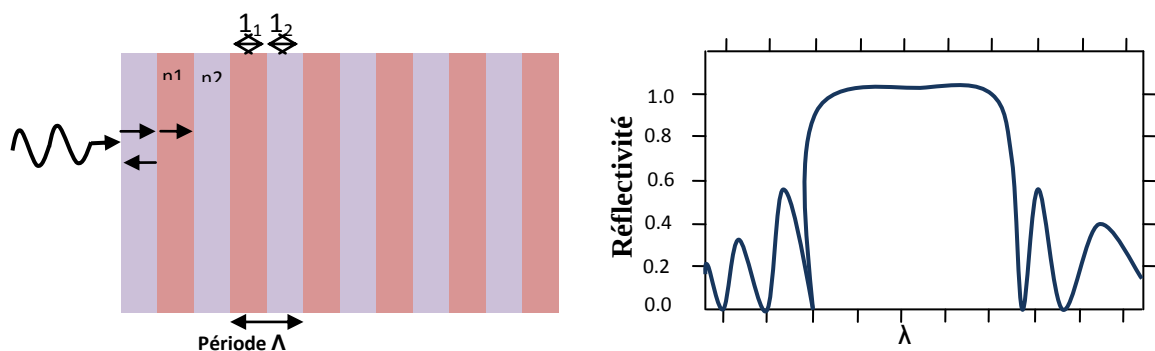


Fig 3.2-Schéma d'un milieu périodique

constituant un miroir de Bragg.  $\Lambda$  est le pas de réseau. En dessous, le spectre de réflectivité montrant la bande interdite[15]

Les rayons émergents du système multicouche ont chacun un chemin optique différent selon le nombre de réflexions qu'ils ont subies . En effet, le chemin optique  $\delta$  est défini par:

$$\delta = \sum n_i l_i \quad (3.2)$$

$l_i$  est l'épaisseur de la couche  $i$  et  $n_i$  son indice.

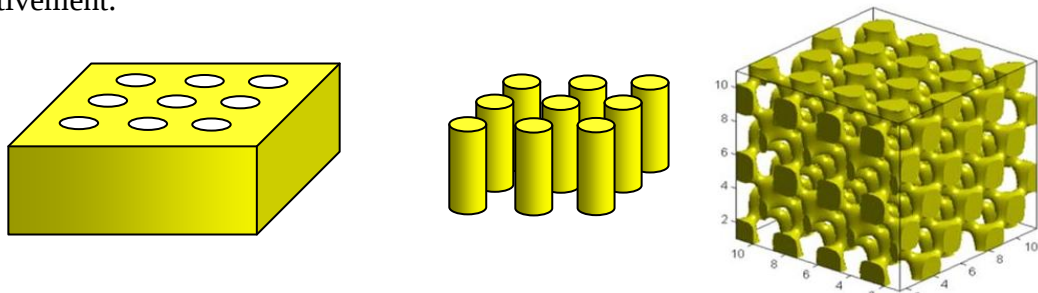
Ces rayons possèdent donc chacun une phase qui dépend de leur trajet à travers les différentes couches:

$$\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} \quad \lambda: \text{la longueur d'onde.} \quad (3.3)$$

on peut remarquer que le déphasage entre ces rayons dépend de la longueur d'onde. Le déphasage des différentes ondes transmises donne à la sortie du dispositif des interférences ondes destructives ou constructives. Plus précisément, si les chemins optiques  $n_1 l_1$  et  $n_2 l_2$  sont de l'ordre de grandeur du quart de la longueur d'onde considérée, alors celle-ci ne se propage pas dans le milieu. On obtient donc une réflexion totale à l'entrée du miroir qui mène à une bande interdite en fréquence. La largeur de cette bande est fonction de la différence d'indice, ainsi que de l'angle d'incidence du faisceau. Dans ce dernier cas, le dispositif se comporte comme un miroir sélectif pour une longueur d'onde donnée. Par conséquent, la périodicité de l'indice de réfraction crée une bande interdite photonique pour cette longueur d'onde. [15]

### 3.4. Les types :

On s'intéresse ici au passage d'une dimension à 2 ou 3 dimensions, (figures 3.3) a respectivement.



**fig3.3 a**-exemples de cristaux photonique 2D et 3D.

Il y a divers types de réseaux de Bragg comme réseau uniforme, réseau échantillonné, réseau déphasé et réseau à pas variable. [15]

### 3.4.1. Réseau de Bragg à pas variable:

Le réseau de Bragg à pas variable est un réseau dont la période varie le long de la fibre. Il y a deux quantités variables qui peuvent être changées pour obtenir un réseau chirpé : l'une est de changer la période de Bragg, l'autre est de varier l'indice de réfraction le long de la direction de propagation dans la fibre. [12]

Figure 3.3 montre un réseau de Bragg à pas variable linéairement. Dans ce cas-là, la période du réseau varie linéairement avec la position tout au long du réseau dans la fibre. Ça fait que le réseau réfléchit des longueurs d'onde variable le long de la longueur du réseau avec une correspondance entre la valeur de la longueur d'onde réfléchie et la position le long de la fibre. C'est-à-dire que la longueur d'onde de Bragg  $\lambda$  varie en fonction de la position sur la fibre. [12]

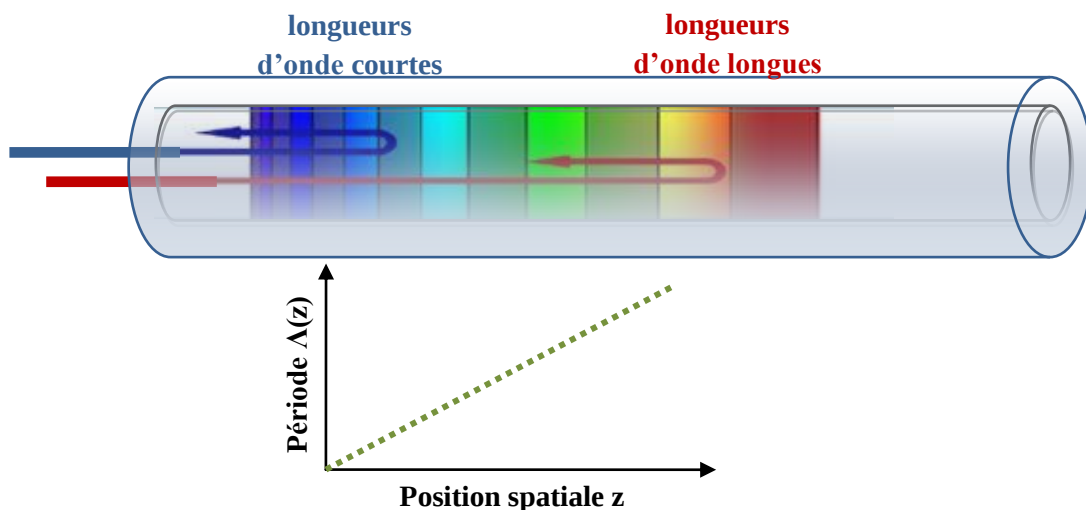


Fig 3.3-Fibre à réseau de Bragg à pas variable linéairement.

### 3.5. conclusion:

Une fibre à réseau de Bragg est une structure à perturbation périodique de l'indice de réfraction dans un guide d'onde. Une petite quantité de lumière incidente est réfléchie à chaque changement périodique de l'indice de réfraction. Les ondes de lumière réfléchies à chaque période interfèrent et se recombinaient en une réflexion élevée à une longueur d'onde particulière lorsque le mode de couplage le plus puissant se produit. C'est la condition de Bragg, et la longueur d'onde, à laquelle se produit cette réflexion, est appelée la longueur d'onde de Bragg.

# Chapitre IV : Résultats de simulation

## Sommaire :

1. Introduction
2. description de la chaine de transmission
3. Résultat de simulation
4. conclusion

## 4.1. Introduction:

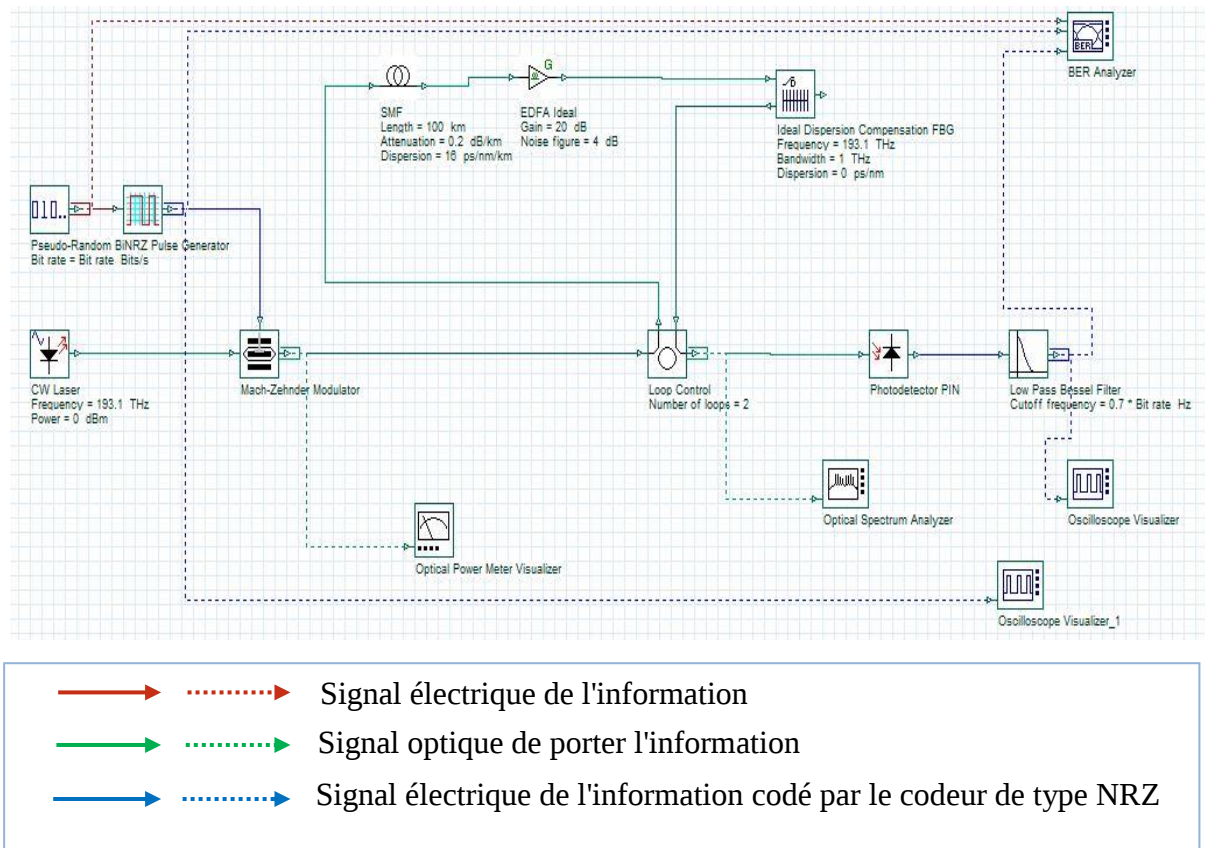
Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble du travail de simulation que nous avons effectué dans le but d'évaluer les performances d'un système de transmission optique.

Dans un premier temps, nous présentons une brève description des différentes applications du logiciel Optisystem®. il est important de porter à l'attention que l'objectif de ce chapitre est d'étudier les utilisation des fibres de Bragg pour la compensation de la dispersion chromatique dans les fibre optique.

## 4.2. description de la chaine de transmission:

Dans cette partie nous avons réalisé un simulation avec les différentes configurations de la chaine de transmission optique par l'insertion des composants de compensation de dispersion avec FBG (figure 4.1).

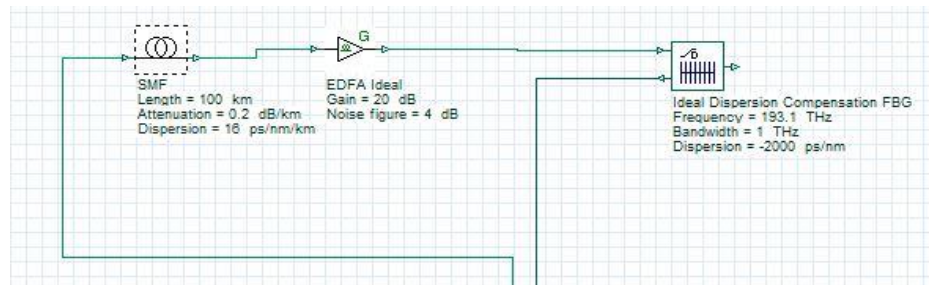
Cette chaine de transmission optique se compose de:



**Fig4.1-** chaine de transmission optique avec compensation de la dispersion chromatique.



### 4.2.2. Canal de transmission:

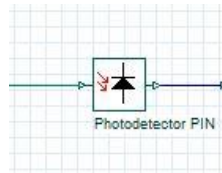


**Fig 4.4-** le canal de transmission optique

Il est constitué d'une fibre optique (SMF) de longueur 100 Km, d'atténuation 0.2 dB/Km et d'une dispersion chromatique de 16 ps/nm.km. Cette fibre permet la transmission du signal optique à partir de l'émetteur jusqu'au récepteur. Suite aux effets de la dispersion chromatique, une fibre de Bragg (FBG) à dispersion négative est connectée à la fibre de transmission pour compenser la dispersion cumulée.

### 4.2.3. Récepteur:

Composé d'un photodétecteur de type PIN pour détecter le signal optique et le convertir en un signal électrique.



**Fig 4.5-** le récepteur

## 4.3. Résultat de simulation:

Nous avons effectué les simulations avec différentes valeurs de la dispersion négative de la fibre de Bragg.

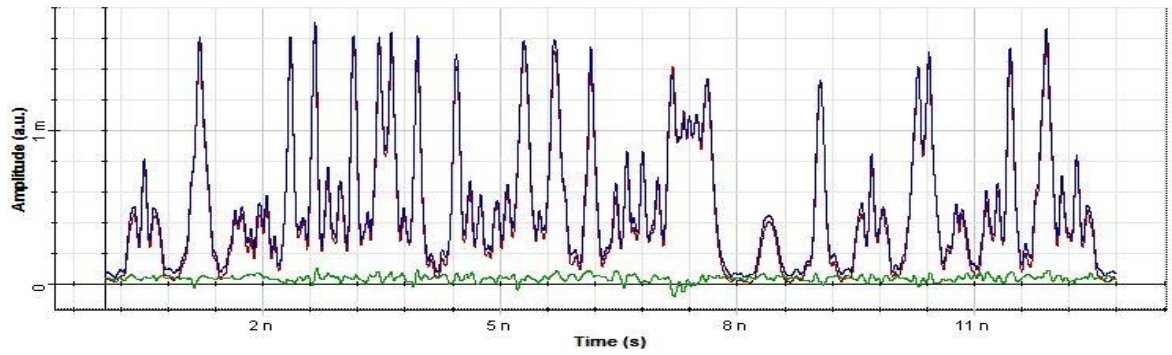
| Balayage         | 1 | 2    | 3     | 4     | 5     |
|------------------|---|------|-------|-------|-------|
| Dispersion ps/nm | 0 | -800 | -1200 | -1600 | -2000 |

**Tab 4.1-** les valeurs de la dispersion négative de FBG

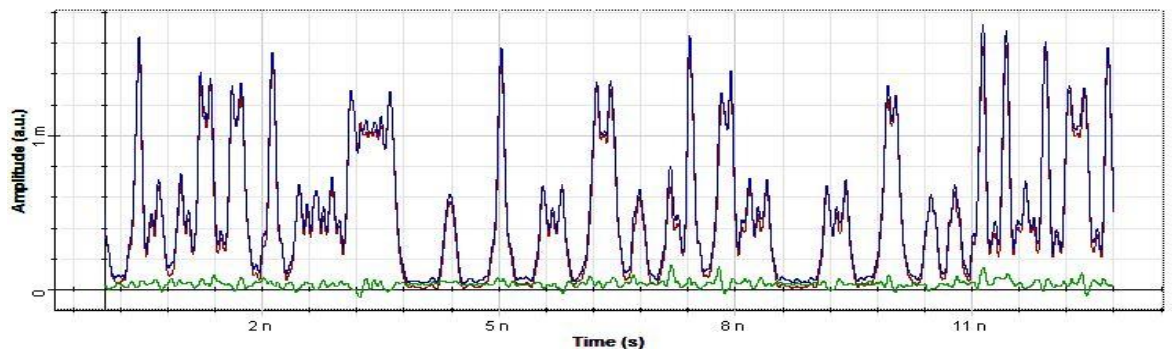
### 4.3.1. Analyse subjective:

Subjectivement, nous comparons les changements dans la forme du signal entre les différentes courbes résultant de chaque valeur de la dispersion négative indiquée dans le tableau précédent.

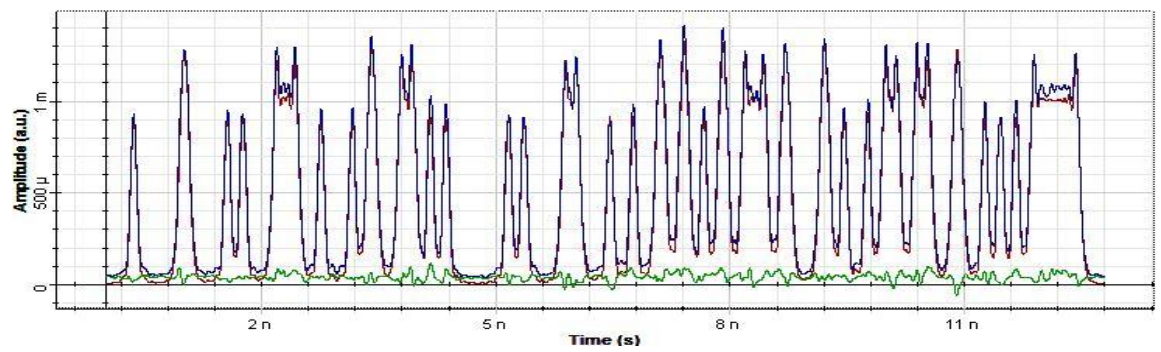
Pour FBG = 0 ps/nm.km:



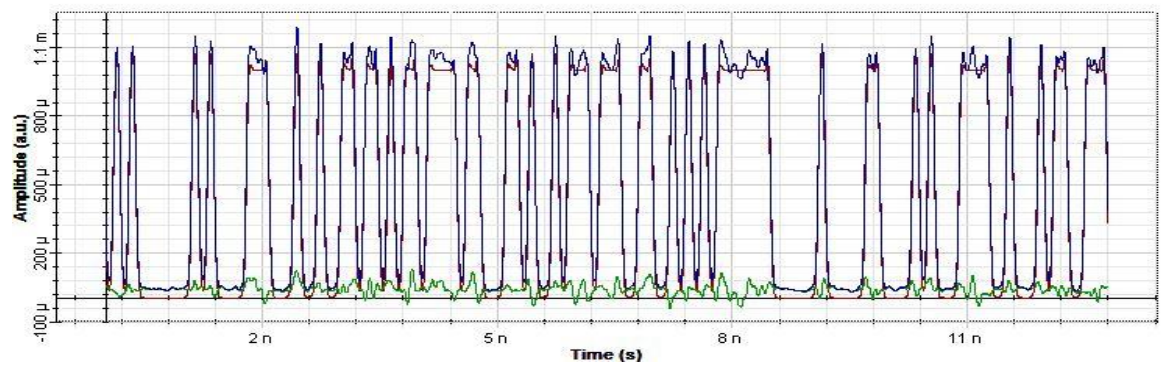
Pour FBG = -800 ps/nm.km:



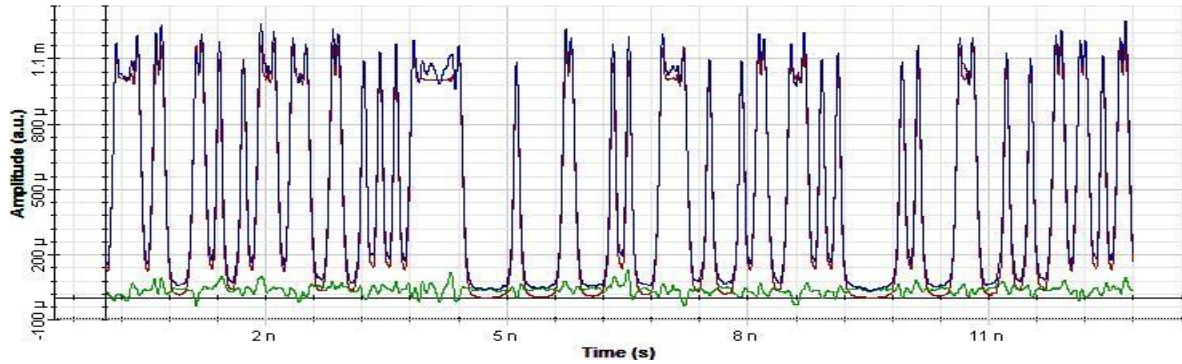
Pour FBG = -1200 ps/nm.km:



Pour FBG = -1600 ps/nm.km:



Pour FBG = -2000 ps/nm.km:

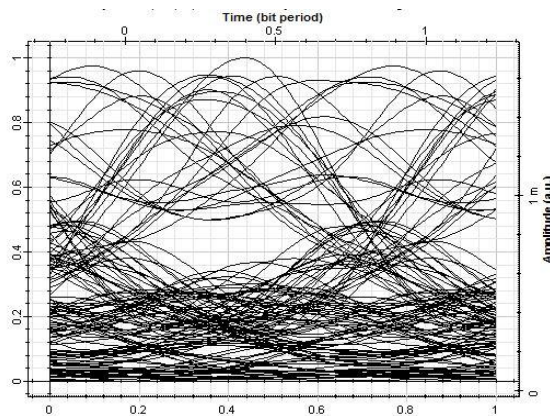


En analysant les résultats de simulations, on peut déduire qu'en augmentant la valeur de la dispersion négative de la fibre de Bragg, le signal tend à récupérer sa forme originale. Au delà de d'une certain valeur (-1500 ps/nm.km.) un effet inverse se produit.

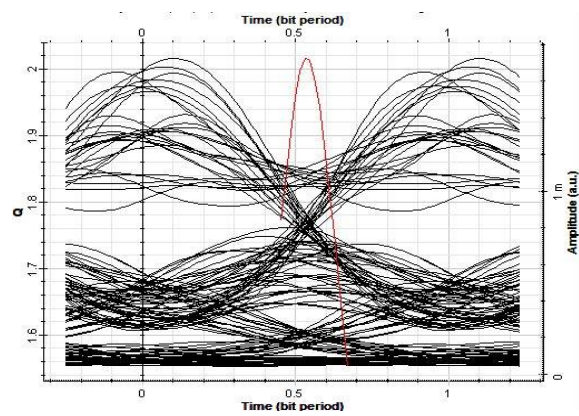
### 4.3.2. Analyse objective:

En utilisant les diagrammes d'œil:

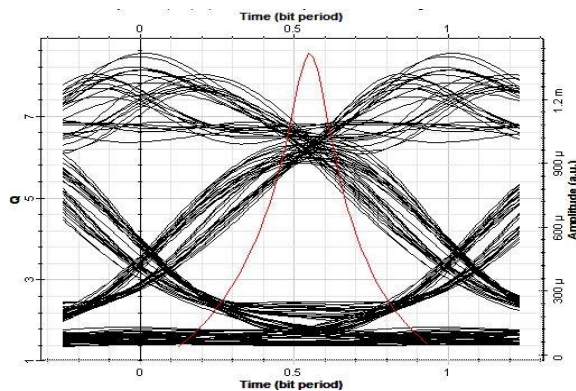
Pour FBG = 0 ps/nm.km:



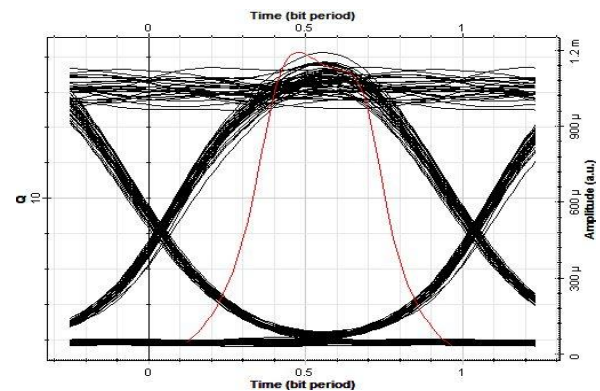
Pour FBG = -800 ps/nm.km:



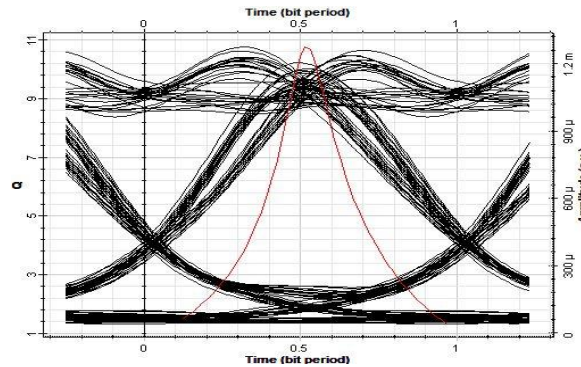
Pour FBG = -1200 ps/nm.km:



Pour FBG = -1600 ps/nm.km:



Pour FBG = -2000 ps/nm.km:



On peut déduire que:

- 1- Pour les cas de 0 ps/nm.km. jusqu'à -1600 ps/nm.km. nous remarquons que les diagrammes d'œil prennent une forme de plus en plus nettes et claires.
- 2- Une dispersion négative de -1600 ps/nm.km semble idéale pour une compensation parfaite de la dispersion chromatique.
- 3- Au-delà de la valeur -1600 ps/nm.km, un effet inverse est produit.

### 4.4. Conclusion:

Les fibres de Bragg trouvent beaucoup d'applications dans les systèmes de communications optiques, et est une technique de compensation de la dispersion chromatique très intéressante grâce à des nombreux avantages qu'elles présente.

# Conclusion Générale

Le travail qui nous a été confié, nous a permis de faire une étude approfondie des réseaux de Bragg et de voir leurs différentes applications dans le domaine des télécommunications optiques et plus précisément pour des applications photoniques. L'objectif a donc été d'étudier et de concevoir des structures intégrées de types réseaux de Bragg périodiques, échantillonnés ou apodisés. La propagation de la lumière dans ces réseaux a été développée théoriquement puis simulée en utilisant le modèle des modes couplés.

Dans un premier temps on donne un bref aperçu sur les télécommunications optiques, les différentes techniques de transmission, l'amplification optique et les avantages que cette technologie procure en association avec le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Un état de l'art sur les différents filtres optiques, nous a permis de prendre conscience de l'immense importance des réseaux de Bragg dans le monde des télécommunications optiques. Le réseau de Bragg est devenu, en l'espace de quelques années, le composant incontournable et stratégique des transmissions optiques. On le retrouve dans pratiquement tous les composants de la chaîne de transmission et notamment pour le multiplexage et le démultiplexage, dont le rôle est d'insérer ou d'extraire une ou plusieurs longueurs d'onde dans la fibre.

Les réseaux de Bragg sont devenus indispensables pour l'égalisation du gain des amplificateurs, la stabilisation en longueur d'onde des pompes ou des sources, et pour les Lasers à fibre. Leurs atouts majeurs sont de faibles pertes d'insertion, une très faible sensibilité à la polarisation et une conception extrêmement flexible. Ces atouts en font également des candidats très attractifs pour les applications de filtrage complexe ou de compensation de dispersion chromatique fine.

Les potentialités des hétérostructures de type GaAs/AlAs dans la conception de nouvelles architectures accordables par voie électro-optique et acousto-optique est une perspective très prometteuse.

# Annexes

✓ **Présentation du logiciel Optisystem®:**

La conception et l'analyse des systèmes de communications optique, comprennent des dispositifs non-linéaires et des sources de bruit non gaussiennes qui sont très complexes et coûteuses en temps, il en résulte que ces tâches ne peuvent désormais être effectuées rapidement et efficacement qu'avec l'aide de nouveaux outils logiciels. Dans notre thèse nous avons opté pour un logiciel de simulation des systèmes de communications optique, teste et optimise pratiquement n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un large éventail de réseaux optiques, il s'agit du Optisystem® qui est un simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optiques.

✓ **Millefiori:**

Le terme millefiori est une combinaison des mots italiens "de Mille" (mille) et "fiori" (fleurs), est une technique de verrerie qui produit des motifs décoratifs distinctifs sur la verrerie. Apsley Pellatt (dans ses Curiosités du livre de la fabrication du verre) a été le premier à utiliser le terme «millefiori», paru dans l'Oxford English Dictionary en 1849. Les billes ont été appelées perles mosaïque avant. Bien que l'utilisation de cette technique précède longtemps le terme «millefiori», il est maintenant fréquemment associé à la verrerie vénitienne.

✓ **DGT:**

La direction générale des Télécommunications (DGT) était une direction du ministère français chargé des Télécommunications. Créée en 1941 par le régime de Vichy, elle avait pour but de permettre à la France d'avoir une plus grande indépendance dans les télécommunications ainsi que de réglementer le secteur.

✓ **loi de probabilité de Maxwell-Boltzmann:**

La statistique de Maxwell-Boltzmann est une loi de probabilité ou distribution utilisée en physique statistique pour déterminer la répartition des particules entre différents niveaux d'énergie. Elle est notamment à la base de la théorie cinétique des gaz. Et En théorie des probabilités et en statistique, une loi de probabilité décrit le comportement aléatoire d'un phénomène dépendant du hasard. L'étude des phénomènes aléatoires a commencé avec l'étude

des jeux de hasard. Jeux de dés, tirage de boules dans des urnes et jeu de pile ou face ont été des motivations pour comprendre et prévoir les expériences aléatoires.

✓ **L'Effet Pockels:**

Est l'apparition d'une biréfringence dans un milieu créée par un champ électrique statique ou variable. La biréfringence qui apparaît est proportionnelle au champ électrique, contrairement à l'effet Kerr où elle est proportionnelle au carré du champ. L'effet Pockels apparaît uniquement dans les cristaux sans symétrie par rapport à un axe, comme le niobate de lithium ou l'arséniure de gallium. Friedrich Carl Alwin Pockels étudia cet effet, qui porte maintenant son nom, en 1893.

✓ **l'effet Kerr :**

Est un phénomène de biréfringence créée dans un matériau par un champ électrique extérieur. Cela se caractérise par l'existence de deux indices de réfraction différents : un rayon lumineux est séparé en deux rayons lorsqu'il entre dans ce matériau. La biréfringence créée, contrairement à l'effet Pockels, varie selon le carré du champ électrique appliqué, c.-à-d. selon son intensité. Les matériaux présentent en général un effet Kerr très peu visible. Cependant certains liquides présentent un effet Kerr mesurable. Cet effet a été découvert en 1875 par le physicien écossais John Kerr.

✓ **le critère de Nyquist :**

C'est une méthode graphique permettant de déterminer si le dénominateur de  $HBF(s)$  n'a pas de pôles instables à partir de la connaissance de  $HBO(s)$ . Elle est basée sur le théorème de Cauchy.

✓ **canaux T1 et E1:**

En télécommunications, T-carrier est la désignation d'un système générique de télécommunication numérique multiplexé originellement développé par Bell Labs et utilisé en Amérique du Nord et au Japon. Et le système E-carrier, où "E" signifie Européen, est incompatible et est utilisé partout dans le monde en dehors du Japon, du Canada et des États-Unis.

# Bibliographie

- [1] **GOURLALA Ouassila.** *Etude et Réalisation des Réseaux de Bragg pour des Applications Photoniques.* Mars 2006
- [2] **Christian CALECA.** *La fibre optique.* 2005
- [3] **Camille-Sophie Brès.** *Communication par fibre optique: des Romains a nos jours.*
- [4] **Christian-Cyril Cordat.** *La fibre optique.* 2003
- [5] **Julien MAURY.** *Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique.* 26 novembre 2003
- [6] **Martin KOM, Jean EYEBE FOUA et Guillaume KOM.** *TECHNOLOGIE DE L'OPTIQUE GUIDÉE (PRINCIPE, PROPRIÉTÉS ET TECHNOLOGIES DE LA FIBRE OPTIQUE).* 2007
- [7] **Mathilde GAY.** *Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit.* 2006
- [8] **VINCENT RONCIN.** *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE FONCTIONS OPTIQUES A BASE D'AMPLIFICATEURS OPTIQUES A SEMI-CONDUCTEURS POUR LA REGENERATION DES SIGNAUX DE TELECOMMUNICATION A TRES HAUT DEBIT.* 30 avril 2004
- [9] **Khalil MERZOUK.** *ÉTUDE D'UN SYSTEME BAS COUT DE TRANSMISSION OPTIQUE PAR MULTIPLEXAGE TEMPOREL.* 08 Avril 2008
- [10] **R. Sporken.** *Physique des Télétransmissions.* 2004
- [11] **quang trung le.** *Contribution à l'étude de fonctions optique pour la régénération du signal dans les systèmes de transmission à haut débit.* 2010
- [12] **Xunqi WU.** *Etude de cavités optiques formées de miroirs de Bragg à réseaux à pas variable: application aux filtres et lasers.* 2012
- [13] **BENZERDJEB Choukri et SELKA Soufyane.** *ENCODAGE DE L'AMPLITUDE SPECTRALE POUR OCDMA.* le 26 Juin 2013
- [14] **Steevy CORDETTE.** *Continuum de fréquences optiques pour application OCDMA.* 12 Juillet 2010
- [15] **Azzedine Boudrioua.** *Optique intégrée.* October 2006
- [16] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_optique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique).
- [17] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Optique\\_non\\_lin](http://fr.wikipedia.org/wiki/Optique_non_lin)

## Résumé:

la technique du transmetteur par fibre optique est plus en plus répandue jour après jour, dans le domaine des télécommunications, Comme il est sur son chemin pour effacer toutes les autres méthodes de liaison (Câble coaxial) Et à cause de la très grande vitesse de la transmission. Dans ce mémoire, Nous mentionnons toutes les structures de la fibre optique les types et les caractéristiques de perte, qui se produit à cause de la nature et la structure de la fibre optique ou du la façon de connexion, en plus de le phénomène de la dispersion chromatique quel est l'objet de cette étude. Pour définir les éléments du système de transmission par fibre optique (l'émetteur, canal, récepteur), et les les types de réseaux (WAN, MAN), et les techniques de multiplexage (WDM,CDM,TDM). Les informations sont transmises par la fibre optique Sont exposés à la dispersion chromatique résultant de la perte dans la valeur de l'information. Pour compenser cette dispersion, nous avons installé un type de fibre optique de Bragg afin de restaurer l'information envoyée.

**Mots-clés:** fibre optique, la perte, la dispersion chromatique, les réseaux, multiplexage, câble coaxial, l'émetteur, Canal, récepteur, Réseau de Bragg.

## Abstract:

The technique of optical fiber transmitter is becoming more prevalent every day, in the telecommunications sector , as it is on its way to erase all other methods of connection ( coaxial cable ) And because of the high speed transmission . In this memory , we include all the optical fiber structures of the types and characteristics of loss that occurs because of the nature and structure of the optical fiber or the way of connection in addition to the phenomenon of chromatic dispersion what is the purpose of this study. To define the elements of the optical fiber transmission ( transmitter , channel , receiver) , and the types of networks (WAN , MAN) , and multiplexing techniques (WDM , CDM, TDM ) . Information is transmitted through the optical fiber are exposed to chromatic dispersion resulting from the loss in the value of the information. To compensate for this dispersion , we installed a type of optical fiber Bragg to restore the information sent.

**Keywords:** optical fiber, loss, chromatic dispersion, networks, multiplexing, cable coaxial, l'émetteur, Canal, receiver, Réseau de Bragg.

## ملخص:

تزداد تقنية الإرسال عبر الألياف البصرية انتشارا يوما بعد يوم في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية , إذ أنها في طريقها لمحو باقي أساليب الربط (كابل متحد المحور) وذلك لسرعتها الهائلة في الإرسال . في هذه المذكرة قمنا بذكر كل من بنية الألياف البصرية وأنواعها ومميزاتها المتمثلة في الضياع , الذي يحدث بسبب طبيعة وبنية ليف بصري أو بسبب طرق ربطه , إضافة إلى ظاهرة التشتت اللوني التي تعتبر محور هذه الدراسة . كما تطرقنا أيضا الى تعريف عناصر نظام النقل عبر الليف البصري (المرسل , القناة , المستقبل), وأنواع الشبكات (WAN,MAN), وتقنيات التعدد في الإرسال (WDM,CDM,TDM). تتعرض المعلومة المرسله عبر الليف البصري للتشتت اللوني الناتج عن ضياع في قيمة المعلومة , ولتعويض هذا التشتت نقوم بتركيب ليف بصري من نوع Bragg وذلك لاستعادة المعلومة المرسله.

كلمات مفتاحية : الليف البصري , الضياع , التشتت اللوني , الشبكات , التعدد في الإرسال , كابل متحد المحور , المرسل , القناة , المستقبل , شبكة Bragg