



**République Algérienne Démocratique Et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

Université ABDERRAHMANE MIRA Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention de :

**DIPLOME MASTER ACADEMIQUE EN ELECTRONIQUE**

**Spécialité : Télécommunication**

## **Thème**

**Techniques de transmissions dans une fibre optique**  
**Etude et simulation**

**Présenté par :**

Mr. ZIBANI Karim

**Devant le jury:**

Mr. M.ROUHA

Mr. A.KHIREDDINE

**Encadré par :**

Mr. S.BERRAH

Mr. A.MEKHMOUKH

Année : 2012/2013



# Remerciements

*Tous d'abord nous remercions DIEU de nous avoir aidés à accomplir ce modeste travail.*

*Nous ne saurions, réellement, trouver les expressions éloquentes que méritent nos encadreurs « Mr BERRAH Smail et Mr MEKHMOUKH Abdenour », a fin de les remercier pour leurs sympathies, encouragements, aides, dévouements pour le travail et leurs présences totales.*

*Nous tenons à remercier vivement les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et de juger ce modeste travail avec soin.*

*Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce projet, de même que pour ceux qui ont contribué à notre formation, qu'ils trouvent ici, l'expression de notre gratitude.*

# Dédicaces

Avant tout, je remercie le Dieu, qui m'a aidé à élaborer ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail :

A toi MA MERE, pour ton courage, tes combats et tes sacrifices afin que je puisse achever mes études, à toi qui a tout souffert, sans me faire souffrir, que tu trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous tes sacrifices, l'extrême amour et la bonté que tu m'a offert pour me voir réussir. Que tu en sois remerciée à tout jamais.

A toi MON PERE, l'homme à qui je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect, Que tu trouves ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi. Que tu en sois remercié à tout jamais.

A ma bien aimée avec une pensée toute particulière pour sa grande patience durant la réalisation de ce modeste travail.

A mes très chers frères KHELIFA et BILAL.

A ma chère sœur ANIES.

A la mémoire de ma chère sœur.

A la mémoire de mes chers grands-parents, surtout ma grand-mère ZEBIDA.

A tous mes amis sans exceptions.

A toute la promotion télécom.

A tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation.

A tous ceux qui m'aiment, et tous ceux que j'aime.

## Table des matières

Table de matières.....	I
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux.....	VI
Introduction générale.....	1

### Chapitre 1 : La fibre optique

1.1.Introduction .....	3
1.2.Historique .....	3
1.3.La fibre optique .....	4
1.4. Types de fibres optiques.....	4
1.5. Avantages et limites de la fibre optique .....	5
1.6. Les pertes dans la fibre optique.....	6
1.6.1. Les pertes linéaires .....	6
1.6.1.1. L'atténuation.....	6
1.6.1.1.1. La diffusion Rayleigh .....	6
1.6.1.1.2. Absorption.....	6
1.6.1.1.3. Raccordements .....	7
1.6.1.1.4. Courbure et micro courbure .....	8
1.6.1.1.5. Solution pour minimiser l'atténuation .....	9
1.6.1.2. Les pertes dues à la dispersion .....	9
1.6.1.2.1. Dispersion modale .....	9
1.6.1.2.2. Dispersion chromatique.....	10
1.6.2. Les effets non linéaires.....	11
1.6.2.1. Effet Kerr.....	11
1.6.2.2. Effets Raman et Brillouin .....	11
1.7. Conclusion.....	12

### Chapitre 2 : la liaison optique

2.1. Introduction .....	13
2.2. Liaison point à point optique.....	13

2.3. Emetteur optique .....	14
2.3.1. Structure d'un émetteur optique .....	14
2.3.2. Les diodes électroluminescentes (DEL) .....	14
2.3.3. Les diodes laser (DL) .....	15
2.3.4. Les caractéristiques spectrales des sources .....	16
2.3.5. La différence DEL / DL .....	16
2.3.6. Modulateurs.....	18
2.3.6.1. Modulation directe .....	18
2.3.6.2. Modulation externe .....	18
2.4. Ligne de transmission.....	19
2.4.1. La fibre optique .....	19
2.4.2. Caractéristiques de transmission .....	19
2.4.3. Raccordement des fibres optique .....	20
2.4.4. Type de raccordement .....	20
2.4.4.1. Les raccords fixes .....	20
2.4.4.1.1. La soudure .....	20
2.4.4.1.2. Le collage .....	20
2.4.4.1.3. Le sertissage .....	21
2.4.4.2. Les raccords semi-fixes .....	21
2.4.4.3. Les raccords démontables.....	21
2.4.5. Répéteur ou régénérateur de signal .....	21
2.4.5.1. Répéteur électro-optique .....	21
2.4.5.2. Amplification par dopage en Erbium .....	22
2.5. Récepteur optique.....	22
2.5.1. Structure bloc d'un récepteur optique .....	22
2.5.2. Photodétecteurs .....	23
2.5.3. Différents types de photodétecteurs .....	23
2.5.3.1. PIN .....	23
2.5.3.2. APD.....	23
2.5.4. Caractéristique d'un photodétecteur.....	24
2.6. Les fenêtres utilisées dans les télécommunications optiques .....	24
2.7. Les techniques de multiplexages .....	25
2.7.1. Multiplexage TDM.....	25

2.7.2. Multiplexage FDM .....	26
2.7.3. Multiplexage WDM .....	27
2.7.3.1. Introduction .....	27
2.7.3.2. Principe.....	27
2.7.3.3. Fonctionnement général du WDM .....	29
2.8. Conclusion.....	30

### **Chapitre 3 : Simulation**

3.1. Introduction .....	31
3.2. Présentation de l'interface .....	31
3.3. Simulation des techniques de multiplexages .....	32
3.3.1. Simulation de la technique TDM .....	32
3.3.2. Simulation de FDM .....	36
3.3.2.1. Emetteur .....	37
3.3.2.2. Support de transmiss .....	40
3.3.2.3. Récepteur.....	41
3.3.3. Simulation de WDM .....	41
3.4. Conclusion.....	47
Conclusion générale .....	48
Listes des acronymes.....	49
Bibliographie .....	50

## Liste des figures

Figure 1.1 : Structure d'une fibre optique.....	4
Figure 1.2 : Fibre optique multimode à saut d'indice.....	4
Figure 1.3 : Fibre optique multimode à gradient d'indice.....	5
Figure 1.4 : Fibre optique monomode.....	5
Figure 1.5 : Phénomène d'absorption.....	6
Figure 1.6 : Les différents décalages au raccordement de fibres.....	7
Figure 1.7: Autres défauts de la connexion.....	8
Figure 1.8 : Pertes par courbure et micro courbure.....	8
Figure 1.9 : Illustration des effets de la dispersion modale.....	10
Figure 1.10 : Impact de la dispersion chromatique sur une impulsion.....	11
Figure 2.1 : Liaison point à point optique.....	13
Figure 2.2: Structure d'un émetteur optique.....	14
Figure 2.3 : DEL caractéristiques spectrales.....	15
Figure 2.4: DL caractéristiques spectrales.....	16
Figure 2.5: Fonction de transfert du LASER.....	17
Figure 2.6: Comparaison de la lumière émise par émission spontanée (haut) et par émission stimulée (bas).....	17
Figure 2.7 : Digramme de rayonnement.....	18
Figure 2.8 : Fibre monomode.....	19
Figure 2.9 : Répéteur électro-optique.....	22
Figure 2.10 : Principe de l'amplificateur optique.....	22
Figure 2.11: Structure bloc d'un récepteur optique.....	23
Figure 2.12: Atténuation linéique d'une fibre optique (cœur en silice).....	25
Figure 2.13 : Technique de multiplexage.....	26
Figure 2.14 : Multiplexage fréquentiel.....	27
Figure 2.15 : Principe du WDM.....	28
Figure 2.16 : Fonctionnement du multiplexage WDM.....	29
Figure 3.1 : Présentation de l'interface.....	31
Figure 3.2 : Menu principal.....	32
Figure 3.3 : Les paramètres des signaux.....	33
Figure 3.4 : Génération des signaux.....	33

---

Figure 3.5 : L'échantillonnage. ....	34
Figure 3.6 : Les deux signaux à l'intérieur de la fibre optique. ....	35
Figure 3.7 : Restitutions des signaux originaux. ....	36
Figure 3.8 : Paramètre des signaux. ....	37
Figure 3.9 : Spectre des trois signaux (sons).....	38
Figure 3.10 : Filtrage. ....	39
Figure 3.11 : Modulation.....	39
Figure 3.12 : Multiplexage FDM. ....	40
Figure 3.13 : Signal transmis affecté par le bruit du canal.....	40
Figure 3.14 : Le spectre de fréquence de chaque Son à la réception. ....	41
Figure 3.15 : Paramètres du WDM. ....	42
Figure 3.16 : Canal 1. ....	43
Figure 3.17 : Canal 2. ....	43
Figure 3.18 : Canal 3. ....	44
Figure 3.19 : Le premier canal transmis.....	45
Figure 3.20 : Le deuxième canal transmis.....	45
Figure 3.21 : Le troisième canal transmis ....	46
Figure 3.22 : Extraction du deuxième canal.....	46



## Tableau

Tableau 1.1. Avantages et limites de la fibre optique .....5

# **Introduction générale**

## INTRODUCTION GENERALE

Les télécommunications optiques ont connu depuis une dizaine d'années un essor considérable, dont une des motivations principales est la course vers le haut débit (applications au multimédia). En effet, grâce à la large bande passante des fibres optiques (quelques dizaines de THz), les transmissions optiques bénéficient d'une position privilégiée, ainsi, la qualité des réseaux de télécommunications par fibre optique a été considérablement améliorée. Par exemple, il convient de citer les pertes de propagation dans les fibres optiques n'excédant pas aujourd'hui 0,2 dB/km à la longueur d'onde de 1,55 $\mu$ m. Par ailleurs, l'avènement des amplificateurs à fibre appelés EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) permettant d'augmenter considérablement les distances de transmission.

Concernant la croissance régulière des débits de transmission, ceux-ci ont été obtenus à partir des techniques dites de multiplexage. Ainsi, la technique la plus utilisée aujourd'hui par les industriels est celle du multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing). En parallèle, les composants optoélectroniques, réalisés à base de matériaux semi-conducteurs ont également connu des sauts technologiques importants. Une liaison de télécommunication par fibre optique requiert trois fonctions fondamentales qui sont respectivement: la génération du signal (émetteur), la propagation (transmission, amplification et routage des données) et la détection en réception.

Dans le présent projet, on va étudier et simuler les différentes techniques de transmission utilisées dans les systèmes de télécommunication optique. Notre mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est dédié à la recherche bibliographique sur la fibre optique d'une manière générale, les types de fibre optique, les différentes pertes dans la fibre optique à savoir l'atténuation, la dispersion chromatique et la dispersion modale et enfin les pertes non linéaires.

Le deuxième chapitre concerne une étude détaillée de la liaison optique (émetteur, ligne de transmission qui est la fibre optique et le récepteur) et les techniques de multiplexages (TDM, FDM et WDM).

Enfin dans le dernier chapitre on va simuler sous MATLAB les techniques de multiplexages (TDM, FDM et WDM) et on terminera par une conclusion.

# **Chapitre 1**

## **La fibre optique**

## 1.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu sur les fibres optiques d'une manière générale, le principe de la propagation de la lumière dans une fibre optique, les différents types de fibres ainsi que les différentes pertes.

## 1.2. Historique

En **1964**, Charles Kao, *des Standard Telecommunications 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.

Puis en **1966**, Charles Kao, avec l'aide de Georges Hockman, démontre qu'il est possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique. Cette expérience est souvent considérée comme la première transmission de données par fibre optique. Cependant, les pertes dans la fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres.

En **1970**, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, trois scientifiques de la compagnie *Corning Glass Works* de New York, produisirent la première fibre optique pouvant être utilisée dans les réseaux de télécommunications.

En **1977**, le centre-ville de Chicago installe le premier système de communication téléphonique optique. En France, à Paris la DGT (Direction Générale des Télécommunications) installe la première liaison optique entre deux centres téléphoniques.

**Aujourd'hui** : la fibre optique est utilisée à plus de 80 % pour les communications à longue distance, soit plus de 25 millions de kilomètres de câbles partout dans le monde. Par ailleurs, avec la baisse des coûts entraînée par sa fabrication en masse et les besoins croissants des particuliers en très haut débit, on envisage son arrivée même chez les particuliers [1].

### 1.3. La fibre optique

La fibre optique (figure 1.1) est un guide d'ondes diélectriques circulaires qui peut transporter de l'information optique. Elle est constituée d'un cœur central entouré par une gaine concentrique ayant un indice de réfraction légèrement inférieur à celui de cœur. Les fibres sont généralement réalisées en silice avec des dopants modificateurs d'indice, tels que le  $\text{GeO}_2$ . Un revêtement protecteur est utilisé pour réduire la diaphonie entre fibres adjacentes. Les fibres sont généralement intégrées dans des câbles afin d'être mieux protégées contre les conditions ambiantes [2].

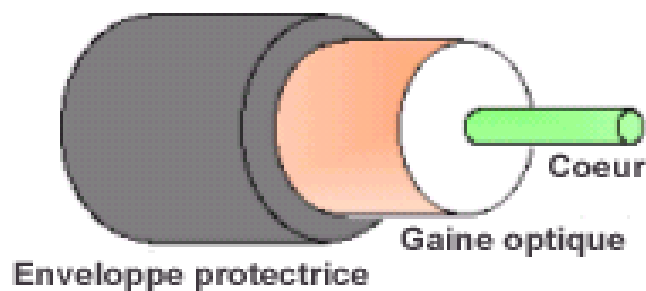


Figure 1.1 : structure d'une fibre optique.

### 1.4. Types de fibres optiques

Il existe deux grands types de fibres [3]:

- **Multimode** : dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de la fibre, elle peut être à saut d'indice (voir figure 1.2) ou à gradient d'indice (voir figure 1.3).
- **Monomode** : dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière, le mode en ligne droite (voir figure 1.4).

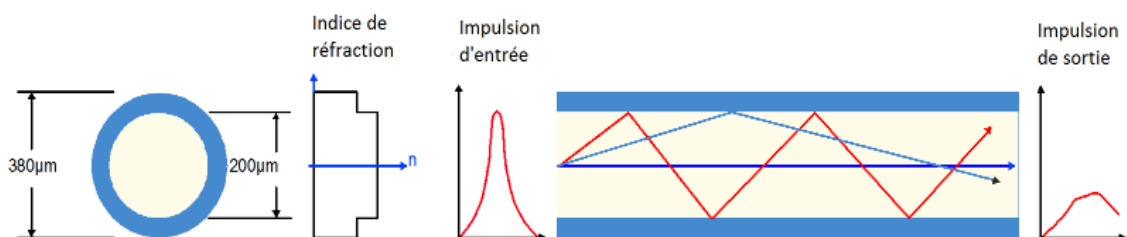
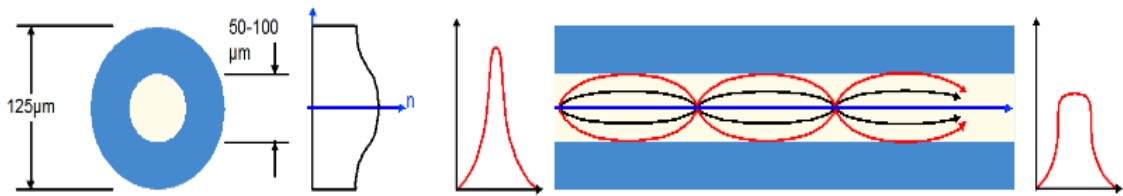
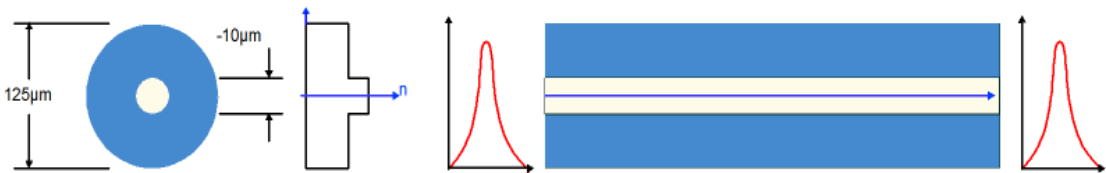


Figure 1.2 : Fibre optique multimode à saut d'indice.



**Figure 1.3 :** fibre optique multimode à gradient d'indice.



**Figure 1.4 :** fibre optique monomode.

### 1.5. Avantages et limites de la fibre optique

Le tableau suivant donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure [4] :

Structures	Avantages	Inconvénients
Multimode à saut d'indice	- Faible prix - Facilité de mise en œuvre	Perte et distorsion importante du signal
Multimode à gradient d'indice	- Bande passante raisonnable - Bonne qualité de transmission	/
Monomode	- Très grande bande passante - Aucune distorsion	Prix très élevé

**Tableau 1.1 :** Avantages et limites de la fibre optique.



## 1.6. Les pertes dans la fibre optique

Il existe deux types de pertes; linéaires et non linéaires:

### 1.6.1. Les pertes linéaires

#### 1.6.1.1. L'atténuation

Bien que très performantes, les fibres optiques subissent des atténuations lors de la propagation du signal. L'atténuation se mesure en dB/km et elle dépend de la longueur d'onde, et est due à plusieurs phénomènes [16]:

##### 1.6.1.1.1. La diffusion Rayleigh

Elle est due à l'interaction entre la lumière et la matière. En effet des milieux comme le verre, les liquides et les gaz diffusent la lumière. Cette diffusion est d'autant plus grande que la longueur d'onde est petite [5].

##### 1.6.1.1.2. Absorption

- Due à la présence d'impuretés dans la fibre.
- Vibration moléculaire.

Sous l'influence d'un photon d'énergie suffisante, un électron peut être porté à un niveau d'énergie supérieur à celui où il se trouvait. Une partie de l'énergie du rayonnement incident est ainsi absorbée par le matériau. (Voir figure 1.5).

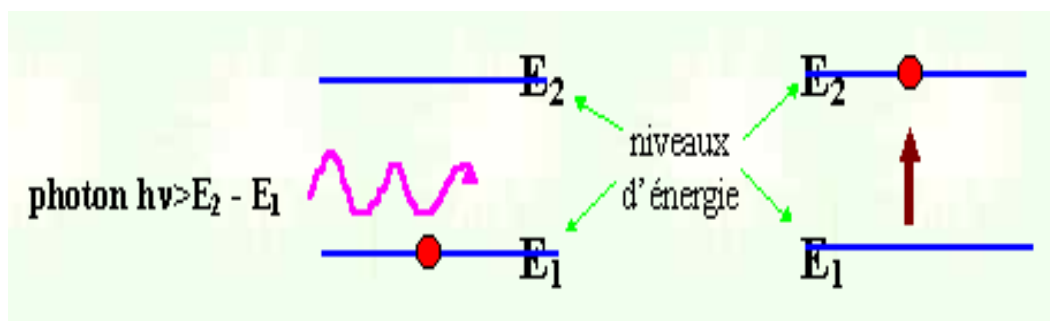


Figure 1.5 : phénomène d'absorption.

Cette interaction rayonnement-matière s'applique au matériau constituant la fibre, mais aussi aux impuretés qu'elle contient et qui sont la conséquence du mode de fabrication (ion

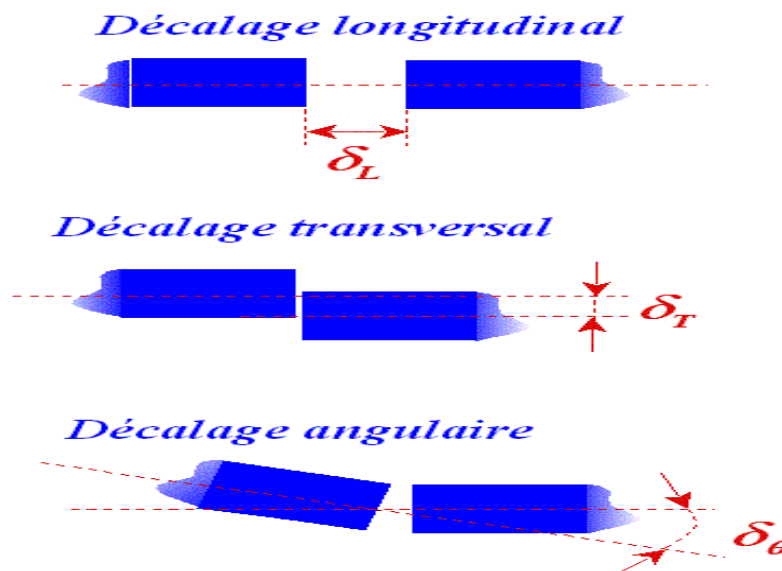
$\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{OH}^-$ , etc...). A titre d'exemple, un taux d'impuretés de quelques ppm (partie par million) d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  entraîne, à 850 nm, une atténuation de 130 dB/km ; on comprend donc la nécessité de fabriquer des matériaux extrêmement purs. [5]

### 1.6.1.1.3. Raccordement

Il existe deux façons pour relier deux fibres, par épissure (fusion), raccord définitif, ou par connecteur pour les raccords démontables.

Dans les deux cas, cela entraîne des pertes à cause [5] : (voir figure 1.6)

- Décalage longitudinal.
- Décalage transversal.
- Décalage angulaire.



**Figure 1.6 :** Les différents décalages au raccordement de fibres.

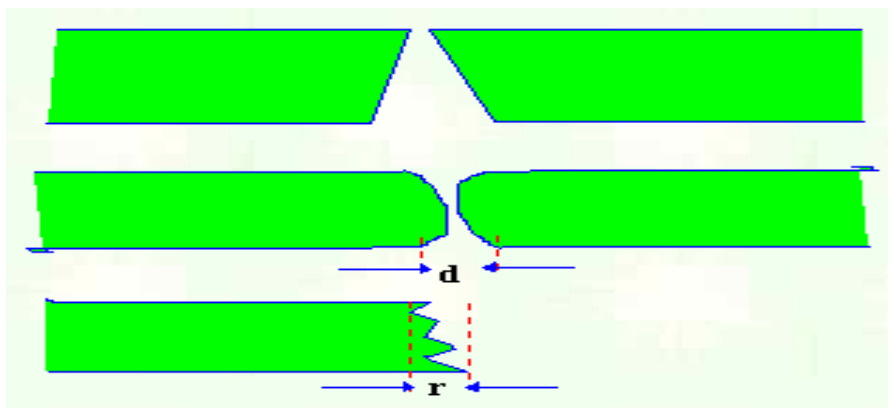
Il faut réunir de nombreuses conditions afin de réaliser une connexion qui minimise les pertes:

- Aplanir la face de contact, ou la rendre parfaitement sphérique par polissage, en veillant à ce qu'elle soit perpendiculaire à l'axe optique.
- Aligner les deux fibres.

- Traiter les faces avec un revêtement anti réflexion.
- Vérifier la soudure et l'entourer d'une gaine de protection.

- **Autres défauts de la connexion**

La non-perpendicularité des faces (écart de 2 à 3 degrés) provoque une atténuation de 0,3 dB ; la rugosité des faces ( $r = 5 \mu\text{m}$ ) donne également 0,3 dB de perte. Il faut donc choisir les deux faces optiques en contact de la connexion parfaitement sciées et polies [3]. (Voir figure 1.7)



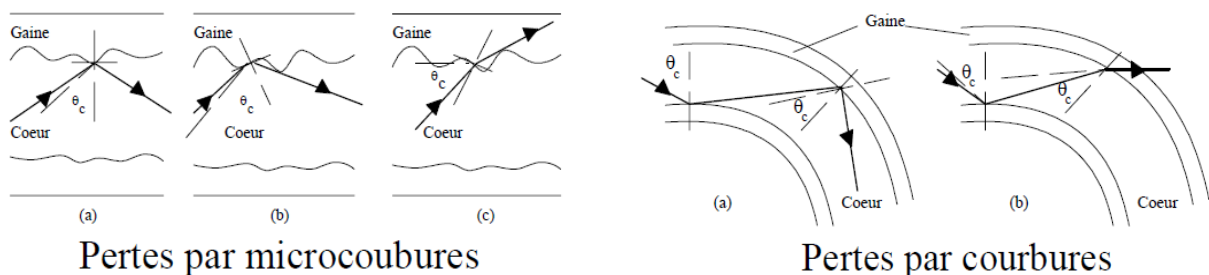
**Figure 1.7:** Autres défauts de la connexion.

#### 1.6.1.1.4. Courbure et micro courbure

La présence des courbures dans une liaison optique entraîne la réfraction de la lumière dans la gaine de la fibre. (voir figure 1.8)

La courbure est due à une déformation globale de l'axe.

La micro courbure est due à une déformation locale [16].



**Figure 1.8 :** Pertes par courbure et micro courbure.

### **1.6.1.1.5. Solution pour minimiser l'atténuation**

Pour compenser toutes ces pertes, notamment sur de longues distances on est obligé d'insérer des amplificateurs. Par exemple pour les liaisons sous-marines, il faut en mettre tous les 150 km. Cette distance varie selon le type de la fibre utilisée. Le principe est simple, on associe un récepteur puis un amplificateur électrique puis un émetteur.

Ce procédé permet donc de renvoyer un rayon d'intensité plus forte mais aussi de recréer des images d'impulsion plus étroite. Mais il nécessite une alimentation électrique. Pour cela de nombreux câbles optiques sont gainés avec du cuivre, ce qui augmente la solidité et permet le passage du courant[6].

### **1.6.1.2. Les pertes dues à la dispersion**

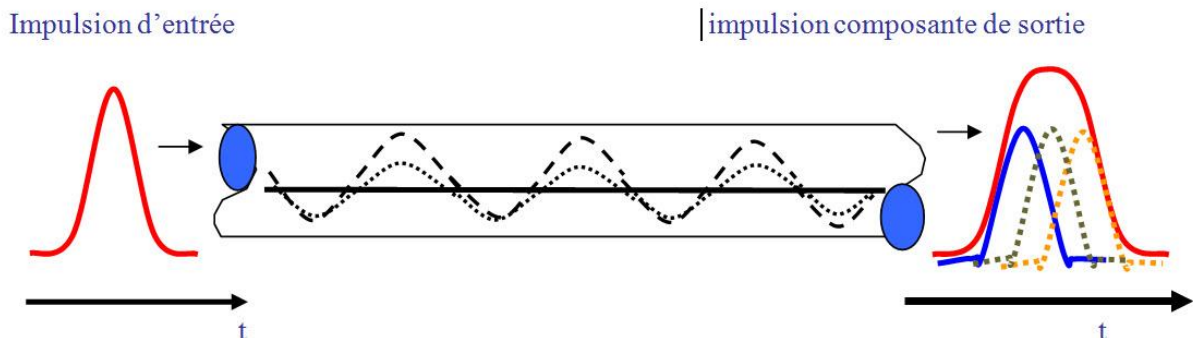
#### **1.6.1.2.1. Dispersion modale**

Lorsqu'on utilise une fibre multimode, la lumière peut prendre plusieurs chemins (modes) lorsqu'elle se propage dans la fibre. La distance parcourue par certains modes est donc différente de la distance parcourue par d'autres modes. Lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, elle se décompose selon les différents modes. Certaines composantes (modes) arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale. Ce phénomène de dispersion modale n'apparaît bien sûr qu'avec les fibres multi-modes. (voir figure 1.9)

Dans le cas d'une fibre multimode à saut d'indice, seule la longueur du trajet de chaque mode varie; la vitesse de chacun des modes reste identique.

Les fibres multimode à gradient d'indice ont précisément été développées pour répondre au problème de la dispersion modale. Puisque l'indice de réfraction n'est pas constant, la longueur du trajet et de la vitesse de propagation de chaque mode va varier. Les modes d'ordre élevé empruntent des trajets plus longs (assez éloignés de l'axe optique) où l'indice de réfraction est plus faible qu'au voisinage de l'axe optique mais avec une vitesse plus importante que les modes d'ordre moins élevés qui se propagent au voisinage de l'axe optique, donc sur des trajets plus courts mais plus lents, la dispersion modale d'une fibre à gradient d'indice est comparativement plus faible que celle d'une fibre à saut d'indice.

Dans le cas d'une fibre monomode, la dispersion modale n'existe pas (en pratique, elle est quasiment nulle). Le mode de propagation étant unique (une ligne droite), il n'y a pas de dispersion, dû au fait qu'un signal peut prendre plusieurs chemins différents [5].



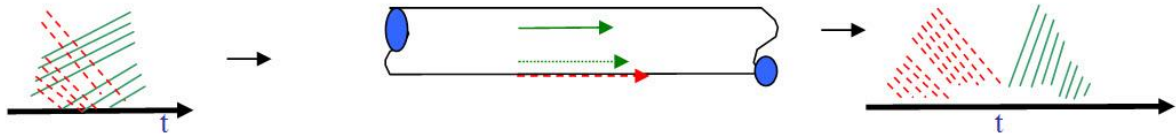
**Figure 1.9 :** Illustration des effets de la dispersion modale.

#### 1.6.1.2.2. Dispersion chromatique

Ce terme regroupe en fait deux types de dispersion :

- **La dispersion matériau :** les lasers et les LEDs ne sont pas des sources monochromatiques. Ils produisent de la lumière dans une gamme de longueur d'ondes. Une impulsion lumineuse issue de source optique est donc composée de plusieurs longueurs d'onde. Certaines longueurs d'ondes arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale [16].
- **La dispersion guide :** Ceci est dû au fait que la lumière n'est en fait pas strictement confinée dans le cœur. Les champs électrique et magnétique constituant l'impulsion lumineuse s'étendent en fait (légèrement) à l'extérieur du cœur, donc dans la gaine. Le champ électromagnétique "déborde" dans la gaine d'autant plus que la longueur d'onde est grande. L'indice de réfraction vu par l'onde est donc une moyenne entre de l'indice de réfraction du cœur et celui de la gaine. Les longueurs d'ondes les plus petites auront donc tendance à se propager plus lentement que les longueurs d'ondes plus grande, d'où un élargissement de l'impulsion lumineuse. Cet effet est quasiment négligeable avec les fibres multi-modes (qui n'ont un rayon de cœur relativement grand) mais ne l'est pas avec les fibres monomodes (pour lesquelles le rayon du cœur est quasiment de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde) [16].

Les deux types de dispersion, guide et matériau, se compensent ainsi exactement à la longueur d'onde de 1310nm donnant ainsi une dispersion chromatique nulle pour cette longueur d'onde, ce qui est le principal avantage à travailler dans la seconde fenêtre de transmission. (Voir figure 1.10).



**Figure 1.10** : Impact de la dispersion chromatique sur une impulsion.

## 1.6.2. Les effets non linéaires

### 1.6.2.1. Effet Kerr

Lorsque des impulsions très brèves et très intenses traversent le cœur d'une fibre optique, le vecteur de polarisation n'est plus proportionnel au champ électrique et l'indice de réfraction devient alors dépendant de l'intensité de l'onde optique. Le signal verra donc différents indices de réfraction selon que l'intensité soit faible ou forte. Ce phénomène introduit une dépendance en intensité de l'indice de réfraction [9].

### 1.6.2.2. Effets Raman et Brillouin

L'effet Raman est le plus connu des effets non linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau. L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des phonons acoustiques [10].

## **1.7. Conclusion**

D'après l'étude réalisée sur la fibre optique, on distingue malgré sa disposition d'une bande passante importante, l'isolement de perturbation électromagnétique extérieur, par rapport aux autres supports de transmissions, elle est soumise à des perturbations telles que l'atténuation et la dispersion.

# **Chapitre 2**

## **La liaison optique**



## 2.1. Introduction

Pour la transmission de signaux lumineux par une fibre optique, il faut, aux deux extrémités de celle-ci, des éléments émetteurs et récepteurs capables de convertir les signaux électriques en signaux lumineux et réciproquement.

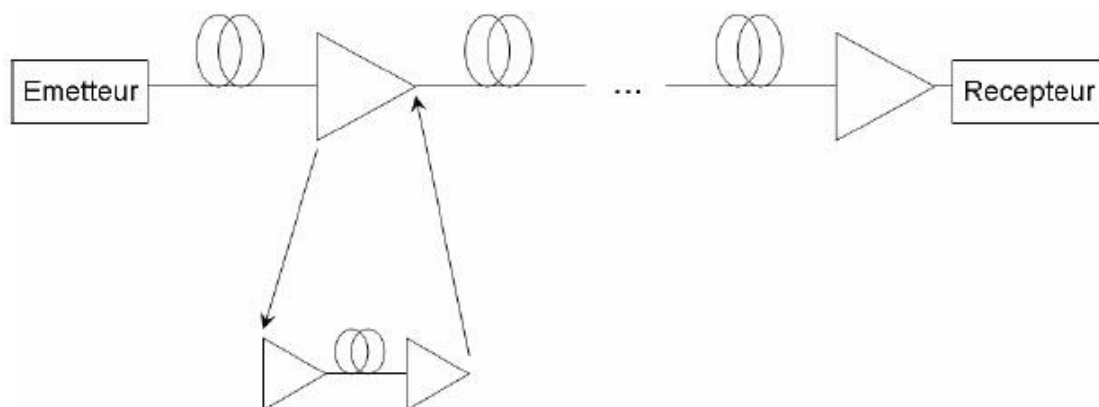
La transmission des informations dans une liaison de télécommunication optique nécessite une certaine organisation qui est basée sur le multiplexage. Avant l'apparition du multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing), l'accroissement de la capacité de transmission d'une liaison passait par la multiplication des lignes de transmission et l'empilement des répéteurs-régénérateurs.

Dans ce cadre on va présenter les différentes techniques de multiplexage telles que : le TDM, FDM et WDM.

## 2.2. Liaison point à point optique

Un système de transmission optique se compose [11]: (voir figure 2.1)

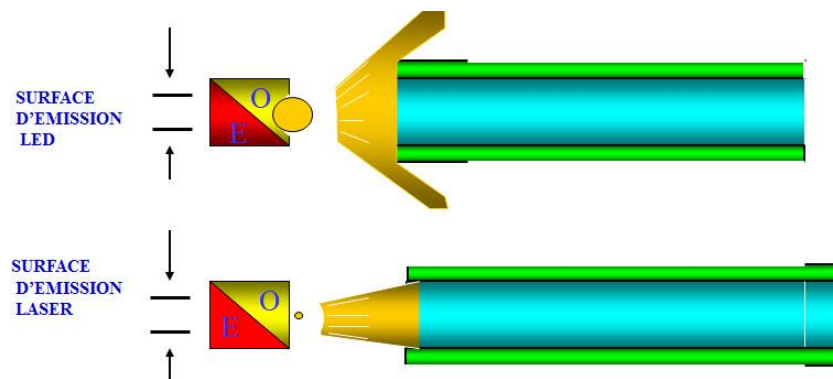
- D'un émetteur : qui peut être une diode électroluminescente ou une diode LASER
- D'une ligne de transmission: La ligne de transmission est censée se composer de fibres optiques et des amplificateurs optiques qui substituent les régénérateurs électriques.
- D'un récepteur : qui est généralement une photodiode PIN ou une photodiode à avalanche.



**Figure 2.1:** Liaison point à point optique.

## 2.3. Emetteur optique

### 2.3.1. Structure d'un émetteur optique



**Figure 2.2:** Structure d'un émetteur optique.

Le choix de l'émetteur pour une liaison de télécommunication optique se base essentiellement sur les semi-conducteurs, ces composants sont caractérisés par leurs faibles dimensions et leurs grandes fiabilités de transmissions [7].

Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique) avec un rendement satisfaisant et assurer un bon couplage avec la fibre.

En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix des sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL), ces deux sources sont réalisées à partir des jonctions PN polarisées en direct, le principe d'émission est dû à la recombinaison des paires électron-trou.

### 2.3.2. Les diodes électroluminescentes (DEL)

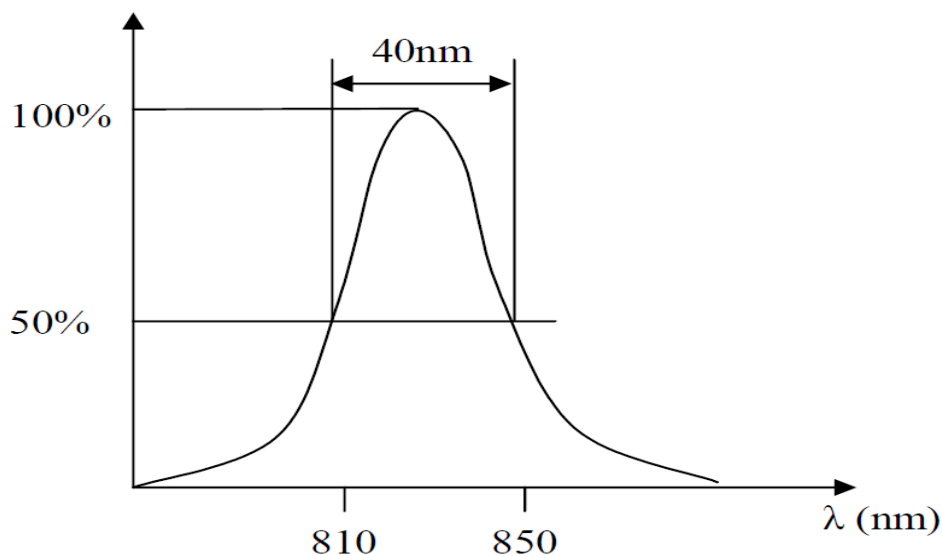
Les diodes sont constituées, suivant le principe de base, d'un cristal semi-conducteur possédant deux couches dopées : une couche P positive possédant des trous (emplacements où il manque un électron pour que les atomes soient complets) et une couche N négative possédant des électrons libres.

Une diode semi-conductrice qui émet de la lumière par émission spontanée, est appelée diode électroluminescente. La qualité de conversion du courant électrique en lumière est

décrite par le rendement quantique, qui désigne le rapport entre le nombre de photons émis par unité de temps et le nombre de charges transportées à travers la jonction-PN de la diode semi-conductrice.

$$\eta_q = \frac{\text{Nombre de photons créés}}{\text{Nombre d'électrons injectés}} \quad (2.1)$$

Les diodes électroluminescentes de structure simple, ou homojonction, présentent deux inconvénients majeurs : la lumière générée est émise dans toutes les directions d'où les pertes importantes et une largeur de signal émis plus grande, environ 40nm. Par contre, elles ont comme avantages ; une grande souplesse et une durée de vie de l'ordre  $10^5$  à  $10^7$  heures [7].

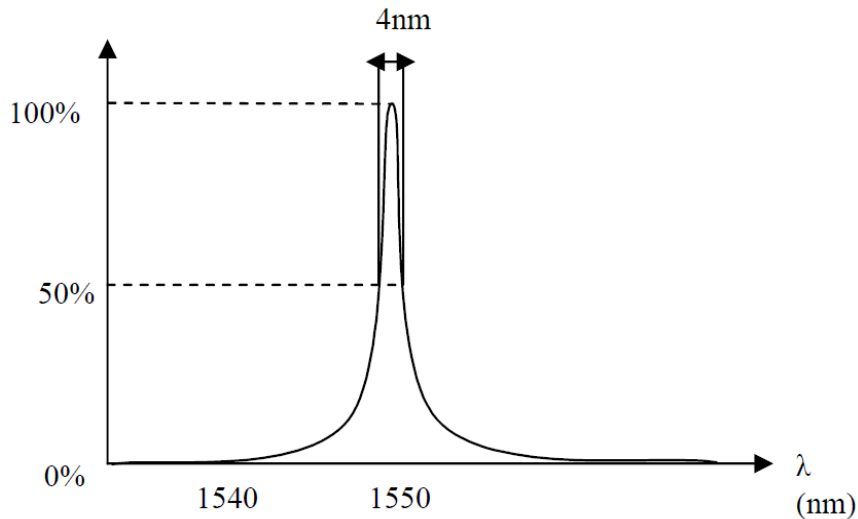


**Figure 2.3 :**DEL caractéristiques spectrales.

### 2.3.3. Les diodes laser (DL)

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques.

Le mot LASER est une abréviation de l'amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Contrairement à la diode électroluminescente ou l'émission est spontanée [7].



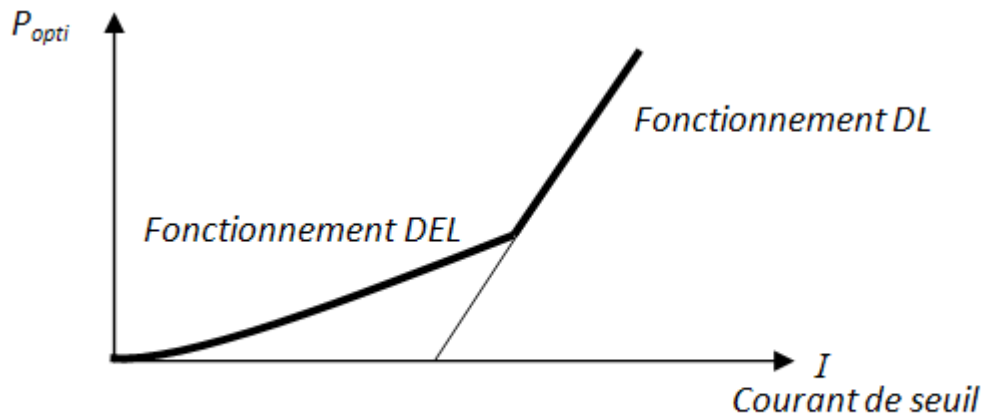
**Figure 2.4:** DL caractéristiques spectrales.

### 2.3.4. Les caractéristiques spectrales des sources [11]

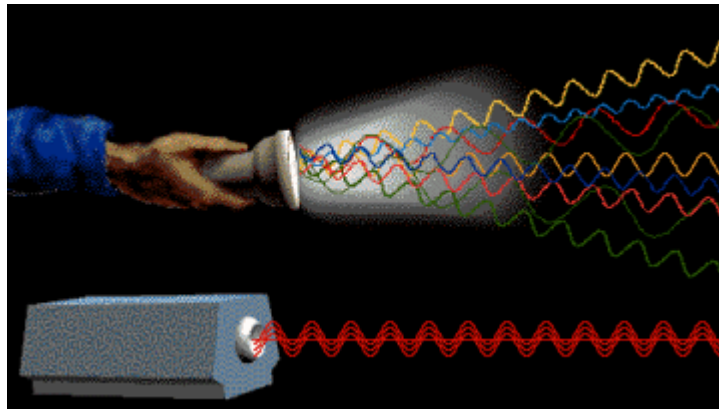
- Les systèmes des longueurs pratiques utilisent des sources à semi-conducteur émettant autour de  $\lambda=0,85\mu\text{m}$ ,  $\lambda=1,3\mu\text{m}$  ou  $\lambda=1,55\mu\text{m}$  (les bandes de fréquences utilisées autour de ces trois longueurs d'onde sont appelées « fenêtres de télécommunication »).
- Les sources sont caractérisées par leur spectre et leur diagramme de rayonnement.
- La puissance de sortie: pour augmenter la portée d'une liaison on doit émettre la plus grande puissance possible sans néanmoins dépasser un certain seuil ( $20\text{kw}/\text{cm}^2$ ).
- Actuellement le seul type de source utilisée est la diode laser qui présente un spectre de raies très fines (entre 0,2 et 1Mhz lorsque le laser émet 1mw).

### 2.3.5. La différence DEL / DL

Pour montrer la différence entre une diode électroluminescente et une diode laser, la (figure 2.5) illustre les courbes caractéristiques de la puissance lumineuse en fonction du courant.



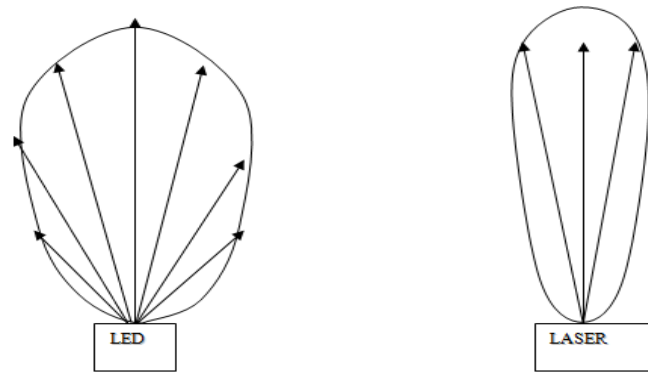
**Figure 2.5:** Fonction de transfert du LASER.



**Figure 2.6:** Comparaison de la lumière émise par émission spontanée (haut) et par émission stimulée (bas).

D'après la figure 2.6 : Le diagramme de rayonnement donne une image du flux lumineux tel qu'il se présente à la sortie de composant.

Le diagramme de rayonnement d'une diode laser sera plus étroit que celui de la LED. (Voir figure 2.7).



**Figure 2.7 :** Digramme de rayonnement.

### 2.3.6. Modulateurs

Un modulateur est un système capable de modifier les paramètres de la lumière (essentiellement amplitude et/ou phase ; mais cela pourrait être : polarisation, direction de propagation, fréquence, répartition de modes, etc.) en fonction d'un signal de commande.

Un modulateur est un système d'interaction. Les interactions entre phénomène physique de nature différente - mécanique (ou élastique), acoustique, magnétique, etc.

On peut moduler ces sources de deux manières différentes [16]:

#### 2.3.6.1. Modulation directe

La modulation directe peut être assimilée à une technique de modulation de type "classique". En effet, on va ici moduler directement le courant injecté en entrée de la diode. A la suite de cette modulation de courant, l'intensité de la lumière produise par la diode sera affectée. Plus le courant reçu par la diode est important, plus l'intensité lumineuse qu'elle délivrera sera puissante. Cependant, cette méthode de modulation comporte un inconvénient majeur. La modulation d'amplitude du courant affecte en effet la fréquence du signal émis. C'est pour cette raison qu'en général elle n'est plus très utilisée, au profit de la modulation externe [13].

#### 2.3.6.2. Modulation externe

Le champ émis par la source n'est pas modulé et passe par un circuit optique spécial où l'on peut provoquer une modulation de phase ou d'amplitude. Les modulateurs d'amplitude ne

présentent aucune propriété de linéarité mais introduisent beaucoup moins de conversion amplitude-fréquence.

Le signal modulé envoyé dans la fibre est donc nettement moins affecté par ce phénomène mais également moins puissant que dans le cas de la modulation directe [13].

## 2.4. Ligne de transmission

### 2.4.1. La fibre optique

Généralement pour les longues distances et des hauts débits, la fibre monomode est la plus utilisée, le cœur d'une telle fibre est de faible diamètre (figure 2.8).



**Figure 2.8 :** Fibre monomode.

Cœur : Silice, de diamètre faible.

Gaine optique: Silice, de diamètre 125  $\mu\text{m}$ .

Revêtement de protection: Matériau plastique (de diamètre 250  $\mu\text{m}$ ).

### 2.4.2. Caractéristiques de transmission

- La fibre monomode est utilisée pour des liaisons à débits importants et pour les longues distances.
- La fibre monomode est très performante. La bande passante permet de transmettre un très grand nombre d'informations.
- L'ouverture numérique faible, nécessite une source lumineuse cohérente (Laser).
- Le cœur d'un diamètre faible nécessite des manipulations relativement délicates ainsi qu'un matériel de haute précision.

### 2.4.3. Raccordement des fibres optique

Le raccordement des fibres optiques pour les transmissions à grande distance est indispensable, cela nécessite de les couper à la longueur appropriée à chaque répéteur et de les connecter à d'autres composants [12]. Lorsque les câbles optiques sont mis en place, vérifiés par un réflectométrie pour détecter des dégâts éventuels que la fibre aurait pu subir lors du tirage, il ne reste plus qu'à poser les connexions appropriées ; soit de type connecteurs ou des épissures, qui permettent de réaliser ce raccordement.

#### 2.4.4. Type de raccordement [11]

Selon la nature de la liaison à établir, on peut distinguer trois types de raccordements

- ❖ les raccordements fixes.
- ❖ les raccordements semi-fixes.
- ❖ les raccordements démontables.

##### 2.4.4.1. Les raccordements fixes

Ce sont des raccordements qu'il ne sera plus possible d'ouvrir une fois qu'ils sont posés, leur destination principale est la mise bout à bout de plusieurs câbles optiques afin de constituer des liaisons à grande portée.

Trois techniques sont utilisées dans ce type de raccordement :

###### 2.4.4.1.1. La soudure

La soudure est une technique de raccordement fixe la plus récente, cela consiste à chauffer les deux extrémités de la fibre de manière que la silice atteigne son point de fusion. On obtient ainsi une soudure sans apport du matériau.

Les épissures par fusion présentent des pertes d'insertion très faibles, moins de 0.1 dB, pas de réflexion parasite et encombrements très réduits.

###### 2.4.4.1.2. Le collage

Son principe est de noyer dans la colle deux fibres positionnées l'une en face de l'autre. Pour cela on utilise un centreur en élastomère translucide dans lequel une rainure est gravée. Ce type de raccordement présente un affaiblissement voisin de 0.1 dB.



### 2.4.4.1.3. Le sertissage

Le sertissage est un moyen d'épissure de deux fibres, et qui assure une bonne protection. Il existe différents types de sertissage, suivants les fabricants qui les ont développés.

Le sertissage présente l'avantage d'être facile et rapide, la qualité reste tout de même très bonne, les pertes typiques sont de l'ordre de 0.1 dB.

### 2.4.4.2. Les raccordements semi-fixes

Ce type de raccordement est un moyen qui permet de mettre les deux fibres bout à bout d'une façon non permanente ; pour effectuer des mesures, comme la vérification du tirage d'un câble avant la mise en place de la connectique définitive.

### 2.4.4.3. Les raccordements démontables

On utilise dans ce type de raccordement, les connecteurs qui réalisent un raccordement avec une bonne résistance mécanique, il est généralement constitué de deux fiches et d'un raccord ou d'une embase et d'une fiche, les connecteurs sont utilisés aux extrémités de la liaison pour le raccordement aux équipements d'émission et de réception et dans les répartiteurs optiques.


Aujourd'hui les connecteurs pour fibres monomodales ont une perte d'insertion moyenne inférieure à 0.5dB.

## 2.4.5. Répéteur ou régénérateur de signal

Il existe deux solutions d'ingénierie d'un répéteur :

### 2.4.5.1. Répéteur électro-optique

Le faible signal optique reçu est converti en signal électrique par un photo-détecteur, et est électriquement amplifié, module un faisceau LASER en sortie (conversion électrique-optique) (figure 2.9) [12].

 **Exemple :** Dans le cas d'une liaison transatlantique Paris-New York, 60 à 70 répéteurs sont nécessaires.

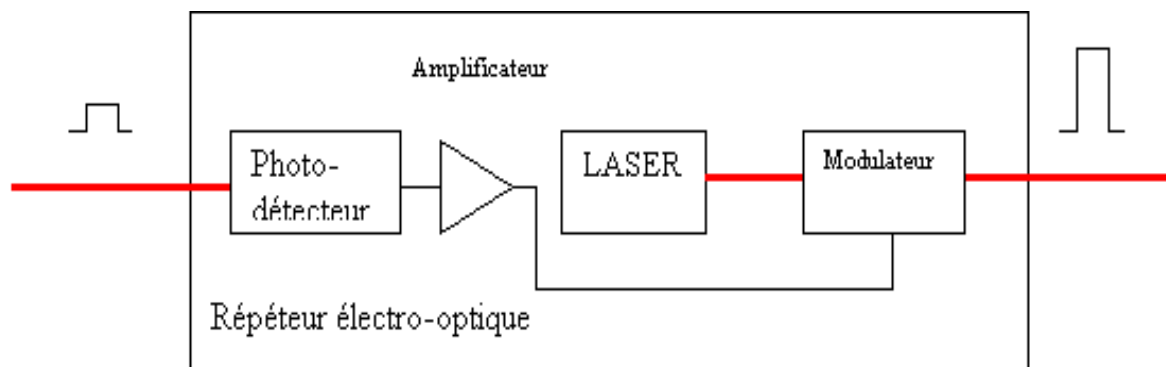


Figure 2.9 : Répéteur électro-optique.

#### 2.4.5.2. Amplification par dopage en Erbium (Doped Fiber Amplifier EDFA)

Le principe de l'amplification repose sur une réaction chimique entre les ions Erbium et le signal lumineux [16].

L'Erbium est un composant chimique qui peut être excité en présence d'un signal laser, d'une source lumineuse d'une longueur d'onde spécifique. Ce qui permet d'amplifier le signal transmis.

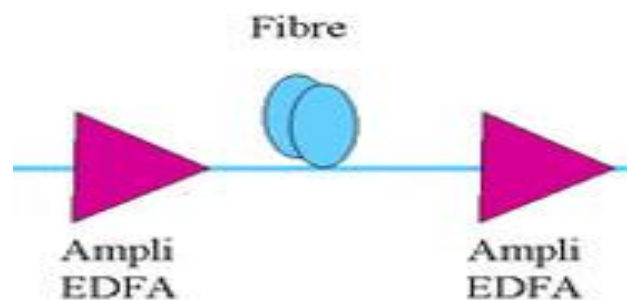


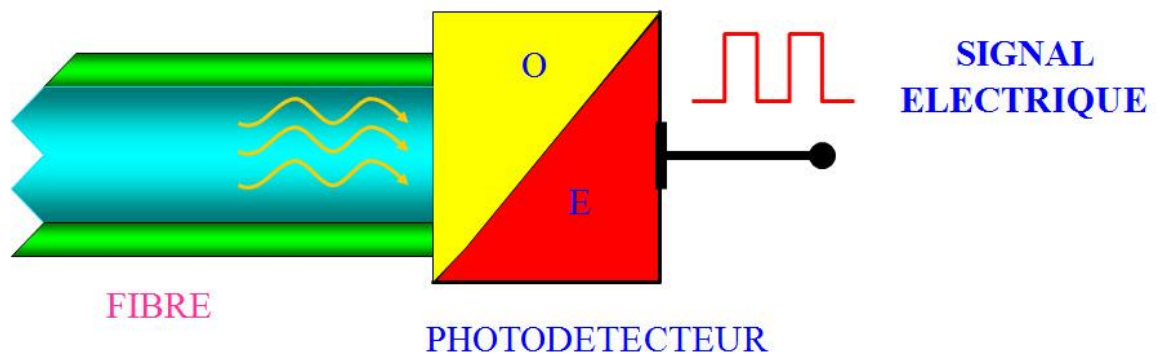
Figure 2.10: principe de l'amplificateur optique.

### 2.5. Récepteur optique

#### 2.5.1. Structure bloc d'un récepteur optique : (voir figure 2.11).

Le but du récepteur est d'extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu. Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des récepteurs optiques devant remplir certaines conditions, par exemple ; une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement, une large bande passante (réponse à grande vitesse),

bruit minimum (courant d'obscurité le plus faible possible), grande fidélité de reconstitution du signal et une bonne stabilité en température [16].



**Figure 2.11:** Structure bloc d'un récepteur optique.

### 2.5.2. Photodétecteurs

Le photodétecteur est un semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse qui permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique.

### 2.5.3. Différents types de photodétecteurs [12]

Les photodiodes peuvent être classées en deux catégories : celles à base de la jonction PN et PIN, et celles qui sont basées sur le phénomène d'avalanche (APD).

#### 2.5.3.1. Photodiode PIN

Ce sont des dispositifs à semi-conducteurs qui possèdent une région intrinsèque prise en sandwich entre une région de type p et une région de type n. Lorsqu'elle est polarisée en inverse, ce composant émet un courant proportionnel à la puissance optique incidente.

#### 2.5.3.2. APD (Avalanche Photo Diode)

Ce sont des composants semi-conducteurs qui réagissent à l'intrusion de photon dans la zone de jonction PN par le déclenchement d'une avalanche électronique. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir d'un certain nombre de photons incidents.

Les photodétecteurs de type APD présentent de meilleures performances que les types PIN. Leur coût est également plus élevé.

#### 2.5.4. Caractéristique d'un photodétecteur

Le photodétecteur est caractérisé par [11]:

- **Rendement quantique**

Il nous renseigne sur le taux de conversion des photons en paires électron-trous. Il est défini comme étant le rapport entre le nombre d'électron créés ( $n_e$ ) et le nombre de photon incident ( $n_p$ ).

$$N_q = n_e / n_p \quad (2.2)$$

#### 2.6. Les fenêtres utilisées dans les télécommunications optiques

La fibre en silice (Si), actuellement utilisée pour les télécommunications optiques, présente trois bandes d'intérêts appelés fenêtres optiques [12]:

- **0.85 $\mu$ m (première fenêtre optique)**

Utilisée généralement pour la transmission d'informations sur de courtes distances (5 Km pour une perte par absorption de 90% du signal et grande dispersion  $>25$  ps<sup>2</sup>/Km).

- **1.31 $\mu$ m (deuxième fenêtre optique)**

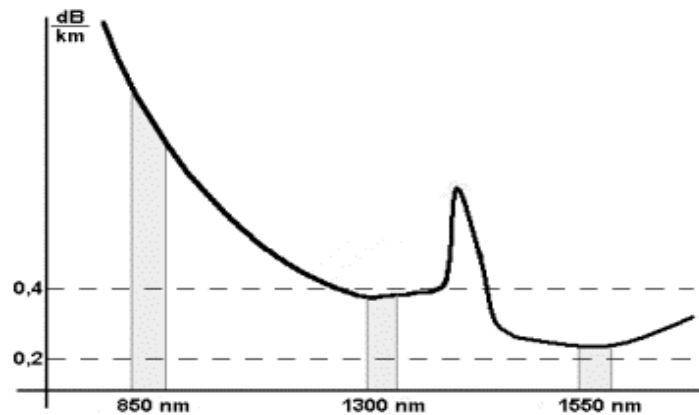
Elle est utilisée pour un réseau de communication standard ( $<80$  Km), et est caractérisée par une dispersion nulle dans la fibre.

- **1.55 $\mu$ m (troisième fenêtre optique)**

Utilisée pour les réseaux de télécommunication à longue distance ( $>100$  km), elle nécessite des amplificateurs optiques.

La transmission d'information sur fibre optique en silice ne peut donc se faire que dans ces trois fenêtres optiques, et sachant que les pertes par absorption décroissent rapidement de la première à la troisième fenêtre. La première fenêtre reste historique et ne permet que des transmissions locales (quelques centaines de mètres). L'intérêt du deuxième est l'absence de

la dispersion, quant à la troisième c'est la faible atténuation. On utilise le WDM pour la deuxième fenêtre tandis que dans la troisième fenêtre, on peut y aller jusqu'à DWDM.



**Figure 2.12:** Atténuation linéique d'une fibre optique (cœur en silice).

## 2.7. Les techniques de multiplexages

### 2.7.1. Multiplexage TDM [14]

La technologie TDM (Time Division Multiplexing ou Multiplexage Temporel) permet d'échantillonner les signaux de différentes voies à faible débit et de les transmettre successivement sur une voie à haut débit en leur allouant la totalité de la bande passante.

Le principe du multiplexage temporel appliqué aux télécommunications optiques est illustré dans la figure ci-dessous. Les différentes voies à faible débit (100Mb/s) sont adressées successivement sur le canal à haut débit ( $N \times 100\text{Mb/s}$ ). Le "mélange" des voies faible débit se fait par l'intermédiaire du multiplexeur temporel (MUX) les signaux sont récupérés ensuite grâce au démultiplexeur (DEMUX) qui fait l'opération inverse. Entre le MUX et le DEMUX, on retrouve le système optique de base (Laser-Fibre-Détecteur).

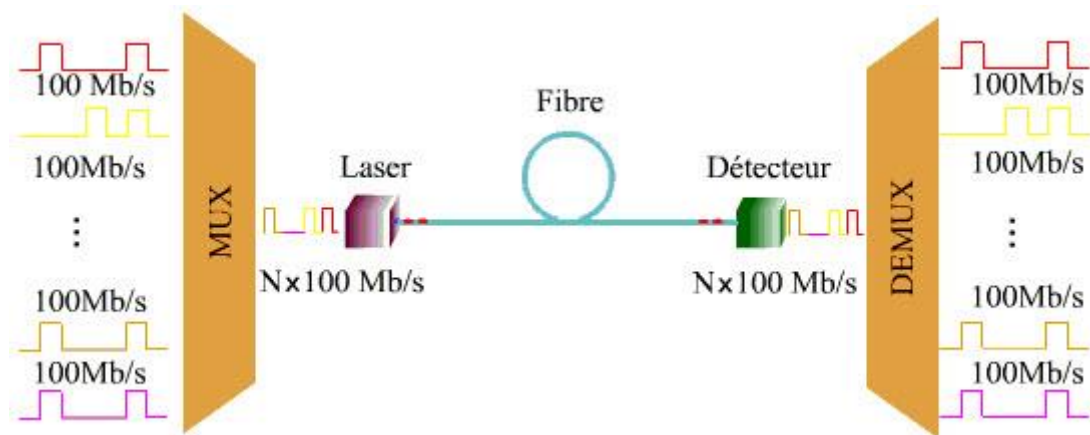


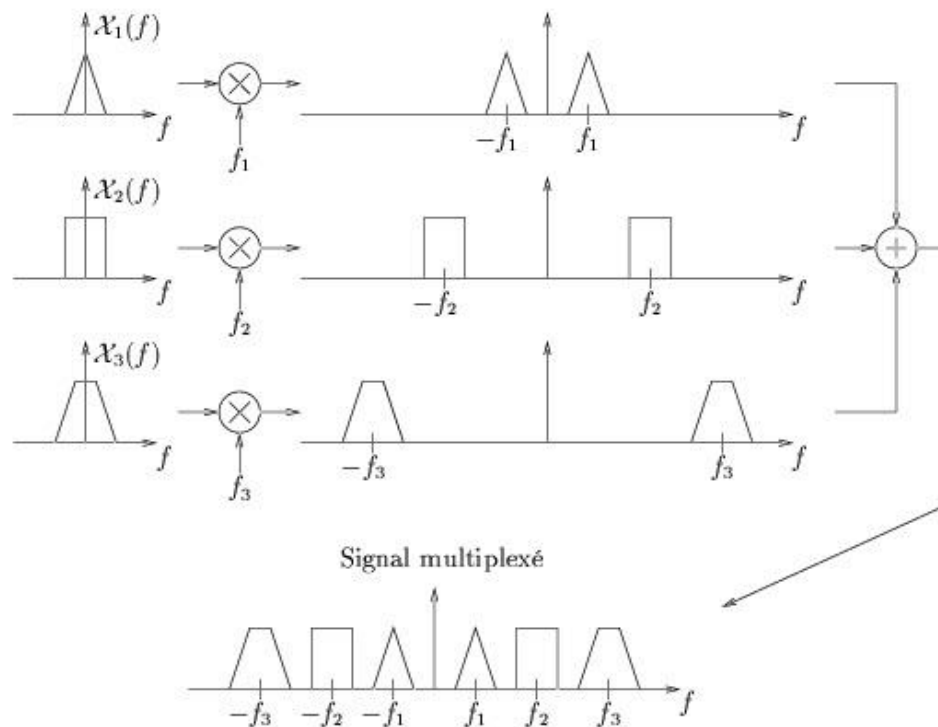
Figure 2.13 : Technique de multiplexage.

### 2.7.2. Multiplexage FDM [15]

L'utilisation de certains supports de transmission exige un partage adéquat des ressources fréquentielles. Il faut savoir que des signaux qui occupent des bandes fréquentielles distinctes n'interfèrent pas.

La technique de multiplexage par répartition en fréquences consiste à former un signal composite par translation fréquentielle de certains signaux. La figure 2.14 en illustre le principe.

On dispose d'une série de signaux  $X_i(f)$  en bande de base à transmettre simultanément. Au moyen de mélangeurs accordés à des fréquences spécifiques, le spectre de chaque signal est déplacé le long de l'axe des fréquences et ajouté au signal multiplex de manière à couvrir une certaine plage fréquentielle, tout en évitant un chevauchement en ménageant des bandes de garde entre les signaux. Le signal multiplexé est transmis au récepteur qui doit extraire un à un tous les signaux au moyen de mélangeurs accordés aux mêmes fréquences qu'à l'émission



**Figure 2.14 :** Multiplexage fréquentiel.

### 2.7.3. Multiplexage WDM

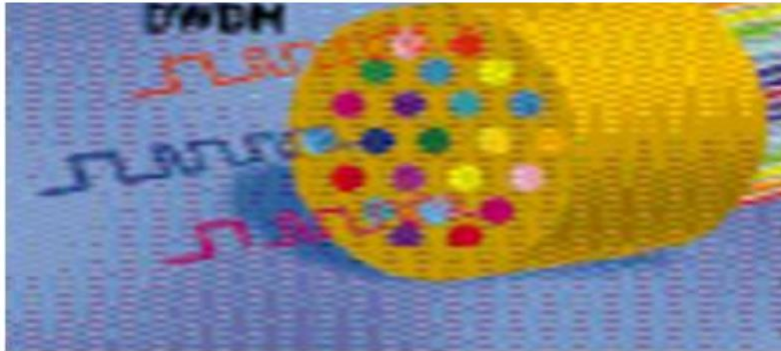
#### 2.7.3.1. Introduction

Avant l'apparition du multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing), l'accroissement de la capacité de transmission d'une liaison passait par la multiplication des lignes de transmission et l'empilement des répéteurs-régénérateurs. Le WDM a changé radicalement la donne. Avec lui, une seule fibre optique suffit pour transmettre plusieurs signaux de "couleurs" différentes (ou canaux) en même temps. L'ensemble des répéteurs-régénérateurs d'un site géographique a été remplacé par un seul équipement : l'amplificateur optique. Le WDM évite ainsi tous les coûts de génie civil de repose de fibre optique [16].

#### 2.7.3.2. Principe

Le principe du WDM est très simple en soit :

Le but est de faire circuler plusieurs longueurs d'ondes sur une même fibre optique. Chaque longueur d'onde est représentée par une couleur. Chaque couleur est retransmis sur un canal différent.



**Figure 2.15** : Principe du WDM.

Avec un nombre de canaux exploité qui ne cesse d'augmenter, le WDM apporte une nouvelle solution évolutive dans les télécommunications [16].

### **2.7.3.3. Fonctionnement général du WDM**

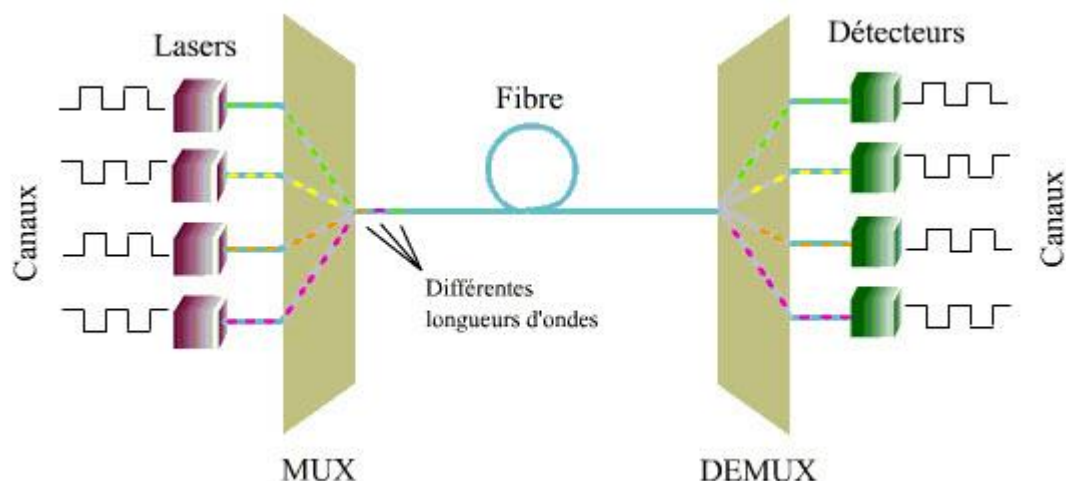
La technologie du WDM est représentée par deux terminaux reliés par un lien optique monomode. Le premier est un multiplexeur, le second un démultiplexeur.

Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur. Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Etant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroner l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger de changer la longueur d'onde d'un des deux signaux. Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal.

Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'ondes données. Il a donc connaissance des longueurs d'ondes qui circulent dans le lien optique. Le démultiplexeur va donc pouvoir récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé.



L'intérêt de la fibre optique est que ces signaux ne peuvent se confondre, à la réception ils seront parfaitement distingués.



**Figure 2.16 :** Fonctionnement du multiplexage WDM.

On réalise le multiplexage principalement dans des fibres monomodes. A partir de plusieurs lasers à spectre fin ou d'un seul à spectre large, on réalise un échantillonnage de longueurs d'onde de l'ordre du 1/10ème de nanomètre. On parvient à l'heure actuelle à réaliser 256 canaux dans une seule fibre. Les différentes technologies du WDM :

➤ **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing):**

La technologie WDM est dite dense lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'onde est égal ou inférieur à 100 GHz. On l'emploie désormais pour les transmissions à longues distances. Dans la pratique, cela signifie qu'on fait passer dans une même fibre beaucoup de signaux portés par des fréquences très rapprochées les unes des autres.

➤ **U-DWDM (Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing):**

Permet jusqu'à 400 canaux de transmission.

➤ **CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing):**

Seulement 8 à 16 canaux, mais une technologie moins coûteuse utilisable notamment pour les boucles locales [16].

## 2.8. Conclusion

L'étude des liaisons point à point optique nécessite une étude sur chacun des éléments intervenants dans la chaîne de transmission, ce qui permet de voir les caractéristiques du signal transmis, la fibre permet le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.

Les composants optiques sont les moteurs de la révolution des réseaux optiques qui tendent vers le tout-optique avec ses optimisations performances (énormes capacités, défauts optimisés,...).

L'utilisation de la technologie WDM (multiplexage en longueur d'onde) permet d'exploiter complètement la très large bande passante de la fibre optique, donc on peut atteindre de très hauts débits (quelques Tbit/s). Pour cela on retrouve les deux axes déjà mentionnés augmentation du nombre de canaux et augmentation du débit par canal.

**Chapitre 3**  
**Simulation**

### 3.1.Introduction :

Pour mettre en relief notre travail, on présentera dans les pages qui suivent des simulations sous MATLAB des différentes techniques de multiplexages TDM, FDM et WDM.

Une interface graphique est un affichage dynamique, sous forme de menus, de boutons, des commandes accessibles à l'utilisateur, ainsi que des fenêtres interactives permettant à l'usager de modifier les paramètres et de visualiser les résultats.

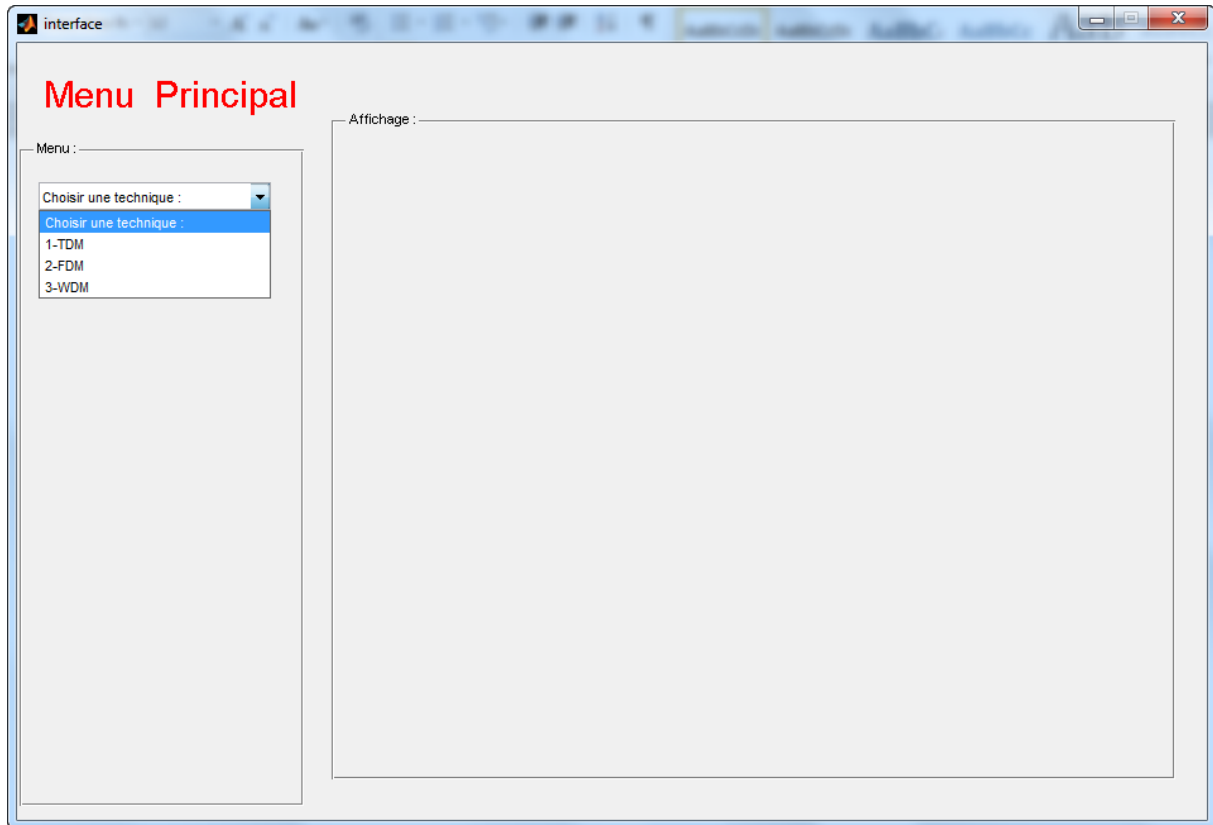
### 3.2.Présentation de l'interface :

En premier lieu on fait appel au répertoire du programme MATLAB, ensuite introduisant le mot « application » sur l'espace du travail pour lancer l'interface (voir figure 3.1)



**Figure 3.1 :** présentation de l'interface.

Puis, on appui sur le bouton « Lancer l'application » pour faire apparaître le menu principal (voir figure 3.2).



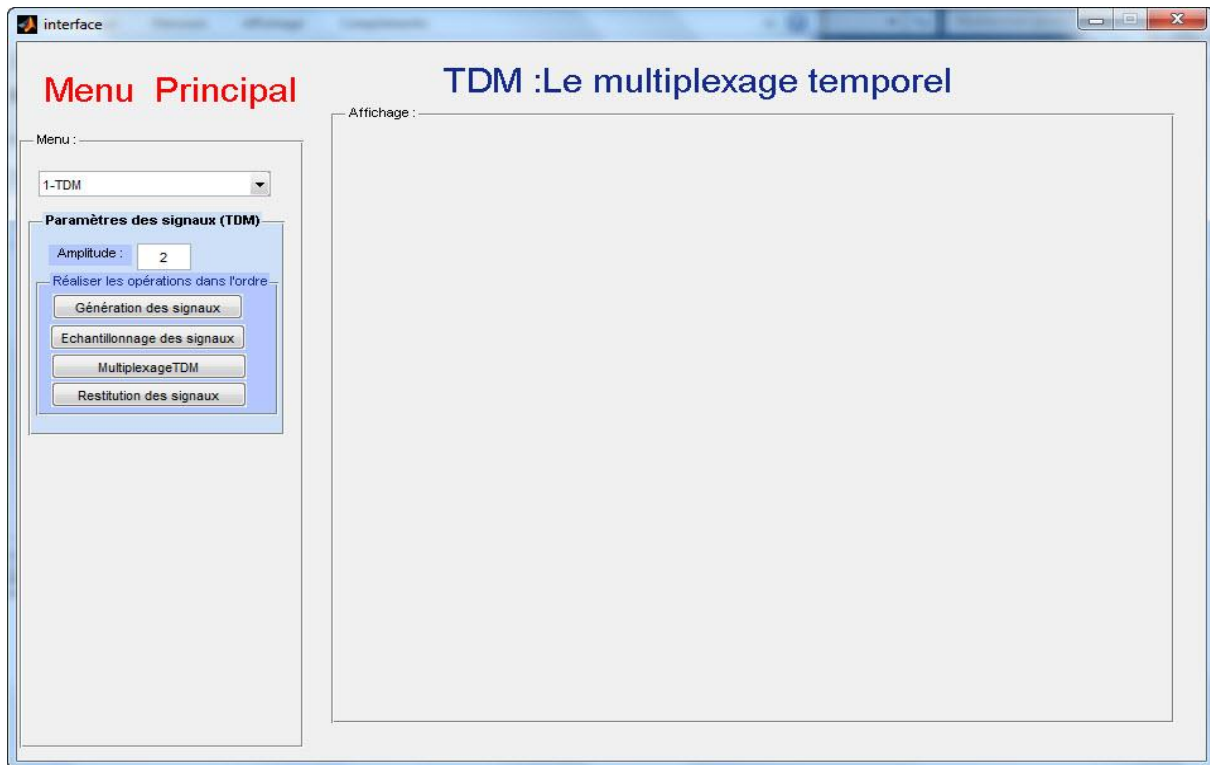
**Figure 3.2 :** menu principal.

On remarque sur cette figure qu'une partie « menu » est réservée pour sélectionner la technique désirée à simuler, et l'autre partie « affichage » est réservée pour afficher les graphes (les résultats de la simulation).

### **3.3.Simulation des techniques de multiplexages :**

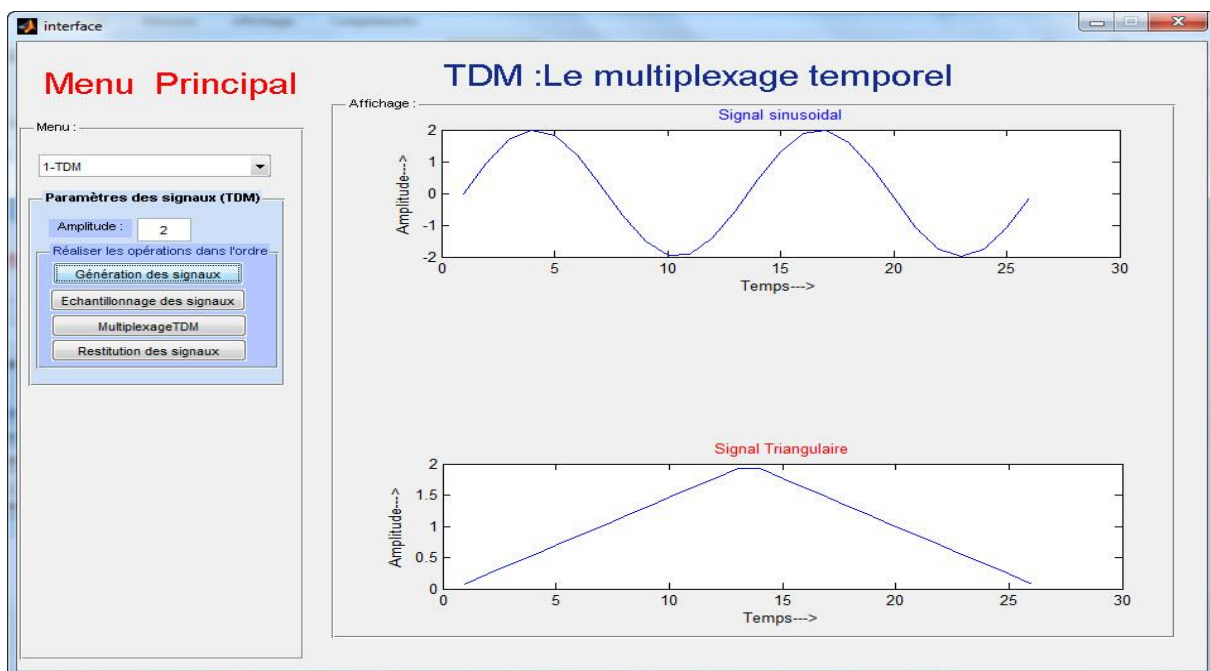
#### **3.3.1. Simulation de la technique TDM :**

On sélectionne dans la partie « menu » la technique « TDM », on aura dans cette partie les paramètres des signaux (voir figure 3.3).



**Figure 3.3 :** les paramètres des signaux

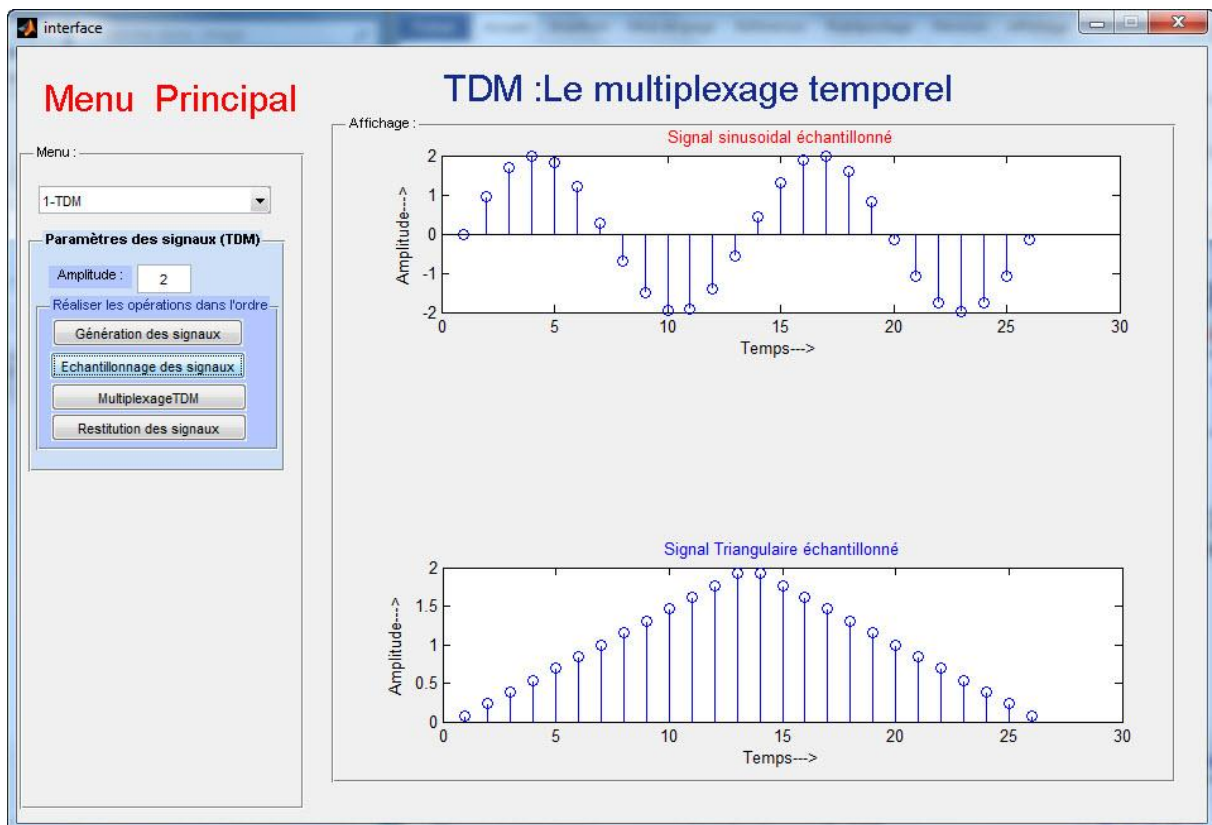
Avant d'entamer la simulation TDM, on va procéder à l'introduction de la valeur de l'amplitude des deux signaux, ensuite on va appuyer sur le bouton « Génération des signaux » pour générer deux signaux ; le premier est sinusoïdal, l'autre triangulaire (voir figure 3.4).



**Figure 3.4 :** Génération des signaux

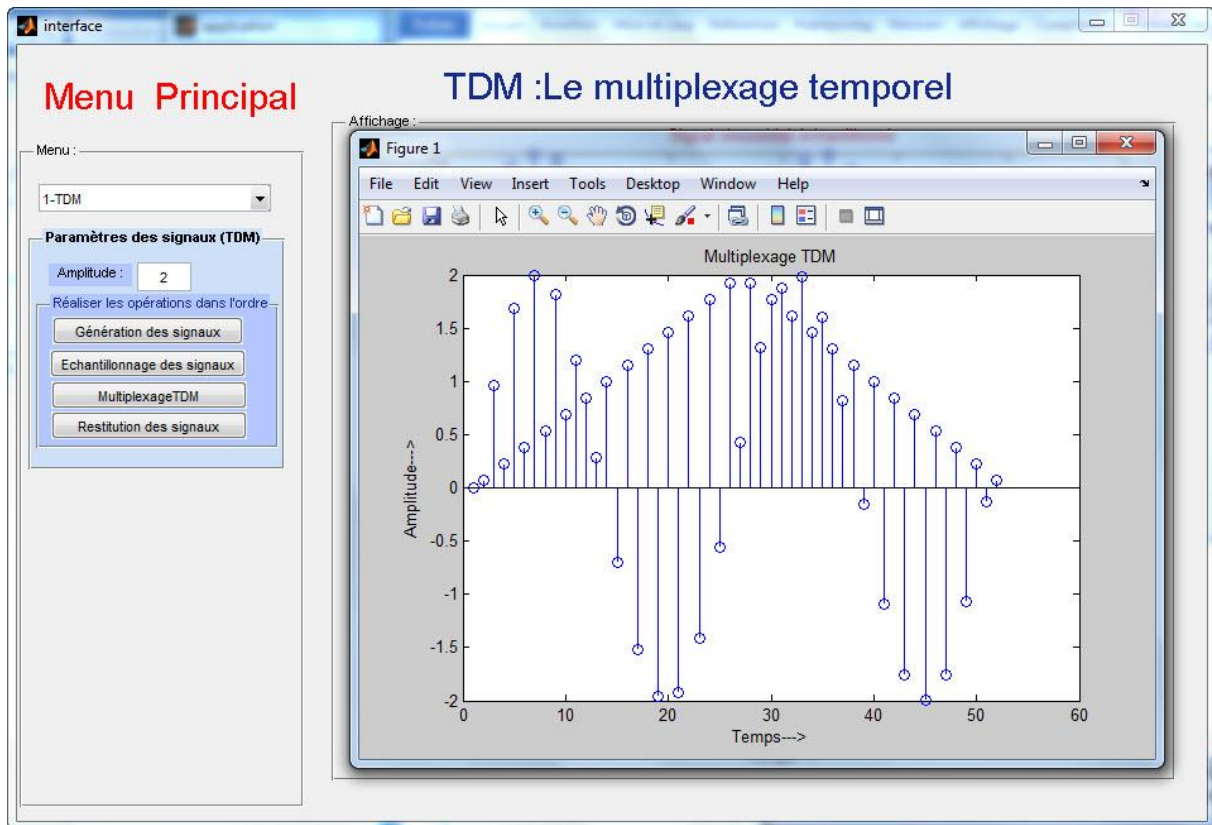
Pour transformer un signal analogique en un signal numérique, il faut le discrétiser. On va donc prélever régulièrement des échantillons du signal analogique pour le rendre discret et permettre ainsi sa numérisation.

On prend ainsi des valeurs de l'amplitude à des intervalles de temps régulier (tous les  $T_e$ , période d'échantillonnage) à une fréquence  $F_e$  dite fréquence d'échantillonnage. Suite à cette opération, on quantifie chaque échantillon par une valeur binaire (voir figure 3.5).



**Figure 3.5 :** l'échantillonnage.

Après avoir discrétiser les signaux (donner une valeur binaire pour chaque échantillon), on procède au multiplexage en transmettant échantillon par échantillon de chaque signal, autrement dit, le premier échantillon du premier signal, après celui du deuxième signal, puis on passe au deuxième échantillon de chaque signal, jusqu'au dernier échantillon, en respectant  $T_e$ . Les deux signaux multiplexés sont représentés sur la figure 3.6.



**Figure 3.6 :** les deux signaux à l'intérieur de la fibre optique.

Dans la dernière étape du TDM (à la réception), on va faire les démarches inverses comme le démultiplexage et le décodage (restitution des signaux originaux), en appuyant sur le bouton « Restitution des signaux » (voir figure 3.7).



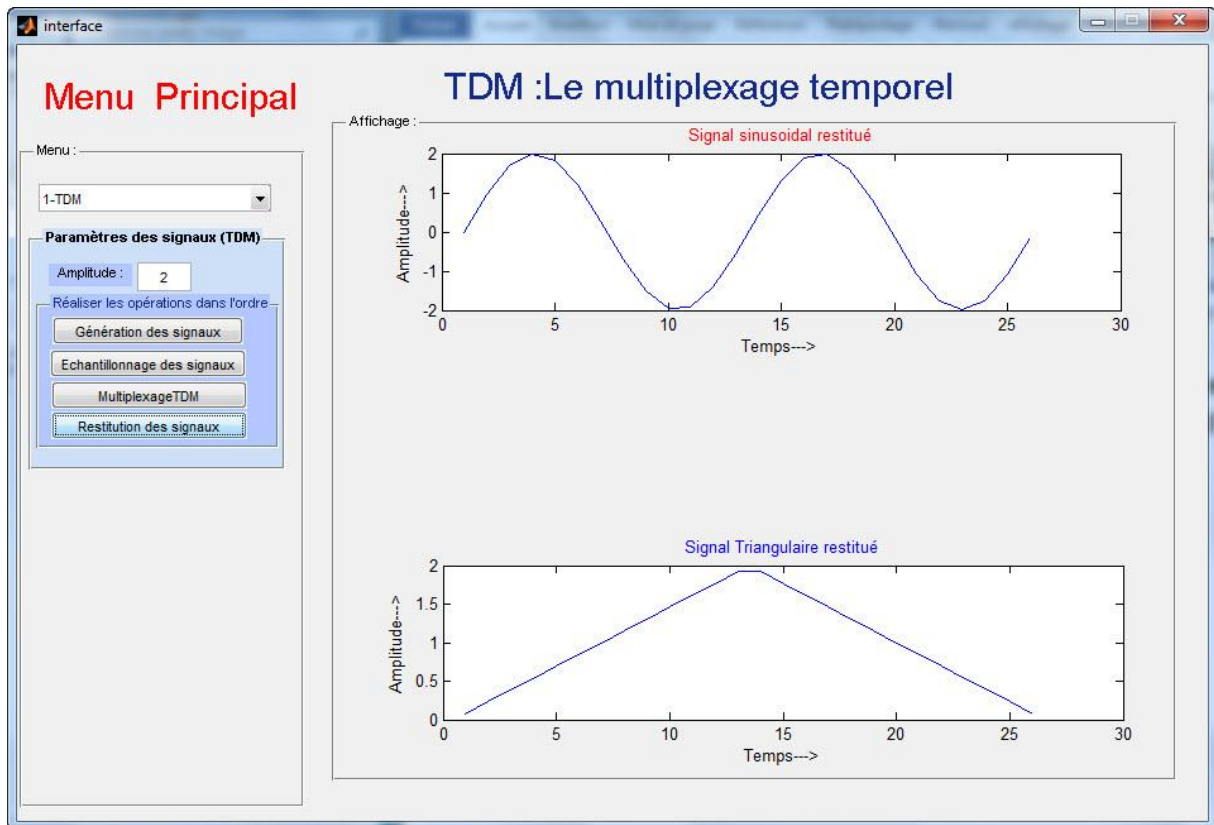
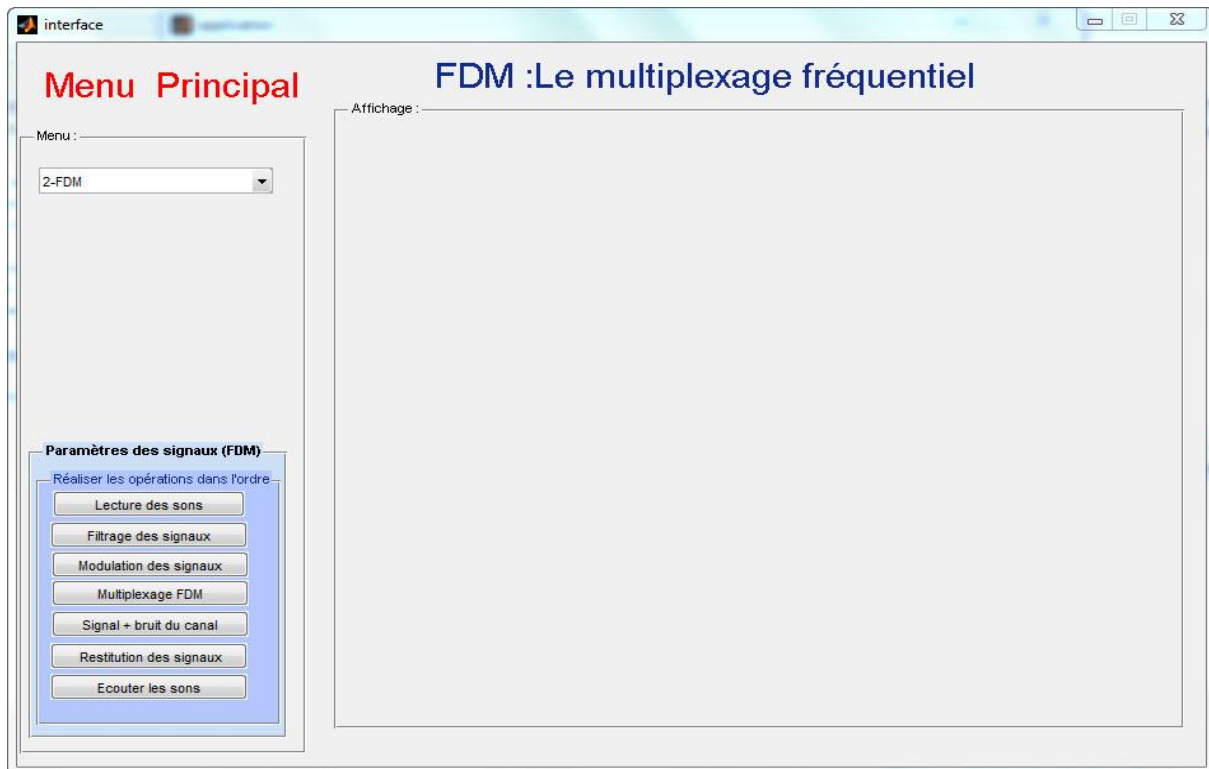


Figure 3.7 : restitutions des signaux originaux.

### 3.3.2. Simulation de FDM :

On sélectionne dans la partie « menu » la technique « FDM » on aura dans cette partie, les paramètres des signaux (voir figure 3.8).



**Figure 3.8 :** paramètres des signaux.

### 3.3.2.1.Émetteur :

Le bouton « Lecture des sons » permet de générer trois signaux de type son. (Voir figure 3.9).

Pour accéder à la transmission de ces signaux, il faut réaliser quelques étapes, citées dessous :

- **Filtrage :** en appuyant sur le bouton « Filtrage des signaux », la figure 3.10 apparait, on remarque que certaines fréquences sont éliminées, vu que les signaux sont passés à travers des filtres passe bas, de telle sorte à éliminer les hautes fréquences (les harmoniques non désirées).
- **Modulation :** en appuyant sur le bouton « Modulation des signaux», la figure 3.11 apparait. On remarque le changement de forme du spectre de fréquence, cela revient aux modulations des signaux sur des différentes porteuses, la technique de modulation utilisée est la modulation en amplitude ; elle permet de transmettre des informations à

longue distance grâce à la transposition du spectre du signal sur une bande de fréquence adaptée. Un signal modulé en amplitude varie au rythme du signal modulant.

Le signal modulé est le produit de deux signaux ; le signal à transmettre (signal modulant) et le signal appelé porteuse.

- **Multiplexage** : en appuyant sur le bouton « Multiplexage », la figure 3.12 apparaît. Elle montre que le multiplexage des trois signaux en FDM est réalisé, et ils sont prêts à la transmission.

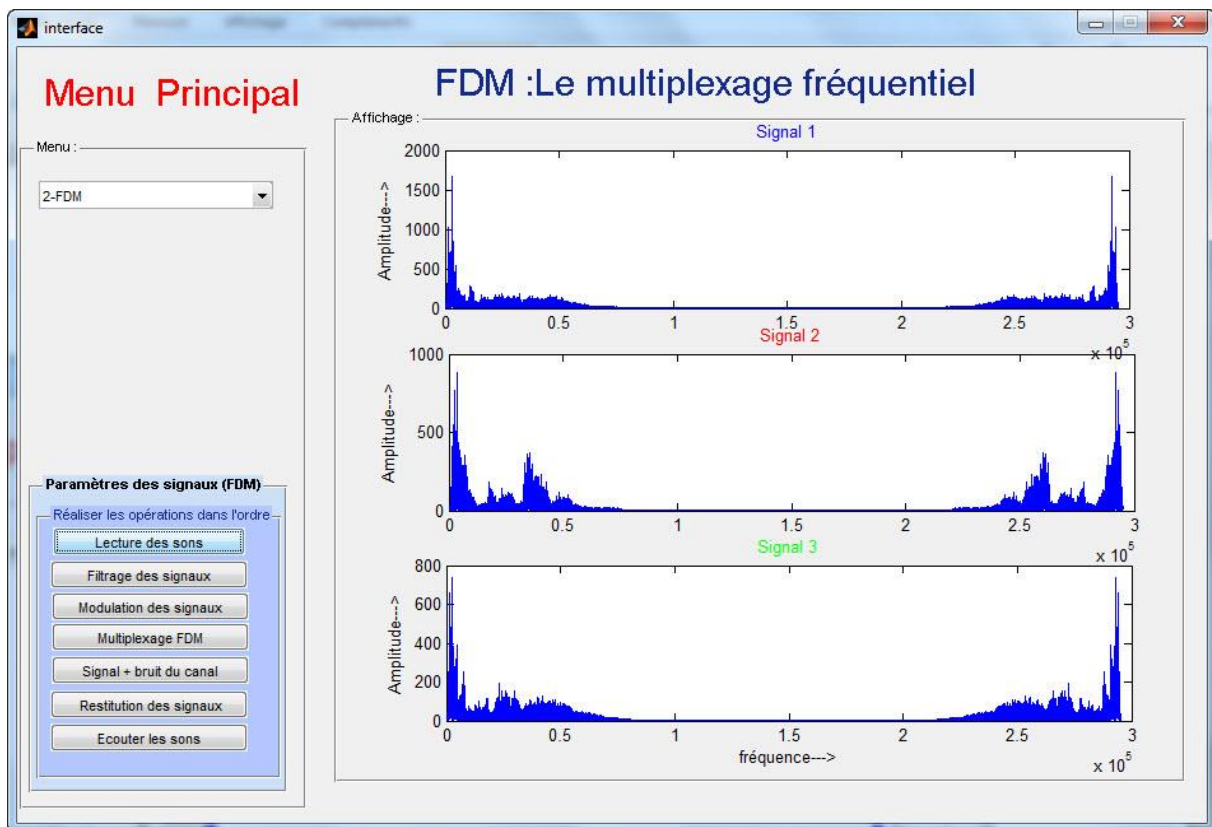


Figure 3.9 :Spectre des trois signaux (sons).

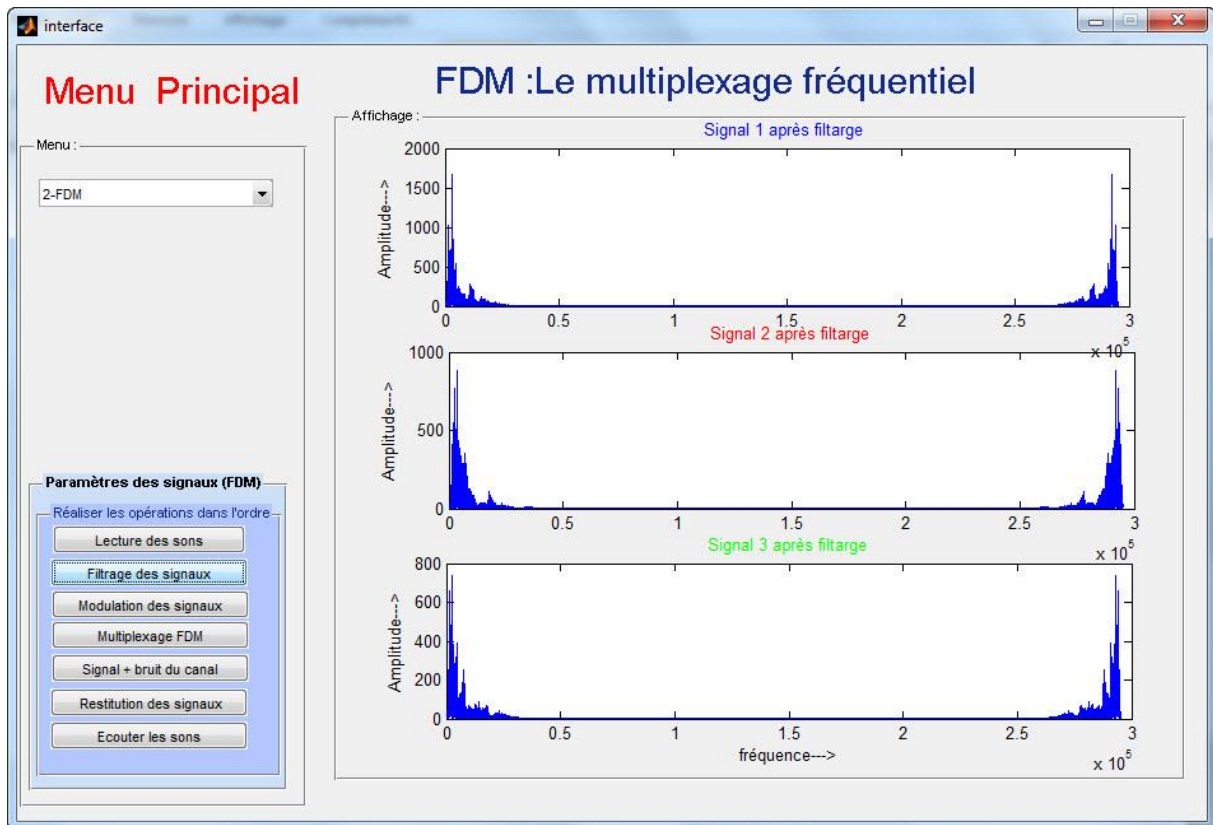


Figure 3.10 : Filtrage.

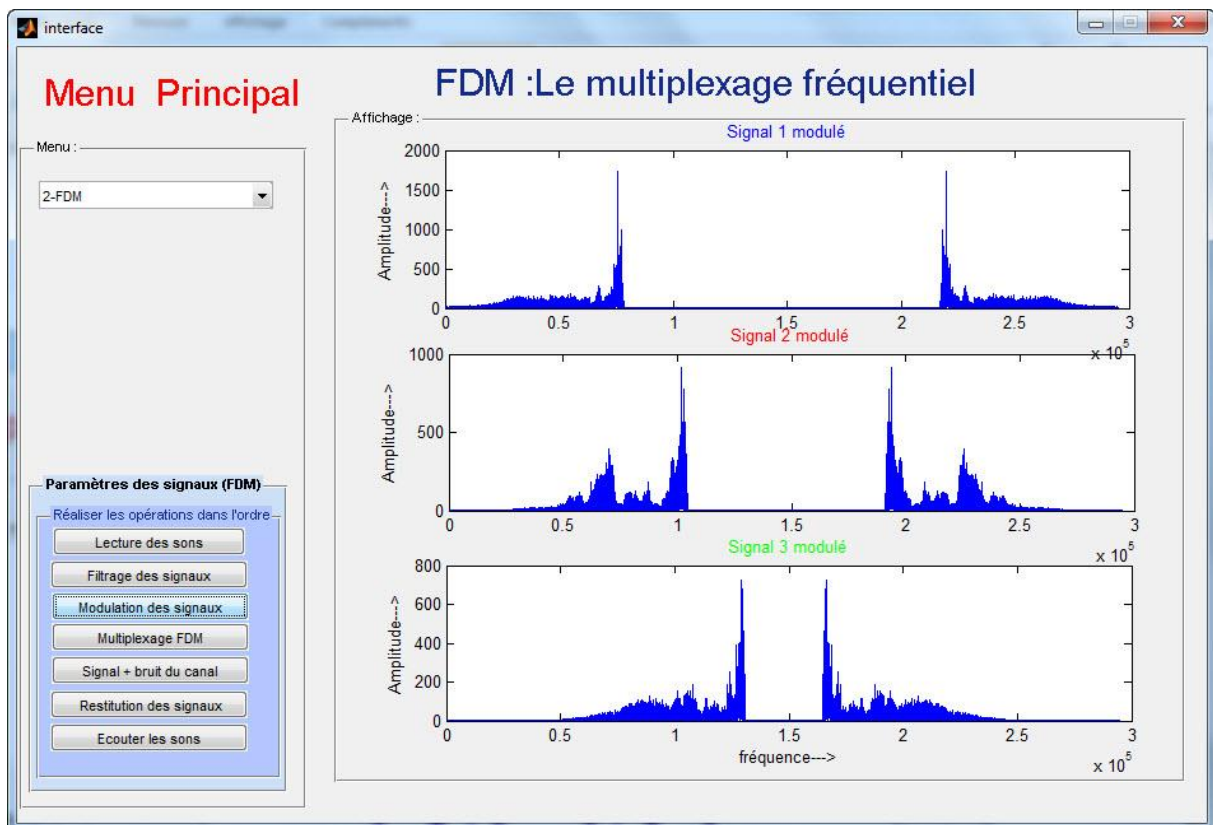


Figure 3.11 :Modulation.

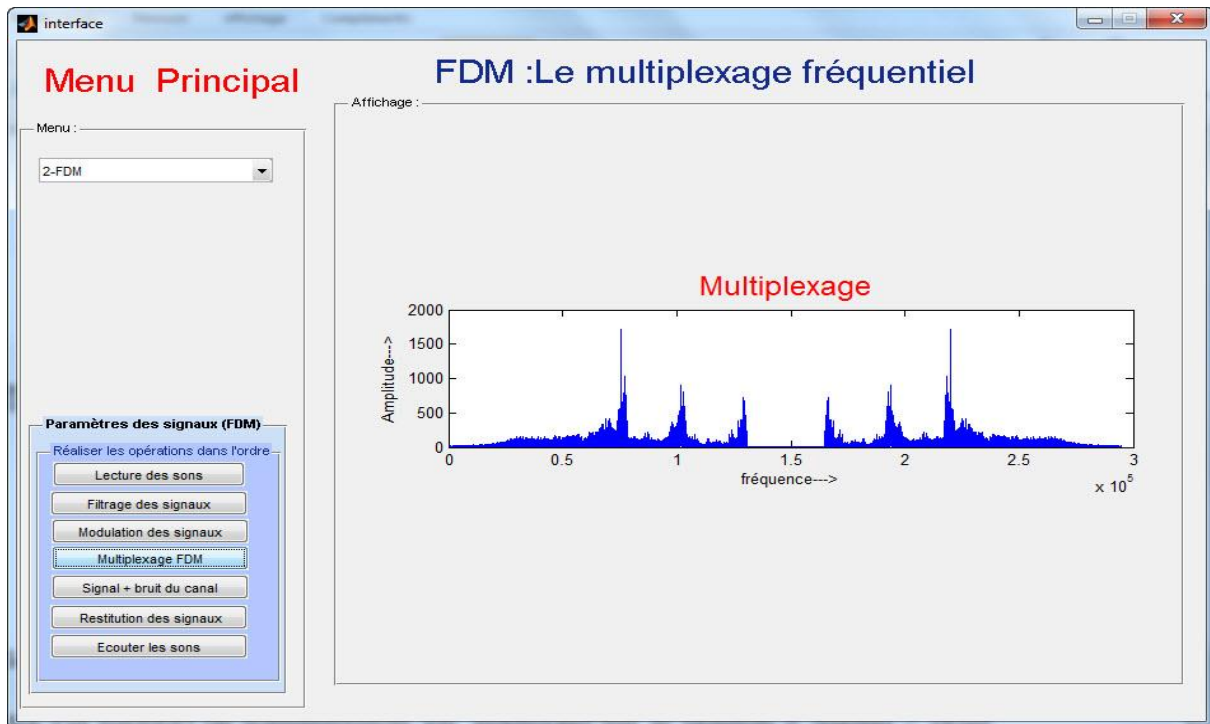


Figure 3.12 : Multiplexage FDM.

### 3.3.2.2. Support de transmission :

On transmet les trois signaux via support de transmission, en appuyant sur le bouton « Signal + bruit du canal » pour faire apparaître la figure 3.13, tout en remarquant sur le graphe que le signal est affecté par un bruit dû au canal de transmission.

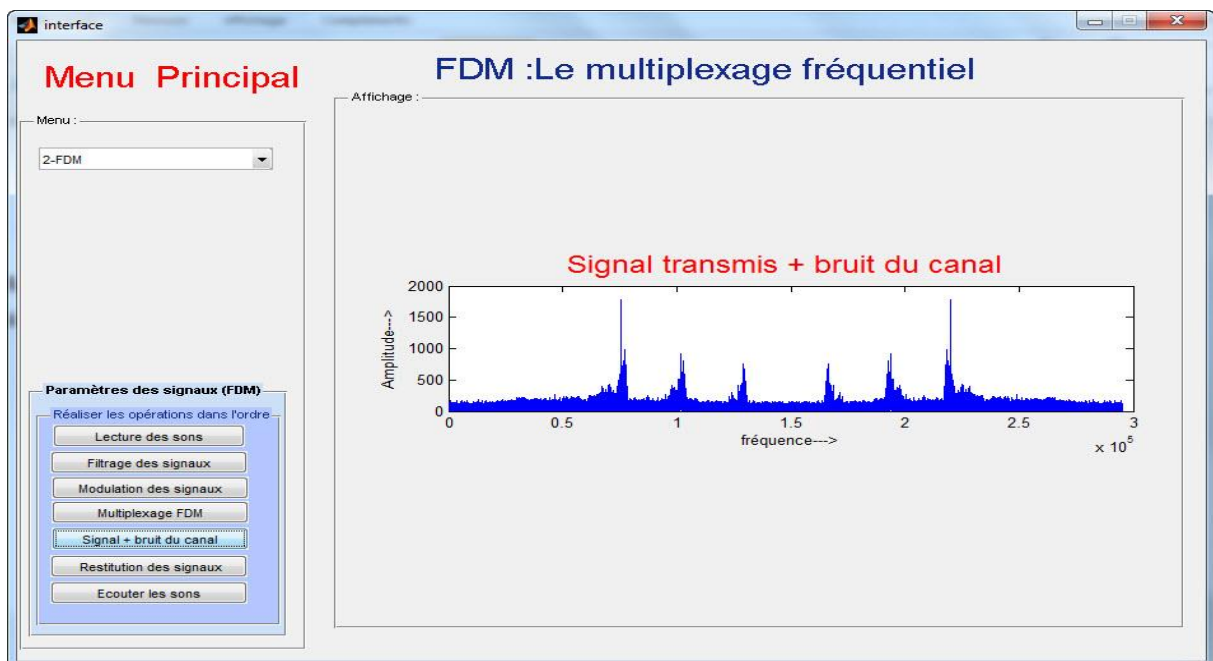
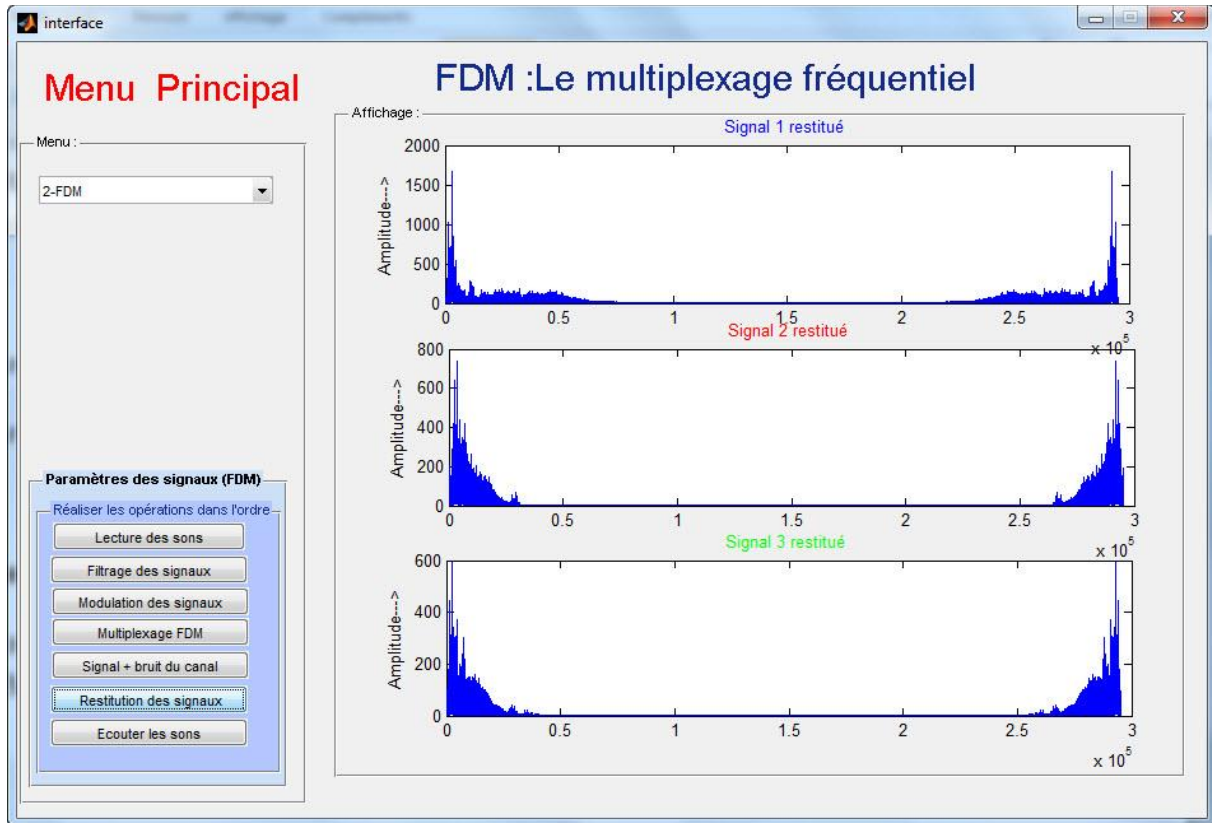


Figure 3.13 : Signal transmis affecté par le bruit du canal.

### 3.3.2.3. Récepteur :

A la réception on va procéder aux démarches inverses pour restituer les trois signaux (Sons) envoyés en appuyant sur le bouton « Restitution des signaux » (voir figure 3.14).

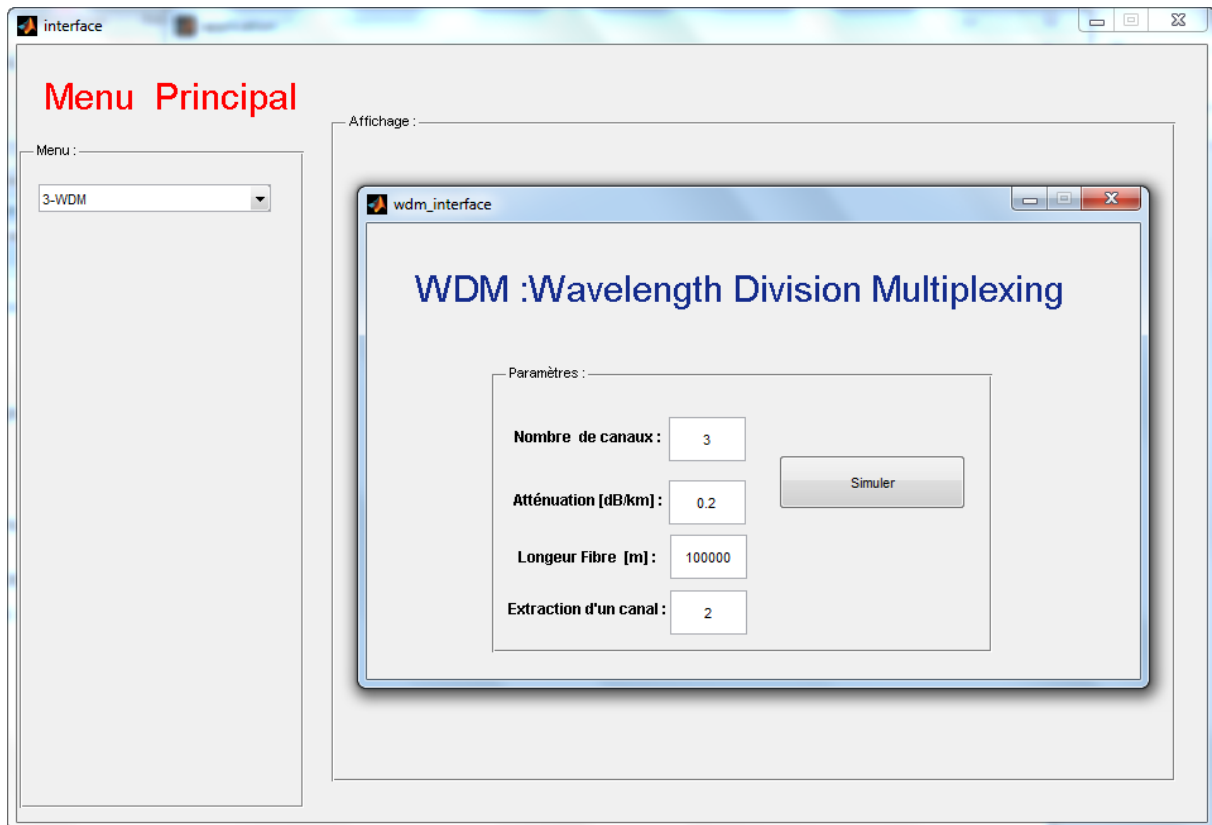


**Figure 3.14 :** Le spectre de fréquence de chaque Son à la réception.

**N.B :** en appuyant sur le bouton « Ecouter les sons », on entend même le bruit.

### 3.3.3. Simulation de WDM :

On sélectionne dans la partie « menu » la technique « WDM » et on aura dans cette partie les paramètres du WDM (voir figure 3.15).



**Figure 3.15:**paramètres du WDM.

Pour commencer la simulation avec WDM, on doit alors introduire les valeurs indiquées sur la figure 3.15, comme suit :

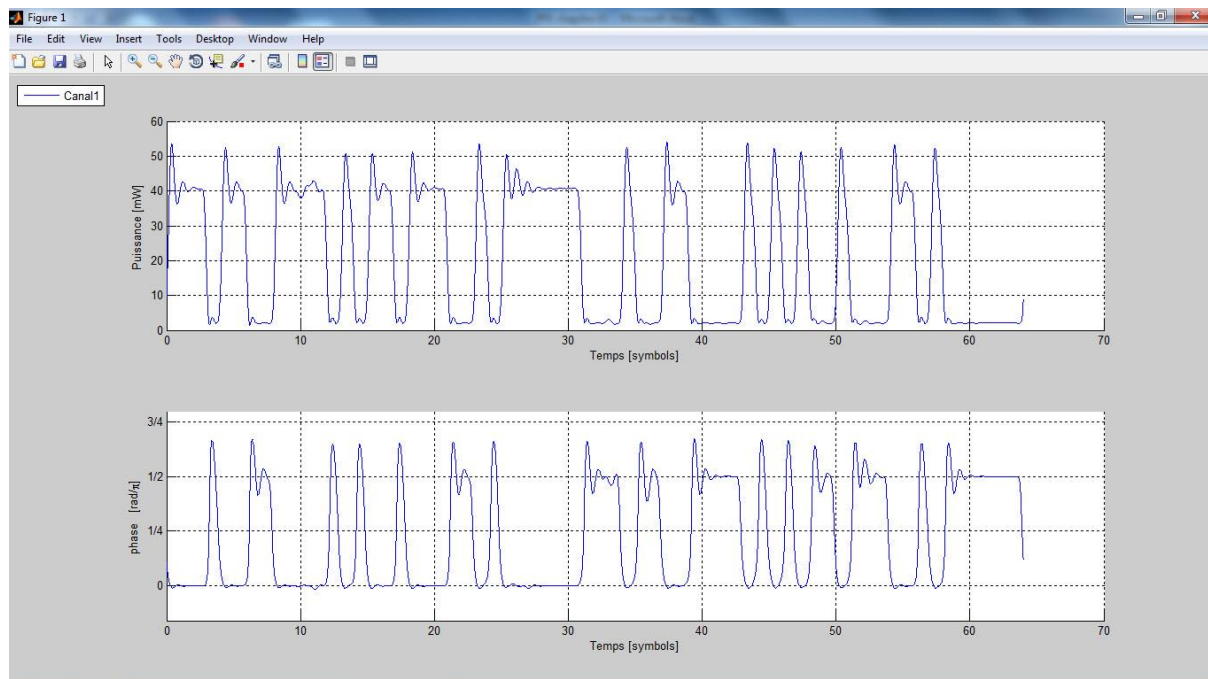
- **Nombre de canaux :** on a sélectionné trois (3) canaux (en WDM, on ne doit pas dépasser 16 canaux).
- **Atténuation [dB/Km] :** 0.2 pour une fibre optique monomode.
- **Longueur de la fibre [m]:** 100000m (100Km).
- **Extraction d'un canal :** on a choisi l'extraction du canal 2 (le choix du canal doit être inférieur ou égal au nombre des canaux).

Après avoir introduit et validé chaque paramètre, on appui sur le bouton « Simuler » pour démarrer la simulation. Des figures vont apparaitre ; les trois premières représentent les trois canaux à transmettre, ce sont des signaux aléatoires caractérisés par la puissance et la phase.

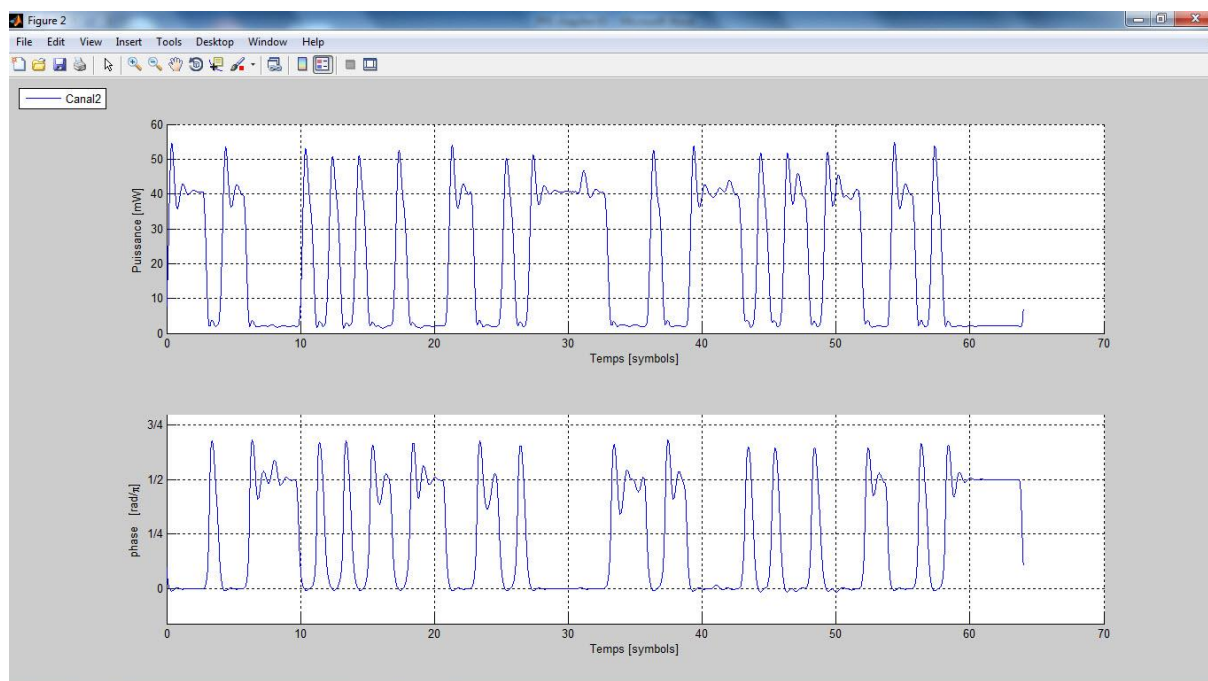
Les signaux originaux représentés en bleu sur les figures 3.16, 3.17 et 3.18 sont carrés, ils sont perturbés par l'étalement spectral du laser (dispersion matériau).

- La figure 3.16 représente le premier canal.

- La figure 3.17 représente le deuxième canal.
- La figure 3.18 représente le troisième canal.

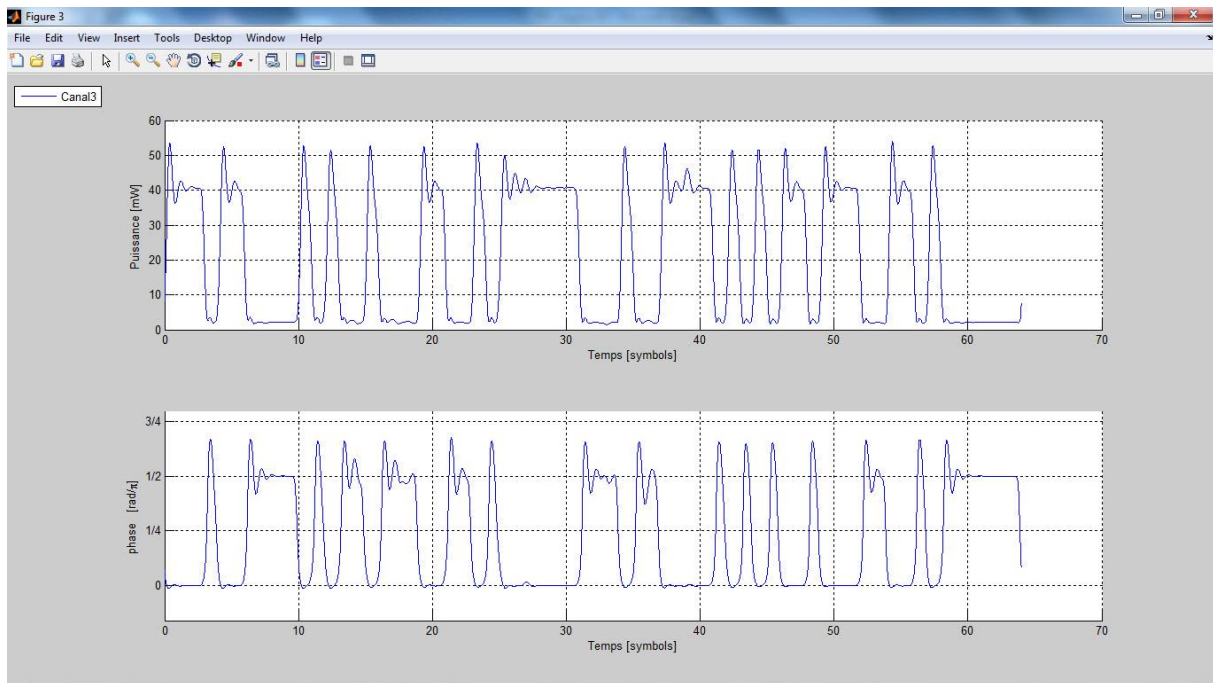


**Figure 3.16 : Canal 1.**



**Figure 3.17 : Canal 2.**

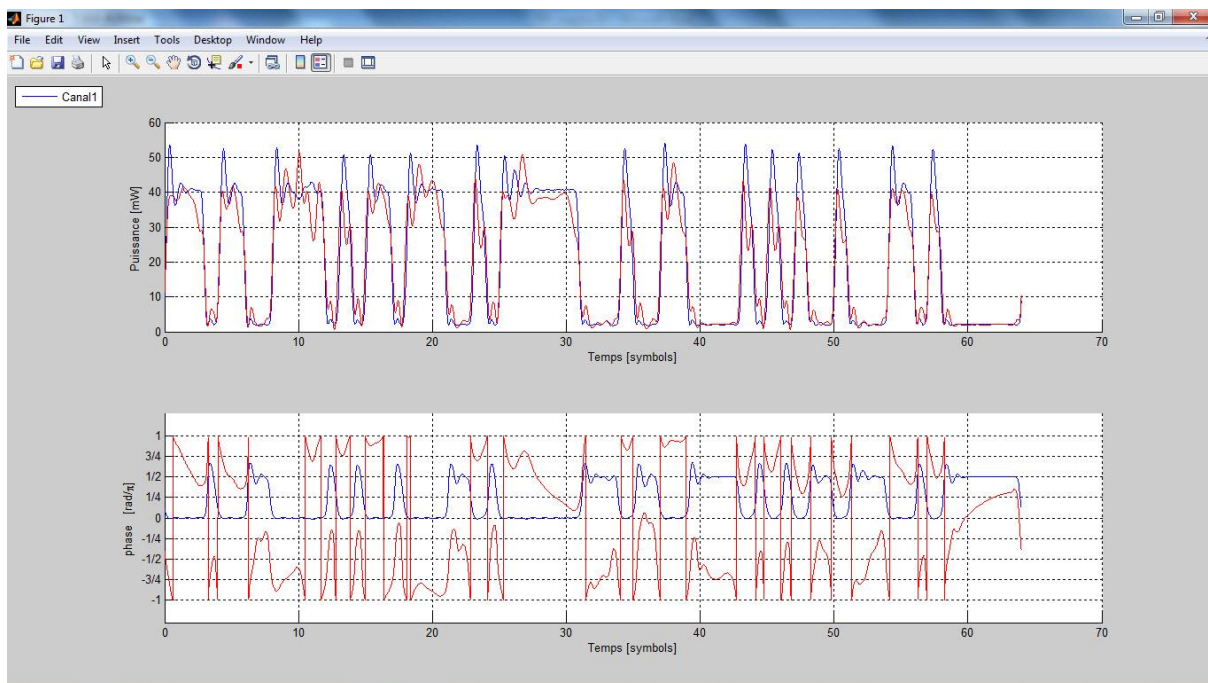




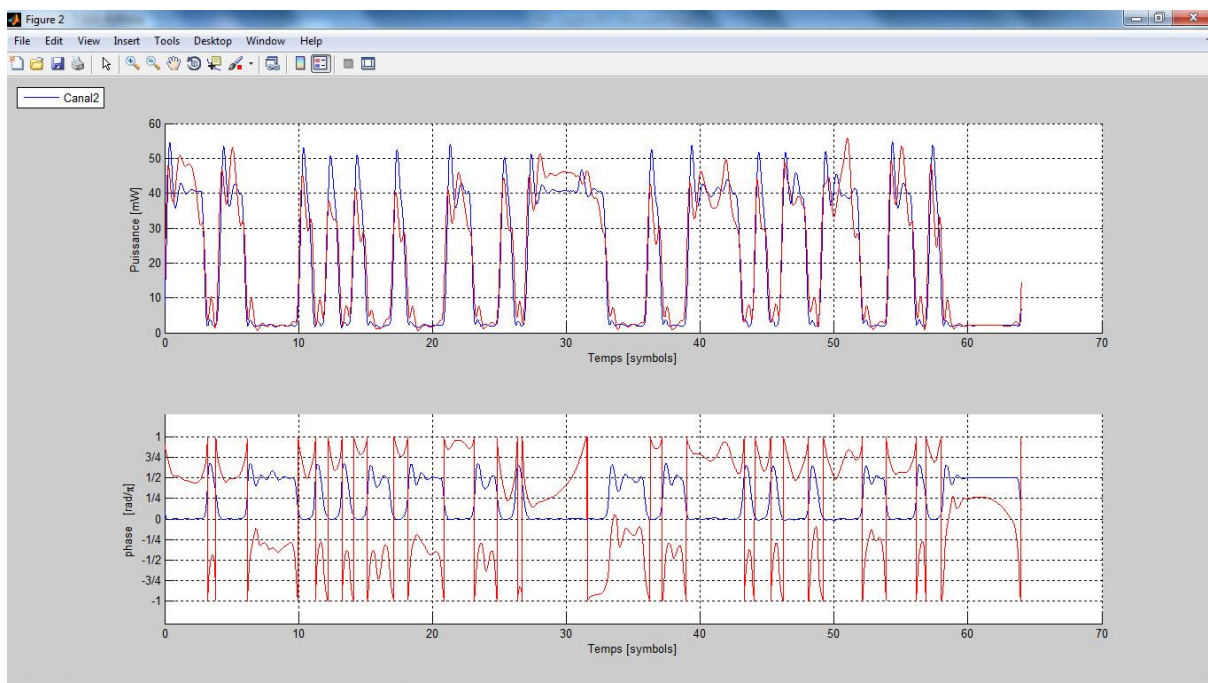
**Figure 3.18** : canal 3.

Après le multiplexage en WDM, ces canaux seront transmis (graphe en rouge), on remarque dans les figures qui suivent que les signaux sont décalés, cela est dû aux effets de la dispersion du guide dans la fibre optique.

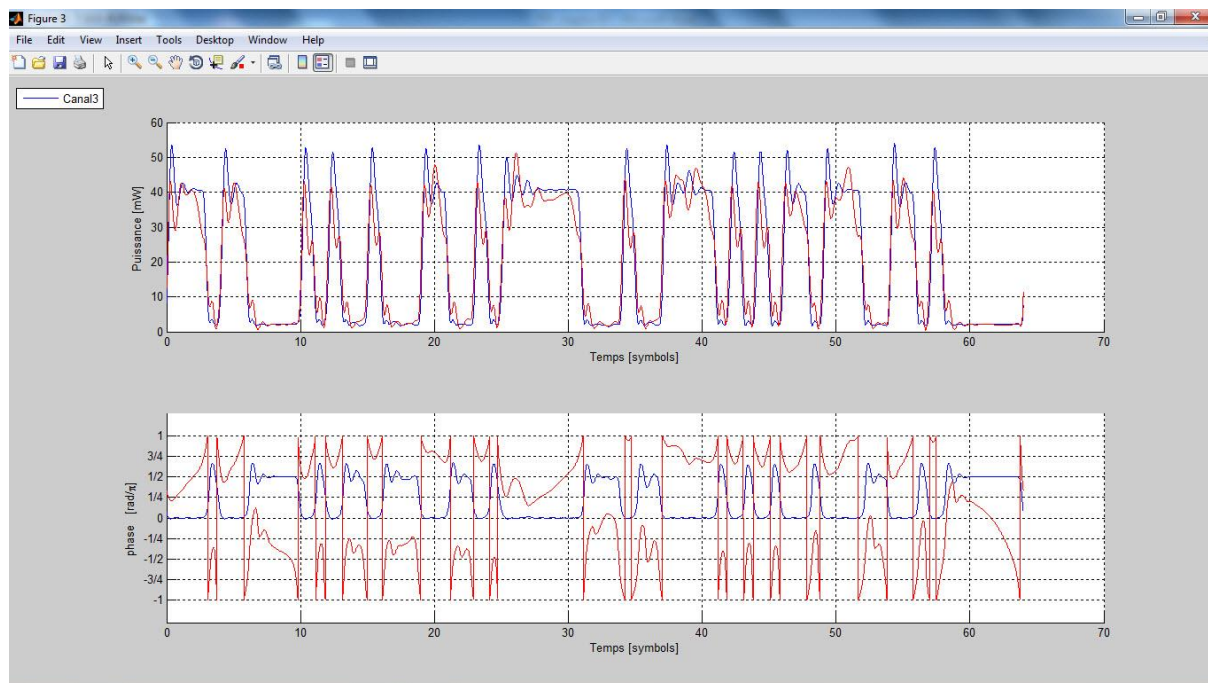
- La figure 3.19 représente le premier canal transmis.
- La figure 3.20 représente le deuxième canal transmis.
- La figure 3.21 représente le troisième canal transmis.



**Figure 3.19 : canal 1 transmis.**

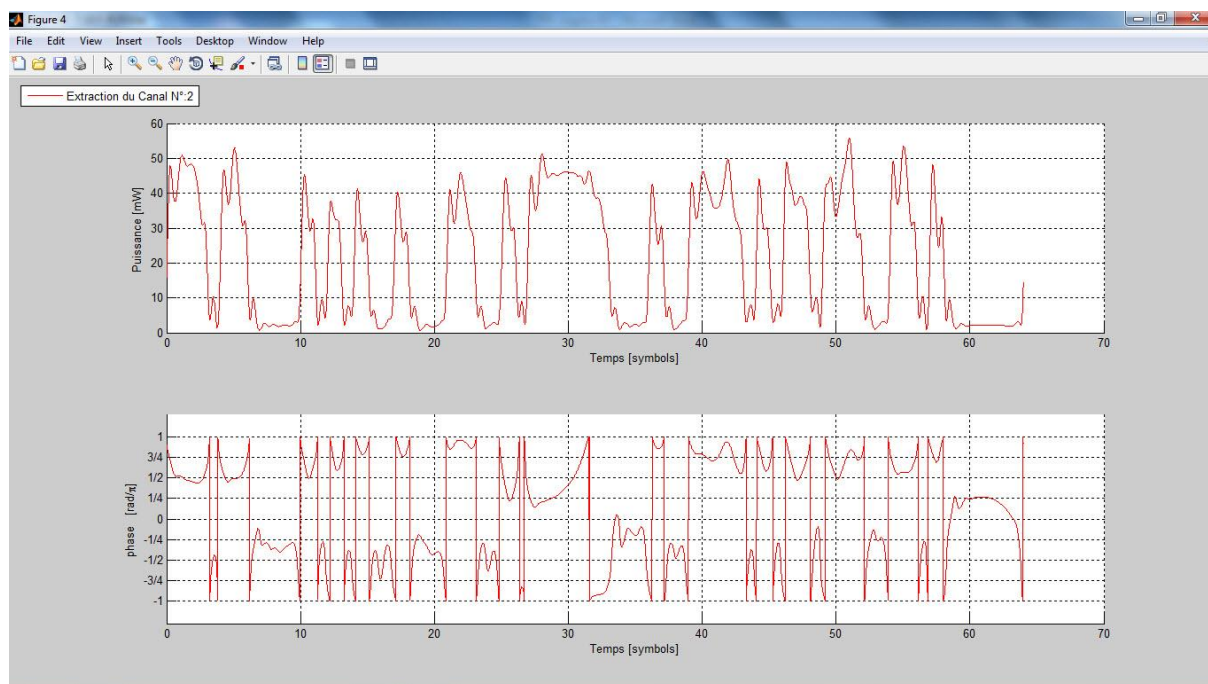


**Figure 3.20 : canal 2 transmis.**



**Figure 3.21 : canal 3 transmis.**

Enfin, on extrait au niveau de la réception le canal sélectionné, qui est le deuxième (voir figure 3.22).



**Figure 3.22 : Extraction du canal 2.**

### **3.4.Conclusion :**

D'après la simulation et les résultats obtenus, on constate que grâce aux techniques de multiplexage on peut atteindre des débits importants, en occupant la bande passante de la fibre, surtout avec le WDM.

On remarque aussi que la technique FDM est plus simple à mettre en œuvre, mais elle utilise moins efficacement la bande spectrale, du fait elle est peu utilisée sur fibre optique.

Finalement, on remarque aussi qu'il y a une différence entre les différentes techniques, par exemple dans le TDM on transmet échantillon par échantillon de chaque signal, par contre dans le WDM on peut y aller jusqu'aux 16 canaux, et on peut les transmettre en même temps.

# **Conclusion générale**

## CONCLUSION GENERALE

Les télécommunications ont fait d'énormes progrès depuis la transmission de quelques mots par Alexander Graham Bell en 1876. Depuis, l'essentiel des télécommunications à longues distances se font par l'intermédiaire d'un support en cuivre. Mais cette première génération de médiums a atteint depuis quelques années ses limites.

Cependant l'utilisation de la fibre optique, a permis de vaincre toutes ces limites, et cela grâce aux caractéristiques importantes que présente ce type de guide :

- ✓ La fibre optique dispose d'une bande passante importante, l'isolement à la perturbation électromagnétique extérieure par rapport aux autres supports de transmissions, mais elle est soumise à des perturbations telles que l'atténuation et la dispersion.
- ✓ la fibre permet le transport des débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.
- ✓ L'utilisation de la technologie WDM permet d'exploiter complètement la très large bande passante de la fibre optique, donc on peut atteindre de très hauts débits. L'augmentation du nombre de canaux revient à l'augmentation du débit.

Durant ce travail, on a procédé à la simulation des différentes techniques de multiplexage, TDM, FDM et WDM. Dans ce cadre une interface graphique sous MATLAB a été réalisée. L'analyse des différents résultats de simulation obtenus, nous a permis de constater que:

- ✓ grâce aux multiplexages on atteint le haut débit, en occupant la bande passante de la fibre, surtout avec le WDM.
- ✓ la technique FDM est plus simple à mettre en œuvre mais elle utilise moins efficacement la bande spectrale, du fait elle est peu utilisée sur fibre optique.
- ✓ Finalement, on remarque qu'il y a une différence entre les techniques; par exemple dans le TDM on transmet échantillon par échantillon de chaque signal, par contre dans le WDM on peut y'aller jusqu'à 16 canaux, et les transmettre au même temps.

# **Liste des acronymes**

## Liste des acronymes

Un certain nombre d'abréviations sont utilisées dans le langage technique, donnés sous norme française, et sous norme anglo-américaine. Elles sont explicitées ci-dessous, par ordre alphabétique, avec les correspondances anglais-français, lorsqu'il y a lieu.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier fiber.

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

TDM: Time Division Multiplexing.

FDM: frequency Division Multiplexing.

DGT : Direction Générale des Télécommunications.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

U-DWDM: Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing.

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

DEL : Diodes électroluminescentes.

DL : Diodes laser.

PIN : Positive Intrinsic Negative Photodiodes.

APD : Avalanche Photo Diode.

Si : Silice.

MUX : Multiplexeur.

DEMUX : Démultiplexeur.



# **Références bibliographiques**

## Référence bibliographiques

- [1] : Histoire sur la fibre optique: <http://fibre-optique.pagesperso-orange.fr/Pages/histoire.html>
- [2] : Projet de fin d'étude. « Liaison par fibres optiques à haut débit Etude de la Topologie en Anneau Optique ». Institut de télécommunication d'ORAN. Présenté par : Mr. CHERFAOUI Fayçal et Mr. ZEMANI Cherh Eddine. 2004
- [3] : Projet de fin d'études. « Etudes et caractéristique de la commutation optique ». Institut de télécommunication d'ORAN. Réalisée par Mr.Hamoune Mohamed et Mr Harhouz Amine. 2005
- [4] : La fibre optique et le guidage de la lumière : <http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Telecom/modes.html>
- [5] : Johan Powers. (2000). « Introduction to fiber optic systems ». 2eme édition, GRAWHILL INTERNATIONAL. ISBN : 0-0-116679-3.
- [6] : Les problèmes de transmission : <http://michaud.chez-alice.fr/prob.html>
- [7] : Ray Tricker. (2002). « Optoélectronique and fibre optique technologie ». Edition : Newnes. ISBN : 0750653701.
- [8] : Mémoire de magister. « Optimisation des performance d'une fibre optique dopée a l'erbium ». Présenté par Mr.Ghoumazi Mehdi. Université Mentouri de Constantine. 2010
- [9] : Projet de fin d'études magistère. « Etude d'un laser complètement fibré passivement Q-déclenché en mode loking ». Réalisé par BOUDIA Naima. Université Mouloud MAMMERI Tizi-ouzou. 2011.
- [10] : Projet de fin d'études. « Etude de la qualité de service d'un chemin optique dans réseau commute tout-optique ». Réalisé par ZAMMEL Karimécole supérieure de communication de Tunis. 2004/2005.
- [11] : Projet de fin d'études. « Transmission de données par voie optique ». Présenté par: M. KAABACHE Nouri et M. GACEMI Larbi, Institut de télécommunication d'ORAN. 2004/2005.
- [12] : Projet de fin d'études. « Etude et simulation d'une transmission WDM ». Présenté par: Mr.Kacemi Moustafa et Mr Bellil Hadj Benfreha. Institut de télécommunication d'ORAN. 2005/2006.
- [13] : Technique de modulation : [http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/modulation.html](http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/modulation.html)

[14] : Commutation optique : multiplexage : <http://wapiti.telecom-lille1.eu/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesrio2003ttnfa04/combet-guillaud/html/multiplexage.htm>

[15] Multiplexage et accès au multiplex :

[http://www2.ulg.ac.be/telecom/teaching/notes/multimedia/node63\\_ct.html#SECTION004243](http://www2.ulg.ac.be/telecom/teaching/notes/multimedia/node63_ct.html#SECTION004243)

[16] THÈSE présentée devant L'UNIVERSITÉ DE RENNES I, Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Rennes I Mention : SCIENCES PHYSIQUES par Benoît Clouet, FOTON-ENSSAT ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE SCIENCES APPLIQUÉES ET DE TECHNOLOGIE ÉCOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA MATIÈRE, Étude de la dispersion modale de polarisation dans les systèmes régénérés optiquement. 2009