

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE  
N° :.....



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
FILIERE : TELECOMMUNICATION  
OPTION : INGENIERIE DE  
TELECOMMUNICATIONS

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par:

SALMI Hiba  
BELAMRI Anwar Essadat

Intitulé

**Optimisation de l'énergie et la  
prédiction de dispersion pour la  
transmission RZ non linéaire**

Soutenu devant le jury composé de:

|                   |   |                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------|
| Pr. BOURAS Mounir | Université Mohamed Boudiaf M'sila<br>Université Mohamed Boudiaf M'sila<br>Université Mohamed Boudiaf M'sila | Président<br>Rapporteur<br>Examineur |
|-------------------|---|--------------------------------------|

Année universitaire : 2022 / 2023

# SOMMAIRE

Introduction générale.....1

## Chapitre I : Généralité sur les fibres optiques

I. Introduction.....1

I-1 Historique de la fibre optique .....1

I-2 Fibre optique .....2

I-2-1 Définition .....2

I-2-2 liaison par fibre optique .....3

I-2-3 Architecture d'une liaison optique .....3

I-2-4 Structure de la fibre optique .....4

I-2-5 Caractéristiques de la fibre optique .....4

I-2-6 Les différents types de fibres optiques.....5

I-2-6-1 Fibres optiques monomodes.....5

I-2-6-2 Fibres optiques multimodes .....6

I-2-6-3 Fibres optiques à saut d'indice et à gradient d'indice .....7

I-2-7 Avantages et inconvénients des fibres optiques.....9

I-2-8 Atténuation .....10

I-2-9 Mécanismes de l'atténuation.....11

I-3-Transmission optique.....12

I-3-1-Définition .....12

I-3-2-Les supports de transmission .....12

I-3-3-Les Technologies de transmission .....12

I-3-4 Evolution des services.....18

|                  |    |
|------------------|----|
| Conclusion ..... | 19 |
|------------------|----|

## Chapitre II : Les composants optiques et les critères de qualité

|  |    |
|--|----|
| II- Introduction.....                                    | 20 |
| II-1- Les composants spécifiques d'un réseau WDM.....    | 20 |
| II-2-1- Les composants optoélectroniques.....            | 21 |
| II-2-2- Les transmetteurs .....                          | 21 |
| II-2-3 Modulateur optique .....                          | 24 |
| II-2-3 Types de modulateurs optiques .....               | 24 |
| II-2-5 Multiplexeur/Démultiplexeur Optique .....         | 25 |
| II-2-6 Transpondeur .....                                | 26 |
| II-2-7 Les amplificateurs optiques .....                 | 27 |
| II-2-7-1 Les différents types d'amplificateurs .....     | 27 |
| II-2-8 Les convertisseurs (wavelength converter( .....   | 30 |
| II-2-9 Les récepteurs.....                               | 31 |
| II-2-10 Isolateurs.....                                  | 33 |
| II-2-11 Les coupleurs .....                              | 33 |
| II-2-12 Le rapport signal sur bruit optique (OSNR) ..... | 34 |
| II-2-13 Évolution de l'OSNR dans les systèmes WDM .....  | 35 |
| II-3 Conclusion .....                                    | 36 |

## Chapitre III : Résultats et discussions

|  |    |
|--|----|
| III- 1- Introduction .....   | 37 |
| III- 2-Présentation du logiciel Optisystem .....                   | 37 |
| III- 2.1-Présentation.....   | 37 |
| III- 2.2-Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem ..... | 37 |
| III- 2.3-Interface OptiSystem.....                                 | 38 |

|   |    |
|---|----|
| III- 2.3.1-Bibliothèque .....   | 38 |
| III- 2.3.2-Editeur du layout .....  | 39 |
| III- 2.3.3-Navigateur du Projet (Projet en cours) .....   | 39 |
| III- 2.3.4-Lancer une simulation.....   | 40 |
| III-3-Composants du système Lightwave.....  | 40 |
| III-3.1-Emetteur optique.....   | 41 |
| III-3.1.1-Le rôle de l'émetteur optique est de.....   | 41 |
| III- 3.2-Canal de communication .....   | 41 |
| III- 3.3-Récepteur .....  | 44 |
| III- 4-Conception de récepteur .....  | 45 |
| III- 5-Optimisation de la puissance et de la compensation de dispersion pour la<br>transmission RZ non linéaire ..... | 48 |
| III- 6- Résultats simulation et discussion .....  | 51 |
| <br>  |    |
| Conclusion générale .....   | 59 |
| BIBLIOGRAPHIE .....   | 60 |

# ***Liste des figures***

## **Chapitre I**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Fibre optique .....  | 2  |
| Figure 2 : Schéma d'une liaison optique .....  | 3  |
| Figure 3 : Architecture d'une liaison optique .....                                  | 3  |
| Figure 4 : Structure d'une fibre optique .....                                       | 4  |
| Figure 5: Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode .....              | 5  |
| Figure 6: Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode et multimodes..... | 6  |
| Figure 8 : Propagation des ondes dans une fibre multimode à gradient d'indice. ....  | 7  |
| Figure 9: Effet de l'atténuation.....  | 10 |
| Figure 10: Pertes de propagation de la fibre optique standard .....                  | 10 |
| Figure 12: Effet de la dispersion .....  | 11 |
| Figure 13: Les modes de transmissions .....  | 13 |
| Figure 14: Multiplexage PDH .....  | 13 |
| Figure 15: Structure de SDH .....  | 14 |
| Figure 16: Longueur d'onde CWDM .....  | 15 |
| Figure 17: Longueur d'onde DWDM.....   | 17 |
| Figure 18 : Augmentation de la capacité de transmission des fibres.....              | 17 |
| Figure 19 : Evolution du trafic de données.....                                      | 18 |
| Figure 20 : Evolution des services.....  | 19 |

## **Chapitre II**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: l'architecture et fonctionnement d'un système WDM..... | 20 |
| Figure 2. Synoptique d'un transmetteur .....                     | 21 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 3. Spectre d'émission d'une source optique .....        | 22 |
| Figure 4. Types de modulation .....                            | 24 |
| Figure 5. Multiplexeur/Démultiplexeur en longueur d'onde ..... | 25 |
| Figure 6. Exemple d'un MUX/DEMUX optique .....                 | 26 |
| Figure 7. Applications de l'amplificateur optique.....         | 27 |
| Figure 8. Représentation du EDFA.....                          | 29 |
| Figure 9 .Amplification SOA.....                               | 29 |
| Figure 10. Synoptique d'un récepteur .....                     | 31 |
| Figure .11 Coupleur étoile.....                                | 34 |
| Figure 12. coupleur à deux entrées et une sortie.....          | 34 |
| Figure 13 . Les étages d'amplification.....                    | 35 |

### **Chapitre III**

|   |    |
|---|----|
| Figure . 1 :L'interface de travail sur optisystem .....                         | 38 |
| Figure . 2: La bibliothèque du logiciel optisystem.....                         | 38 |
| Figure .3: Editeur du layout.....   | 39 |
| Figure . 4: Navigateur du projet.....   | 39 |
| Figure .5: Fenêtre montre le lancement de la simulation .....                   | 40 |
| Figure 6 : Système de communication optique .....                               | 40 |
| Figure .7 : Emetteur optique.....   | 41 |
| Figure 8 : Canal de communication.....  | 42 |
| Figure 9 : Récepteur .....  | 42 |
| Figure 10: Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 60 Km         |    |
| Figure 11 : Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 100 Km ..... | 43 |
| Figure 12 : Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 120 Km ..... | 44 |
| Figure 13: Circuit a base de codage RZ.....                                     | 45 |

Figure 14 : Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec des paramètre optimaux..46

Figure 15 : Diagramme de oculaire pour modulation NRZ avec paramètres optimaux. 46

Figure 16: BER mesuré de (a) RZ et(b) NRZ..... 47

Figure 17: Pénalité de puissance en fonction de la dispersion cumulée pour (a) RZ et (b) NRZ...

## ***Liste des Tableaux***

Tableau 1. représente une comparaison des sources de lumière pour les fibres optiques... 23

Tableau 2. Performances des trois catégories d'amplificateurs (cas de l'EDFA en bande C) 28

Tableau 3. Caractéristiques comparées des amplificateurs optiques ..... 30

# ***Liste des abreviations***

- ATM:** Asynchronous Transfer /Mode de transfert asynchrone.
- ADSL:** Asymetric bit rate **D**igital **S**ubscriber **L**ine - ligne numérique asymétrique d'abonné.
- ASE:** Amplifier Spontaneous **E**mission.
- BER:** Bit-Error-Rate.
- CA:** Centre d'Amplification.
- CWDM:** Coarse **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing.
- D-WDM:** Dense **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing.
- DL:** Diode **L**aser.
- DCF:** Dispersion-Compensating **F**iber.
- EDFA:** Amplificateur à **F**ibre **d**opée **E**rbium.
- GSM:** Global System for **M**obile **C**ommunications (anciennement Groupe Spécial Mobiles).
- IP:** Internet **P**rotocol.
- ITU:** International **T**élécommunication **U**ion.
- ISDN:** Integrated **S**ervices **D**igital **N**etwork (i.e. Réseau numérique à intégration de services, RNIS).
- LED:** Light **E**mitting **D**iode.
- NRZ:** Non-**R**eturn to **Z**ero.
- OC:** Optical **C**ontener.
- MU:** Multiplexeur **O**ptique.
- ODU:** Démultiplexeur **O**ptique.
- OSNR:** Optical **S**ignal-to-**N**oise **R**atio.
- OA:** Amplificateur **O**ptique.
- PMD:** Polarization **M**ode **D**ispersion.
- PDH:** Plesiochronous **D**igital **H**ierarchy.
- PN:** Positive **N**egative **P**hotodiodes.
- PIN:** Positive **I**ntrinsic **N**egative **P**hotodiodes.
- RTC:** Réseau **T**éléphonique **C**ommuté.
- RIN:** Relative **I**ntensité **N**oise.
- RZ:** **R**eturn to **Z**ero.
- SDH:** Synchronous **D**igital **H**ierarchy.
- SONET:** Synchronous **O**ptical **N**etwork.

**STM-n:** Synchronous Transport Module, niveau **n**.

**SCOA:** Semi-Conductor Optical Amplifier.

**SPM:** Self Phase Modulation.

**SMF:** Single-Mode Fiber.

**TDM:** Time Division Multiple.

**UIT:** Union Internationale des Télécommunications.

**WDM:** WaveLength Division Multiplexing (Multiplexage en Longueur D'onde).

# REMERCIEMENT

*On tient tout d'abord à remercier en premier lieu Allah, le tout puissant,  
de nous avoir donné autant de courage, de patience et  
de volonté pour atteindre ce but.*

*On tient à exprimer à notre encadreur*

*Pr. MOUNIR BOURAS.*

*Tous nos remerciements vont également aux membres de jury pour nous Avoir  
fait l'honneur de juger ce modeste travail.*

*Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont Aidés et  
soutenue de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.*

# DEDICACE

*A ce qu'est toujours mon meilleur exemple dans la vie mon père, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il n'a cessé d'offrir.*

*Au symbole de douceur, de tendresse, d'amour et affection, et grâce au sens de devoir et aux sacrifices immenses qu'elle a consentis ma mère j'ai pu arriver à réaliser ce travail.*

*A ce qui m'a été toujours le garant d'une existence paisible et d'un avenir radieux  
mes sœur*

*A ce qui m'a souhaitée de la chance mon frère*

*A mes anges Ayhem, Yara, Maram, Amani, Line, Aridj, et les jumeaux Djed et Iyed*

*A ce qui m'a aidée à résoudre mes problèmes, m'a permis le savoir-faire au travail,  
ma famille*

*A celui qui est toujours dans mes pensées,*

*A ceux qui m'ont aidé, encouragé, apprécié mon effort et créé le milieu  
favorable,*

*L'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour me procurer ce travail,*

*A toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail  
avec mes vifs remerciements et les expressions respectueuses de ma profonde  
gratitude : Mes chères amies surtout Alia, Imane et Sara.*

***HIBA***

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents. Pour leur soutien, leurs sacrifices  
et tous ses efforts qu'ils ont fait pour mon éducation.*

*Mes soeurs. Tous mes amis.*

*Tous ceux qui m'ont aidé pour accomplir ce mémoire.*

*Tous les professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir  
bien acquis, donc un grand merci pour vous.*

*Anwar*

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Depuis les dernières décennies, les communications numériques ont pris de plus en plus d'importance. L'avènement de la téléphonie, de la télévision, des réseaux informatiques, de l'Internet, peut-être bientôt de la visioconférence, a créé une nouvelle demande, une demande en bande passante. La fibre optique apparaît de nos jours comme la solution pour les transmissions haut-débit et très haut-débit. En effet le résultat des recherches les plus récentes permet de dépasser le Térabit/s dans une fibre de silice de 125  $\mu\text{m}$  de diamètre [1].

Les premières années de l'optique sont marquées par des évolutions importantes :

- Le passage de la fibre multimode, utilisée dans les premières expérimentations, à la fibre monomode dont la connexion est plus problématique mais, qui propose des débits sans rapport avec la première. La fibre multimode conserve cependant sa pertinence dans d'autres domaines tels que l'aéronautique par exemple [1].
- Le passage successif de la première fenêtre de transmission autour de 850 nm (fibre multimode) à la deuxième autour de 1310 nm (minimum d'atténuation d'environ 0,3 à 0,4dB/km), puis à celle autour de 1550 nm (minimum d'atténuation de 0,2 dB/km), qui est la norme aujourd'hui en matière de réseau. Ces changements de fenêtre de transmission ont été rendus possibles par l'amélioration des techniques de fabrication des préformes et au développement des sources optiques [2].

L'avantage de la fibre optique par rapport au câble coaxial (augmentation du pas de régénération et donc diminution des répéteurs et des coûts de fabrication des lignes de transmission) va trouver un champ d'application dans le domaine des télécommunications très longues distances (en particulier dans les lignes de transmission sous-marines) [3].

Enfin la véritable révolution technologique va se produire avec l'apparition du multiplexage en longueur d'onde ou WDM (Wavelength Division Multiplexing) permet de répondre à cette demande, tout en ayant le gros avantage d'exploiter les fibres existantes. Il consiste à injecter simultanément sur une même fibre plusieurs canaux utilisant des longueurs d'onde distinctes [2].

L'optimisation de l'énergie et la prédiction de dispersion sont des aspects importants de la transmission de signaux RZ (Return to Zero) non linéaires dans les systèmes de communication optique. Permettez-moi de vous expliquer brièvement ces concepts.

Optimisation de l'énergie : L'optimisation de l'énergie consiste à ajuster la puissance du signal optique pour maximiser la qualité de transmission tout en minimisant les effets non

linéaires indésirables. Les effets non linéaires, tels que l'auto-modulation de phase (SPM) et la modulation de phase croisée (XPM), peuvent dégrader les performances du système. Pour optimiser l'énergie, vous pouvez utiliser des techniques telles que la puissance d'entrée adaptative, la pré compensation de dispersion et la gestion de la puissance du signal. [4]

**Prédiction de dispersion :** La dispersion est un phénomène dans lequel différentes composantes spectrales d'un signal optique se propagent à des vitesses différentes, provoquant un étalement temporel du signal. La prédiction de dispersion vise à compenser ou à atténuer les effets de dispersion afin de maintenir l'intégrité du signal. Les techniques couramment utilisées pour la prédiction de dispersion comprennent la dispersion compensée en fibre (DCF), la dispersion non linéaire (DNL) et la dispersion récompensée [2].

En combinant l'optimisation de l'énergie et la prédiction de dispersion, vous pouvez améliorer les performances de transmission dans les systèmes RZ non linéaires. Cependant, il est important de noter que la transmission RZ non linéaire est une tâche complexe et nécessite une compréhension approfondie des phénomènes optiques non linéaires et de la théorie de la transmission optique [5].

Il convient également de mentionner que la recherche dans le domaine des communications optiques est en constante évolution, et de nouvelles techniques et méthodes d'optimisation peuvent émerger avec le temps. Par conséquent, il est essentiel de se tenir au courant des dernières avancées et des recherches en cours dans le domaine pour bénéficier des meilleures pratiques et des solutions les plus récentes [6].

Le présent rapport est structuré en trois chapitres :

- ⇒ **Le premier chapitre :** décrit les principales généralités sur la transmission par fibre optique et détaille les Technologies de transmission.
- ⇒ **Le second chapitre :** présente les composants spécifiques d'un réseau WDM et détaille les critères de qualité.
- ⇒ **Le dernier chapitre :** comparaison entre la modulation des formats NRZ et RZ en suivant l'évolution des débits binaires depuis l'émission jusqu'à la réception du signal puis en comparant leur diagramme de l'œil.

En fin une conclusion générale.

# Chapitre I

## Généralité sur les fibres optiques

## I. Introduction

De nos jours, les autoroutes de l'information offrent la possibilité de transmettre des données, de la voix, des images ...etc. D'un bout à l'autre de la planète. Aujourd'hui, 80 % du trafic mondial longue distance se fait par fibres optiques. Ces dernières ont en effet de multiples avantages par rapport aux câbles électriques classiques : elles sont plus robustes et sont très peu sensibles aux interférences électromagnétiques. Mais surtout, les technologies de télécommunications par fibres optiques, en constante amélioration depuis une trentaine d'années, permettent de transmettre des informations sur de très longues distances et à de très hauts débits. Récemment une transmission de 3000 Gbits/s sur une distance de plus de 7000 kilomètres à travers une seule fibre optique a été élaborée, débit équivalent à plusieurs centaines de milliers de connexions Internet haut débit. Ces performances n'auraient pas pu être atteintes sans la mise au point de techniques de fabrication permettant d'obtenir le milieu guidant extrêmement transparent qu'est la fibre optique [1].

### I-1 Historique de la fibre optique

Au cours de la première moitié du XXe siècle, on a utilisé la capacité de transporter de la lumière le long de fines fibres de verre. En 1927, Baird et Hansell ont essayé de concevoir un appareil capable de produire des images pour la télévision en utilisant des fibres. Hansell a pu faire breveter son invention, mais elle ne fut jamais vraiment utilisée. En 1930, Heinrich Lamm parvint à transmettre l'image d'un filament de lampe en utilisant un assemblage basique de fibres de quartz. Cependant, concevoir une application pour ces fibres de verre était encore difficile à cette époque. 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. Il a été principalement employé dans le domaine de l'endoscopie pour examiner l'intérieur du corps humain, ainsi que pour inspecter les soudures dans les réacteurs d'avion. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées. Basil Hirschowitz invente le fibroscope (endoscope médical flexible) aux États-Unis en 1957. Avant l'invention du laser en 1960, les télécommunications en fibre optique n'étaient pas envisageables .

Le laser offrit en effet l'occasion de transmettre un signal avec assez de puissance sur une grande distance. Dans sa publication de 1964, Charles Kao (Standard Télécommunications Laboratoires) décrivit 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. Peu après, soit en 1966, il démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges Hockman, qu'il était 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 [7].

## I-2 Fibre optique

### I-2-1 Définition

La fibre optique est un guide cylindrique utilisé comme support de transmission qui transmet les données sous forme d'impulsions lumineuses d'un endroit à un autre. Cela garantit une transmission numérique en grande quantité à grande vitesse et avec une grande sécurité. Les données peuvent être transmises plus rapidement et efficacement avec ces câbles en plastique ou en fils de verre que avec des câbles en cuivre. Les fibres optiques sont principalement utilisées dans le domaine des télécommunications. Le coeur et la gaine sont ses deux diélectriques. [6].

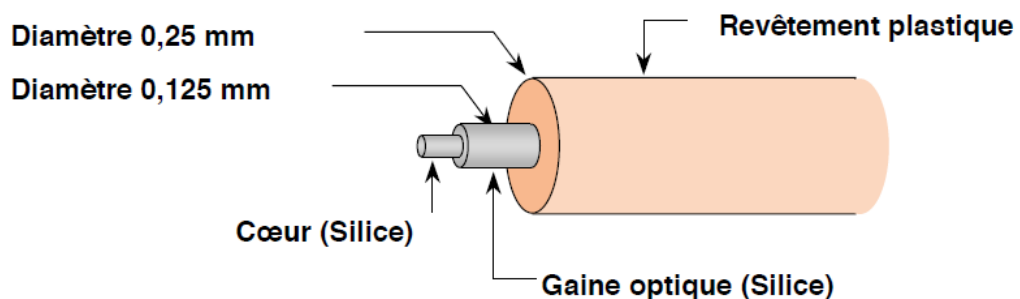
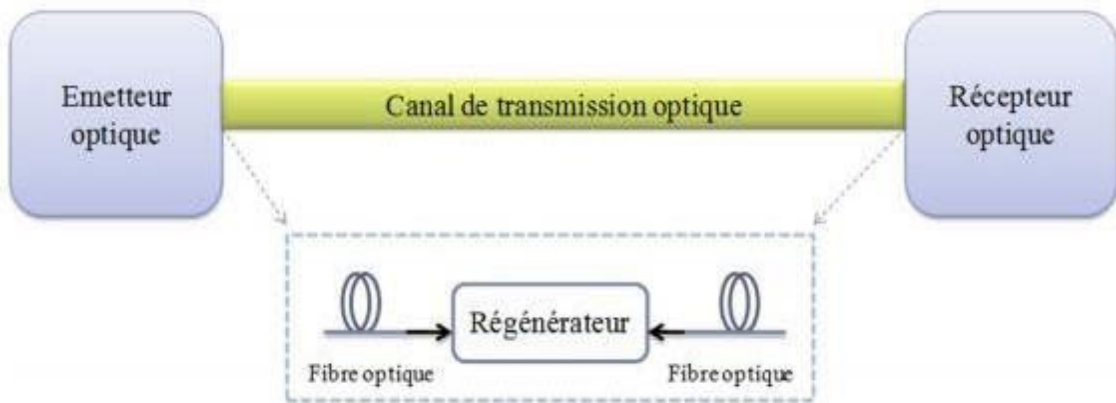


Figure 1: Fibre optique

### I-2-2 liaison par fibre optique

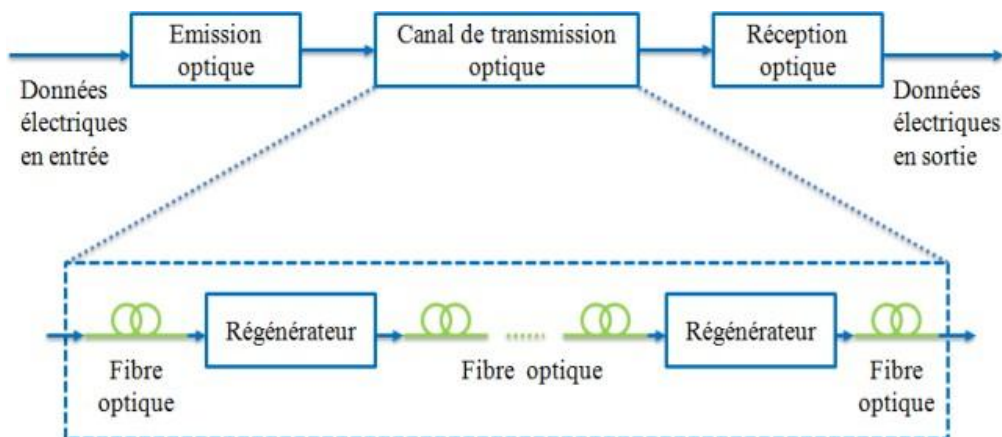
Dans les communications optiques, un guide diélectrique sert à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre. Un émetteur convertit le signal électrique en signal optique et l'injecte dans une fibre optique. Un récepteur traitera le signal en conversion optique-électrique. Une liaison optique est généralement constituée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique. (voir **figure 2** ) [3].



**Figure 2** : Schéma d'une liaison optique

### I-2-3 Architecture d'une liaison optique

La **figure 3** décrit l'architecture d'une liaison optique, dans laquelle le signal optique est émis, transporté, régénéré (s'il y a lieu) et détecté à l'aide de composants optiques ou optoélectroniques. [5]



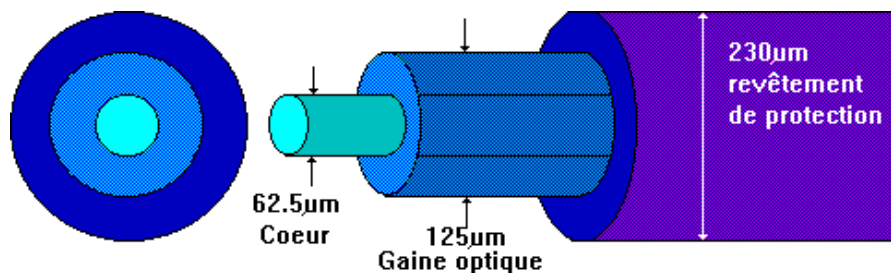
**Figure 3** : Architecture d'une liaison optique

### I-2-4 Structure de la fibre optique

Sans la tresse métallique, une fibre optique ressemble à un câble coaxial. Le schéma d'une fibre optique est représenté à la **figure 4**. Les signaux lumineux se propagent dans le coeur en verre situé au centre de la fibre. Le coeur d'une fibre multimode mesure environ 50 microns, soit l'équivalent de l'épaisseur d'un cheveu humain. La taille d'une fibre monomode est de 9 à 10 microns. [4]

Pour conserver toute la lumière dans le coeur, une gaine en verre avec un indice de réfraction plus faible que le coeur entoure le coeur de la fibre optique. La gaine en verre est recouverte d'un revêtement en plastique.

Généralement les fibres optiques sont regroupées en un faisceau de fibre à l'intérieur d'un tube ou d'une gaine protectrice externe : c'est le câble à fibre optique. [7]



**Figure 4 :** Structure d'une fibre optique

### I-2-5 Caractéristiques de la fibre optique

- Débit : quelque Gbit/s par km ;
- Encombrement d'une fibre : <100 µm, <5 g/km ;
- Les fibres sont rassemblées au sein d'un câble ;
- Trois types de fibres (bande passante):
- Multimode à saut d'indice ;
- Multimode à gradient d'indice ;
- Monomode.
- Dispersion : défaut d'alignement + émission non monochromatique

### I-2-6 Les différents types de fibres optiques

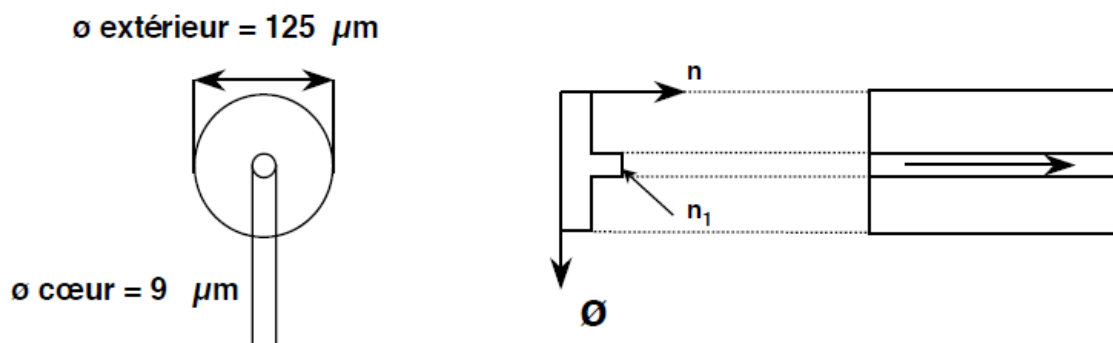
Dans la spécialité des télécommunications, il y a deux types de fibres optiques utilisés:

- ✓ Fibres multimodes.
- ✓ Fibres monomodes.

La dimension du coeur des fibres optiques monomodes est de  $10 \mu\text{m}$  et les fibres multimodes de  $50 \mu\text{m}$ . [6]

#### I-2-6-1 Fibres optiques monomodes

Les fibres monomodes ont un diamètre de coeur (10 microns), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée



**Figure 5:** Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode

L'onde se propage alors sans réflexion et il n'y a pas de dispersion modale. Le petit diamètre du coeur des fibres monomodes nécessite une grande puissance d'émission qui est délivrée par des diodes laser [7].

Les caractéristiques essentielles d'une fibre optique monomode pour la transmission d'un signal sont :

- ⇒ L'affaiblissement (dB) par unité de longueur (Km), qui est fonction de la longueur d'onde, soit  $0,36 \text{ dB/Km}$  à  $1300 \text{ nm}$  et  $0,2 \text{ dB/Km}$  à  $1550 \text{ nm}$ .
- ⇒ La dispersion chromatique, qui conduit à un élargissement d'une impulsion lumineuse du fait de la variation des vitesses de propagation, ce qui est pénalisant dans le cas d'une modulation directe (1 ou 0) du signal optique.
- ⇒ La dispersion des modes de polarisation (PMD), qui se caractérise par un élément spectral en ligne,
- ⇒ La longueur d'onde de coupure.

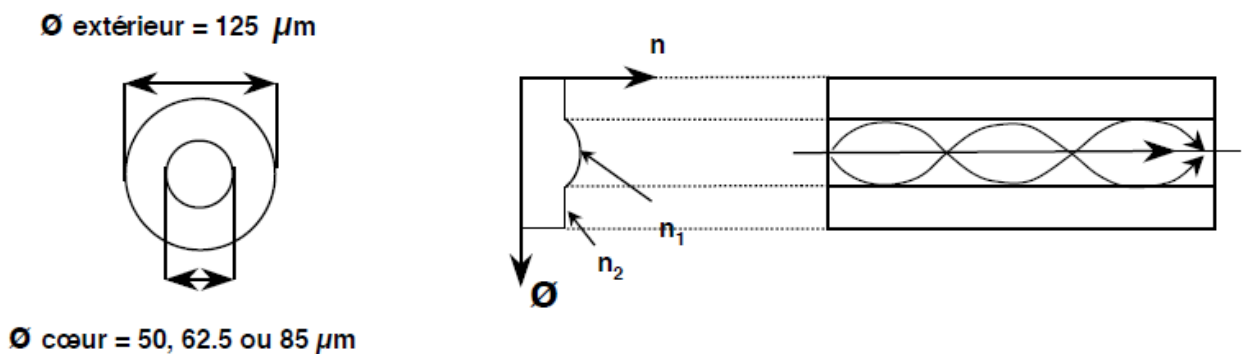
Dans les fibres monomode il existe deux groupes :

- ⇒ les fibres monomode avec profil à gradient d'indice, qui ne sont pas beaucoup utilisées en télécommunications.
- ⇒ Les fibres avec profil à saut d'indice, avec un diamètre du coeur allant de 9 à 10  $\mu\text{m}$  et un diamètre de gaine 125  $\mu\text{m}$ , qui sont plus utilisées dans les télécommunications

### I-2-6-2 Fibres optiques multimodes

Le diamètre de coeur des fibres multimodes est important (50-85 microns). Grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de coeur et le verre de gaine, un rayon lumineux pénétrant dans le coeur de la fibre à l'une de ses extrémités se propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité. [10].

Plusieurs modes (chemins optiques) se propagent dans ce type de fibre optique. Selon les différents chemins empruntés par les rayons, ils arrivent avec des temps différents. Ce qui provoque une forte dispersion du signal lumineux, due à la multiplication des modes de propagations (dispersion modale). Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à saut d'indice (débit limité à 50 Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1Gb/s) [11].

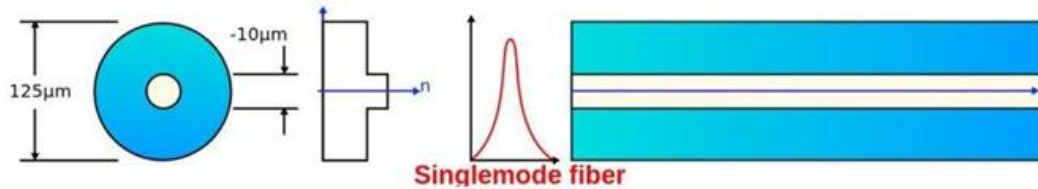


**Figure 6:** Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode et multimodes

### I-2-6-3 Fibres optiques à saut d'indice et à gradient d'indice

#### A- Fibres à saut d'indice

Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction reste constant dans tout le coeur de la fibre, mais il diminue soudainement à l'interface gaine-coeur, provoquant un saut d'indice dans la gaine



**Figure 7 :** Propagation des ondes dans une fibre multimode à saut d'indice

#### Avantages :

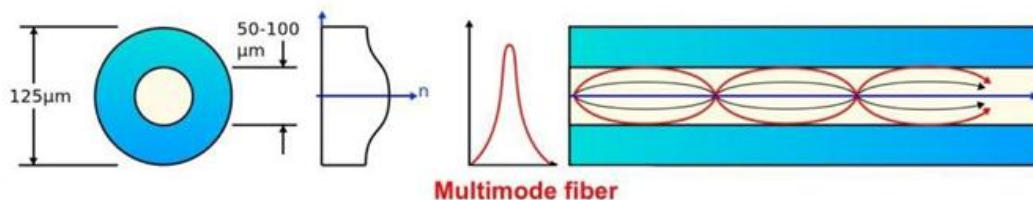
- ⇒ Faible prix
- ⇒ Facilité de mise en oeuvre

#### Inconvénients :

- ⇒ Perte et distorsion importante du signal

#### B- Fibre à gradient d'indice

Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction  $n$  n'est pas constant dans le coeur ; bien au contraire il décroît graduellement du centre du coeur jusqu'à la limite de la surface qui sépare le coeur et la gaine[10]



**Figure 8 :** Propagation des ondes dans une fibre multimode à gradient d'indice.

#### Avantages :

- ⇒ Bande passante raisonnable
- ⇒ Bonne qualité de transmission

#### Inconvénients :

- ⇒ Difficile à mettre en oeuvre

### C- Les applications de la fibre monomode[9]

Les applications de la fibre optique monomode sont nombreuses, les plus connues concernent :

- Les télécommunications, pour la réalisation des réseaux haut débit à grande distance en technologie WDM , SDH , ATM.
- L'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés des télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné.
- La médecine ,ou la fibre optique est notamment utilisée:
- En chirurgie ,pour transporter le faisceau laser jusqu'au tissus à traiter .
- En endoscopie , pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin .
- L'éclairage (muséographique , architectural , espace d'agrément publics ou domestiques ).
- La décoration / illumination de piscine , bassins , fontaines.
- La signalétique d'orientation de l'information (panneaux de signalisation et enseignes).
- La signalisation routière (rond points , séparation de voies de circulation ) .

### I-3 Utilisation

| Fibre unimodale                 | Fibre multimode   |
|---------------------------------|-------------------|
| Faible dispersion               | Forte dispersion  |
| Connexion délicate              | Connexion facile  |
| Faible atténuation              | Forte atténuation |
| Hauts débits, longues distances | Réseaux locaux    |

### I-2-7 Avantages et inconvénients des fibres optiques

- **les avantages:**

- Performances de transmission : très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux ; elles permettent aux systèmes d'avoir une portée et une capacité très supérieures à celles des câbles conducteurs [12].
- Avantage de mise en œuvre : très petite taille, grande souplesse, faible poids, appréciable aussi bien en télécommunications que pour le câblage en informatique, aéronautiques, applications industrielles [12].
- Sécurité électrique : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous forte tension.
- Sécurité électromagnétique : la fibre optique n'est pas sensible aux parasites et n'en crée pas elle-même.
- Avantage économique : contrairement à l'idée encore répandue, le coût global d'un système sur fibre optique est de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

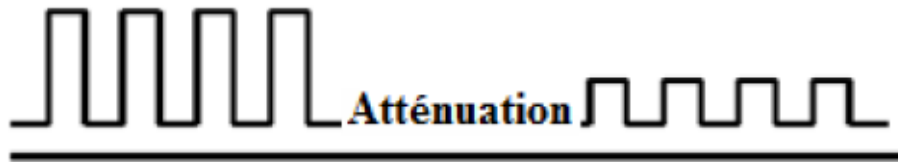
- **les inconvénients:**

- La fibre optique ne permet pas le transport d'énergie [12].
- Les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- Perte de raccordement entre différents composants optiques du système. Parmi les pertes de raccordement on trouve :
- Pertes de couplage à la source : une partie seulement de la puissance émise par le laser sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.
- Pertes d'épissure : elle est due à cause d'une discontinuité des rayons, une erreur d'espacement, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire [12].

### I-2-8 Atténuation

L'atténuation dans les fibres optiques caractérise l'affaiblissement du signal au cours de sa propagation décrit par la **figure 9** et elle est définie en dB/km par la relation:

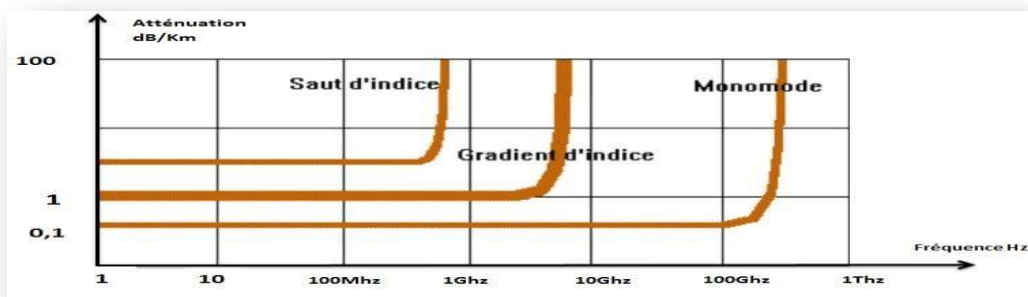
$$A \text{ (dB)} = 10 \log (P_1/P_0)$$



**Figure 9:** Effet de l'atténuation.

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles la fibre optique (en silice) diminue. D'une part, la matière absorbe partiellement la lumière dans les rayons infrarouges et ultraviolets. De plus, un pic d'atténuation, bien visible au voisinage de 1.4  $\mu\text{m}$  sur la figure 10, peut être causé par une quantité résiduelle d'eau, incorporée sous forme d'ions OH<sup>-</sup> au cours de la fabrication. De plus, la diffusion Rayleigh est causée par les inhomogénéités de la matière (matrice de silice) [10].

Des longueurs d'onde spécifiques sont visibles grâce à la courbe de la figure 10. Les pertes de propagation sont le minimum relatif à  $\lambda=1.31 \mu\text{m}$ , tandis que les pertes sont les plus faibles à  $\lambda=1.55 \mu\text{m}$ . Les télécommunications par fibre optique s'effectuent principalement autour de cette dernière longueur d'onde (1.55  $\mu\text{m}$ ) pour cette raison. L'atténuation est alors d'environ 0,2 dB/Km, ce qui signifie que la lumière peut parcourir 100 km avant que son niveau de puissance ne soit divisé par 100 [13].



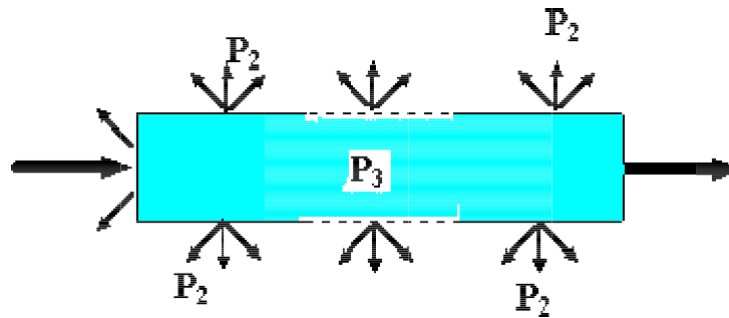
**Figure 10:** Pertes de propagation de la fibre optique standard.

### I-2-9 Mécanismes de l'atténuation

Deux phénomènes, explicités ci dessous et dont les effets se cumulent, participent à l'atténuation de la lumière par la fibre (**figure 11**) :

l'absorption  $P_3$ .

la perte  $P_2$ , due à la diffusion de RAYLEIGH, aux imperfections de la fibre, au couplage des modes ou venant de sa mise en œuvre (câblage par exemple). [5]



**Figure 11** : Pertes dans la fibre

$P_0$  = puissance injectée dans la fibre.

$P_1$  = puissance récupérée à l'autre extrémité.  $P_2$  = puissance diffusé

$P_3 = P_0 - (P_1 + P_2)$  puissance absorbée par la fibre.

### I-2-10 La dispersion

La dispersion se manifeste par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation **figure 12**.



**Figure 12**: Effet de la dispersion

### **I-3-Transmission optique**

#### **I-3-1-Définition**

La transmission optique étudie la propagation de la lumière plutôt que la propagation des ondes radioélectriques et nécessite un support de transmission spécifique appelé "fibre optique".

Le guide diélectrique, filiforme et translucide de la fibre optique permet la transmission de la lumière. Elle est fabriquée à partir d'un matériau en verre de quartz ou de silice extrêmement pur qui est ajouté avec du bore, du phosphore ou du germanium. Les fibres sont introduites dans un tube de protection avant d'être combinées à plusieurs fibres en acier pour résister à l'attraction. Leur coeur mesure entre dizaines et centaines de micromètres. [6]

#### **I-3-2-Les supports de transmission**

Pour transmettre des informations d'un point à un autre, il faut un canal qui servira de chemin pour le passage de ces informations. Ce canal est appelé canal de transmission ou support de transmission. En réseau informatique, téléinformatique ou télécoms, on distingue plusieurs sortes de support de transmission. Parmi ceux-ci, on distingue [4] :

- Les câbles à paires torsadées (Câble concéder),
- Les câbles coaxiaux,
- Les câbles à fibre optique (Câble concéder),
- Les liaisons hertziennes.

#### **I-3-3-Les Technologies de transmission**

Les réseaux de transmission peuvent envoyer des médias multimédias créés par les réseaux de commutation, tels que IP, ATM, RTC, GSM, etc. La CA de Msila utilise principalement trois types de technologies de transmission [4]:

1. PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).
2. SDH (Synchronous Digital Hierarchy).
3. D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

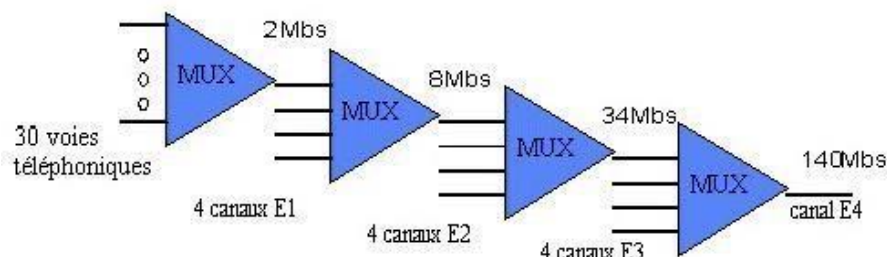


**Figure 13:** Les modes de transmissions ( Algérie télécom )

### I-3-3-1 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Télécommunications pour transmettre des communications téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » provient du grec « plesio » qui signifie « proche » et « chronos » qui signifie « temps ». Cela indique que les réseaux PDH utilisent des éléments qui sont pratiquement mais pas parfaitement synchronisés. Pour toutes les artères du même type, le débit nominal est identique, mais il peut varier légèrement en fonction de l'horloge de traitement local. [14]

Le transfert de données est basé sur un flux à 2048 kbit/s (E1). Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation (MIC). Chaque canal peut contenir une ligne téléphonique ou 12 télégraphes. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle. Le débit exact des données dans le flux de 2 Mbit/s est contrôlé par une horloge dans l'équipement générant les données. Le débit exact varie légèrement autour de 2 048 kbit/s. Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé. [13]



**Figure 14:** Multiplexage PDH

### I-3-3-2 SDH / SONET

Les sigles "SONET" et "SDH" sont mis pour "Synchronous Optical Network" et pour « Synchronous Digital Hierarchy ». Ces termes désignent des ensembles de protocoles reliés à l'utilisation de la fibre optique dans les réseaux. [11]

La hiérarchie numérique synchrone (SDH) est la version Européenne (c'est à dire répondant aux attentes des Européens) du réseau optique synchrone (SONET) qui est un protocole d'origine américaine. Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Contener. Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n). La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET.

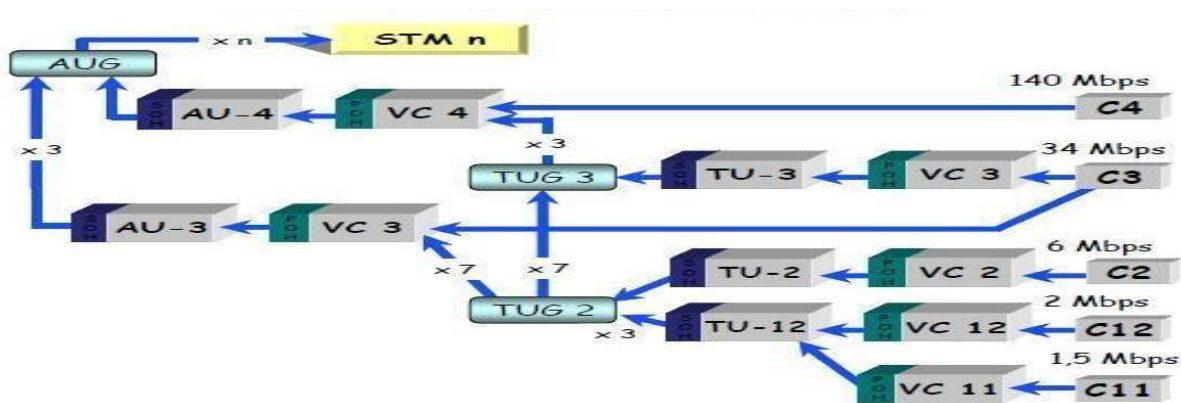


Figure 15: Structure de SDH.

### I-3-3-3 WDM

Le WDM utilise une longueur d'onde différente pour transmettre simultanément plusieurs signaux provenant de différentes sources sur une même fibre. Les systèmes actuels permettent l'utilisation de 4, 8, 16,32 et même 64 canaux optiques. Par exemple, si chacune est capable de supporter 2,5Gbits/s, les débits peuvent atteindre 10, 40,80 et même 160Gbits/s. [9]

Regrouper et injecter ces canaux dans une seule fibre sans qu'ils ne se mélangent au cours de la propagation à partir de différentes sources émettant chacune une longueur d'onde propre.

À l'extrémité de la fibre, il suffit de séparer ces longueurs d'ondes et de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux.

Il faut noter qu'il existe des sources émettant simultanément plusieurs longueurs d'onde.

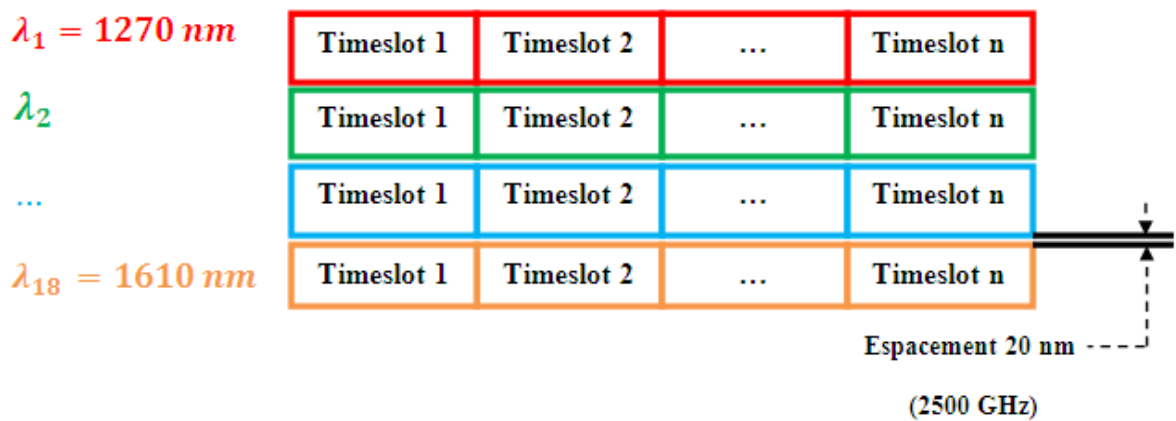
Le débit par canal en multiplexage temporel (TDM) a augmenté de 2,5Gbits/s à 10Gbits/s, augmentant simultanément la capacité du système de transmission WDM. [15]

On rencontre deux principales variantes du WDM : CWDM et DWDM.

**A- CWDM**

La technologie Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) est idéale pour le transport à courte distance. Le système CWDM est idéal pour les infrastructures en fibres qui utilisent des lasers avec un débit de 2,5 Gbps (OC-48/STM-16) et peuvent multiplexer jusqu'à 18 longueurs d'onde et n'ont pas besoin d'amplificateurs optiques ou de régénération du signal. Cela peut fournir jusqu'à 45 Gbps sur une seule fibre. Le détecteur de réception et le laser de transmission sont généralement combinés pour former un émetteur-récepteur. À ces longueurs d'onde, les démultiplexeurs et les multiplexeurs optiques sont définis. Ils ne nécessitent pas de contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui les rend moins coûteux que les équipements DWDM. [16]

La **Figure16** présente un schéma de cette technologie. Un espacement entre les canaux de 20 nm ou 2500 GHz (défini par la norme ITU G.694.2) distingue ce système. La séparation de longueur d'onde est utilisée pour définir la grille CWDM. Cette grille comprend 18 longueurs d'onde allant de 1270 nm à 1610 nm..



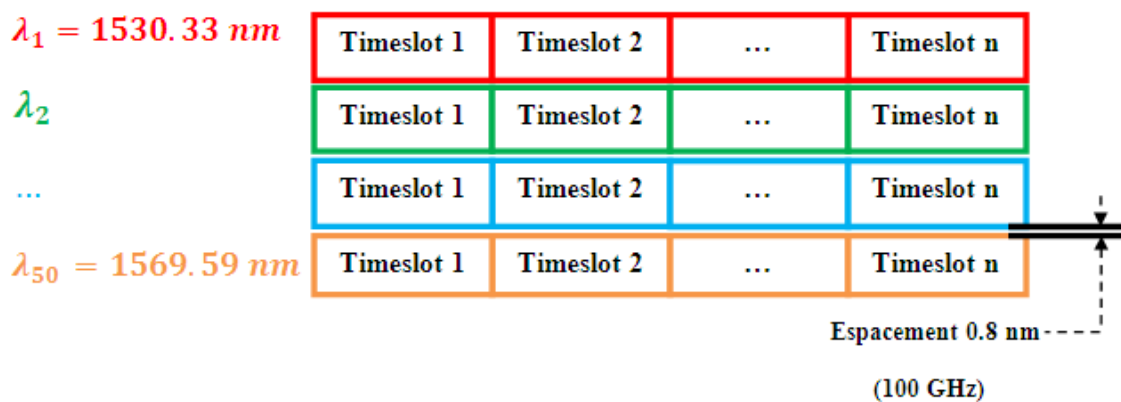
**Figure 16:** Longueur d'onde CWDM

**B- DWDM**

La technologie DWDM est adaptée au transport de données à longue et à courte distance. Le système DWDM est idéal pour les zones de metro ou de longue distance où les demandes de capacité sont élevées. L'utilisation de lasers avec un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps (OC-192/STM-64) et la capacité de multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde est nécessaire pour atteindre cette grande capacité. En utilisant une seule fibre, cela peut fournir jusqu'à 2,4 Tbps. Avec une longueur d'onde maximale de 300 chaînes, les nouveaux systèmes DWDM peuvent soutenir 40-Gbps, ce qui donne 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre. Les émetteurs-récepteurs des systèmes DWDM dissipent beaucoup plus de chaleur et consomment beaucoup plus d'énergie que les émetteurs-récepteurs des systèmes CWDM. Cela entraîne une obligation de refroidissement pour les sous-systèmes DWDM. [9]

Cette technologie est schématisée dans La **Figure 17**. Aujourd'hui les systèmes DWDM

Metro déployés utilisent généralement un espacement de fréquence de 100 GHz ou de 200 GHz. L'espacement commun du DWDM peut être 200, 100, 50, 25, ou 12,5 GHz avec un nombre de canaux pouvant atteindre jusqu'à 300 ou plusieurs canaux à des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec l'amplification et la régénération le long de cette route. Comme spécifié par le standard ITU G.694.1, les systèmes DWDM sont caractérisés par un espacement entre canaux de 50 ou 100 GHz. La grille de fréquence de DWDM est ancrée à 193,1 THz. Les systèmes DWDM ont de façon significative une granularité plus fine entre les longueurs d'onde (espacement typique de 100-GHz) par rapport à leurs homologues CWDM. Selon la grille UIT, les produits DWDM fonctionnent dans la bande C entre 1530 et 1565 nm ou dans la bande L entre 1565 et 1625 nm.



**Figure 17:**Longueur d'onde DWDM

### C- Evolution de la capacité de transmission

L'augmentation de la capacité de transmission des fibres optiques (**Figure 17**) a été rendu possible grâce à des avancées technologiques marquantes :

- La fibre monomode à faibles pertes.
- Les fibres à dispersion décalée.
- Les diodes lasers fonctionnant à 1.55 $\mu$ m.
- L'amplificateur à fibre dopée.
- La technique du multiplexage WDM

| Année | Capacité (Gbits/s.km) |
|-------|-----------------------|
| 1978  | 10                    |
| 1983  | 100                   |
| 1989  | 500                   |
| 2002  | 100 000               |

**Figure 18** : Augmentation de la capacité de transmission des fibres

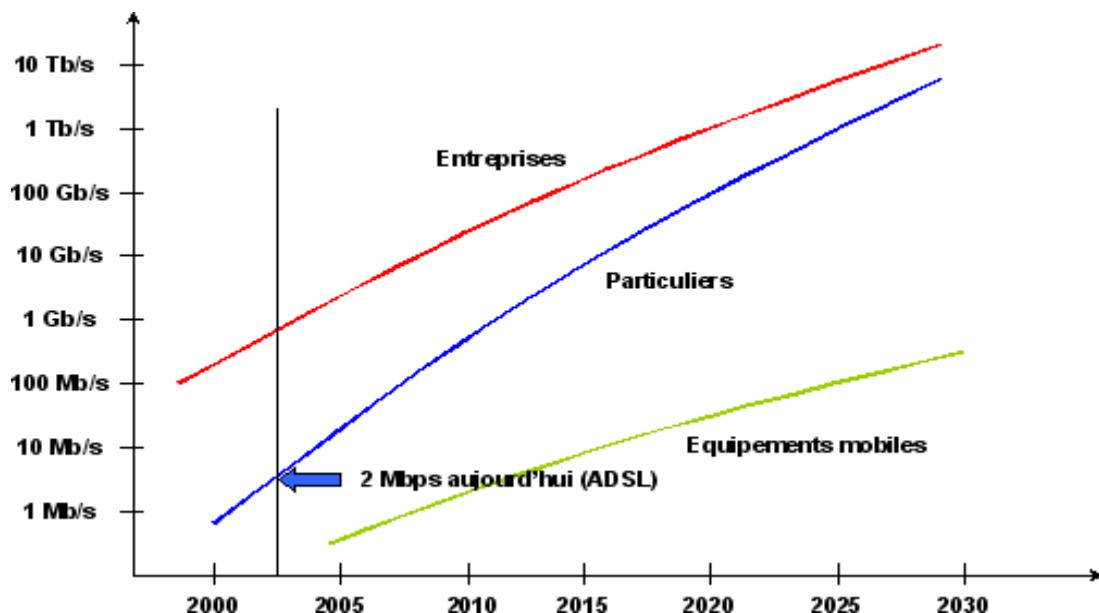
### I-3-4 Evolution des services

Il est prévu que la vitesse de transmission soit plusieurs centaines de fois supérieure à celle d'aujourd'hui d'ici 2030 (**Figure 19**). Les prévisions les plus optimistes prévoient que la transmission de données à 1 TB/s de et vers les particuliers sera possible.

Selon d'autres, 70 % du réseau sera toujours à 1 Gb/s. Quoi qu'il en soit, l'augmentation de la vitesse favorisera l'émergence du télétravail, un des facteurs favorisant le développement des télécommunications. [4]

L'introduction de l'ISDN, suivi par l'ADSL a permis d'augmenter les vitesses de transmission. Aujourd'hui, la vitesse est de 2 Mb/s.

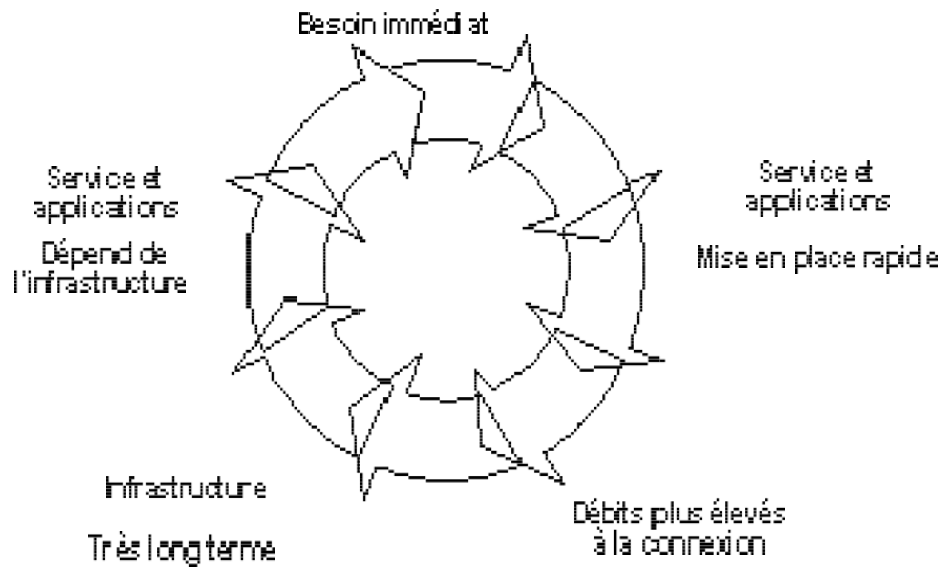
#### Vitesse de transmission



**Figure 19 :** Evolution du trafic de données.

La croissance de la bande passante va entraîner le développement de nouveaux composants avec de nouvelles fonctions. Le développement de composants, de modules et de systèmes pour les télécommunications optiques est lié aux développements des services (particuliers, entreprises). L'évolution des services et des applications/technologies associées est cependant un cercle vicieux (**Figure 20**). La demande des utilisateurs est généralement un besoin immédiat. La mise en place des services et applications est généralement rapide mais l'augmentation des débits plus élevés à la connexion se fait plutôt sur le moyen terme. L'infrastructure, elle, se fait sur le très long terme et les services et les applications dépendent à leur tour de l'infrastructure [3]

Utilisateurs



**Figure 20** : Evolution des services

### Conclusion

Nous pouvons conclure à la lecture de ce chapitre que l'utilisation de la fibre optique en tant que support de propagation de la lumière est devenue essentielle aux systèmes de télécommunications optiques.

Il semble qu'il soit possible de corriger les problèmes qui peuvent entraver le bon fonctionnement d'un système à fibre, tels que la dispersion chromatique par une fibre à dispersion opposée ou l'atténuation par un amplificateur optique.

Avec l'avènement des fibres monomodes dont la dispersion chromatique pouvait être compensée en alternant des tronçons de dispersion de signes opposés, le facteur limitant la portée, tout du moins pour des débits allant jusqu'à 10Gbit/s (génération actuelle). Dès lors il ne devenait plus nécessaire de régénérer complètement le signal, et une simple amplification linéaire

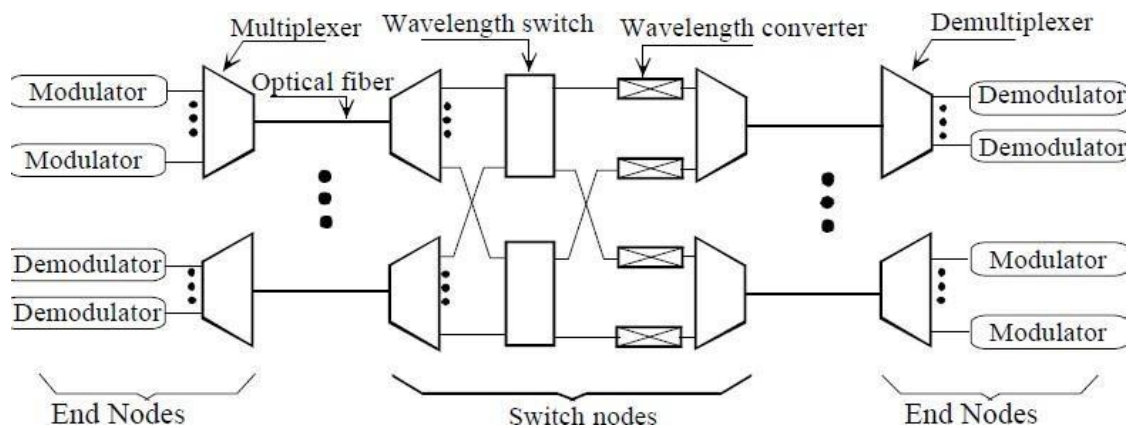
# Chapitre II: Les composants optiques et les critères de qualité

## II- Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'étude des différents composants optiques qui composent une liaison WDM (émetteurs et récepteurs optoélectroniques, modulateurs, amplificateurs optiques, multiplexeurs/démultiplexeurs optiques et transpondeurs), après une présentation du système de transmission par fibre optique dans le premier chapitre. Le chapitre se termine par une explication détaillée des critères de qualité de la transmission optique. La croissance rapide de la technologie fibre optique dans les domaines des télécommunications et de l'instrumentation a accru le besoin de composants actifs et passifs en optique guidée. Par exemple, les composants optiques tels que les multiplexeurs, les commutateurs, les modulateurs, les épissures, les coupleurs source-fibre, les coupleurs directionnels et les connecteurs sont essentiels aux transmissions et aux capteurs. [14]

### II-1- Les composants spécifiques d'un réseau WDM

Les composants spécifiques d'un réseau DWDM est représenté par la **figure 1**



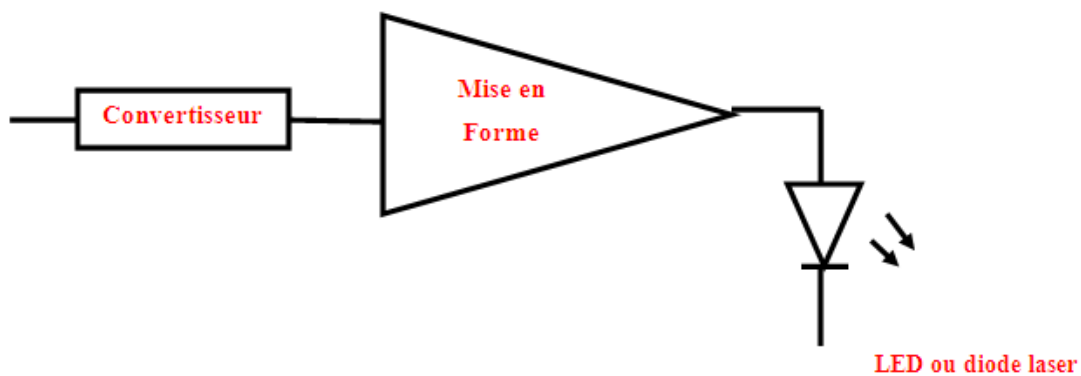
**Figure 1:** l'architecture et fonctionnement d'un système WDM

### II-2-1- Les composants optoélectroniques

Le rôle consiste à convertir le signal électrique en signal optique et réciproquement, à l'aide de semiconducteurs et de diodes émettrices (transmetteurs) et de photodétecteurs (récepteurs). En effet, ces composants, faciles à utiliser, peuvent être ajustés à des fréquences élevées sous des tensions faibles. [15]

### II-2-2- Les transmetteurs

Le transmetteur convertit les signaux fournis par l'équipement en un signal qui peut être transmis par voie optique. En raison de la nature digitale du signal optique, le transmetteur pourra contenir un bloc de conversion analogique-digitale. Le dispositif de codage sera également inclus dans le transmetteur (**Figure 2**). [16]



**Figure 2.** Synoptique d'un transmetteur

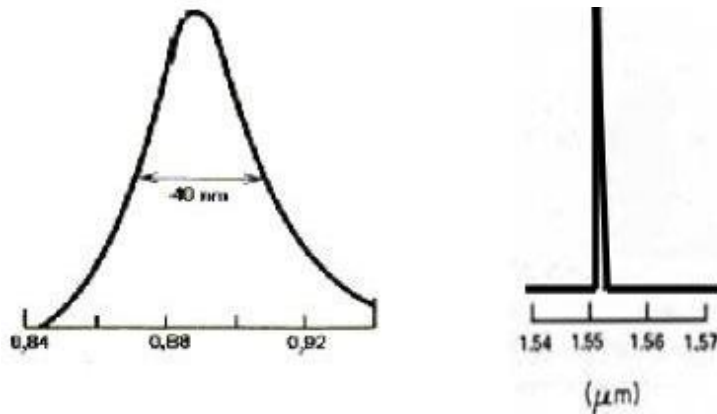
Les caractéristiques permettant de qualifier un transmetteur sont :

- La puissance d'émission et la puissance de couplage.
- La longueur d'onde.
- La vitesse maximale de transmission.
- Le type de codage.
- Le rapport de cycle.
- Le temps de montée et de descente.
- La tension d'alimentation et la plage de température.

Les diodes électroluminescentes et les diodes laser sont les deux catégories de composants d'émission de lumière qui répondent le mieux à ces critères. Ces deux sources sont produites par une jonction PN polarisée en direct, le principe d'émission est dû à la recombinaison des paires électron-trou. [3]

La DL (Diode Laser) est une source monochromatique et cohérente. Elle est employée dans les systèmes de transmission à très grande distance en raison de sa bande passante importante en raison de sa faible largeur spectrale. L'étroitesse du spectre de fréquence est exprimée par la cohérence. [6]

La source incohérente et polychromatique est la diode à lumière (LED). Elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grande bande passante car elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif que le laser (**Figure 3**). [17]



Spectre d'émission d'un LED

(b) Spectre d'émission d'un DL

**Figure 3.** Spectre d'émission d'une source optique

Les caractéristiques spectrales des sources :

- Les systèmes des longueurs pratiques utilisent des sources à semi-conducteur mettant autour de  $\lambda=0,85\mu\text{m}$ ,  $\lambda=1,3\mu\text{m}$  ou  $\lambda=1,55\mu\text{m}$  (les bandes de fréquence utilisées autour de ces trois longueurs d'onde sont appelées « fenêtres de télécommunications »).
- Les sources sont caractérisées par leur spectre et leur diagramme de rayonnement.
- Actuellement le seul type de source utilisée est la diode laser qui présente un spectre de raies très fines. [4]

Le **tableau 1.** représente une comparaison des sources de lumière pour les fibres optiques.

|   | <b>LED</b>   | <b>Diode laser</b>                    | <b>Diode laser Monomode</b>         |
|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Largeur spectral (nm)</b>                  | 20 – 100   | 1 – 5                                 | < 0,2                               |
| <b>Temps de montée (ns)</b>                   | 2 – 250  | 0,1 – 1                               | 0,05 – 1                            |
| <b>Fréquence de modulation maximale (MHz)</b> | < 300  | 2000                                  | 6000                                |
| <b>Pertes de couplage</b>                     | Élevées  | Moyennes                              | Faibles                             |
| <b>Fibre adaptée</b>                          | Saut d'indice multimode, gradient d'indice multimode | Gradient d'indice Multimode, monomode | Monomode                            |
| <b>Sensibilité à la température</b>           | Faible   | Élevées                               | Élevées                             |
| <b>Facilité d'utilisation</b>                 | Simple   | Complexe                              | Complexe                            |
| <b>Durée de vie (h)</b>                       | $10^5$   | $10^4 - 10^5$                         | $10^4 - 10^5$                       |
| <b>Prix</b>                                   | Très faible  | Elevé                                 | Faible                              |
| <b>Application principale</b>                 | Distances moyennes, Débit moyen.                     | Grandes distances, Débit élevé.       | Courtes distances, Débit très élevé |

### II-2-3 Modulateur optique

C'est un appareil capable de manipuler une propriété de la lumière, généralement un faisceau optique ou un faisceau laser. Les modulateurs sont appelés modulateurs d'intensité, de phase, de polarisation, de lumière spatiale, etc. en fonction de la propriété de la lumière contrôlée. Les modulateurs optiques sont utilisés dans un large éventail de domaines d'application, tels que les communications à fibres optiques, les écrans, la commutation Q active ou le verrouillage de mode des lasers et la métrologie optique. **(Figure 4)** [4]

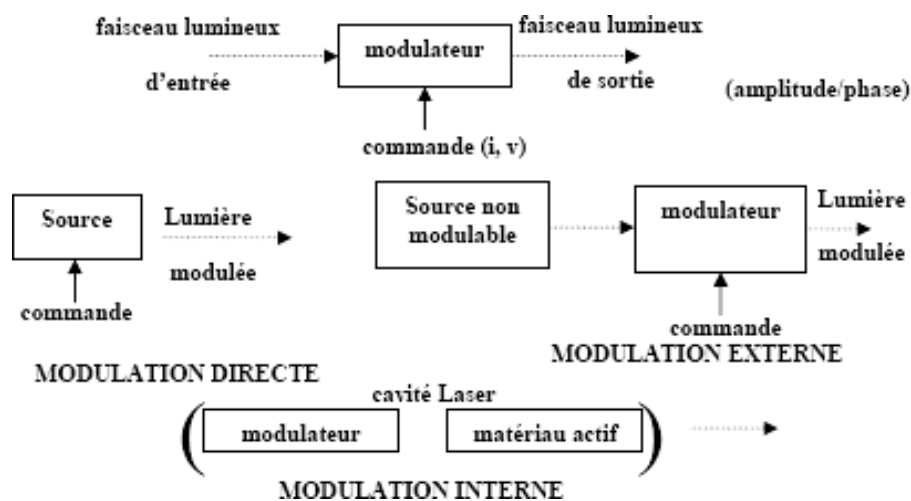


Figure 4. Types de modulation.

### II-2-3 Types de modulateurs optiques

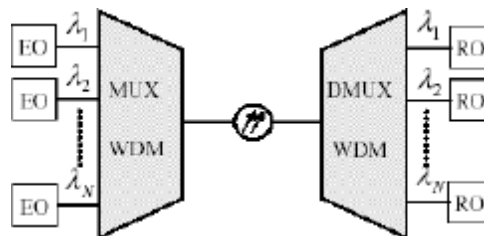
Il existe différents types de modulateurs optiques:

- ⇒ L'effet acousto-optique est la base des modulateurs acousto-optiques. Ils sont utilisés pour commuter ou modifier en continu l'amplitude d'un faisceau laser, pour décaler sa fréquence optique ou sa direction spatiale.
- ⇒ L'effet électro optique est utilisé par les modulateurs électro optiques dans une cellule Pockels. Ils peuvent être utilisés pour prendre des impulsions dans le cadre d'amplificateurs d'impulsions ultra-courts ou pour modifier la polarisation, la phase ou la puissance d'un faisceau. [18]

- ⇒ Les modulateurs d'intensité électro absorption sont utilisés pour les émetteurs de données dans les communications par fibre optique
- ⇒ Les modulateurs interférométriques, comme les modulateurs de Mach-Zehnder, sont souvent construits dans des circuits intégrés photoniques pour la transmission de données optique.
- ⇒ Les modulateurs à fibre optique peuvent exploiter divers principes physiques. Ils peuvent être de véritables dispositifs à fibre ou contenir des composants en vrac à queue de cochon en fibre.
- ⇒ Les affichages optiques et les formateurs d'impulsions ultra-rapides peuvent être utilisés avec des modulateurs à cristaux liquides. Ils sont également disponibles en tant que modulateurs spatiaux de la lumière, c'est-à-dire avec une transmission variante spatialement, comme pour les écrans [17]

### II-2-5 Multiplexeur/Démultiplexeur Optique

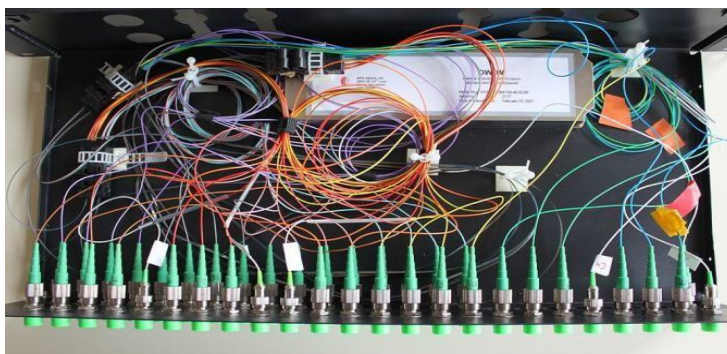
Les multiplexeurs électroniques, qui effectuent le multiplexage sur un signal électrique, ne seront pas abordés ici. Les multiplexeurs et les démultiplexeurs optiques sont disponibles sur le marché. Le principe est d'utiliser des sources ou plus à des longueurs d'onde différentes. Le multiplexeur permet d'additionner les signaux sur une fibre, tandis que le démultiplexeur sépare les signaux pour disposer l'un de ces signaux sur chaque sortie à la même longueur d'onde qu'à l'entrée (**Figure 5**). [19]



**Figure 5.** Multiplexeur/Démultiplexeur en longueur d'onde

**Le multiplexeur :** Le multiplexeur sera relativement simple et sera composé de 2 à N entrées. Selon l'un des principes de couplage, les signaux transmis sur les fibres d'entrée seront couplés dans une fibre de sortie. Les pertes d'insertion seront la caractéristique la plus importante du multiplexeur. En général, ces pertes sont de l'ordre du décibel. Le multiplexeur optique (OMU) dans les systèmes WDM DWDM peut être utilisé à l'aide de diverses technologies, dont les canaux optiques 8, 16, 32, 80 et 160 sont actuellement les plus courants. [3]

**Le démultiplexeur :** est une partie plus complexe que le multiplexeur, à la fois en termes de fonctionnement et de structure. Le réseau, le prisme et le miroir dichroïque sont les trois principes de démultiplexage. Les deux premiers appliquent le principe de déviation géométrique du faisceau, tandis que le dernier applique le principe de déviation sélective. Il existe de nombreuses technologies qui peuvent être utilisées pour mettre en œuvre le démultiplexeur optique (ODU) du système WDM. Trois types couramment utilisés de démultiplexeurs optiques sont une fibre optique réseau de Bragg, un film diélectrique type filtre et un guide d'onde optique intégré. [14]



**Figure 6.** Exemple d'un MUX/DEMUX optique

## II-2-6 Transpondeur

Le rôle du multiplexeur est de modifier les longueurs d'onde des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Un transpondeur est nécessaire pour modifier les longueurs d'onde entrantes. Il est donc possible que des signaux aient la même longueur d'onde même si l'émetteur est différent lorsque les signaux arrivent au niveau du multiplexeur. Le transpondeur est chargé de modifier la longueur d'onde de l'un de ces signaux car il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'onde sur un même lien au risque d'erroner les informations des deux signaux. [19]

## II-2-7 Les amplificateurs optiques

L'atténuation et la dispersion limitent la distance de propagation d'un signal sur une fibre optique. Dans les liaisons à longue distance, les amplificateurs optiques remplacent les génératrices optoélectroniques plus anciennes pour créer des liaisons transparentes qui permettent le multiplexage en longueur d'onde. Ils peuvent également être utilisés comme booster en amont, augmentant la puissance de l'émetteur afin qu'il puisse distribuer plus de fibres optiques. [20]

### II-2-7-1 Les différents types d'amplificateurs

- **Les boosters (amplification de puissance) :** Ils sont situés directement après l'émetteur au début de la chaîne et ne sont utilisés que dans les systèmes à un seul canal. Ils ont des puissances de sortie très élevées, ce qui permet de commencer la transmission avec un signal de haut niveau.
- **Les amplificateurs en ligne :** Ils sont situés sur la ligne de transmission et sont chargés de réduire les pertes causées par la fibre de ligne. Ils sont généralement situés à environ 70 km, ont un gain élevé et font un bruit faible .
- **Les préamplificateurs :** Ils sont positionnés à la fin de la chaîne de transmission et sont destinés à augmenter le niveau de signal avant le récepteur. Ils ont un gain élevé et un bruit très faible.

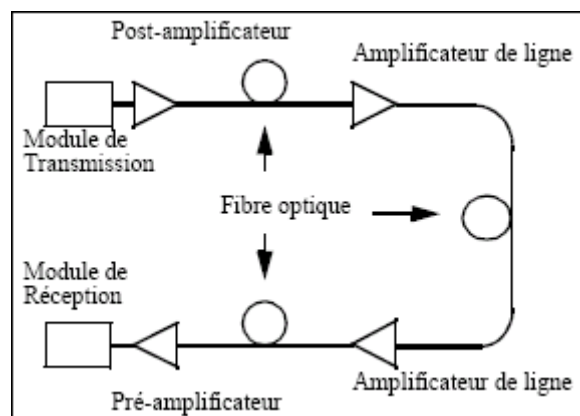


Figure 7. Applications de l'amplificateur optique

Le tableau suivant regroupe les performances typiques de ces amplificateurs dans le cas d'un EDFA en bande C .

**Tableau 2.** Performances des trois catégories d'amplificateurs (cas de l'EDFA en bande C)

| Type d'amplificateur   | Gain   | Figure de bruit | Puissance de sortie |
|------------------------|--------|-----------------|---------------------|
| Booster                | >15 dB | 6 dB            | > 20 dBm            |
| Amplificateur en ligne | 25 dB  | 5,5 dB          | 17-20 dBm           |
| Préamplificateur       | >30 dB | 4,5 dB          | 10-15 dBm           |

### II-2-7-2 Amplificateur dopée Erbium EDFA:

L'amplificateur EDFA à fibre dopée à l'erbium est un amplificateur qui utilise la fibre dopée à l'erbium comme support d'amplification optique pour améliorer directement les signaux. Il est composé d'une fibre optique en verre dopée aux ions erbium et le gain amplifie la lumière à des longueurs d'onde proches de 1550 nm. Le noyau d'une fibre de silice est dopé par des ions erbium trivalent et un laser à une longueur d'onde de 980 nm ou 1480 nm peut être pompé efficacement. L'EDFA est un amplificateur à fibres optiques préféré pour la plupart des applications de communications optiques car il fonctionne mieux dans la plage de 1530 à 1565 nm, possède un faible bruit et peut amplifier simultanément de nombreuses longueurs d'onde.

(Figure 8) [6]

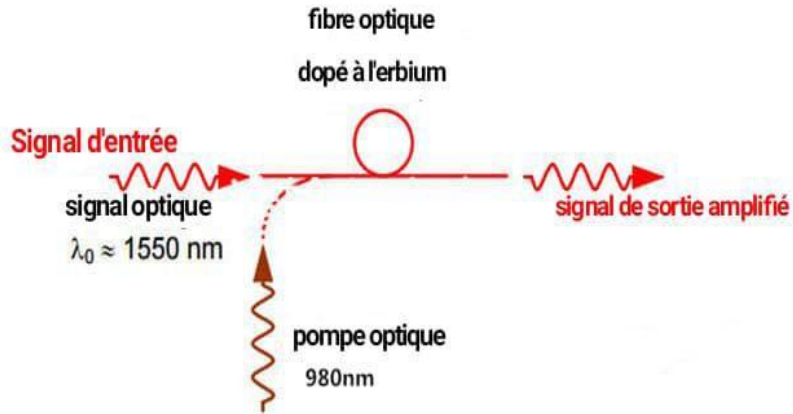


Figure 8. Représentation du EDFA

### II-2-7-3 Amplificateur à base de semi-conducteur SOA:

L'amplificateur SOA a une structure similaire à celle des diodes laser Fabry-Pérot et utilise le semi-conducteur comme moyen de gain. Il est disponible dans les longueurs d'onde 1310 nm, 1400 nm, 1500 nm et 1600 nm et peut être utilisé avec un mode unique ou une polarisation qui protège l'entrée/sortie des fibres. (Figure 9) [14]

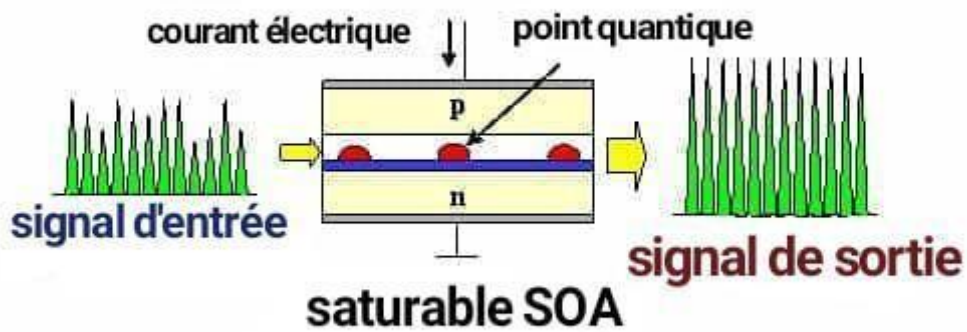


Figure 9 .Amplification SOA

### II-2-7-4 Comparaison des amplificateurs [8]

Elle est résumée dans le **tableau 2**, où nous comparons les caractéristiques des amplificateurs optiques de type EDFA (fibres dopées erbium) et SOA (semi-conducteurs).

**Tableau 3.** Caractéristiques comparées des amplificateurs optiques

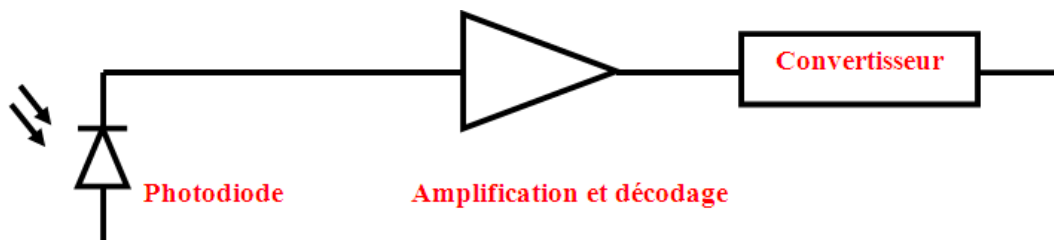
| Amplificateurs                    | EDFA en Silice | SOA en Silice | EDFA en Verres fluorés | A semi conducteur |
|-----------------------------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------|
| Pompage à                         | 980 nm         | 1480 nm       | 1480 nm                |                   |
| Gain                              | 30 à 40 dB     | 20 à 30 dB    | 40 dB                  | 20 à 30 dB        |
| Rapport gain à puissance de pompe | 10 dB/mW       | 4 dB/mW       | 6dB/mW                 |                   |
| Puissance de saturation           | 20 à 30 dBm    | 10 à 15 dBm   | 17 à 20 dBm            | 10 dBm            |
| Rendement quantique               | 80%            |               |                        |                   |
| Largueur de bande amplifiée       | 20 à 30 nm     | 10 à 20 nm    | 30 nm                  | 30 à 40 nm        |
| Facteur de bruit                  | 3 dB           | 6 à 9 dB      | 6 dB                   | 12 dB             |

### II-2-8 Les convertisseurs (wavelength converter)

Un signal optique modulé sur une longueur d'onde spécifique à l'entrée est converti en un signal identique modulé sur une longueur d'onde différente à la sortie. Ce composant optique remplit une fonction 2R optique (réception-remise en forme) avec une amélioration du rapport signal sur bruit, tandis que des convertisseurs de longueur d'onde fonctionnant à 10Gbits/s sont déjà disponibles dans le commerce. [13]

## II-2-9 Les récepteurs

Le récepteur recevra le signal optique et sera chargé de le transformer pour recréer les différents signaux créés par le transmetteur. Ces tâches comprennent l'amplification, le décodage, la séparation du signal utile et de l'horloge, la conversion digitale-analogique si nécessaire. **(Figure 10)** [20]



**Figure 10.** Synoptique d'un récepteur

Tout comme chaque équipement électronique, le récepteur sera caractérisé par des qualificatifs qui sont :

- La sensibilité.
- La longueur d'onde.
- La dynamique.
- Le coefficient d'amplification.
- Le taux de bits d'erreur.
- Le temps de montée et de descente.
- Les tensions d'alimentations et la plage de température.

La fonction des composants de réception est, à l'inverse des émetteurs, de convertir le flux lumineux qui les atteint en énergie électrique. Le plus courant est la photodiode qui convertit le flux incident en courant, photodiode existant en deux types utilisés pour les applications à fibre optique : la photodiode PIN et la photodiode à avalanche. [20]

La photodiode PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiodes) diffère de la structure de base par la présence d'une zone faiblement dopée comprise entre la zone dopée N et une zone fortement dopée P+. Cette zone I, appelée zone intrinsèque, a un comportement tel qu'elle ne sera ni fortement N ni fortement P et elle se comporte ainsi comme la zone de déplétion. Ne disposant pas de porteurs libres, sa résistance est élevée. Les porteurs libérés par les photons incidents sont très rapidement capturés par le champ électrique pour rejoindre les zones N ou P suivant leur charge. [6]

En plus, lorsqu'il est polarisé en inverse, ce composant émet un courant proportionnel à la puissance optique incidente.

Le signal reçu étant souvent très faible, il est nécessaire d'amplifier le photo-courant. Le bruit du préamplificateur étant en général prépondérant, on peut avoir intérêt à utiliser un composant à gain interne, la photodiode à avalanche (PDA) . Le PDA peut être comparé à la diode laser, le rapport entre photons et électrons étant dans ces deux composants supérieur à 1. Dans le PDA, un photon va être créateur de plusieurs électrons libres, générant ainsi un courant important. Une zone fortement dopée P+ est intercalée entre la zone dopée N et la zone faiblement dopée I. les électrons libres et les trous générés par les photons incidents vont être accélérés par cette zone P+, gagnant ainsi quelques électron-volts en énergie cinétique. Les PDAs sont employés pour détecter des intensités de lumière extrêmement faibles . [17]

Les Si PDAs sont employés dans la gamme de longueurs d'onde de 250 à 1100 nanomètres, tandis que l'InGaAs est employé comme matériel semi-conducteur dans les PDAs pour la gamme de longueurs d'onde à partir de 1100 à 1700 nanomètres .

### **Les caractéristiques générales :**

Certaines caractéristiques permettent de définir les diverses photodiodes, PIN ou à PDA :

- Bruit : deux types de bruit sont conséquents pour les photodiodes (le shot noise et le bruit thermique).
- Rapport signal sur bruit.
- Taux d'erreur par bit (BER).
- Responsivité.
- Efficacité quantique.
- Courant d'obscurité.
- Seuil de détection et le temps de réponse.

## II-2-10 Isolateurs

Un isolateur est un dispositif passif non réciproque en optique comme en électricité qui a une faible atténuation dans un sens et une forte atténuation dans l'autre sens. Par conséquent, il a une entrée et une sortie.

Les isolateurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes de télécommunications par fibre optique pour réduire la lumière provenant des réflexions parasites qui, en revenant dans le laser, perturbent leur fonctionnement. Les réflexions tout au long de la ligne sont fréquentes. Le bruit RIN (Relative Intensity Noise) de ces lasers est augmenté par ces réflexions intempestives.

Les amplificateurs optiques à fibre dopée utilisent également des isolateurs pour les empêcher de résonner et de se transformer en lasers en cas de réflexion. Les pertes d'intégration sont liées à l'intégration dans les différents composants. Il est tout à fait possible qu'ils ne dépassent pas 2.5 dB. [16]

## II-2-11 Les coupleurs :

Ces composants sont utilisés dans les réseaux à fibres optiques. En raison d'assurer un bon transfert de puissance et de réduire toutes sortes de pertes, ils servent à connecter les portions de fibres optiques entre elles. Les coupleurs doivent satisfaire à deux conditions fondamentales pour pouvoir diffuser efficacement des informations:

- Leur panne ne doit pas perturber le système auquel ils donnent accès.
- Le prélèvement de données en un point ne doit pas soutirer plus de quelques pour-cent de la puissance transmise.

Les coupleurs étoiles ont N entrées et N sorties, les coupleurs séries ont deux entrées et une sortie ou inversement, les coupleurs T et les coupleurs Y.

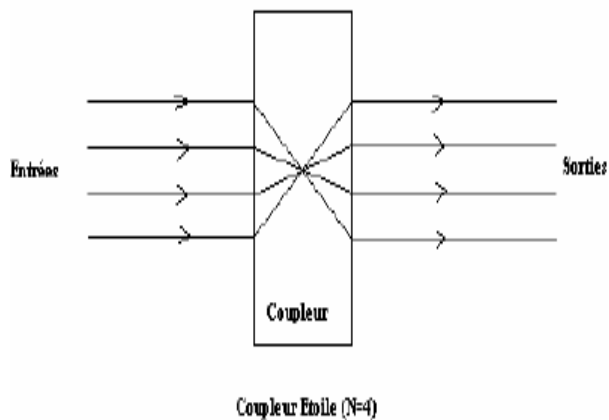


Figure .11 Coupleur étoile.

Le coupleur se compose de guides constituant ses entrées et ses sorties .En effet, la figure suivante présente un exemple de coupleurs à deux entrées et une sortie.

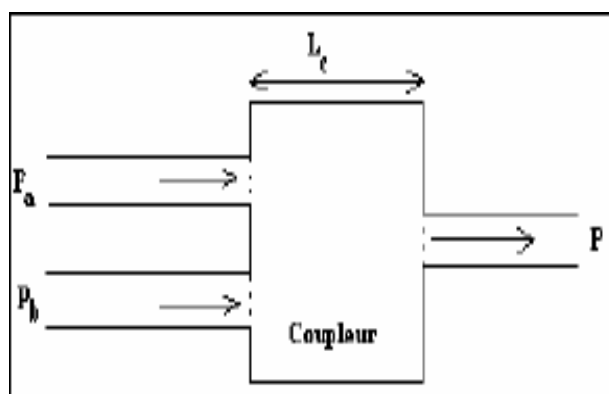


Figure 12. coupleur à deux entrées et une sortie

## II-2-12 Évolution de l'OSNR dans les systèmes WDM

L'OSNR est l'un des facteurs les plus cruciaux qui déterminent les performances d'un système WDM. Il établit les meilleures performances de transmission. Plus le rapport OSNR est élevé à l'extrémité de réception, meilleures sont les performances de transmission du système si les autres conditions restent inchangées. L'OSNR est principalement causé par le bruit ASE introduit par les OA. La courbe de transmission du signal lumineux et du bruit lumineux dans un système WDM est la suivante: [11]

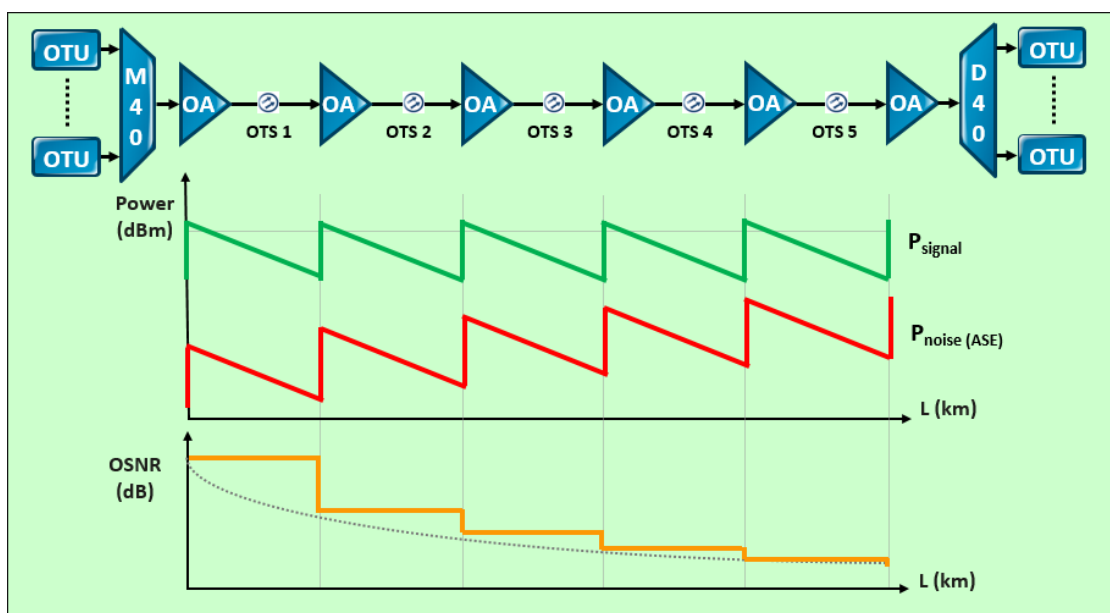


Figure 13 . Les étages d'amplification

Sur la base des attributs inhérents des amplificateurs optiques (EDFA), en supposant que la perte de chaque étendue de transmission et les OA configurés sont les mêmes, l'OSNR du système peut être calculé à l'aide de la formule simplifiée suivante : [20]

$$\text{OSNR(dB)} \approx 58 + P_{\text{out}} \text{ (dB)} - L - \text{NF(dB)} - 10 \log(N+1)$$

**NF** : nombre de bruits EDFA .

**P<sub>out</sub>** : puissance de sortie à une seule longueur d'onde de l'amplificateur optique .

**L** : atténuation de la plage OTS .

**N** : nombre de travées de transmission.

## II-3 Conclusion

Ce chapitre décrit les différentes composantes optoélectroniques nécessaires pour la conception et l'évaluation des performances d'un système WDM pour les télécommunications optiques haut débit. Nous avons également expliqué les trois critères de qualité d'une transmission optique. Le chapitre suivant présentera les résultats et les interprétations des différentes conceptions.

# Chapitre III :

## Résultats et discussions

### **III- 1- Introduction**

Dans ce dernier chapitre, nous allons simuler une chaîne de transmission optique et faire une comparaison entre les deux formats de codage NRZ et RZ pour un système à 10Gb/s. Pour cela nous utilisons un logiciel de simulation Optisystem. Commençons par l'analyse des deux types de formats de modulations RZ et NRZ au niveau de l'émission du signal jusqu'à la réception et en visualise les différentes formes des signaux optiques et électriques au niveau de chaque composant

### **III-2-Présentation du logiciel Optisystem**

#### **III- 2.1-Présentation**

OptiSystem est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, Simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. OptiSystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalistes graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale. La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma bloc
- Analyser le schéma.

#### **III- 2.2-Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem**

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifique en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
- La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
- Les outils de visualisation avancée produisent le signal sonore, les diagrammes de l'oeil, l'état de la polarisation.
- Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiseurs sur le moniteur au même port.

### III-2.3-Interface OptiSystem

La figure suivants indique que l'interface OptiSystem contient une fenêtre principale repartit en plusieurs parties:

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants,
- Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception
- Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

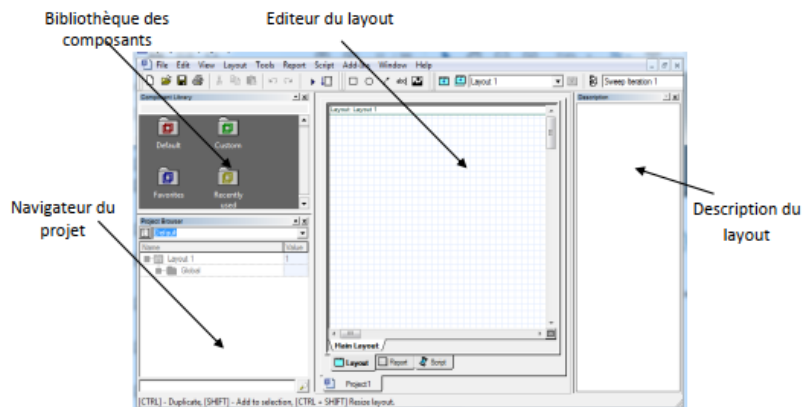


Figure III- 1 :L'interface de travail sur optisystem

#### III- 2.3.1-Bibliothèque

La bibliothèque est une base de donnée qui contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs, comme les entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres,...etc. (voir **figure .2**)

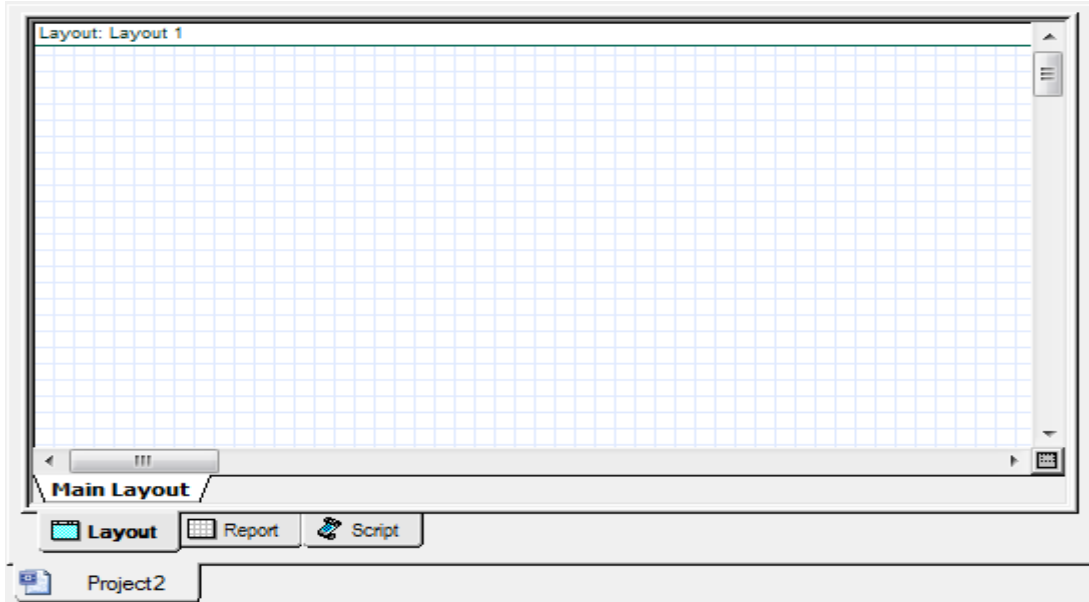


Figure . 2 : La bibliothèque du logiciel optisystem

### III- 2.3.2-Editeur du layout

L'éditeur de layout et la fenêtre qui permet de concevoir des schémas bloc avec des différents composants de la bibliothèque où on peut les configurer en modifiant ces paramètres.

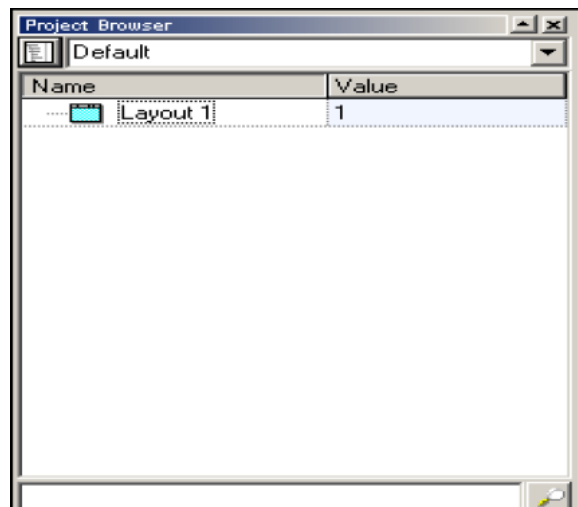
(Voir **figure. 3**)



**Figure III-3:** Editeur du layout

### III- 2.3.3-Navigateur du Projet (Projet en cours)

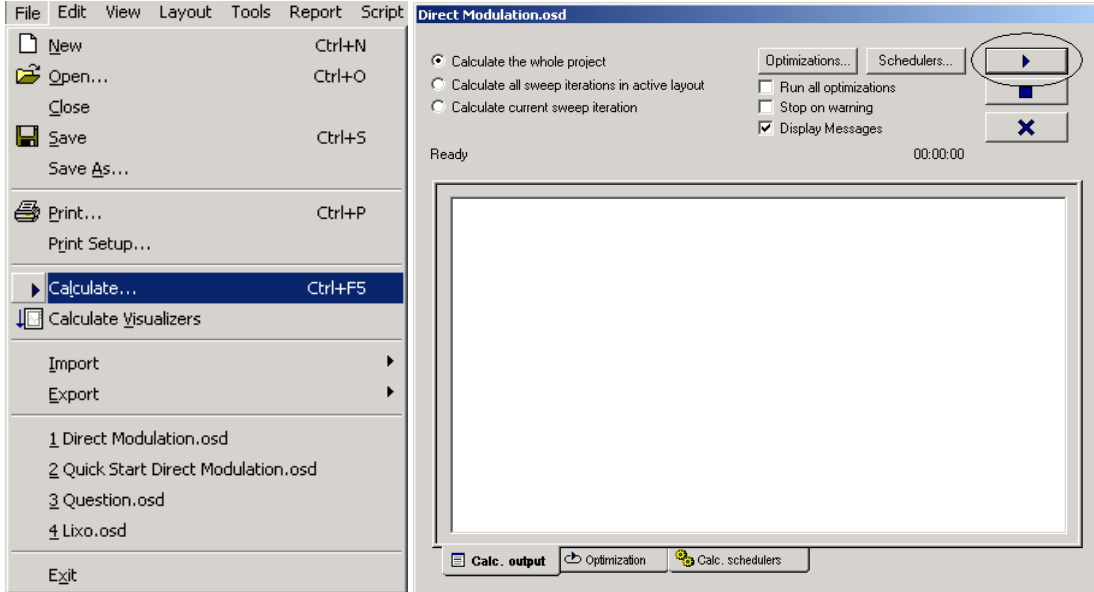
Cette fenêtre contient tous les composants utilisés lors du projet afin de pouvoir accéder plus rapidement aux différents composants, particulièrement dans le cas d'un projet complexe qui contient un nombre important de composants. (voir **figure .4**)



**Figure.III- 4:** Navigateur du projet

### III- 2.3.4-Lancer une simulation :

Pour exécuter une simulation, procédez comme suit. (Voir **figure .5**)



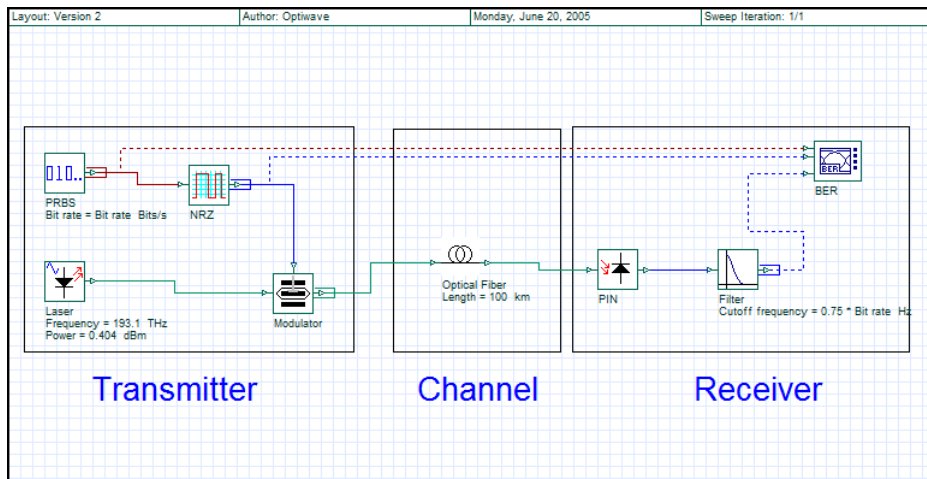
**Figure. 5:** Fenêtre montre le lancement de la simulation

### III- 3 Composants d'un système de communication optique

La figure 6 représente le détail de schéma fonctionnel générique d'un système de communication optique.

Un système de communication optique consiste en:

- émetteur
- canal de communication
- récepteur. (voir **figure 6**)



**Figure 6 :** Système de communication optique

### III- 3.1-Emetteur optique

En général, les émetteurs optiques utilisent un signal électrique pour moduler la puissance d'une source de lumière.

#### III- 3.1.1-Le rôle de l'émetteur optique est de :

- Convertir le signal électrique en forme optique ;
- Lancer le signal optique obtenu dans la fibre optique.

#### L'émetteur optique comprend les composants suivants :

- Source optique
- Générateur d'impulsions électriques
- Modulateur optique. (Voir **figure 7**)

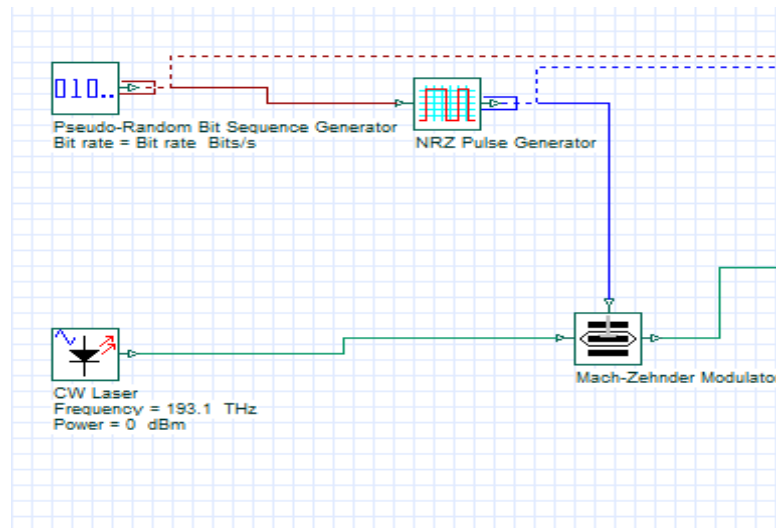


Figure III-7 : Emetteur optique

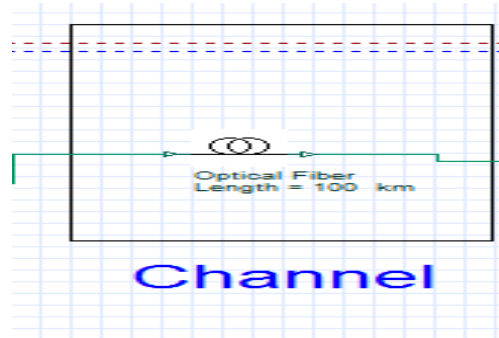
### III- 3.2-Canal de communication

Le rôle du canal de communication est de transporter le signal optique de l'émetteur au récepteur sans le déformer. La plupart des systèmes de communication à ondes lumineuses utilisent des fibres optiques comme canal de communication, car les fibres peuvent transmettre de la lumière avec une perte de puissance relativement faible.

La perte de fibres est, bien sûr, une question de conception importante, car elle dicte l'espacement des répéteurs d'un système d'ondes lumineuses à longue distance. Un autre

problème de conception important est la dispersion de la fibre, qui conduit à l'élargissement des impulsions individuelles à l'intérieur de la fibre.

Afin d'observer les effets de la perte et de la dispersion dans le signal optique, vous pouvez modifier les valeurs de longueur de fibre et visualiser la dégradation du signal au stade du récepteur.(voir **figure 8**)



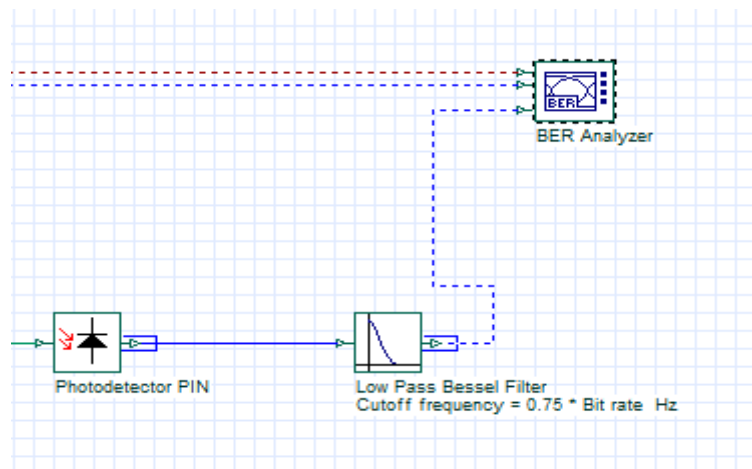
**Figure 8 :** Canal de communication

### III- 3.3-Récepteur

Un récepteur optique convertit le signal optique reçu à l'extrémité de sortie de la fibre optique en signal électrique d'origine.

Le récepteur comprend les éléments suivants :

- photodétecteur
- filtre
- démodulateur.(voir **figure 12**)



**Figure 9 :** Récepteur

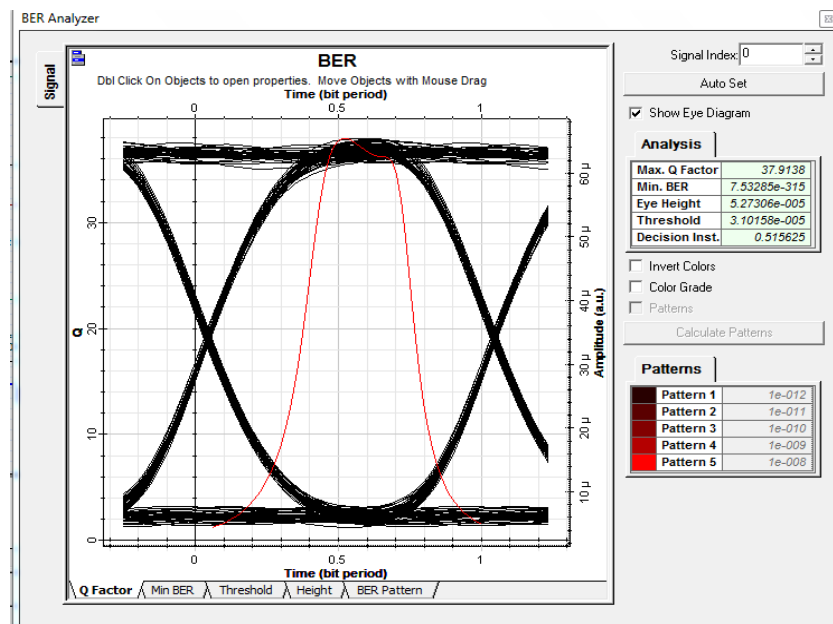
Souvent le signal reçu est sous forme d'impulsions optiques représentant 1 et 0 bits, et est converti directement en courant électrique. Un tel schéma est appelé modulation d'intensité avec détection directe (IM/DD). La démodulation est obtenue par un circuit de décision qui identifie les bits comme 1 ou 0, selon l'amplitude du courant électrique.

La performance d'un système d'ondes lumineuses numériques est caractérisée par le taux d'erreur binaire (BER). Il est d'usage de définir le BER comme la probabilité moyenne d'une identification incorrecte des bits. La plupart des systèmes d'onde lumineuse spécifient un BER de  $10^{-9}$  comme exigence de fonctionnement.

L'extrémité avant d'un récepteur se compose d'une photodiode avec un préamplificateur intégré. Le canal linéaire se compose d'un amplificateur à gain élevé et d'un filtre passe-bas. La récupération de données est effectuée par l'analyseur BER avec un circuit intégré de récupération d'horloge et de décision.

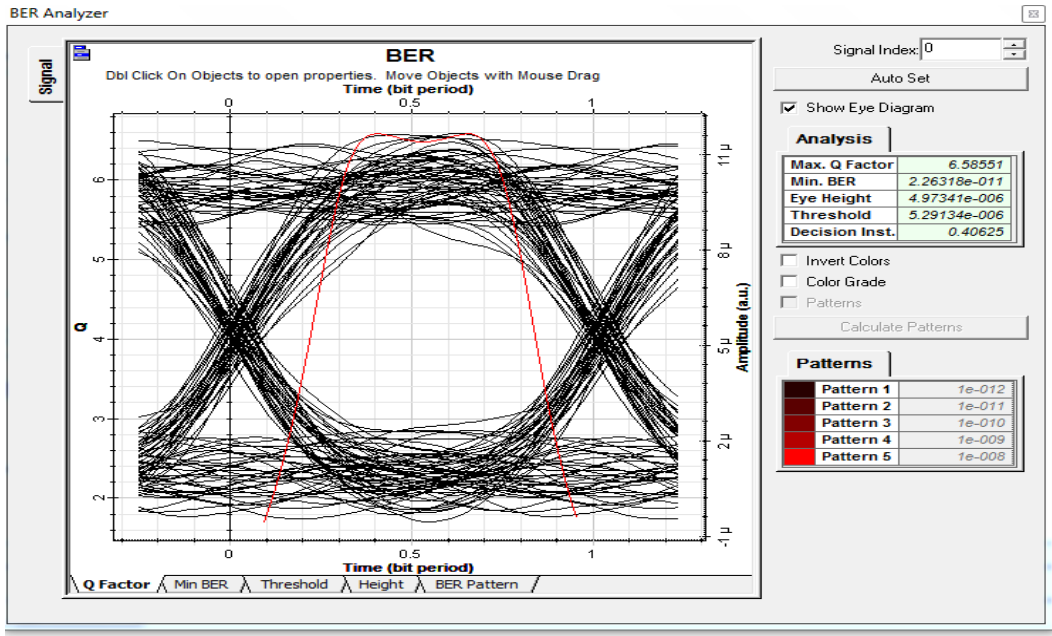
Le canal linéaire a un filtre passe-bas qui forme l'impulsion. Le bruit du récepteur est proportionnel à la bande passante du récepteur et peut être réduit en utilisant un filtre passe-bas dont la bande passante est inférieure au débit binaire. L'impulsion se propage au-delà de la plage de temps - la propagation peut interférer avec la détection des bits voisins, qui est le phénomène appelé interférence intersymbol (ISI).

Dans le cas de diagramme de l'analyseur BER illustré à la figure suivants (Figure 13), une puissance de sortie laser de 0 dBm et 60 km de longueur de fibre aura un BER proche de  $10^{-9}$  et le diagramme oculaire idéal vu dans la **figure 10** est généré



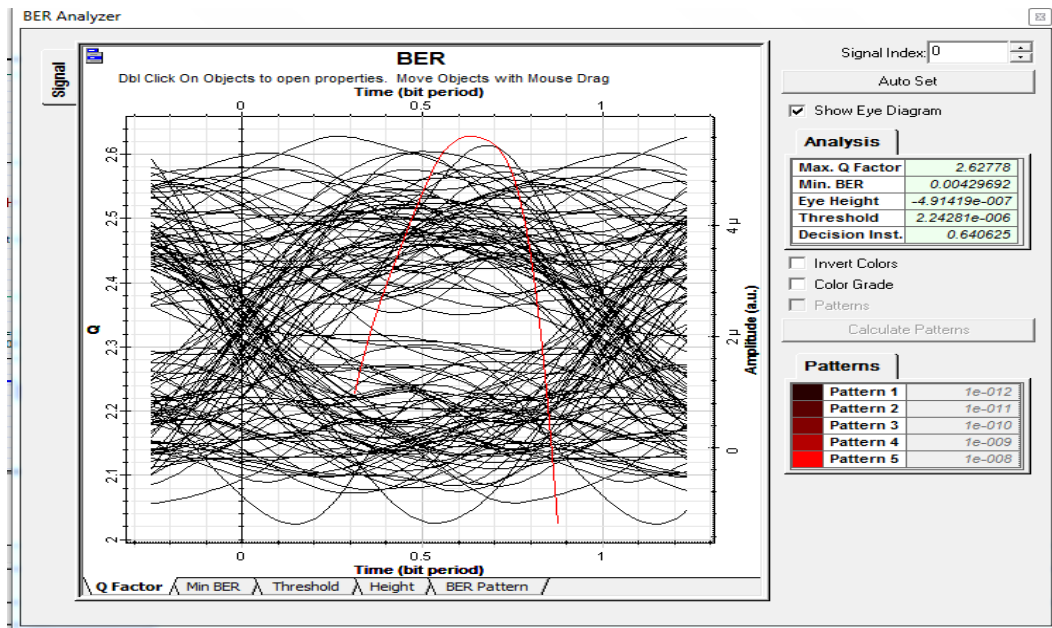
**Figure 10 :** Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 60 Km

Dans le cas de diagramme de l'analyseur BER illustré à la figure suivants (Figure 11), une puissance de sortie laser de 0 dBm et 100 km de longueur de fibre aura un BER proche de  $10^{-9}$  et le diagramme oculaire idéal vu dans la **figure 10** est généré



**Figure 11:** Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 100 Km  
le diagramme est dégradés

Dans le cas de diagramme de l'analyseur BER illustré à la figure suivants (Figure 12), une puissance de sortie laser de 0 dBm et 120 Km km de longueur de fibre aura un BER proche de  $10^{-3}$  et le diagramme est dégradés.



**Figure 12** : Diagramme de l'œil pour la modulation RZ avec fibre de 120 Km

### III- 5-Optimisation de la puissance et la compensation de dispersion pour les transmissions NRZ et RZ non linéaire

Dans ce travail, nous montrons un exemple de procédure de maximisation. Nous optimiserons la puissance de lancement et la longueur du DCF pour maximiser le facteur Q au niveau du récepteur.

La mise à niveau d'une usine existante de fibre à bruit limité nécessite une augmentation de la puissance de lancement, qui à son tour apporte les non linéarités de fibre. Il a été démontré que le codage du retour à zéro (RZ) et (NRZ) non linéaire offre des avantages importants pour les systèmes de transmission à débit binaire élevé. Parce que la dispersion des fibres et les non-linéarités de Kerr s'équilibrent dans ce cas, la puissance lancée n'est pas limitée par la modulation de phase (SPM). Mais cette configuration nécessite une sélection minutieuse de la puissance de lancement et de la longueur de la fibre de compensation de dispersion (DCF).

Un atténuateur est utilisé pour trouver la pénalité de puissance. L'atténuation de l'atténuateur est initialement réglée sur 0 lorsque l'optimisation est effectuée. Plus tard, une autre optimisation est effectuée pour trouver la pénalité de puissance en comparant les performances de transmission et de liaison. Ceci est fait en faisant varier l'atténuation de l'atténuateur pour obtenir le même facteur Q que nous avons obtenu de la transmission dos-à-dos. La puissance reçue (Preceived) est ensuite comparée à la sensibilité du récepteur pour trouver la pénalité de puissance.

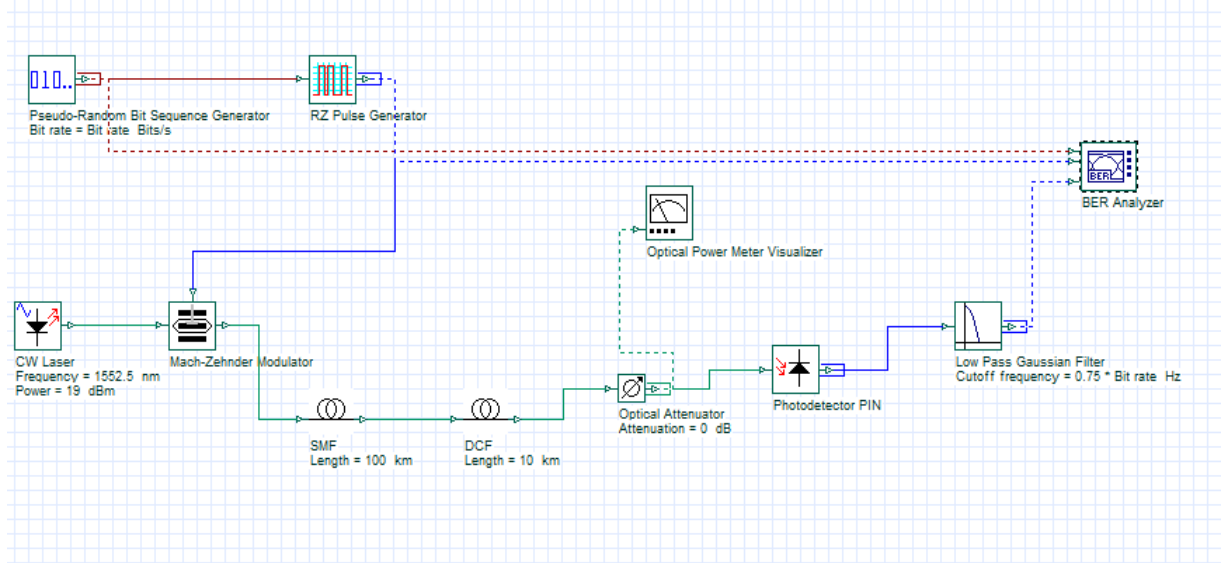
**La pénalité de puissance est  $P_{\text{penalty}} \text{ (dB)} = -17 \text{ dBm} - \text{Preceived (dBm)}$ .**

#### III.5.1 Transmissions RZ non linéaire

La **figure 13** montre la disposition du circuit. Les paramètres des fibres SMF sont les suivants : L'atténuation est de 0,171 dB/km, la dispersion est de 17,7 ps/nm/km, la surface effective est de 80 microns carrés,  $n_2 = 2,7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ , la longueur est de 100 km.

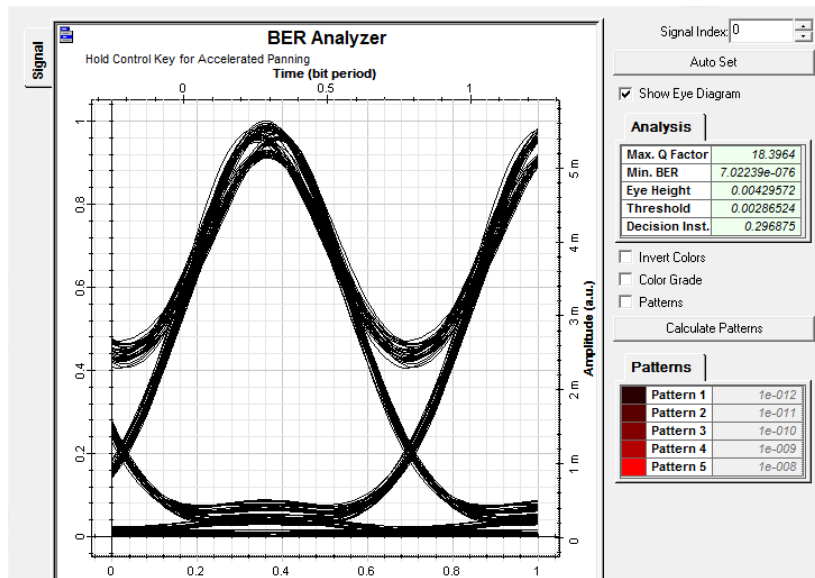
Les paramètres de fibre DCF sont les suivants : L'atténuation est de 0,6 dB/km, la dispersion est de -80 ps/nm/km, la surface effective est de 30 microns carrés,  $n_2 = 3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ , la longueur est de 100 km. Le débit binaire est de 10 Gbps, la séquence de bits PRBS du 7ème ordre et le profil de faisceau gaussien est utilisé. La sensibilité du récepteur est de -

17 dBm.



**Figure 13 :** Circuit a base de codage RZ

Les paramètres de l’outil d’optimisation sont les suivants : La puissance laser initiale et la longueur DCF sont réglées à 19 dBm et 10 km respectivement. Les limites inférieure et supérieure de la puissance sont définies comme étant 15 dBm et 25 dBm, 0 et 30 km pour la longueur du DCF. La tolérance de terminaison du paramètre est 1, celle du résultat est 0.1.



**Figure 14:** Diagramme de l’œil pour la modulation RZ avec des paramètres optimaux

Le facteur Q maximal est obtenu après 15 calculs, lorsque la puissance du laser est d’environ 19 dBm et que la longueur du DCF est d’environ 10 km. Au point optimal, le

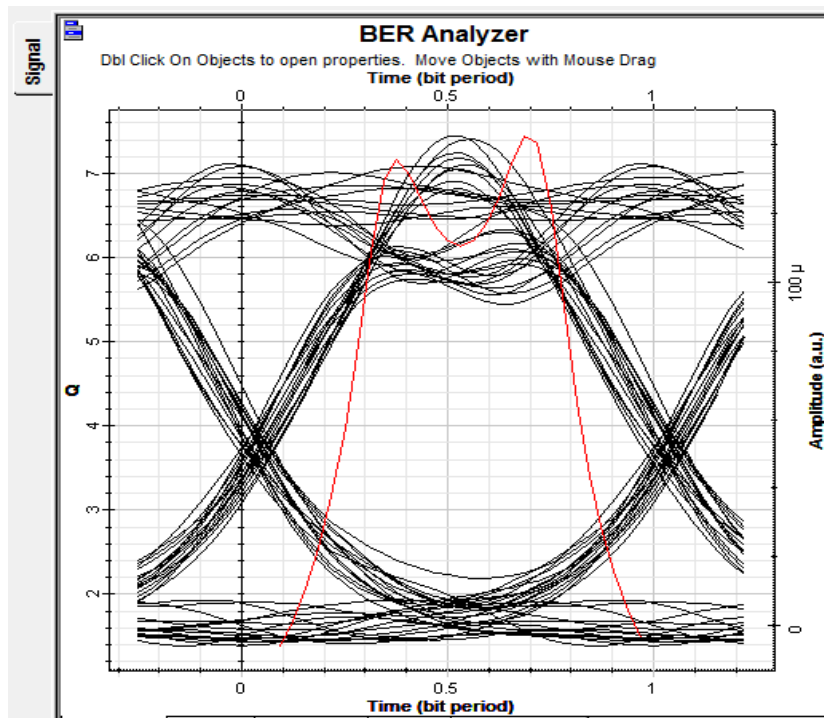
facteur Q maximal est d'environ 20. La puissance moyenne reçue est de -8,25 dBm.

Le facteur Q maximal pour la propagation dos-à-dos était d'environ 68. Cela montre que la compensation optimale de dispersion correspond à environ 45 km de SMF compensée (~963 ps/nm de dispersion résiduelle) avec ~20 dBm de lancement (~16 dBm de moyenne). Nous avons également constaté que la pénalité de puissance à  $10^{-9}$  BER est de 0 dB pour les valeurs optimales (la puissance reçue requise pour obtenir  $10^{-9}$  BER est d'environ -17 dBm, ce qui est la même que la sensibilité du récepteur). La **figure 14** montre le diagramme des yeux après 100 km de propagation avec des paramètres optimaux.

### III.5.1 Transmissions NRZ non linéaire

Il a été démontré que des résultats similaires peuvent être obtenus à partir d'un format de modulation NRZ pour un système à travée unique, en laissant la quantité correcte de dispersion résiduelle dans le système. Dans ce cas, la dispersion résiduelle optimale est inférieure à celle du cas RZ.

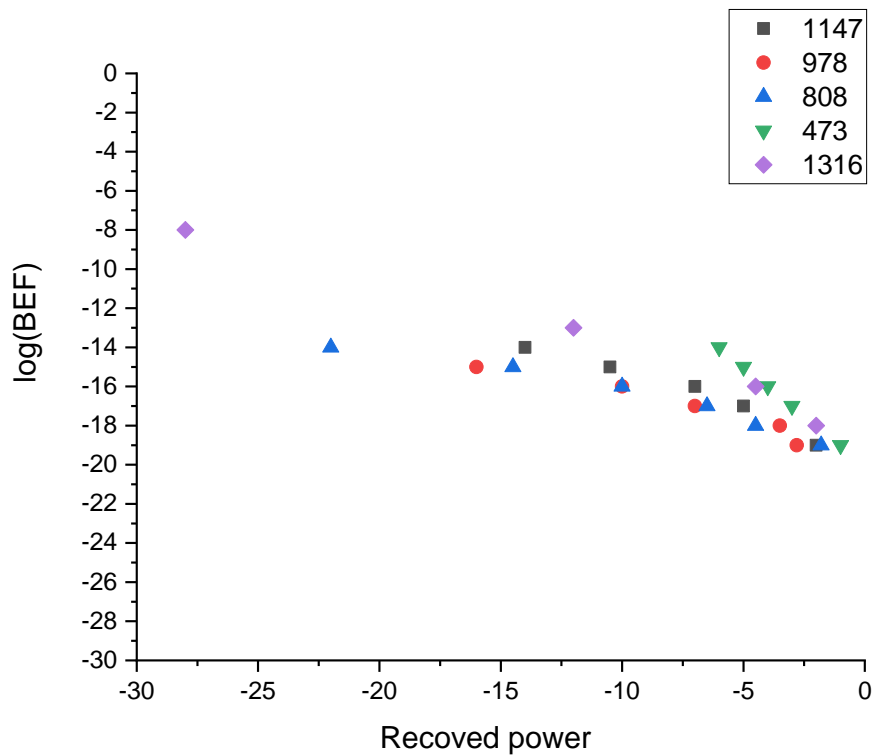
La **figure 15** montre le diagramme des yeux après 100 km de propagation avec des paramètres optimaux



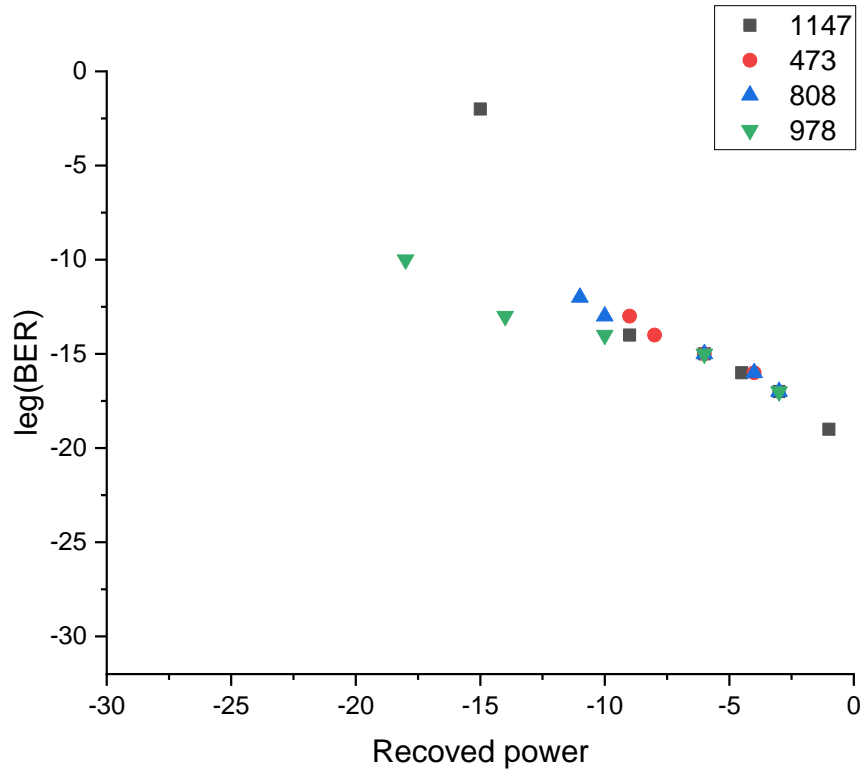
**Figure 15:** Diagramme oculaire pour modulation NRZ avec paramètres optimaux

Nous avons effectué des optimisations similaires pour les modulations NRZ. La sensibilité du récepteur est de -15,6 dBm. Le Q maximum est obtenu après 4 calculs lorsque la puissance laser est d'environ 19 dBm (~16 dBm de puissance moyenne) et que la longueur du CCD est d'environ 18 km. Au point optimal, le facteur Q maximum est d'environ 10 et la puissance moyenne reçue est de -12,3 dBm.

La figure 15 montre le diagramme d'œil après 100 km de propagation avec les paramètres optimaux lorsque le format de modulation NRZ est utilisé. Les résultats obtenus concordent bien avec les résultats expérimentaux. En outre, la comparaison des facteurs Q aux points optimaux montre qu'en fait, la modulation RZ peut tolérer plus de distorsions et atteindre une distance de transmission plus longue.



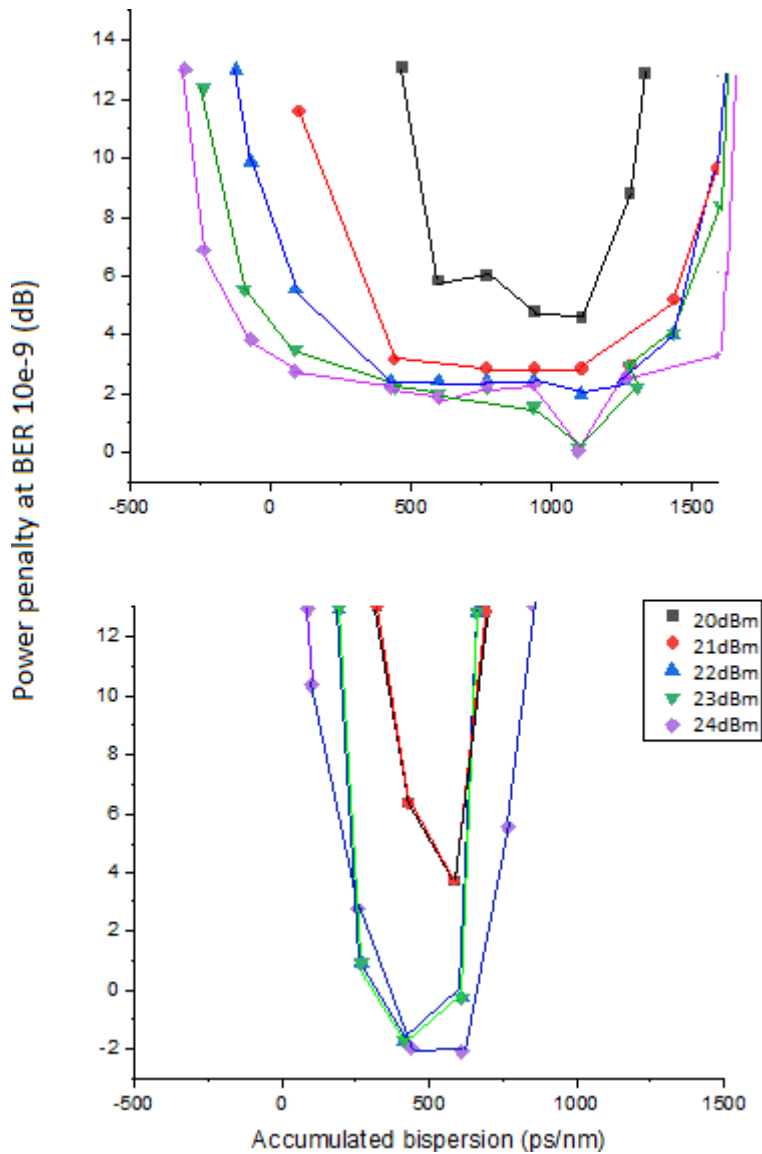
BER mesuré de (a) RZ



#### BER mesuré de (b) NRZ

La figure III-16 : BER mesuré de (a) RZ et (b) NRZ

La figure III-16 montre le BER mesuré en fonction de la puissance optique reçue pour les deux schémas de codage à une puissance de lancement de 21 dBm et différentes dispersions totales accumulées. Nous trouvons un totale de puissance d'environ 61 dB pour le codage des données RZ et NRZ à un BER de  $10^{-19}$ . Pour la transmission RZ, une nouvelle augmentation de la puissance de lancement s'accompagne de pénalités de puissance plus élevées au niveau du récepteur. D'autre part, une augmentation similaire de la puissance de lancement NRZ entraîne une perte totale de transmission. Le totale de puissance maximal est donc quasiment indépendant du schéma de codage.



La figure III-17 résume les résultats simulés pour différentes cartes de disposition pour RZ et NRZ. La pénalité de puissance par rapport à la mesure consécutive est tracée par rapport au total dispersion accumulée avec la puissance de lancement comme paramètre. Pour RZ, la compensation de dispersion optimale correspond à environ 50 km de PSCF compensé. Dans le cas du format NRZ, 70 km de PSCF compensé donnent les meilleurs résultats. La compensation de dispersion n'est pas un facteur critique dans le système de transmission RZ qui doit être précis à seulement environ 75 km de PSCF.

Cette plage diminue pour le système de transmission NRZ à environ 25 km de PSCF à la même puissance de lancement.

### **Conclusion**

Le but de ce chapitre est d'optimiser une chaîne de transmission à 10 Gb/s sur fibre optique. En utilisant le logiciel Optisystem qui permet de simplifier la conception et minimiser le temps de la simulation. Nous avons comparé deux types de codage avec la même longueur de fibre et même débit binaire aussi garder les mêmes composants et leurs paramètres de simulation.

# Conclusion générale



## Conclusion générale :

L'optimisation de la puissance et de la compensation de dispersion pour la transmission RZ (Return-to-Zero) non linéaire sur des fibres de différentes longueurs peut être réalisée à l'aide d'outils de simulation optique tels que Logiciel Optiwave ou OptiSystem. Voici les étapes générales à suivre pour effectuer cette optimisation :

**1. Configuration de la fibre :** Dans l'outil de simulation, configurez la fibre optique avec les paramètres appropriés, tels que la longueur (60 km, 100 km ou 120 km), l'atténuation, la dispersion, la non-linéarité, etc. Ces paramètres dépendent du type de fibre utilisé.

**2. Configuration de la source optique :** Configurez la source optique pour générer un signal RZ avec une puissance initiale donnée. Vous devrez également spécifier les paramètres de la source, tels que la longueur d'onde, la largeur d'impulsion, le taux de répétition, etc.

**3. Ajout de composants de dispersion :** Ajoutez des composants de dispersion à votre schéma de transmission pour compenser la dispersion chromatique de la fibre. Vous pouvez utiliser des compensateurs de dispersion, des fibres à dispersion décalée, des réseaux de Bragg ou d'autres dispositifs de compensation en fonction des fonctionnalités disponibles dans l'outil de simulation.

**4. Simulation de la transmission :** Exécutez la simulation de transmission pour le système que vous avez configuré. L'outil de simulation calculera les effets non linéaires tels que l'auto-modulation de phase (PMD), l'effet Kerr et les effets de propagation linéaire tels que la dispersion chromatique.

**5. Analyse des performances :** Analysez les performances de transmission en évaluant les paramètres pertinents tels que la puissance du signal reçu, le rapport signal sur bruit (SNR), le taux d'erreur binaire (BER), etc. Vous pouvez effectuer une analyse en fonction de la puissance d'entrée et de la dispersion compensée pour trouver les paramètres optimaux.

**6. Optimisation :** Utilisez les résultats de la simulation pour optimiser la puissance du signal d'entrée et la compensation de dispersion. Vous pouvez utiliser des algorithmes d'optimisation disponibles dans l'outil de simulation ou effectuer des itérations manuelles pour ajuster les paramètres.

**7. Validation :** Une fois que vous avez trouvé les paramètres optimaux, validez la performance du système en utilisant ces paramètres pour une transmission à long terme. Assurez-vous que les performances du système, telles que le BER, sont satisfaisantes sur la distance totale de transmission.

Ces étapes fournissent une vue d'ensemble du processus d'optimisation de la puissance et de la compensation de dispersion pour la transmission RZ non linéaire sur différentes longueurs de fibre. Cependant, veuillez noter que les détails spécifiques de l'outil de simulation et les paramètres exacts à utiliser peuvent varier en fonction du logiciel utilisé.



## BIBLIOGRAPHIE :

- [1] ItegaretsHalim . Rezkellah Nadir, « Optimisation des paramètres d'une liaison à fibre optique » Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en électronique. option: automatique. université Béjaia .2015.
- [2] REDJDAL Kaci. «Etude d'une chaine de télécommunication optique » Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication. université Béjaia. 2013.
- [3] M. A. Bencherchali « Cours-Fondamental-D\_Opto-09-Avril-2014-Définitif» Université Saad Dahleb De Blida.
- [4] Djehiche Hanane . Tabet Yasmine. «Etude et simulation d'un réseau optique de transmission DWDM d'un réseau dorsal» Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en électronique. option: traitement de l'information et systèmes électroniques .Blida 2015.
- [5] Gaouat Ibtissem . «Conception et analyse d'un système de communication optique WDWM» Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Télécommunication. option: Réseaux et Télécommunication . Université Mohamed Khider de Biskra.2020.
- [6] M. L. Dennis, et al. "Long span repeaterless transmission using adiabatic solitons". IEEE Photon. Tech. Lett. 11. 478 (1999).
- [7] C. Furst., et al. "Performance limits of nonlinear RZ and NRZ coded transmission at 10 and 40 Gb/s on different fibers". OFC 2000 2, WM31-302 (2000).
- [8] C. Furst, et al. "RZ verses NRZ coding for 10Gbit/s amplifier free transmission". LEOS 1999 1. MJ1-82 (1999).
- [9] G. Mohs. et al.. "Advantages of nonlinear RZ over NRZ on 10 Gb/s single-span links". OFC 2000. FC2-35 (2000).
- [10] ItegaretsHalim . Rezkellah Nadir, « Optimisation des paramètres d'une liaison à fibre optique » Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en électronique. option: automatique. université Béjaia .2015.
- [11] REDJDAL Kaci. «Etude d'une chaine de télécommunication optique » Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication. université Béjaia. 2013.
- [12] M. A. Bencherchali « Cours-Fondamental-D\_Opto-09-Avril-2014-Définitif» Université Saad Dahleb De Blida.
- [13] Djehiche Hanane . Tabet Yasmine. «Etude et simulation d'un réseau optique de transmission DWDM d'un réseau dorsal» Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en



électronique. option: traitement de l'information et systèmes électroniques .Blida 2015.

[14] Gaouat Ibtissem . «Conception et analyse d'un système de communication optique WDM» Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Télécommunication. option: Réseaux et Télécommunication . Université Mohamed Khider de Biskra.2020.

[15] M. L. Dennis, et al. "Long span repeaterless transmission using adiabatic solitons". IEEE Photon. Tech. Lett. 11. 478 (1999).

[16] C. Furst., et al. "Performance limits of nonlinear RZ and NRZ coded transmission at 10 and 40 Gb/s on different fibers". OFC 2000 2, WM31-302 (2000).

[17] C. Furst, et al. "RZ verses NRZ coding for 10Gbit/s amplifier free transmission". LEOS 1999 1. MJ1-82 (1999).

[18] G. Mohs. et al.. "Advantages of nonlinear RZ over NRZ on 10 Gb/s single-span links". OFC 2000. FC2-35 (2000).

[19] codifie Manchester, <https://www.elettroamici.org/fr/codifica-manchester-che-cose-eperche-usarla/>, (15 avril 2023) [8] Marc Van Droogenbroeck,

[20] [http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/total1/elen008/node126\\_mn.html](http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/total1/elen008/node126_mn.html), Mars 2015 (consulté 15 avril 2023)

## Abstract:

Most of the fibers installed are standard single-mode fibers. To achieve a good level of bit error rate (BER) as well as to allow greater spacing between repeaters and a greater signal to noise ratio (SNR) in this type of fiber, it is very important to take into account the influence of group speed. Increasing the capacity of optical systems may require either increasing the bit rate, using WDM, or both. At high bit rates, the modulation format, the type of dispersion compensation scheme and the channel power become important elements for the optimal system design. In particular, it has been shown numerically and experimentally that the conventional non-return-to-zero (NRZ) modulation format is superior to return-to-zero (RZ) modulation in the case of large WDM systems, because the modulation RZ causes a significant loss of time. Penalty for closing eyes near end canals. Our goal is to study these two types of RZ and NRZ coding to compare the penalties for closing eyes.

**Keyword:** RZ coding, NRZ coding, Chromatic dispersion, Wavelength.

## ملخص:

معظم الألياف الضوئية المثبتة حالياً هي ألياف قياسية أحادية الوضع. لتحقيق مستوى جيد من معدل خطأ البت (BER) وكذلك للسماح بتباعد أكبر بين أجهزة إعادة الإرسال ونسبة أعلى من الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في هذا النوع من الألياف، من المهم جداً مراعاة تأثير سرعة المجموعة. قد تتطلب زيادة قدرة الأنظمة البصرية إما زيادة في معدل البت أو استخدام WDM، أو كليهما. بمعدلات بت عالية، يصبح تنسيق التعديل ونوع نظام تعويض المبعثر وطاقة القناة عناصر مهمة لتصميم النظام الأمثل. على وجه الخصوص، تم إثبات عددياً وتجريبياً أن تنسيق تعديل العائد الصفري التقليدي (NRZ) يتفوق على تعديل العائد الصفري (RZ) لأنظمة WDM الكبيرة، لأن تعديل RZ يسبب خسارة زمنية كبيرة. عقوبة لإغلاق العيون بالقرب من القنوات النهائية. هدفنا هو دراسة نوعين من ترميزات RZ و NRZ لمقارنة عقوبات إغلاق العين.

**الكلمات الدالة :** الترميز بالعودة إلى الصفر ، الترميز بدون الرجوع إلى الصفر ، التشتت اللوني ، مضاعفة الطول الموجي