

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen
Faculté de Technologie
Département en Télécommunications



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
Master en Réseaux et Télécommunication (RT)



THEME

« *Effet de la dispersion et de la modulation
directe sur une liaison DWDM* »

Présenté par

BENNAT Mohammed

Soutenu en juin 2018 devant un jury composé de :

- | | | |
|---------------------|-----------|-----------------------------------|
| • Mr. O. SEDDIKI | Président | Professeur, Université de Tlemcen |
| • Mr. B. BENADDA | Examineur | Professeur, Université de Tlemcen |
| • Mr. A. R. BORSALI | Encadreur | Professeur, Université de Tlemcen |

Année Universitaire 2017/2018

Remerciement

À l'issue de ce travail, nous remercions, en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de le mener à terme.

Ce travail a été effectué à la faculté de technologie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, sous la direction de monsieur Ahmed Riad BORSALI professeur à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen, que je tien à lui exprimer mes profonde gratitude et mes sincères remerciements, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter à m'encadrer dans ce travail, Je le remercie encore pour l'aide et pour les conseils qu'il me a fournis tout au long de ce travail.

Je voudrai très sincèrement remercier l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire et de juger ce mémoire, Monsieur Omar. SEDDIKI professeur à l'université de Tlemcen qui a bien accepté de présider le jury, Monsieur Belkacem. BENADDA professeur à l'université de Tlemcen pour l'honneur qu'il me fait d'avoir bien voulu accepter de participer à ce jury.

Et finalement je tien à remercier chaleureusement et respectivement tout personne qui m'a aidée de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude de master.

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Remerciement | |
| Sommaire | |
| Listes des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction générale..... | 1 |

Chapitre 1 : Étude d'une liaison par fibre optique

| | |
|--|----|
| 1.1 Introduction..... | 3 |
| 1.2. Définition d'une liaison par fibre optique..... | 3 |
| 1.3 Canal de transmission..... | 4 |
| 1.3.1 La définition de fibre optique..... | 4 |
| 1.3.2 Constitution d'une fibre optique..... | 4 |
| 1.3.3 Fonctionnement de la fibre optique..... | 5 |
| 1.3.4 Les type de fibre optique..... | 5 |
| 1.3.4.1 Fibre optique monomode..... | 5 |
| 1.3.4.2 Fibre optique multimode..... | 6 |
| 1.3.4.2.1 Fibre optique multimode à gradient d'indice..... | 6 |
| 1.3.4.2.2 Fibre optique multimode à saut d'indice..... | 7 |
| 1.3.5 La dispersion dans la fibre optique..... | 7 |
| 1.3.5.1 La dispersion chromatique..... | 8 |
| 1.3.5.2 La dispersion intermodale | 8 |
| 1.3.6 Les avantages des fibres optiques..... | 9 |
| 1.3.7 Les inconvénients des fibres optiques..... | 10 |
| 1.4 Emetteur | 10 |
| 1.4.1 Source optique..... | 10 |
| 1.4.2 Diode laser LD..... | 10 |
| 1.4.3 Diode électroluminescente LED..... | 11 |
| 1.4.4 La déférence entre la diode DL et la diode LED..... | 12 |
| 1.4.5 La modulation..... | 13 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1.4. 5.1 La modulation directe..... | 13 |
| 1.4.5.2 La modulation externe..... | 14 |
| 1.4.5.3 Comparaison entre modulation directe et modulation externe..... | 15 |
| 1.4.6 Format de modulation..... | 15 |
| 1.4.6.1 Format RZ (Return-to-Zero)..... | 15 |
| 1.4.6.2 Format NRZ (Non Return-to-Zero) | 16 |
| 1.5 Le récepteur optique..... | 17 |
| 1.5.1 Photodiode..... | 17 |
| 1.5.2 Principe de fonctionnement de photodiode..... | 18 |
| 1.5.3 Photodiode APD (Avalanche Photo Diode) | 18 |
| 1.5.4 Photodiode PIN..... | 19 |
| 1.6 Conclusion..... | 20 |

Chapitre 2 : Technique de multiplexage en optique

| | |
|--|----|
| 2.1 Introduction..... | 22 |
| 2.2 Définition de technique du multiplexage en optique..... | 22 |
| 2.3 Fonctionnement de système dumultiplexage en optique..... | 22 |
| 2.4 Sens de transmission des systèmes du multiplexage..... | 23 |
| 2.4.1 Système monodirectionnel..... | 23 |
| 2.4.2 Système bidirectionnel | 23 |
| 2.5 Multiplexage en longueur d'onde WDM..... | 24 |
| 2.6 L'apport du WDM | 25 |
| 2.7 Les moteurs technologiques de l'évolution des systèmes WDM | 25 |
| 2.7.1 Augmentation du débit par canal..... | 26 |
| 2.7.2 Augmentation du nombre de canaux..... | 26 |
| 2.8 Multiplexage DWDM (Dense WDM) | 26 |
| 2.9 Applications de technique DWDM..... | 27 |
| 2.10 Multiplexage UDWDM (Ultra DWDM) | 27 |
| 2.11 Multiplexage CWDM..... | 28 |
| 2.12 Applications de technique CWDM..... | 29 |
| 2.13 Comparaison entre les techniques de multiplexage | 29 |
| 2.14 Composants des systèmes de multiplexage en optique..... | 30 |
| 2.14.1 Multiplexeur/Démultiplexeur..... | 30 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 2.14.2 Amplificateurs de ligne (Optical Line Amplifier (OLA)) | 30 |
| 2.14.3 Un répéteur de ligne intermédiaire..... | 31 |
| 2.14.4 Connexion croisée optique (OXC) | 31 |
| 2.14.5 Multiplexeur d'insertion-extraction optique OADM..... | 31 |
| 2.14.6 Régénérateurs électriques (REG) | 32 |
| 2.15 Conclusion..... | 32 |

Chapitre 3 :Etude d'un système DWDM à modulation directe

| | |
|---|----|
| 3.1 Introduction..... | 34 |
| 3.2 présentation du logiciel de simulation OptiSystem..... | 34 |
| 3.2.1 Interface de l'OptiSystem..... | 34 |
| 3.2.2 La bibliothèque | 35 |
| 3.2.3 Editeur du layout..... | 35 |
| 3.2.4 Paramètres et caractéristiques des composants de la bibliothèque..... | 36 |
| 3.3 Application d'OptiSystem..... | 36 |
| 3.4 Etude d'un système DWDM à fibre optique SMF-28 à 32 canaux | 37 |
| 3.4.1 Performance du liaison..... | 41 |
| 3.4.2 Diagramme de l'œil..... | 42 |
| 3.4.3 Facteur de qualité..... | 42 |
| 3.4.4 Taux d'erreurs binaires..... | 42 |
| 3.5 Système DWDM à fibre optique Metro-Core à 32 canaux..... | 49 |
| 3.6 Performance du liaison..... | 51 |
| 3.7 Conclusion..... | 57 |
| Conclusion général..... | 58 |

Liste des acronymes

Références bibliographiques

Résumé

Liste des figures

Chapitre 1

| | |
|--|----|
| Figure 1.1: Schéma d'une liaison optique..... | 3 |
| Figure 1.2 : Câble de fibres optiques. | 4 |
| Figure 1.3 : Constitution de fibre optique. | 4 |
| Figure 1.4 : Trajet du signal dans une fibre monomode. | 5 |
| Figure 1.5 : Les diamètres de cœur et de gain d'une fibre monomode. | 5 |
| Figure 1.6 : Trajet des rayons dans une fibre optique multimode. | 6 |
| Figure 1.7 : Les diamètres de cœur et de gain d'une fibre multimode | 6 |
| Figure 1.8 : Fibres optiques multimode à gradient d'indice. | 7 |
| Figure 1.9 : Fibres optiques multimode à saut d'indice. | 7 |
| Figure 1.10 : La dispersion chromatique. | 8 |
| Figure 1.11 : Diode laser..... | 11 |
| Figure 1.12 : Caractéristique de la diode laser. | 11 |
| Figure 1.13 : Diode électroluminescente LED..... | 11 |
| Figure 1.14 : La différence entre DL et DEL. | 12 |
| Figure 1.15 (a) Schéma et (b) Principe de la modulation directe..... | 14 |
| Figure 1.16 : (a) Schéma et (b) principe de la modulation externe. | 15 |
| Figure 1.17 : Format de modulation de type RZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation. | 16 |
| Figure 1.18 Format de modulation de type NRZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation. | 17 |
| Figure 1.19 : Bloc diagramme d'un module de réception. | 17 |
| Figure 1.20 : Structure d'un photodiode APD. | 19 |
| Figure 1.21 : Structure d'un photodiode PIN. | 20 |

Chapitre 2

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 : Système DWDM monodirectionnel. | 23 |
| Figure 2.2 : Système DWDM bidirectionnel. | 23 |

| | |
|--|----|
| Figure 2.3 : Représentation de multiplexage WDM..... | 25 |
| Figure 2.4 : Technique de multiplexage Ultra DWDM..... | 28 |
| Figure 2.5 : Représentation de multiplexage CWDM. | 28 |
| Figure 2.6: Schéma montre la différence entre la bande des techniques multiplexages DWDM et CWDM. | 29 |
| Figure 2.7 : Schéma représente l'amplificateur de ligne..... | 30 |
| Figure 2.8 : Schéma de principe d'un brasseur optique OXC. | 31 |
| Figure 2.9 : Schéma montre le format d'un multiplexeur add-drop. | 32 |

Chapitre 3

| | |
|---|----|
| Figure 3.1 : La bibliothèque de logiciel optisystem..... | 35 |
| Figure 3.2 : Éditeur du layout..... | 35 |
| Figure 3.3 : Le composant fibre optique du bibliothèque. | 36 |
| Figure 3.4 : Interface de définition du fibre optique. | 36 |
| Figure 3.5 : Figure 3.5 : Le schéma bloc du système DWDM à fibre optique SMF-28 à 32 canaux..... | 37 |
| Figure 3.6 : Composants de la partie émission..... | 38 |
| Figure 3.7 :Le spectre de 32 canaux multiplexés au sortie de multiplexeur..... | 39 |
| Figure 3.8 : Composants du ligne de transmission. | 39 |
| Figure 3.9 : Le spectre de 32 canaux après l'amplification. | 40 |
| Figure 3.10 : Composants du partie réception. | 41 |
| figure 3.11 : diagramme de l'œil pour le canal 21. | 43 |
| figure 3.12 : diagramme de l'œil pour le canal 30. | 43 |
| Figure 3.13 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canal 21)..... | 44 |
| Figure 3.14 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 21)... | 44 |
| Figure 3.15 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canal 30)..... | 45 |
| Figure 3.16 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 30)... | 45 |
| Figure 3.17 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canaux 21 et 30)..... | 46 |
| Figure 3.18 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre du tronçon (canal 21)..... | 7 |
| Figure 3.19 : Facteur du qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21)..... | 47 |
| Figure 3.20 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre du tronçon (canal 30)..... | 48 |
| Figure 3.21 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre du tronçon (canal 30)..... | 48 |

| | |
|---|----|
| Figure 3.22 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre du tronçon pour (canaux 21 et 30). | 49 |
| Figure 3.23 : Composants du la ligne de transmission. | 50 |
| Figure 3.24 : Spectre de 32 canaux multiplexés au sortie de multiplexeur..... | 50 |
| Figure 3.25 : Spectre de 32 canaux après l'amplification..... | 51 |
| Figure 3.26 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur de fibre optique (canal 21)..... | 52 |
| Figure 3.27 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 21).. | 52 |
| Figure 3.28 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canal 30)..... | 53 |
| Figure 3.29 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur de fibre optique (canal 30)... | 53 |
| Figure 3.30 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de la longueur du fibre optique (canaux 21 et 30)..... | 54 |
| Figure 3.31 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre de tronçon (canal 21)..... | 55 |
| Figure 3.32 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21)..... | 55 |
| Figure 3.33 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre de tronçon (canal 30)..... | 56 |
| Figure 3.34 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 30)..... | 56 |
| Figure 3.35 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre de tronçon (canaux 21 et 30)..... | 57 |

Liste des tableaux

Chapitre 1

| | |
|---|----|
| Tableau 1.1 : Comparaison entre les diodes (DL et DEL)..... | 13 |
|---|----|

Chapitre 2

| | |
|---|----|
| Tableau 2.1 : Comparaison entre les technique de multiplexage (WDM, DWDM, UDWDM, CWDM)..... | 29 |
|---|----|

Chapitre 3

| | |
|--|----|
| Tableau 3.1 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 21)..... | 43 |
| Tableau 3.2 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 30)..... | 45 |
| Tableau 3.3 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21)..... | 46 |
| Tableau 3.4 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 30)..... | 48 |
| Tableau 3.5 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB en fonction..... | 51 |
| Tableau 3.6 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q(dB) en fonction du longueur du fibre optique (canal 30)..... | 53 |
| Tableau 3.7 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB..... | 54 |
| Tableau 3.8 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB en fonction de nombre de tronçon (canal 30)..... | 56 |

Introduction générale

Le rôle des télécommunications est de transmettre des informations entre différents utilisateurs. Ces informations peuvent provenir de sources ou capteurs de natures physiques variables, sous forme analogique ou numérique (voix, caméra vidéo, fichier électronique) et être transmises par le biais de supports de transmission divers, "bruités", et aux capacités limitées (air, lignes métalliques", fibre optique) vers différents blocs de réception (haut parleur, écran d'ordinateur ou de portable). Il faut alors adapter le signal initial au canal envisagé, afin de transmettre l'information le plus fidèlement possible tout en optimisant l'utilisation du canal.

Aujourd'hui, on ne peut pas parler des systèmes de télécommunication sans aborder les systèmes de communication optique qui connaissent une grande application dans l'univers des transmissions et qui offre beaucoup d'avantages tel que la rapidité et la capacité des débits transportés, pour de très grandes distances. Malgré d'important progrès réalisé dans ce domaine, le bruit reste une problématique majeure dans ces systèmes. Il limite la bande passante des signaux lumineux émis, ainsi que le niveau de détection des récepteurs.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Dans le premier on va définir les trois parties d'une liaison par fibre optique en débutant par une brève définition d'une liaison par fibre optique, puis on va définir une fibre optique, sa constitution, son fonctionnement, différents types et ses avantages et inconvénients. Ensuite la partie d'émission, on va voir une brève définition sur la source optique et des deux types de diode (DL et DEL) en comparant entre eux, on va définir deux types de modulation (directe et externe). On va finir ce chapitre par la partie réception, une définition d'une photodiode avec les deux types (avalanche APD et PIN).

Au second chapitre, on va définir la technique de multiplexage en longueur d'onde. Il existe principalement quatre types : WDM, DWDM, CWDM, UDWDM.

Le dernier chapitre est consacré d'abord à la description du logiciel de simulation OptiSystem. Ensuite on va faire l'étude de deux systèmes semblables, mais différents en fibre optique, le premier utilise la fibre optique SMF-28 avec une dispersion positive et le second Metro-Core avec une dispersion négative. Les deux systèmes utilisent un multiplexage à 32 canaux et une modulation directe. Pour juger de la qualité de transmission, on se base sur trois critères : taux d'erreur binaire, facteur de qualité et diagramme de l'œil.

Chapitre 1 : Étude d'une liaison par fibre optique

1.1 Introduction:

Au cours de ce chapitre, on va étudier d'une manière globale les composants d'une liaison par fibre optique comme ligne de transmission, émetteur et récepteur. En premier lieu, on va définir qu'est ce qu'une liaison par fibre optique, ensuite on va décrire la ligne de transmission, commençant par une définition de la fibre optique, sa constitution, son fonctionnement, différents types, avantages et inconvénients. Enfin, la partie d'émission, où on va aborder une bref définition des sources optiques en décrivant les composants : diode laser DL et diode électroluminescente DEL en comparant entre eux, on va voir aussi deux types de modulation (directe et externe).

1.2. Définition d'une liaison par fibre optique

L'intérêt dans les communications optique consiste à transporter l'information sous forme lumineuse d'un point à autre [1]. La liaison optique comprend une fibre optique, un émetteur (source laser), un récepteur (photodétecteur) et éventuellement un ou plusieurs régénérateurs (amplificateur) comme illustré schématiquement sur la (figure 1.1).

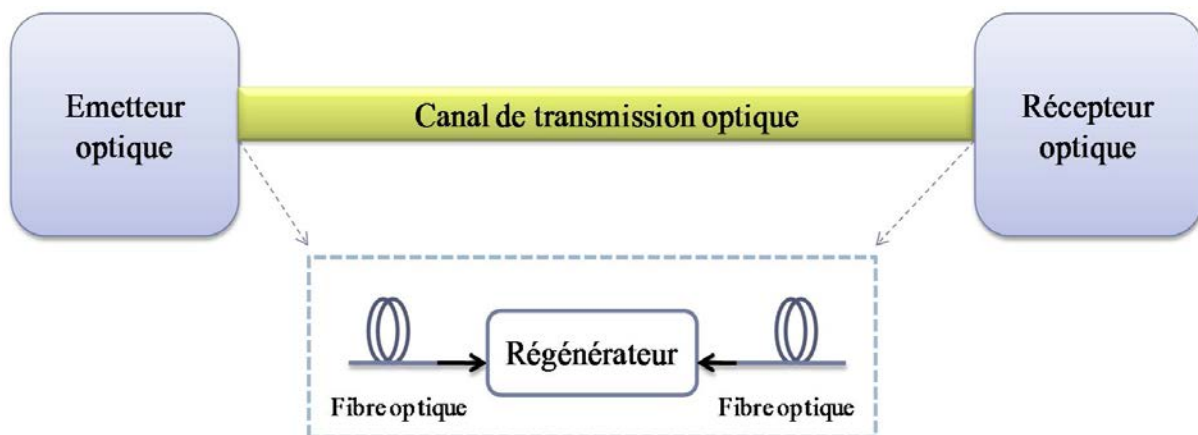


Figure 1.1: Schéma d'une liaison optique

La partie émission d'une liaison par fibre optique a pour rôle de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données. Ensuite le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin le récepteur a pour rôle de convertir au mieux le signal optique en signal électrique [2].

1.3 Canal de transmission

1.3.1 La définition de fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau " large bande " par lequel transite aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated) [3].

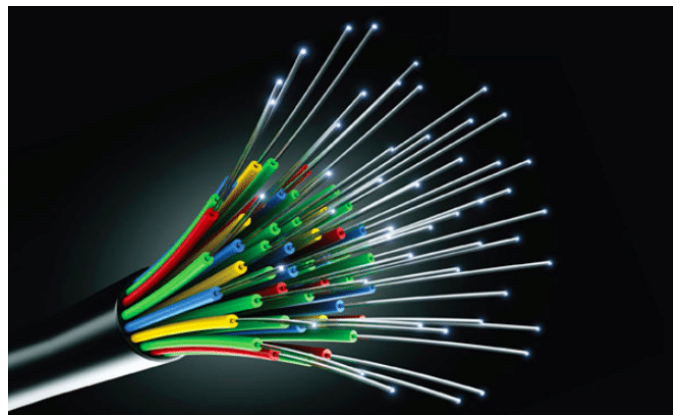


Figure 1.2 : câble de fibres optiques.

1.3.2 Constitution d'une fibre optique

Une fibre optique est constituée de deux parties distinctes (figure 1.3), un cœur de verre d'indice de réfraction n_1 et une gaine de verre d'indice de réfraction n_2 . Cette dernière entoure le cœur. L'indice n_1 est supérieur à n_2 permettant ainsi la réflexion totale. Lorsqu'on considère l'indice de réfraction radialement depuis le centre du cœur jusqu'à la gaine, on parle du profil d'indice de réfraction. Cet indice peut être constant ou varier. Une enveloppe protectrice entoure complètement la gaine et offre ainsi une protection mécanique à l'ensemble cœur-gaine [4].

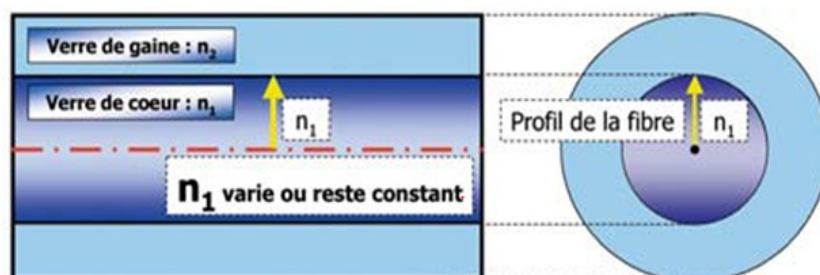


Figure 1.3 : Constitution d'une fibre optique.

1.3.3 Fonctionnement de la fibre optique

Pour guider la lumière, celle-ci comprend un cœur, où l'énergie lumineuse est confinée, et une gaine, dotée d'un indice de réfraction plus faible. Le cœur est constitué d'une silice très pure comportant un minimum d'ions hydroxyles (OH⁻). La gaine optique est réalisée avec une silice de moindre qualité.

Des substances sont incorporées aux deux éléments afin d'en modifier les propriétés : du germanium et du phosphore dans le cœur pour augmenter son indice de réfraction, du bore et du fluor dans la gaine pour le réduire [5].

1.3.4 Les type de fibre optique

On distingue deux type de fibre optique sont:

- Fibre optique monomode.
- Fibre optique multimode.

1.3.4.1 Fibre optique monomode

C'est le faible diamètre du cœur 8 à 10 μm , du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal, qui les différencie des précédentes.

De ce fait, le trajet du rayon lumineux ne change pas, pour ainsi dire. Peu de rebonds, donc peu de pertes. C'est pour cette raison que ce type de fibre est le plus souvent réservé aux transmissions sur de très longues distances [6].



Figure 1.4 : Trajet du signal dans une fibre monomode.

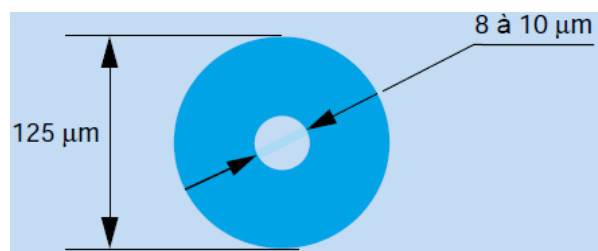


Figure 1.5 : Les diamètres du cœur et de la gaine d'une fibre monomode.

1.3.4.2 Fibre optique multimode

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique circulaire qui sera très probablement multimode si le cœur : c'est-à-dire la partie centrale où se propage la lumière, a un diamètre grand devant la longueur d'onde. Ce diamètre est de l'ordre de 50 à 200 μm pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1 mm pour les fibres plastiques.

On verra qu'un mode se caractérise par sa trajectoire et par la répartition du champ électromagnétique autour de celle-ci. Insistons sur le fait que dans un guide multimode, les différents modes sont à la même longueur d'onde [7].

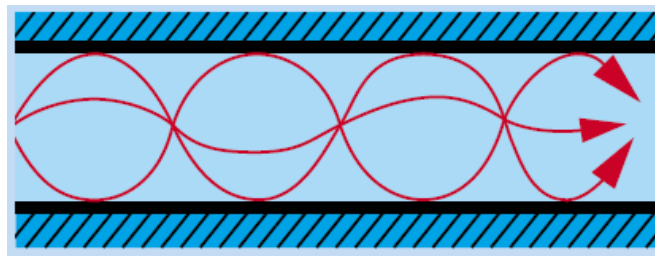


Figure 1. 6 : Trajet des rayons dans une fibre optique multimode.

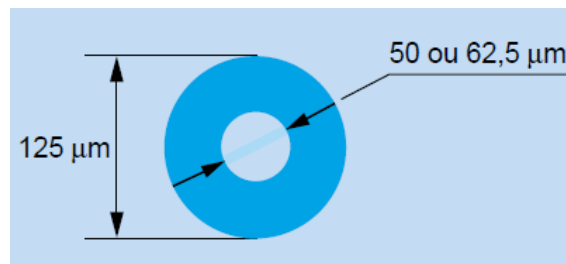


Figure 1.7 : Les diamètres de cœur et de gain d'une fibre multimode .

1.3.4.2.1 Fibre optique multimode à gradient d'indice

Les fibres optiques multimode à gradient d'indice ont été spécialement conçus pour les télécommunications, afin de minimiser cet effet de dispersion intermodale sans trop réduire l'ouverture numérique, donc la puissance couplée, l'indice de leur cœur diminue suivant avec une loi d'allure parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine. De la sorte, les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale, et ceux ayant le trajet le plus long passant par les milieux d'indice plus faible. ce qui augmente leur vitesse et permet d'égaliser approximativement les temps de propagation [8].

La fibre optique multimode à gradient d'indice a 50 à 62.5 μm de diamètre pour le cœur, 125 μm de diamètre pour le gain et sa bande passante de 100 à 1000 MHz. On l'utilise pour liaison de long distance ou à grand débit [7] .

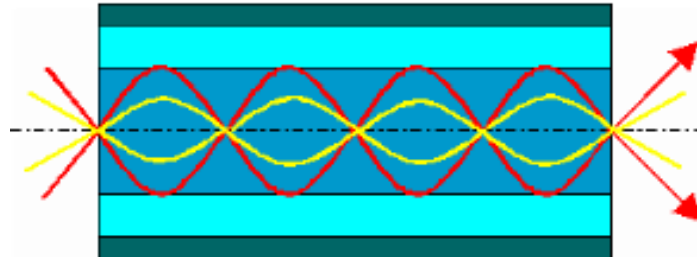


Figure 1.8 : Fibres optiques multimode à gradient d'indice.

1.3.4.2.2 Fibre optique multimode à saut d'indice

Les fibres multimodes sont à saut d'indice lorsque le rayon lumineux change de parcours brutalement [6]. La fibre optique multimode à saut d'indice a 1mm de diamètre pour le cœur, 2.2 mm de diamètre pour le gain et 25 MHz comme bande passante. On l'utilise pour liaison jusqu'à 150 m [7] .

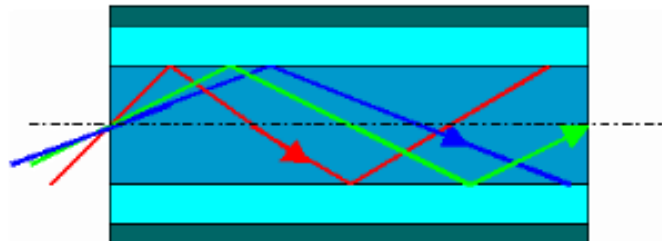


Figure 1.9 : Fibres optiques multimode à saut d'indice.

1.3.5 La dispersion dans la fibre optique

Lorsqu'un signal lumineux se propage dans un milieu, il subit un élargissement dans le temps que l'on appelle la dispersion temporelle. Cet élargissement limite le débit dans un système de communication optique, car il force à augmenter le délai entre deux impulsions. Il existe plusieurs causes d'élargissement temporel d'une impulsion qui se propage dans un milieu dispersif. Une première cause vient du fait que pour une longueur d'onde donnée (lorsque nous considérons la propagation dans une fibre multimode), les vitesses de groupe des différents modes ne sont pas égales les unes aux autres, nous analyserons cet effet, nommé dispersion modale.

Une seconde cause de la dispersion temporelle vient du fait que l'indice de réfraction d'un milieu dépend de la longueur d'onde et que les sources utilisées pour transmettre le signal ne sont pas purement monochromatiques (on parle alors de dispersion chromatique ou de dispersion matériau). Les différentes composantes spectrales d'une source ont donc des temps de propagation différents, ce qui provoque l'élargissement d'une impulsion (peu importe le fait qu'elle soit guidée ou non) [9].

1.3.5.1 La dispersion chromatique

La dispersion chromatique est due aux vitesses différentes des diverses longueurs d'ondes présentes. En effet, aucun émetteur n'est capable de fournir un signal lumineux pur, chacun ayant une largeur de bande centrée autour de la longueur d'onde nominale. Pour des longueurs d'onde très proches, on peut considérer qu'elles forment un groupe ayant la même vitesse de propagation dans le milieu d'indice n , ce qui permet d'introduire la notion d'indice de groupe, désigné par N et défini par la relation :

$$N = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \quad [1.1]$$

Dans de la silice pure, on sait que n varie d'environ 0.5 % entre une longueur d'onde de 600 nm et une longueur d'onde de 1000 nm. Pour un trajet d'un kilomètre, la lumière émise à 1000 nm aura donc une "avance" sur celle émise à 600 nm de 27 ns [10].

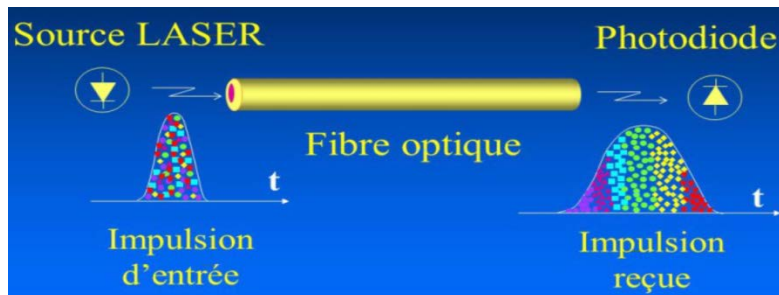


Figure 1.10 : La dispersion chromatique.

1.3.5.2 La dispersion intermodale

La dispersion intermodale est uniquement dans la fibre multimode, cette dispersion est due aux écarts entre les temps de propagation de groupe entre les différents rayons compris dans l'ouverture numérique : ces rayons effectuent des chemins optiques de longueurs différentes et contribuent à l'élargissement des impulsions [11].

Lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, elle se décompose selon les différents modes. Certaines composantes (modes) arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale. Dans le cas d'une fibre multi-mode à saut d'indice, seule la longueur du trajet de chaque mode varie, la vitesse de chacun des modes reste identique. Les fibres multi-mode à gradient d'indice ont précisément été développées pour répondre au problème de la dispersion modale. Puisque l'indice de réfraction n'est pas constant, la longueur du trajet et de la vitesse de propagation de chaque mode va varier. Les modes d'ordre élevé empruntent des trajets plus longs (assez éloignés de l'axe optique) où l'indice de réfraction est plus faible qu'au voisinage de l'axe optique mais avec une vitesse plus importante que les modes d'ordre moins élevés qui

se propagent au voisinage de l'axe optique, donc sur des trajets plus courts mais plus lentement. La dispersion modale d'une fibre à gradient d'indice est comparativement plus faible que celle d'une fibre à saut d'indice.

Dans le cas d'une fibre monomode, la dispersion modale n'existe pas (en pratique, elle est quasiment nulle). Le mode de propagation étant unique (une ligne droite), il n'y a pas de dispersion du au fait qu'un signal peut prendre plusieurs chemins différents [12].

1.3.6 Les avantages des fibres optiques

Les avantages de la fibre optique sont:

- La très large bande passante, le multiplexage possible (en longueur d'onde) de nombreux signaux et de nombreux utilisateurs sur la même fibre, permettent des systèmes de portée (plus de 100 km entre l'émetteur et le récepteur) et de capacité (des débits de plusieurs T bit/s sont possibles sur une même fibre) [13].
- Très faible atténuation, qui permet d'envisager un espacement important des points de régénération des signaux transmis. Le pas de régénération est supérieur à 10 km, par contre au câble coaxial est de 2 à 3 Km [14].
- Le faible poids, la très petite taille, la grande souplesse des fibres, appréciable aussi bien en télécommunication que pour le câblage en aéronautique, informatique, médecine, production, industrielle, domotique, etc [13].
- la sécurité électrique (isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive, insensible aux parasites et n'en crée pas elle-même) [13].
- Résistance à conditions environnementales adverses. Moins d'influence des liquides corrosifs, gaz et variations de température [14].
- Transmission Sécurisée : La fibre ne perd pas de lumière, donc la transmission est également sécurisée et ne peut pas être perturbée [15].
- Taille : En comparaison du cuivre, un câble de fibres optiques a presque 4.5 fois plus petit que le câble coaxial [16].
- Flexibilité : Une fibre optique a la force de tension plus grande que les fibres de cuivre ou d'acier du même diamètre. Il est plus flexible, il peut être tordu plus facilement et résiste à la plupart des éléments corrosifs que le câble de cuivre ne peut pas y résister [16].

1.3.7 Les inconvénients des fibres optiques

Les inconvénients de la fibre optique sont:

- **Prix** : Même si la matière première pour fabriquer des fibres optiques est abondante et pas chère, les fibres optiques sont encore plus chères par mètre que le cuivre. Une fibre peut transporter beaucoup plus de signaux qu'un seul câble en cuivre et la transmission à large distance signifie que moins de répéteurs coûteux sont requis [15].
- **Fragilité** : les câbles à fibre optique sont plus fragiles que les fils électriques.
- **Transmission** : La transmission du signal dans les câbles de fibre optique doit se répéter au long d'une certaine distance grâce à des appareils amplificateurs mais demande beaucoup moins de répétitions que les câbles de cuivre [16].
- **Protection** : Les Fibres Optiques exigent plus de protection autour du câble comparé au cuivre [16].

1.4 Emetteur

1.4.1 Source optique

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de la communication par fibre optique. Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique) [1].

En effet les composants d'émission de lumière qui satisfont le mieux à ces critères sont particulièrement des sources optiques à base de semi-conducteur qui peuvent émettre des photons par émission spontanée ou stimulée en injection des porteurs de charges via une jonction p-n, ce processus de l'injection de porteurs et l'émission résultante est appelé luminescence à injection. En pratique, ces composants d'émission trouvent leurs applications sous forme de sources lumineuses qui se regroupent en deux catégories sont : les diodes laser "LD" et les diodes électroluminescentes "LED" [17].

1.4.2 Diode laser LD

Dans les systèmes de communication optique, la source optique la plus utilisée est la diode laser, c'est un composant capable de produire un rayonnement par émission stimulée comme l'indique l'acronyme (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre (Figure 1.11) [17].



Figure 1.11 : Diode laser

La diode laser se caractérise par l'étroitesse du spectre émis, dont. Ce spectre se compose de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (figure1.12) [17].

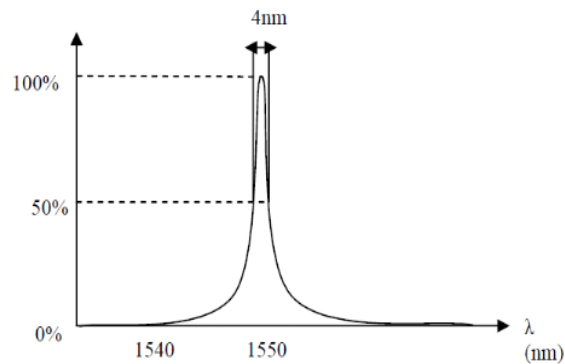


Figure 1.12 : Caractéristique de la diode laser.

1.4.3 Diode électroluminescente LED

La diode électroluminescente LED est une diode semi-conductrice qui émet de la manière par émission spontanée, contrairement à la diode laser. La qualité de conversion du courant électrique en lumière est décrite par le rendement quantique, qui désigne le rapport entre le nombre de photons émise par unité de temps et le nombre de charges transportées à travers la jonction p-n de la diode semi-conductrice.

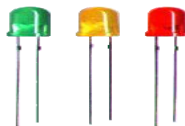


Figure 1.13 : Diode électroluminescente LED

Le rendement quantique de la diode LED est défini comme étant le rapport entre le nombre de photon créés et le nombre d'électrons injectés :

$$\eta_q = \frac{\text{nombre de photon créés}}{\text{nombre d'électrons injectés}} \quad [1.2]$$

L'absence de l'amplification limite ce rendement quantique. Les recombinaisons électron-trou qui se produisent, ne sont pas toutes radiatives à cause des imperfections de la structure cristalline et de la présence d'impuretés.

Comme le rendement quantique décroît avec des températures croissantes, il faut donc éviter un échauffement de la zone de recombinaisons et en conséquence, il faut donc assurer le dégagement de la chaleur par une conformation appropriée de la diode LED. La longueur d'onde de lumière dégagée est un autre paramètre important relatif au fonctionnement de la diode LED. Elle est surtout déterminée par l'intervalle de bande E_g et la relation suivante est applicable :

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g} \quad [1.3]$$

où : λ est la longueur d'onde en μm et E_g est le gap d'énergie en eV [17].

1.4.4 La différence entre la diode DL et la diode LED

Pour montrer la différence entre une diode électroluminescente et une diode laser, on a la représentation de la puissance optique de sortie en fonction du courant injecté sur la figure 1.14 [14].

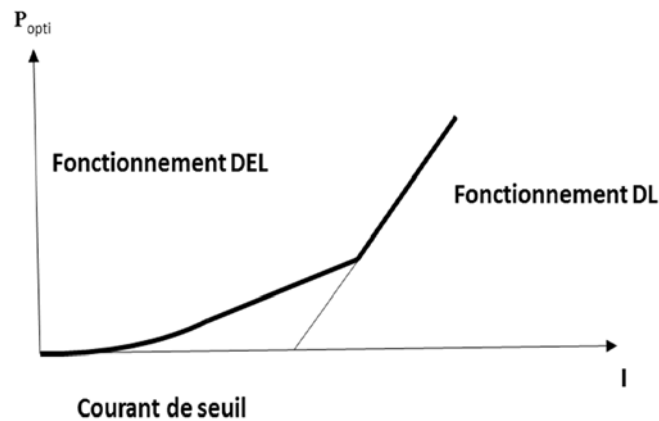


Figure 1.14 : La différence entre DL et DEL.

Le tableau ci dessous nous montre la différence en valeur entre les diodes DL et DEL [18].

| | Diode DEL | Diode DL |
|--|------------------|-----------------|
| Puissance | 0.1 mW | 1 mW |
| Puissance dans la fibre optique | 0.01 mW | 0.5 mW |
| Largeur du spectre | 50 à 200 nm | 1 nm |
| Rapidité de modulation | 100 MHz | 10 GHz |
| Durée de vie | 100 ans | 10 ans |
| Refroidissement | Non | Oui |

Tableau 1.1 : Comparaison entre les diodes (DL et DEL).

1.4.5 La modulation

Afin de transmettre des informations par les systèmes de transmissions optiques, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques grâce à un modulateur.

Généralement, il y a deux types principaux de modulation : la modulation d'amplitude (ASK pour Amplitude Shift Keying) et la modulation de phase (PSK pour Phase Shift Keying). Dans la modulation ASK, l'intensité de la lumière est modulée telle que la présence de lumière signifie le symbole "1" et l'absence de lumière signifie le symbole "0". Dans la modulation PSK, la lumière est présente pour les deux symboles mais il y a une différence de phase de $\frac{1}{4}$ entre deux symboles "1" et "0". Dans notre travail nous tenons en compte que la modulation ASK. Il existe principalement deux techniques de modulation ASK : la modulation directe et la modulation externe [19].

1.4.5.1 La modulation directe

Consiste à moduler directement l'intensité de la lumière émise par le laser par le courant d'alimentation du laser. La figure 1.15 montre le schéma et le principe de la modulation directe. La modulation directe possède quelques avantages tels que la simplicité et le faible coût de mise en œuvre. Elle comporte cependant une limitation en terme de temps de réponse et n'est pas applicable pour des systèmes de transmissions à haut débit (> 10 Gbit/s) et à large spectre [19].

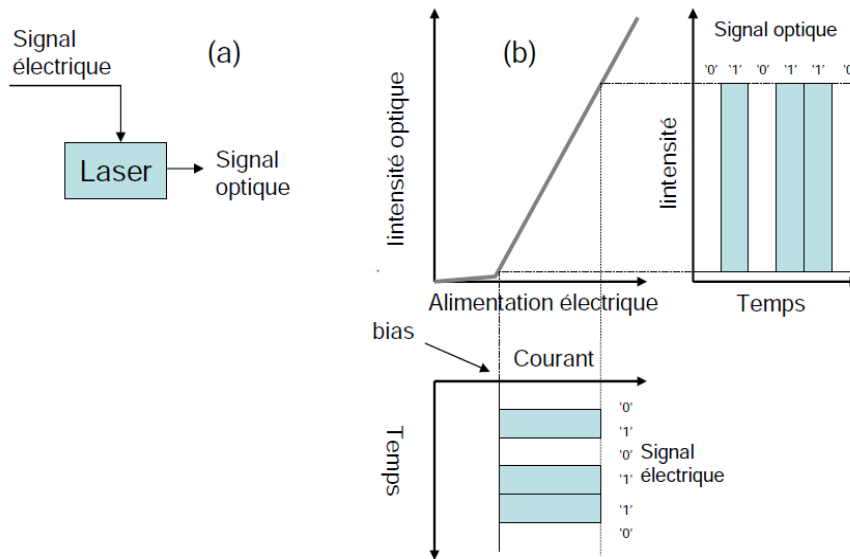


Figure 1.15 (a) Schéma et (b) Principe de la modulation directe.

1.4.5.2 La modulation externe

La modulation externe consiste à inscrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant optiquement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser.

De nos jours, une technique courante pour la modulation externe est d'utiliser un interféromètre de Mach-Zehnder (MZI pour Mach-Zehnder Interféromètre) à base de niobate de lithium. Le principe de ce composant est de modifier l'indice de réfraction de l'un ou des deux bras de l'interféromètre en y appliquant un champ électrique (effet électro-optique). Une différence de potentiel conduit à un déphasage entre les deux ondes qui se propagent dans les deux bras. Les deux ondes se recombinent ensuite et donnent lieu à des interférences, qui peuvent être constructives (maximum d'intensité transmise) ou destructives (minimum d'intensité transmise).

La figure 1.16 illustre le schéma et le principe d'un modulateur électro-optique. Le champ en sortie du modulateur est proportionnel à $\cos(\Delta\Phi/2)$ où la variation de phase $\Delta\Phi$ est proportionnelle à la différence de tensions ($V_1 - V_2$) avec V_1 et V_2 les tensions appliquées aux deux bras du modulateur [19].

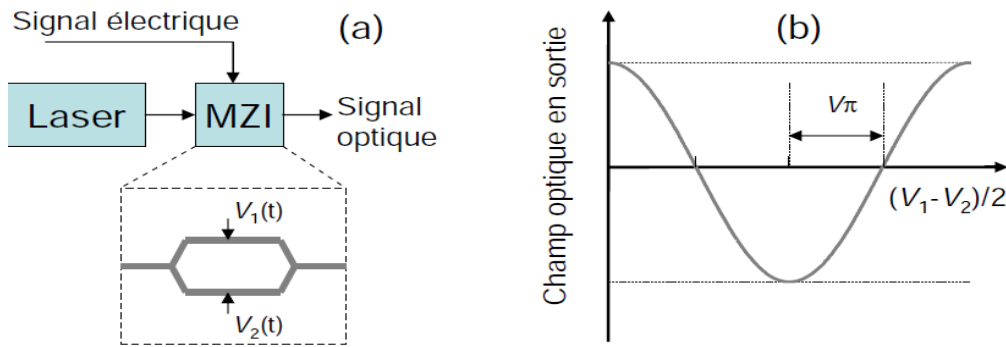


Figure 1.16 : (a) Schéma et (b) Principe de la modulation externe.

1.4.5.3 Comparaison entre modulation directe et modulation externe

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques Gbits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité correcte. Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important [20].

1.4.6 Format de modulation

Les systèmes de transmission par fibre optique sont conçus pour faire propager une séquence de données binaires "1" et "0" par voie optique. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, cette séquence est d'abord sous la forme d'un signal électrique. La forme de ce dernier, en termes d'amplitude et de phase, est appelée format de modulation. Le format de modulation le plus simple est le format OOK (On/Off Keying), et il repose sur le principe d'une modulation de l'amplitude du signal électrique. Ainsi, un minimum d'amplitude correspond au bit "0", et un maximum d'amplitude correspond à un bit "1".

Pour une séquence temporelle donnée, et donc une succession de bits, il existe deux manières de moduler les impulsions d'un format de modulation donné : la technique de retour à zéro (RZ, Return-to-Zéro), et la technique de non-retour à zéro (NRZ, Non-Return-to-Zéro) [21].

1.4.6.1 Format RZ (Return-to-Zero)

Le format RZ quant à lui est différent dans la mesure où une impulsion qui correspond à un maximum d'intensité s'étend sur une durée inférieure au temps bit. Elle revient donc au niveau bas entre deux bits successifs. La figure 1.17 montre le schéma de principe de format

de modulation RZ-OOK, mettant en évidence la trace temporelle, la densité spectrale de puissance, le digramme de l'œil et la constellation [21].

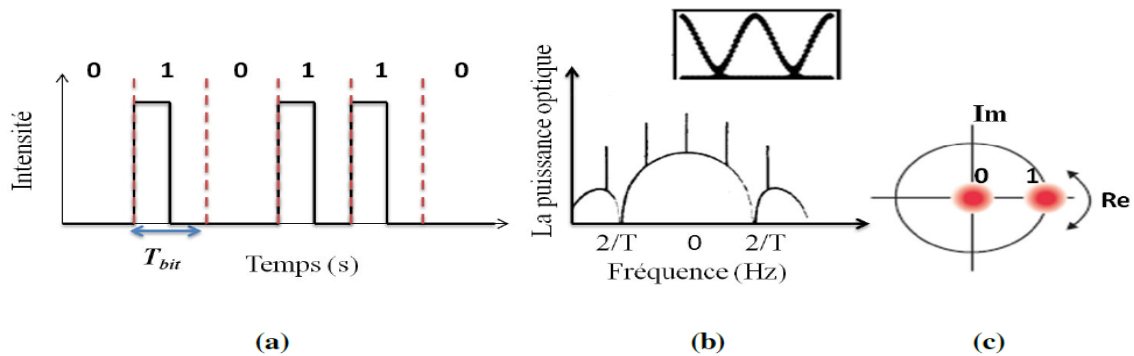


Figure 1.17 : Format de modulation de type RZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation.

1.4.6.2 Format NRZ (Non Return-to-Zero)

Le signal optique modulé en NRZ est une copie conforme du signal binaire électrique. Il possède généralement deux états : l'état (haut-1) qui se traduit par le maximum d'intensité du signal optique, et l'état (bas-0) qui se traduit par le minimum d'intensité du signal. Les données binaires « 1 » et « 0 » sont associées à des impulsions optiques de durée égale à un temps bit (inverse du débit). La différence entre un minimum et un maximum d'intensité du signal est appelée taux d'extinction (ER, Extinction Ratio). Il s'exprime de la façon suivante :

$$ER = \frac{p_1}{p_0} \quad \text{où} \quad ER_{db} = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_0} \right) \quad [1.4]$$

P_0 et P_1 sont respectivement les puissances moyennes du niveau 0 et du niveau 1. En pratique, pour un minimum d'intensité, l'absence totale du signal optique n'existe pas car le taux d'extinction d'un signal n'est jamais infini.

La figure 1.18 montre le schéma de principe du format de modulation de type NRZ-OOK, mettant en évidence la trace temporelle, la densité spectrale de puissance et le diagramme de l'œil, ainsi que la constellation [21].

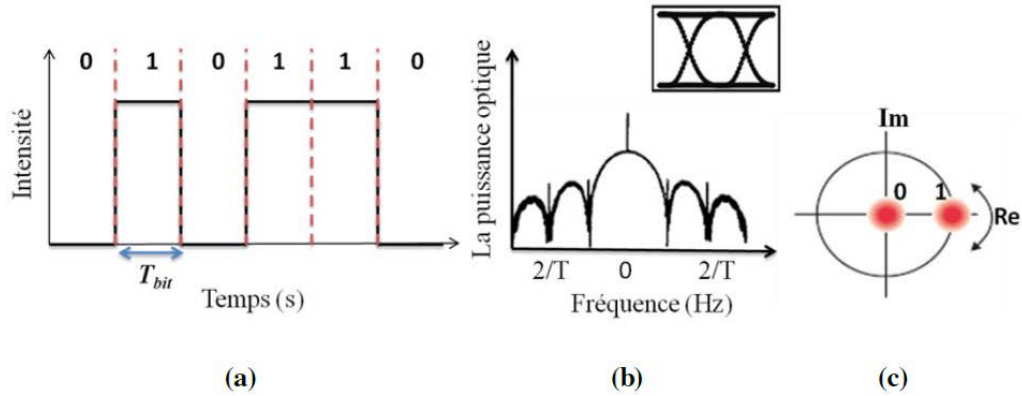


Figure 1.18 : Format de modulation de type NRZ-OOK, (a) Trace temporelle, (b) Densité spectrale de puissance et diagramme de l'œil, (c) Constellation.

1.5 Le récepteur optique

Comme pour les modules d'émission, il existe des module de réception qui réalisent une fonction d'interface électro-optique vis-à-vis du réseau de télécommunications par fibre optique. Il reprend à des normes ou des recommandations internationales telles que G957 et G958 du CCITT. On y retrouve sous forme de blocs fonctionnelles.

- La tête optique, c'est -à-dire la photodiode de réception couplée à la fibre amorce.
- Un filtre afin de réduire le bruit .
- Un circuit de récupération du rythme.
- Un circuit de décision.
- Un circuit de génération d'alarme en cas de perte de signal.
- Un système de distribution des alimentations [22].

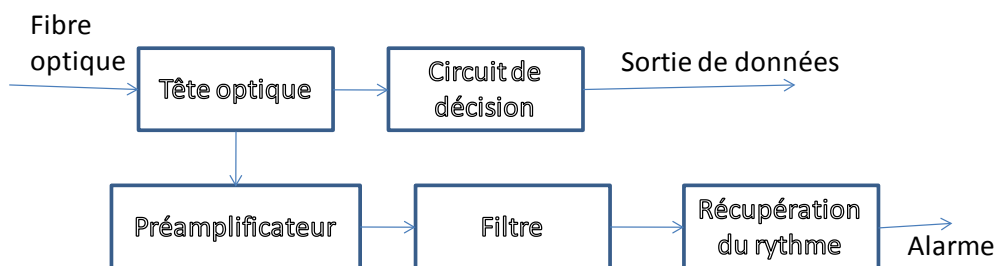


Figure 1.19 : Bloc diagramme d'un module de réception.

1.5.1 Photodiode

Un récepteur optique ou photodétecteur convertit le signal optique reçu à l'extrémité de la fibre optique en un signal électrique. Cet étage de photodétection peut être suivi par un étage d'amplification qui peut lui être intégré comme le cas d'un amplificateur

transimpédance (TIA, TransImpedance Amplifier). La photodiode PIN et la photodiode à avalanche APD (Avalanche PhotoDiode) sont les photodiodes les plus communes pour la conversion optique-électrique à la réception. Les photodiodes à transport unipolaire (UTC, Uni-Travelling Carrier) sont des composants très large bande et peuvent avoir une puissance de saturation élevée. Leur modèle électrique est néanmoins plus complexe qu'une simple jonction PN [23].

1.5.2 Principe de fonctionnement de photodiode

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur constitué d'un matériau semi-conducteur. Absorbés, ils peuvent provoquer le passage d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction. Dans cette dernière, les électrons moins liés deviennent libres. Le photon a donc laissé place à une paire électron-trou. Une différence de potentiel est appliquée afin d'empêcher les électrons de retomber dans leur état le plus stable. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photocourant. Le nombre de paires électron-trou est égal au nombre de photons absorbé [24].

1.5.3 Photodiode APD (Avalanche Photo Diode)

Les photodiodes à avalanche sont des diodes dotées d'un mécanisme d'amplification interne. Comme pour les diodes standard, les photons génèrent des paires électron-trou, qui subissent alors une telle accélération induite par la tension appliquée de l'extérieur, que des électrons supplémentaires sont introduits dans la bande de conduction par l'ionisation par impact électronique. À leur tour, les électrons supplémentaires absorbent suffisamment d'énergie pour introduire d'autres électrons dans la bande de conduction. Il est ainsi possible d'atteindre un coefficient multiplicateur de plusieurs centaines.

Les photodiodes à avalanche sont principalement utilisées lorsque le signal optique est très faible. Les applications impliquant des fréquences de modulation élevées utilisent également des APD. Le bruit généré par l'effet d'avalanche à partir de fréquences d'environ 60 MHz est généralement plus faible que le bruit d'une combinaison de photodiodes classiques avec un amplificateur électronique externe [25].

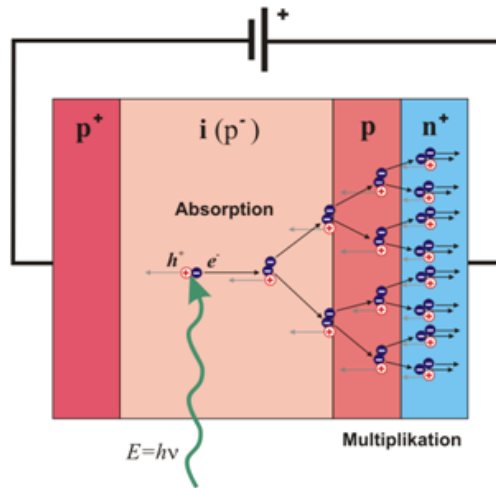


Figure 1.20 : Structure d'un photodiode APD.

1.5.4 Photodiode PIN

La photodiode est un composant actif qui génère une tension électrique (effet photovoltaïque) ou un photocourant lorsqu'il est éclairé. La base physique de ce fonctionnement est la jonction p-n dans le semi-conducteur silicium. Si les photons sont absorbés avec suffisamment d'énergie dans le détecteur, des porteurs de charge (paires électron-trou) se forment. Ceux-ci sont séparés dans la zone de charge d'espace, ce qui crée le photocourant. La séparation de charge se produit même sans tension appliquée de l'extérieur, mais peut être accélérée par une telle tension de blocage. Le photocourant reste linéaire à la quantité de lumière incidente sur plusieurs ordres de grandeur, si la diode ne fonctionne pas dans un état de saturation.

L'état de fonctionnement en tant qu'élément ou en tant que diode dépend du circuit externe. Lorsqu'elle fonctionne en tant qu'élément, la diode est connectée directement au consommateur sans source de tension externe. Avec ce mode de fonctionnement, aucun courant d'obscurité ne circule, ce qui facilite la détection d'intensités minimales. Lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, une source de tension externe est connectée en série avec le consommateur, ou la tension est appliquée en sens inverse. Ce mode de fonctionnement est idéal pour les applications nécessitant une réponse rapide du signal. L'inconvénient majeur est le courant d'obscurité qui augmente de façon exponentielle avec la température [26].

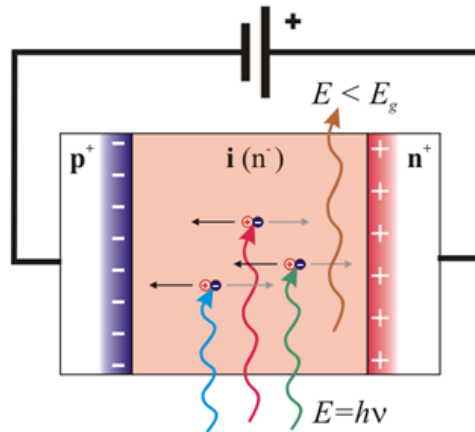


Figure 1.21 : Structure d'un photodiode PIN.

1.6 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la définition des différents composants d'une liaison par fibre optique : émetteur optique, fibre optique (constitution, fonctionnement, ses différents types) et récepteur optique (photodiode PIN et APD).

On distingue classiquement les diodes électroluminescentes DEL et les diodes laser DL selon le type de mécanisme mis en jeu pour l'émission de lumière (émission spontanée pour DEL et émission stimulée pour les DL). Dans le cas des liaisons haut débit, on doit utiliser les diodes DL car elles sont plus performantes.

Chapitre 2 : Technique de multiplexage en optique

2.1 Introduction

Afin d'augmenter la capacité de transmission de l'information via une liaison optique, il est nécessaire d'utiliser des techniques de multiplexages qui consistent à moduler des signaux lumineux à différentes longueurs d'onde avec un faible espacement simultanément, et les faire propager dans la fibre optique. Cette technique permet une optimisation des ressources très importante et une minimisation significative des coûts.

Pour ce chapitre, En premier lieu on va décrire la technique de multiplexage en optique et son fonctionnement, puis on va définir la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM, ces apports en décrivant ces moteurs technologiques s'évolution. On va définir aussi trois autres techniques DWDM, CWDM et comment elles sont appliquées, et la technique UDWDM. Enfin, on va définir les différents composants d'un système de multiplexage.

2.2 Définition de technique du multiplexage en optique

Compte tenu de l'énorme bande passante de la fibre optique, il est peu probable qu'un seul client utilisera toute la bande passante. Mais la technique de multiplexage offre l'utilisation de la bande passant simultanément par plusieurs clients [27]. La division de la bande passante en canaux peut être réalisée, comme en électronique, dans la dimension temporelle ou dans la dimension des fréquences (ou longueurs d'onde). Dans le premier cas on parle de multiplexage temporel TDM (Time Division Multiplexing) et dans le second de multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) [28].

Des techniques de multiplexage ont ainsi été développées, chacune permettant de transmettre N signaux de débit D sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal global de débit $N \times D$. Ces techniques de multiplexage doivent néanmoins respecter la condition nécessaire de pouvoir restituer les données propres à chaque utilisateur après leur transmission sans créer d'interférences entre les données des différents utilisateurs. Pour cela, le signal physique représentant les données de chaque utilisateur se distingue des autres signaux par sa bande spectrale, sa propre fenêtre temporelle ou encore son propre code. Ceci permet alors de les séparer finalement avec des techniques de démultiplexage appropriées [29].

2.3 Fonctionnement de système du multiplexage en optique

La technique du multiplexage est représenté par deux terminaux et un lien optique les reliant, le premier est un multiplexeur, et le second un démultiplexeur. Le multiplexeur a pour

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

L'intérêt de la fibre optique est que ces signaux ne peuvent se confondre, à la réception ils seront parfaitement distingués [30].

2.4 Directions de transmission des systèmes du multiplexage

Il y a deux système de transmission en optique sont [31] :

2.4.1 Système monodirectionnel

Un système est dite monodirectionnel lorsque les différentes longueurs d'onde se propagent dans un seul sens de la fibre de liaison optique (figure 2.1).

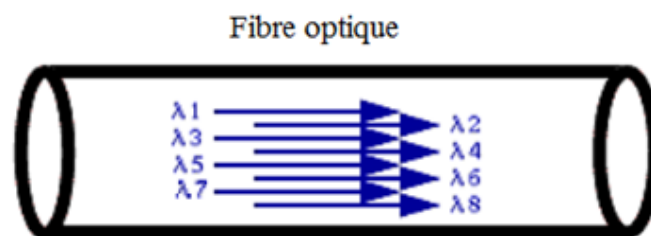


Figure 2.1 : Système DWDM monodirectionnel.

2.4.2 Système bidirectionnel

Un système est dite bidirectionnel lorsque la fibre de liaison transmet des différentes longueurs d'onde dans un sens dites d'aller et dans l'autre sens une ou bien de retour (figure 2.2).

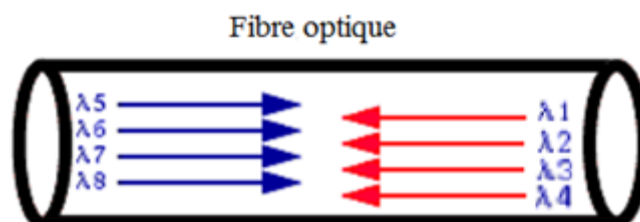


Figure 2.2 : Système DWDM bidirectionnel.

Actuellement, les systèmes de liaisons optiques bidirectionnelles sont utilisés dans de nombreux domaines comme par exemple la télématique, les transmissions téléphoniques ou les réseaux de télédistribution dans lesquels une station centrale communique avec des stations périphériques constituées par des appareils d'émission-réception d'abonnés [32].

2.5 Multiplexage en longueur d'onde WDM

Le multiplexage de fréquences (Wavelength Division Multiplexing, WDM) est la technologie la plus utilisée dans les réseaux optiques actuels. L'efficacité de cette technologie fait le succès des réseaux optiques dans les réseaux de télécommunications [33], cette technologie a permis une augmentation significative de la capacité des systèmes de transmission optique. Le principe de cette technique de multiplexage consiste à moduler en parallèle plusieurs sources laser émettant à différentes longueurs d'onde plus ou moins rapprochées, et à les faire propager simultanément dans la fibre optique [34]. La modulation d'une onde se fait d'une façon classique. Les ondes sont ensuite multiplexées par des systèmes optiques passifs [24]. Au niveau du récepteur, les canaux sont démultiplexés au moyen de composants similaires, et chacun est détecté indépendamment des autres [34].

L'avantage de la technique WDM est qu'elle n'est pas tributaire de la vitesse des équipements électroniques. Cependant le nombre de longueurs d'onde qu'une fibre peut transporter est limité : d'une dizaine de longueurs d'ondes il y a quelques années, on est passé à plusieurs centaines aujourd'hui. De plus, en WDM, un seul amplificateur optique se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec la longueur de la liaison et le nombre de canaux [24].

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches, et multiplexeurs/démultiplexeurs optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre. L'installation d'une liaison WDM ne nécessite pas une restructuration complète des réseaux existants. Il suffit d'ajouter aux extrémités des lignes actuelles des composants de multiplexage et démultiplexage, accompagnés d'amplificateurs optiques pour compenser les pertes intrinsèques des composants [35].

La plupart des systèmes WDM fonctionnent avec des câbles optiques monomodes dont le diamètre du noyau est de 9 μm . Certaines formes de WDM peuvent également être utilisées dans les câbles à fibres multimodes (également appelés câbles de locaux) qui ont des diamètres de noyau de 50 ou 62,5 μm [36].

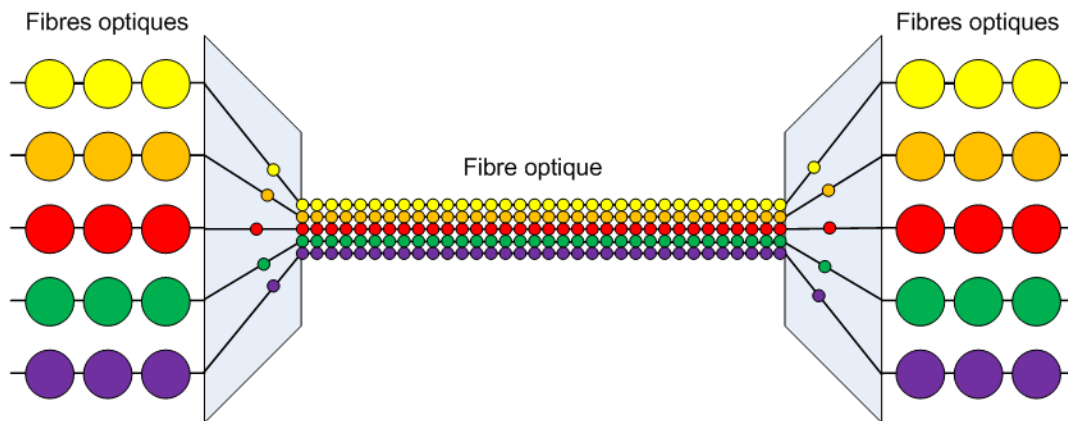


Figure 2.3 : Représentation de multiplexage WDM

2.6 L'apport du WDM

- Le WDM répond aux besoins d'augmentation de débits et de taux de partage dans le réseau d'accès.
- En utilisant la technologie WDM la limite en débit imposée par le TDM peut être dépassée en affectant une longueur d'onde par chaque utilisateur, ce qui revient à faire du point à point en longueur d'onde. Nous cumuloons ainsi les avantages du point à point (c'est-à-dire un débit pouvant être amélioré de 100 Mbit/s à 2.5 Gbit/s).
- La souplesse de multiplexage permet de superposer des adressages différents en fonction du type de clients (FTTx), des services (voix, données, vidéo ...), des technologies finales (xDSL, Wireless, Ethernet...).
- Le WDM permet une indépendance vis-à-vis protocoles et une indépendance entre canaux.
- De plus, cette technique permet une plus grande concentration des clients sur un même lien principal (augmentation de la portée et du nombre de clients) et la localisation de panne est plus aisée que lorsqu'il y a partage de la longueur d'onde [37].

2.7 Les moteurs technologiques de l'évolution des systèmes WDM

Depuis l'apparition en 1995 des premiers systèmes WDM les capacités offertes ont donc connu une augmentation constante, dans le contexte d'une offre industrielle qui évolue très rapidement. Pour augmenter la capacité totale d'un système WDM, il est possible de jouer sur le débit transporté par canal et le nombre de canaux, ou sur les deux facteurs à la fois [38].

2.7.1 Augmentation du débit par canal

Les progrès de l'électronique rapide, l'intégration des composants électroniques et optiques, permettent de traiter dans les équipements d'extrémités des débits de plus en plus élevés, et l'électronique rapide à 40 Gbit/s est aujourd'hui dans le domaine de l'accessible. Mais l'augmentation du débit rend aussi le signal de plus en plus sensible aux effets de la propagation, tant linéaires que non linéaires. Déjà la transmission à 10 Gbits est beaucoup plus complexe qu'à 2,5 Gbits parce que, d'une part, la dispersion chromatique ne peut plus être négligée. Et que, d'autre part la puissance (nécessairement plus élevée à configuration de liaison identique) ne permet plus négliger les limites imposées par les effets non linéaire [38].

2.7.2 Augmentation du nombre de canaux

Depuis l'apparition des premiers amplificateurs à fibre, la bande d'amplification disponible n'a cessé d'augmenter, passant de 15 nm environ pour les premiers amplificateurs à une centaine aujourd'hui pour des amplificateurs utilisant les deux bandes C et L [38] (la bande C entre 1527 et 1565 nm, c' est la plus utilisée et la bande L est de 1565 et 1610 nm) [39], et même plus en laboratoire. Il en résulte, à espacement entre canaux donné, la possibilité d'augmenter la taille du multiplex. Un multiplex plus large apporte toutefois de nouveaux problèmes, comme:

- L'effet Raman qui se traduit par une distorsion de gain entre les canaux parce que certains d'entre eux jouent le rôle de pompe vis-à-vis des autres.
- La variation de la dispersion d'un bord de la bande à l'autre n'est plus négligeable, si bien que la compensation doit être ajustée canal par canal.

Le resserrement des canaux, donc l'augmentation du rendement spectral, défini comme le rapport du débit total transmis à la bande occupée par le multiplex, est une autre voie. Alors que les premiers systèmes avaient des canaux espacés de 400 GHz, 100 GHz est aujourd'hui une valeur courante, 50 GHz ne pose plus de problème et même des systèmes présentant un espacement entre canaux de 25 GHz font aujourd'hui partie de l'offre industrielle [38].

2.8 Multiplexage DWDM (Dense WDM)

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (Dense WDM) augmente la capacité de la fibre incorporée en affectant d'abord les signaux optiques entrants à une longueur d'onde spécifique dans une bande de fréquence désignée, puis les signaux résultants seront multiplexés sur une seule fibre [40]. DWDM prend en charge jusqu'à 80 canaux de longueur d'onde simultanés, chacun des canaux étant distant de seulement 0,8 nm [41], cette

technique est fortement utilisée dans les cœurs de réseau, et appelée dense lorsque le nombre de longueur d'onde devient très grand [42], et aussi lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz c'est-à-dire un espacement de 0.8 nm (ou plus de 16 canaux sont utilisés) [43]. Tant que les systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques. Actuellement on utilise des canaux espacés de 100 GHz (0,8 nm), ce qui permet de compter environ 40 longueurs d'onde dans la bande C. Ce système se caractérise par sa fiabilité de performance et permet une augmentation facile du réseau, car il suffit d'ajouter une nouvelle longueur d'onde en connectant un nouveau transmetteur et récepteur aux extrémités de la liaison [36].

2.9 Applications de technique DWDM

Deux applications évidentes sont déjà utilisées : les câbles sous-marins et l'allongement de la durée de vie des câbles là où toutes les fibres sont utilisées. Pour les câbles sous-marins, DWDM améliore la capacité sans ajouter de fibres, ce qui crée des câbles plus gros et des répéteurs plus encombrants et plus compliqués. L'ajout de service dans les zones où les câbles sont maintenant pleins est une autre bonne application.

Mais cette technologie peut aussi réduire le coût de toutes les liaisons de communications interurbaines terrestres et les nouvelles technologies peuvent conduire à de nouvelles architectures de réseaux [44].

2.10 Multiplexage U-DWDM (Ultra DWDM)

Les systèmes de communications optiques sans fil utilisent le multiplexage par répartition en longueur d'onde ultra-dense (UDWDM) est la meilleure solution pour fournir une transmission à haut débit avec un très faible taux d'erreur de bits (BER). Ce type de multiplexage est le phénomène le plus récent pour l'avancement de la technologie, il s'agit d'une technologie qui peut transmettre plusieurs données simultanément sur la fibre unique avec un espacement des canaux très étroit [45], où l'espacement entre les canaux est de 0,4 nm et le nombre de canaux utilisables est égal à 100. Il y a des expériences actuellement avec l'espacement entre les canaux égal à 0.1 nm sont en cours d'exécution, mais les règles de travail pour eux sont les mêmes. De nos jours, les systèmes DWDM sont basés sur une grille de fréquences avec un espacement de 50 GHz (0.4 nm), 100 GHz (0.8 nm) et 200 GHz (1.6 nm) et sont appliqués avec une référence de fréquence égale à 193.1 THz [46].

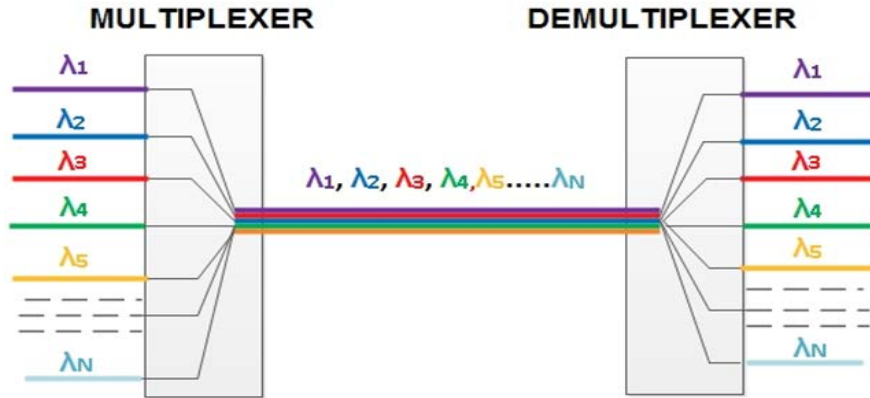


Figure 2.4 : Technique de multiplexage Ultra DWDM.

2.11 Multiplexage CWDM

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière (Coarse WDM) est une technologie de multiplexage en longueur d'onde pour les réseaux urbains et d'accès [47]. La transmission est réalisée en utilisant 18 canaux avec des longueurs d'onde comprises entre 1270 nm et 1610 nm, et 8 canaux pour des longueurs d'onde allant de 1470 à 1610 nm [39]. Les longueur d'onde possèdent un espacement de 20 nm, et par conséquent ne peuvent pas se chevaucher les uns avec les autres [48], cet espacement spectral représente une des solutions bas coût envisagée pour les réseaux d'accès optiques [49]. La largeur du canal lui-même est de 13 nm, les 7 nm restants sont conçus pour sécuriser l'espace au prochain canal [47]. Cette technologie permet d'utiliser des lasers non refroidis et beaucoup moins précis ainsi que des AWG (American Wire Gauge) également non contrôlés en température [49], comme elle offre une solution pratique et économique pour des distances inférieures à 70 kilomètres, et pour les distances entre 40 et 70 kilomètres, CWDM a tendance à se limiter à supporter huit canaux [41].

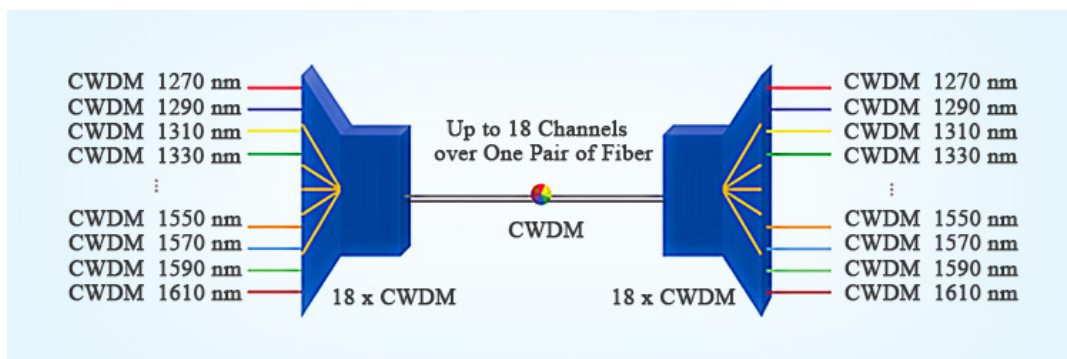


Figure 2.5 : Multiplexage CWDM.

2.12 Applications de technique CWDM

En raison des caractéristiques techniques du CWDM, le CWDM s'applique principalement dans les deux grands domaines : métro et réseau d'accès. Il y a toujours deux fonctions. Une fonction consiste à utiliser chaque canal optique pour transmettre un signal d'entrée distinct à un débit individuel. Et un autre est d'utiliser le CWDM pour décomposer un signal à grande vitesse en composantes plus lentes qui peuvent être transmises de façon plus économique [50].

2.13 Comparaison entre les techniques de multiplexage

Le tableau suivant résume la différence entre les systèmes de multiplexage WDM, CWDM, DWDM et UDWDM :

| Type de multiplexage | Espacement inter-canaux en (nm) | Nombre de canaux | Bande de signaux en (nm) |
|----------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
| WDM | 8 | 32 | 1530 - 1565 |
| CWDM | 20 | 8 - 18 | 1270 - 1610 |
| DWDM | 0.8 | 80 - 160 | 1525 - 1565 |
| UDWDM | 0.4 | 400 | 1675 - 1625 |

Tableau 2.1 : Comparaison entre les technique de multiplexage (WDM, DWDM, UDWDM, CWDM).

Le schéma suivant montre la différence entre la bande et l'espacement inter-canaux des technique de multiplexage DWDM et CWDM.

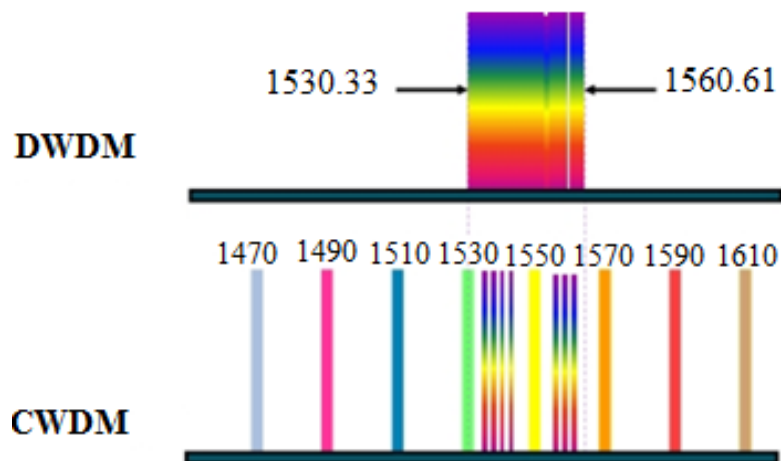


Figure 2.6: différence entre la bande des techniques multiplexages DWDM et CWDM.

2.14 Composants des systèmes de multiplexage en optique

2.14.1 Multiplexeur/Démultiplexeur

Le multiplexeur combine plusieurs longueurs d'onde, coté TX, pour une transmission sur une seule fibre optique de tous les signaux, le démultiplexeur opère la fonction inverse, coté RX. Leur première utilisation a été d'augmenter la capacité de transmission sur une fibre optique. Ils servent de point d'entrée sur le réseau optique et incluront des fonctions « add/drop » de longueurs d'onde et des fonctions de commutation optique « optical cross connect », la fonction commutation optique est au stade du laboratoire. La possibilité de commuter une longueur d'onde est fondamentale pour optimiser la capacité et l'efficacité des réseaux optiques, on s'oriente donc vers des commutateurs optiques possédant des fonctionnalités équivalentes aux commutateurs électriques en commutant une longueur d'onde sur un certain nombre de ports physiques [31].

2.14.2 Amplificateurs de ligne (Optical Line Amplifier (OLA))

Il consiste à réaliser en ligne une amplification de l'ensemble du spectre optique. Toutes les longueurs d'ondes du spectre se trouvent ainsi réamplifiées sans avoir besoin de démodulation individuelle. Les gains des amplificateurs optiques varient entre 20 et 30 dB, ce qui permet de récompenser les pertes de la liaison sur des distances de l'ordre de 100 km. Le schéma suivant reproduit le fonctionnement d'un amplificateur de ligne d'un terminal A à un terminal B [51].

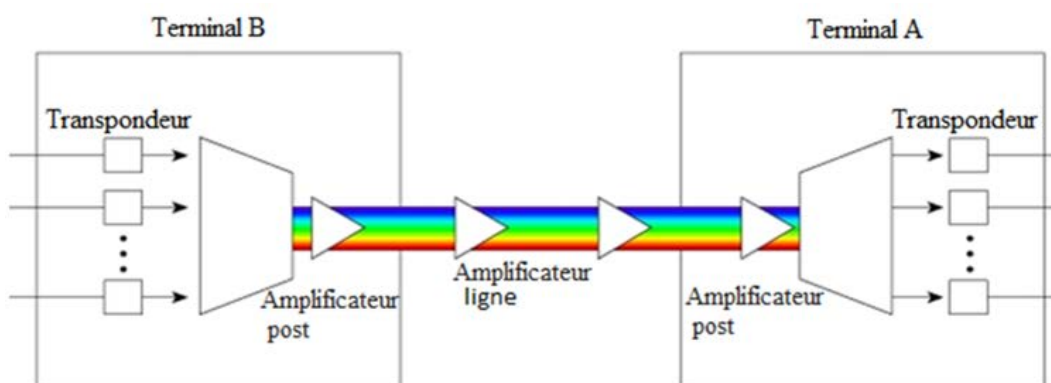


Figure 2.7 : Schéma représente l'amplificateur de ligne

2.14.3 Un répéteur de ligne intermédiaire

Il est placé environ tous les 80 - 100 km pour compenser la perte de puissance optique, tandis que le signal se déplace le long de la fibre. Le signal est amplifié par un EDFA, qui consiste généralement en plusieurs étages d'amplification [40].

2.14.4 Connexion croisée optique (OXC)

OXC commute les signaux optiques des ports d'entrée aux ports de sortie. Ce type d'éléments est généralement considéré comme insensible à la longueur d'onde, c'est-à-dire qu'il est incapable de démultiplexer différents signaux de longueur d'onde sur une fibre d'entrée donnée. OXC est situé sur des nœuds connectant plusieurs paires de fibres et prenant en charge l'ajout et la suppression de trafic local fournissant l'interface avec la couche de service [40].

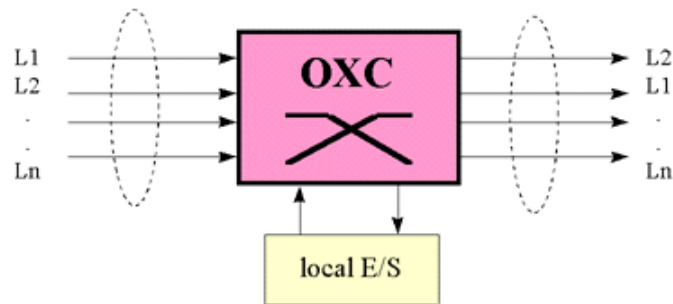


Figure 2.8 : Schéma de principe d'un brasseur optique OXC.

2.14.5 Multiplexeur d'insertion-extraction optique OADM

Le multiplexeur optique add-drop (Optical Add-Drop Multiplexer(OADM)) est utilisé dans les systèmes de multiplexage par répartition en longueur d'onde pour le multiplexage et l'acheminement de différents canaux de lumière dans ou hors d'une fibre monomode. Il s'agit d'un type de nœud optique, qui est généralement utilisé pour la construction de réseaux de télécommunications optiques [52]. C'est le sous-système optique qui facilite l'évolution du réseau optique point à point à longueur d'onde unique vers les réseaux multiplexés par répartition en longueur d'onde [40]. Un OADM peut être considéré comme un type spécifique d'armoire de raccordement transversal [52].

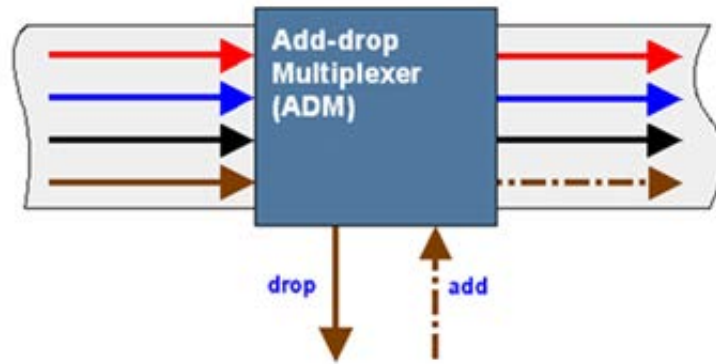


Figure 2.9 : Schéma montre le format d'un multiplexeur add-drop.

2.14.6 Régénérateurs électriques (REG)

Un REG met en œuvre la fonction 3R (reshaping/re-timing/regenerating), c'est-à-dire remodeler, resynchroniser et régénérer, afin d'améliorer la qualité du signal et étendre la distance de transmission. Une station REG contient :

- Unité de transpondeur optique (OTU).
- Multiplexeur optique (OM)- Démultiplexeur optique (OD).
- Amplificateur optique (OA) Unité de canal de supervision optique (OSC).
- L'unité d'interface de la fibre (FIU) [53].

2.15. Conclusion

Les technique de multiplexage WDM, DWDM , CWDM et U-DWDM sont basés sur le même concept, l'utilisation de plusieurs longueurs d'onde du lumière sur une seule fibre, mais avec différents espacements inter-canaux, nombre de canaux et capacité d'amplification des signaux optiques multiplexés. La technique CWDM n'est pas compatible avec les amplificateurs optique, c'est pour ça elle est utilisée dans des plus cour distances comparable avec les technique DWDM et UDWDM.

EDFA fournit une amplification large bande efficace pour la bande C, comme Raman ajoute un mécanisme d'amplification dans la bande L.

Chapitre 3 : Etude d'un système DWDM à modulation directe

3.1 Introduction

Dans les dernières années, les systèmes de communication optique se développent à un rythme rapide, l'analyse de ces systèmes est très complexe et exige des outils logiciels avancés. OptiSystem est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de communication optique, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication.

Dans ce chapitre, on va faire une bref présentation du logiciel OptiSystem en définissant leur interface, la bibliothèque et l'éditeur de layout, on va aborder aussi les différentes applications de ce logiciel.

On va étudier les performances des deux systèmes DWDM, dans un premier temps en utilisant une fibre optique SMF-28, ensuite avec une fibre Metro-Core, on va examiner les performances de la liaison en visualisant le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire et le facteur de qualité.

3.2 Présentation du logiciel de simulation OptiSystem

OptiSystem est un outil interactif développé par la société canadienne Optiwave Systems Inc qui permet aux chercheurs et aux ingénieurs de simuler, modéliser, analyser et concevoir tout module de système optique allant du dispositif le plus élémentaire au système complet de communication décrit sous la forme de schéma de blocs. C'est un environnement interactif qui allie donc des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et une interface utilisateur [17].

La démarche à suivre se décompose en deux étapes [54]

- Construire le schéma bloc.
- Analyser le schéma.

3.2.1 Interface de l'OptiSystem

L'interface OptiSystem contient une fenêtre principale réparti en plusieurs parties [54]:

- Bibliothèque.
- Editeur du layout.
- Projet en cours.

3.2.2 La 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 [55].

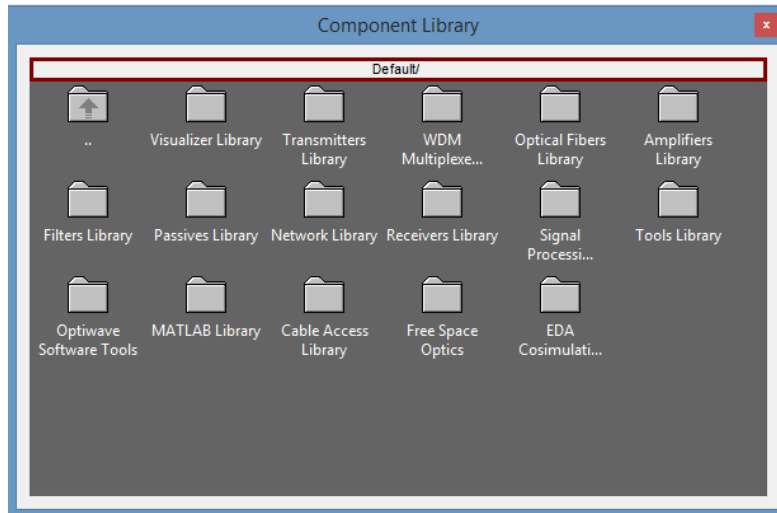


Figure 3.1 : La bibliothèque de logiciel optisystem.

3.2.3 Editeur du layout

L'éditeur de layout est 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.

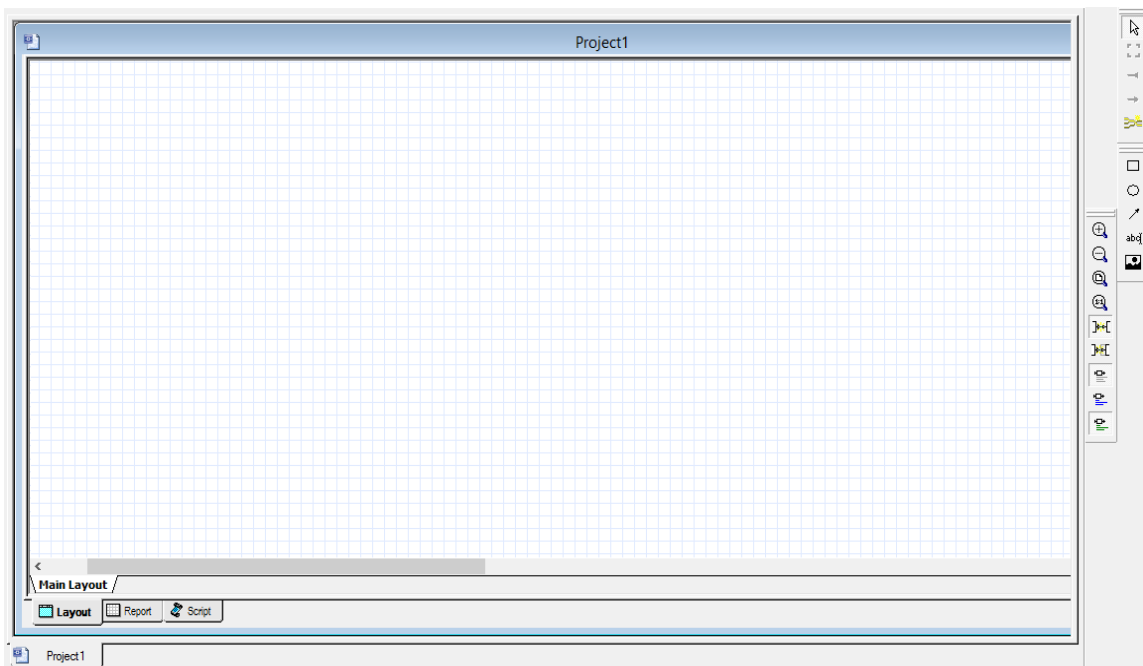


Figure 3.2 : Éditeur du layout.

3.2.4 Paramètres et caractéristiques des composants de la bibliothèque

Pour insérer un composant par exemple la fibre optique de la bibliothèque OptiSystem, il suffit d'accéder au bloc Default, on choisi le fichier qui contient tout les déférents types de fibre optique (optical fibers library), puis on clic sur le composant (optical fiber) et on le glisse verre la fenêtre d'éditeur du layout .

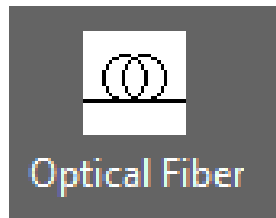


Figure 3.3 : Le composant fibre optique du bibliothèque.

Par deux clics sur ce composant utilisé, on obtient une fenêtre qui contient tous ces caractéristique (la figure 3.5), comme on peut changer ces paramètres.

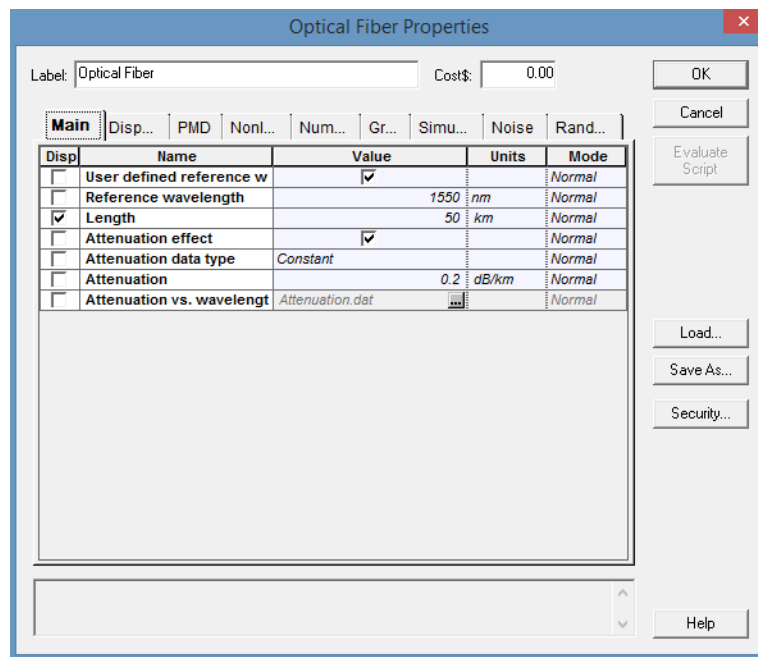


Figure 3.4 : Interface de définition du fibre optique.

3.3 Application d'Optisystem

Parmi les diverses applications d'Optisystem nous allons citer les plus utilisées [54] :

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcule du bilan de liaison.

- La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- L'espace libre pour les systèmes optique (OSA).
- La conception d'anneau SONET/SDH.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

3.4. Etude d'un système DWDM à fibre optique SMF-28 à 32 canaux

Nous allons comparer deux types de fibres, les fibres Corning Metro-Core et les fibres SMF-28 pour les applications de réseaux métropolitains. Les fibres Corning Metro-Core présentent une dispersion négative, tandis que les fibres SMF-28 présentent une dispersion positive dans les bandes EDFA. Pour les applications métropolitaines, les lasers à modulation directe (LMD) sont préférés en raison de leur faible coût, mais ils ont un chirp plus élevé que les lasers à modulation externe, ce qui entraîne une pénalité plus élevée due à la dispersion. Les LMD sont évaluées pour des distances de transmission de 100 km sur une fibre SMF-28 avec une pénalité induite par dispersion de moins de 2 dB. Une solution pour surmonter cet effet est d'utiliser une fibre avec une dispersion négative qui peut tirer parti des caractéristiques de chirp positives des LMD pour améliorer les distances de transmission. La fibre Metro-Core a une longueur d'onde de dispersion nulle proche de 1630 à 1640 nm. En conséquence, cette fibre a une dispersion moyenne d'environ -3 ps/nm/km dans la bande L et d'environ -8 ps/nm/km dans la bande C.

Dans cette partie nous allons faire l'étude sous le logiciel Optisystem d'un système DWDM à fibre optique SMF-28 à 32 canaux, qui est basé sur la technique de multiplexage optique, comme illustré sur la figure 3.7.

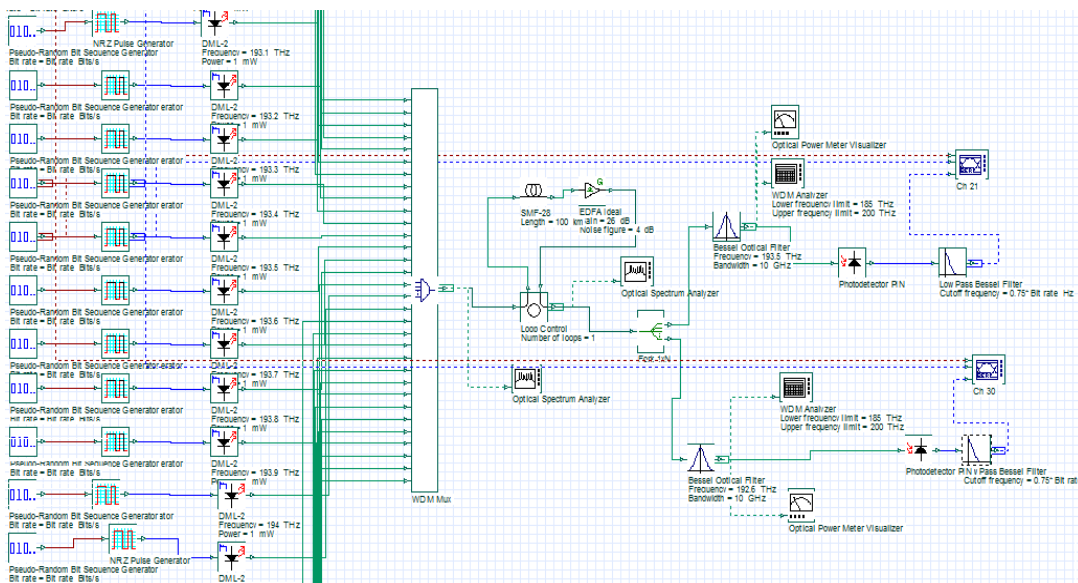


Figure 3.5 : Le schéma bloc du système DWDM à fibre optique SMF-28 à 32 canaux.

Ce système est composé de trois parties : émission, ligne de transmission et réception. Il combine plusieurs composants dont les générateurs de séquence binaire, générateurs d'impulsion NRZ, diodes DML, multiplexeur WDM, fibre optique SMF-28, amplificateur EDFA, contrôle de boucle, filtres optiques Bessel, photodiodes PIN, filtre Bessel (low passe Bessel filter), on a aussi les analyseurs de spectre optique, analyseur WDM, l'indicateur de puissance optique et l'analyseur BER.

Le but principal de la partie émission est la génération de signaux lumineux, elle regroupe 32 canaux, chaque canal est représenté par trois composants principaux : générateur de séquence binaire, générateur d'impulsion NRZ, diode DML (modulation direct of laser) avec des fréquences de 192.4 THz à 195.5 THz avec un pas de 0.1 THz (figure 3.6).

Ces canaux sont reliés avec un multiplexeur WDM, ce dernier combine tous les signaux lumineux d'entrée en un seul signal de sortie multichromatique, puis l'injecte dans la fibre optique pour le transport. On a relié la sortie multiplexeur avec un analyseur de spectre optique pour voir la forme du spectre multiplexée.

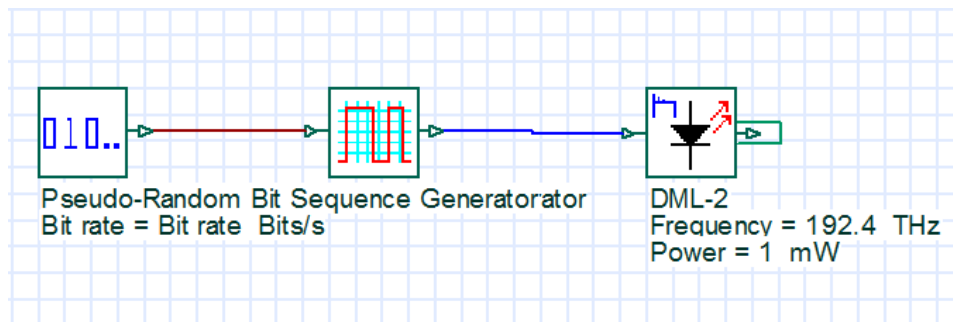


Figure 3.6 : Composants de la partie émission.

La figure 3.7 montre le spectre des 32 canaux multiplexés à la sortie du multiplexeur avec des valeurs d'amplitudes, maximale de -9.831dBm et la minimale de -104.294 dBm.

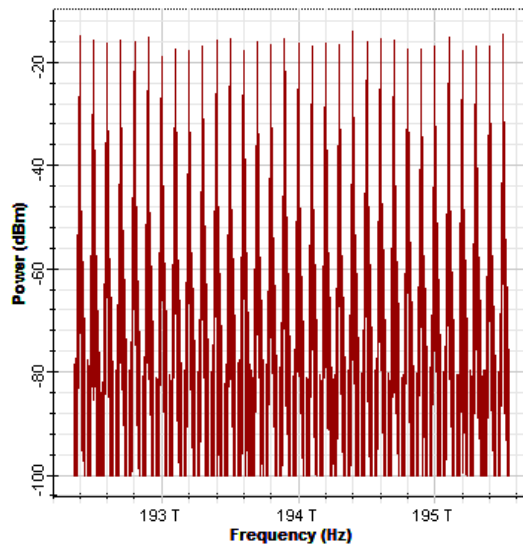


Figure 3.7 : Le spectre de 32 canaux multiplexés au sortie de multiplexeur.

Le but principal d'une ligne de transmission est de transporter le signal résultant après multiplexage avec un minimum de perte, vers le récepteur. Elle est représentée par quatre composants : fibre optique, amplificateur EDFA, analyseur de spectre optique pour visualiser le spectre des signaux multiplexés après amplification et un contrôleur de nombre de tronçons (figure 3.8).

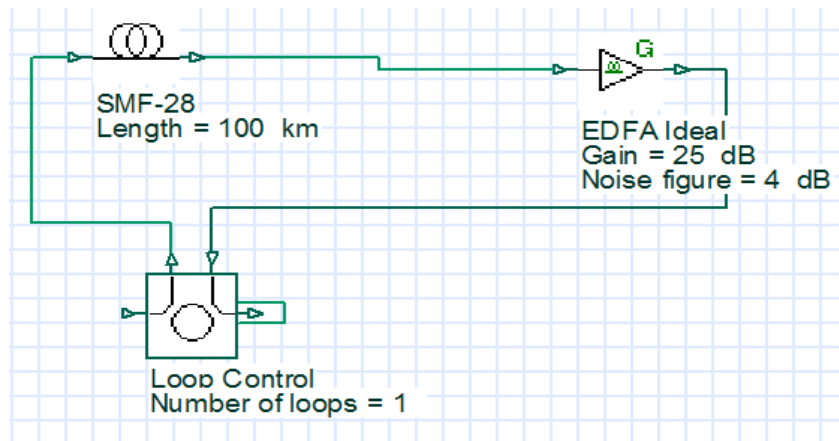


Figure 3.8 : Composants du ligne de transmission.

Le canal optique se compose d'une fibre SMF-28 optique et d'un amplificateur dopée (EDFA Erbium Doped Fibre Amplificateur). La fibre optique SMF-28 est fabriquée selon les spécifications les plus exigeantes de l'industrie avec une grand capacité de transmission. Elle présente une faible dispersion qui est optimisée pour une utilisation dans la région des longueurs d'onde de 1310 nm. Cette fibre peut être utilisé efficacement avec les systèmes

TDM et WDM fonctionnant dans la région des longueurs d'onde de 1550 nm [56]. Les paramètres de la fibre optique utilisée dans la simulation sont : longueur d'onde égal à 1550 nm, distance entre émetteur et récepteur qui varie entre 20 et 140 km, l'atténuation avec une valeur de 0.25 dB/km et la dispersion égal à 16.75 ps/nm/km.

L'amplificateur à fibre dopée Erbium EDFA s'est imposé dans le domaine des télécommunications grâce à sa transparence au débit et aux canaux adjacents [57]. Il amplifie directement les signaux optiques sans qu'il soit nécessaire d'effectuer la conversion optique électrique [58]. Cet amplificateur est utilisé dans les communications optiques à longue portée, il amplifie efficacement la lumière dans la région de longueur d'onde 1,5 μ m (bande C) où les fibres ont une perte minimale [59]. Les paramètres de l'amplificateur utilisé dans la simulation sont : le gain avec des valeurs allant de 5 à 35 dB et le facteur de bruit (4 dB).

La figure 3.10 illustre le spectre de signal multiplexé après amplification sur l'analyseur de spectre optique avec des amplitudes, maximale de -8.922 dBm et minimale de -104.337 dBm.

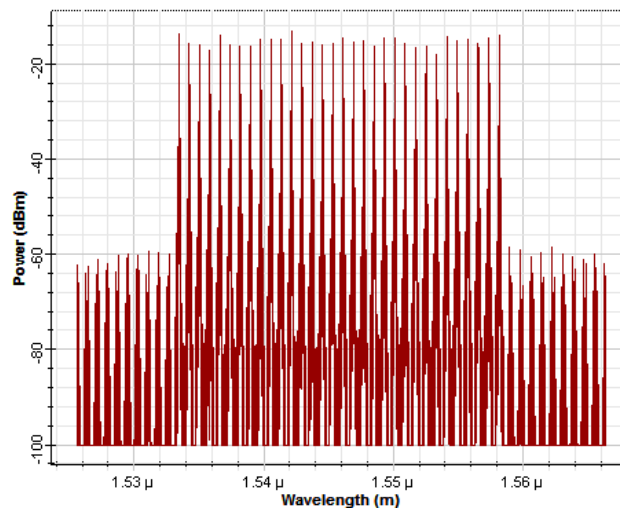


Figure 3.9 : Le spectre de 32 canaux après l'amplification.

La figure 3.7 montre le spectre optique avant l'amplification, tandis que la figure 3.9 montre le spectre optique après amplification. En comparant les deux graphiques, on voit clairement que la valeur de l'intensité augmente sans remodeler le spectre du signal optique après amplification, ce qui prouve que le système a atteint la fonction d'amplification optique.

Le rôle de la partie réception est la récupération des canaux transmis, pour notre système on va étudier juste deux canaux le 21^{ème} et le 30^{ème} canal, pour la présentation de cette partie on a les composants suivants : le séparateur optique pour séparer les canaux de

sortie, filtre optique de Bessel, deux photodiodes PIN avec des fréquences (193.5 THz et 192.6 THz) pour la détection de signal lumineux, on a aussi l'analyseur WDM, l'indicateurs de puissance optique et l'analyseur BER, comme illustré sur la figure 3.10.

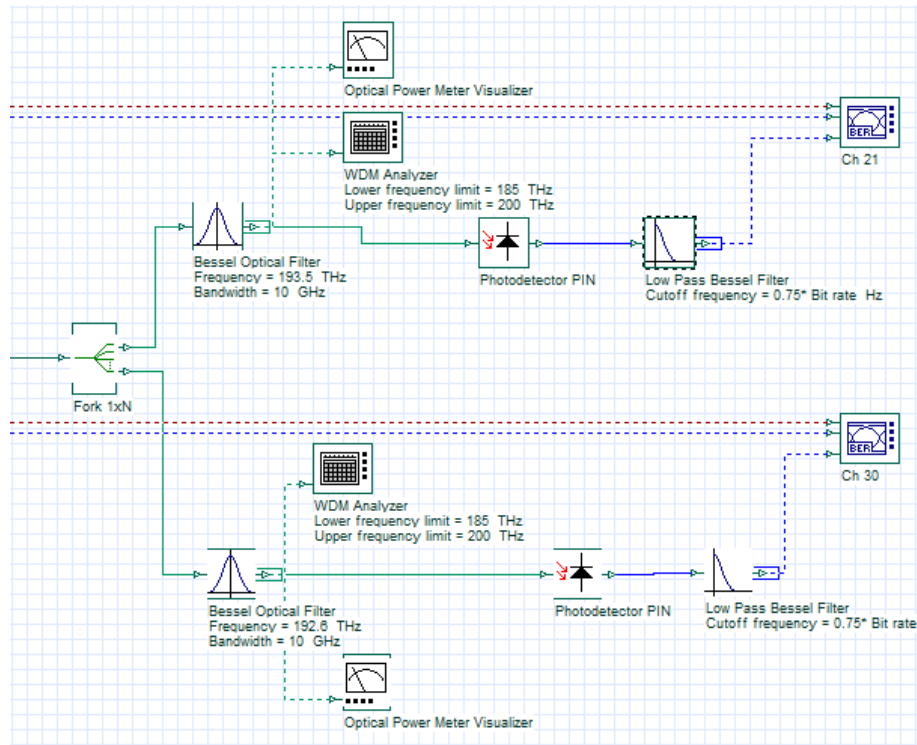


Figure 3.10 : Composants de la partie réception.

3.4.1 Performance de la liaison optique

Les performances du système DWDM à fibre optique SMF-28 sont rapportées sur la base du diagramme de l'œil, du BER et du facteur de qualité Q en dB à différentes longueurs de fibre. Le diagramme de l'œil détermine la sensibilité du signal à l'erreur de synchronisation. Une pente plus petite permet à l'œil d'être ouvert davantage et donc moins sensible à l'erreur de synchronisation. La largeur du filtre représente la quantité de gigue présente dans le signal. Avec toutes ces méthodes, il devient très facile de distinguer deux yeux à une longueur de fibre différente [60].

On va effectuer une étude sur les deux canaux 21 et 30. Le gain d'amplification est proportionnel à la distance (0.25x distance). Pour chaque simulation on va vérifier le diagramme de l'œil, la valeur du taux d'erreur binaire et du facteur de qualité.

3.4.2 Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est une méthode pour représenter et analyser un signal numérique haut débit qui permet de visualiser et de déterminer rapidement les principaux facteurs de qualité électrique du signal. Il est construit à partir d'une forme d'onde numérique en superposant les courbes correspondant à chaque bit sur un même graphe avec l'amplitude du signal en Y (axe vertical) et le temps en X (axe horizontal). En répétant l'opération sur un grand nombre d'échantillons de signal, le graphe obtenu fournit les statistiques moyennes du signal et présente l'aspect d'un œil. L'ouverture de l'œil correspond à une période de 1 bit et constitue la largeur UI (Unit Interval, ou intervalle unitaire) du diagramme œil [61].

3.4.3 Facteur de qualité

Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission. Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré, le signal utile est représenté par les niveaux moyens μ_1 et μ_0 . Le bruit représente les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens, il est quantifié en combinant les écarts-types δ_1 et δ_0 . On définit donc le facteur Q à partir de relevé du diagramme de l'œil par [62] :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\delta_1 + \delta_0} \quad [3.1]$$

3.4.4 Taux d'erreurs binaires

La qualité de transmission numérique binaire est intrinsèquement simple à évaluer puisqu'il suffit de comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, et de compter les erreurs c'est-à-dire le nombre de fois d'un "0" est détecté pour un symbole "1" émis ou vice versa. On définit alors le taux d'erreurs binaires (BER) correspondant au nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis pendant la durée de transmission [63].

Les figures 3.11 et 3.12 représentent les diagrammes de l'œil pour une longueur de la fibre optique égale à 100 km et un gain d'amplificateur de 25 dB, on voit clairement l'œil ouvert et ça veut dire que le signal est reçu avec un minimum de distorsion ce qui confirme que le pourcentage de perte dans la fibre optique est très faible.

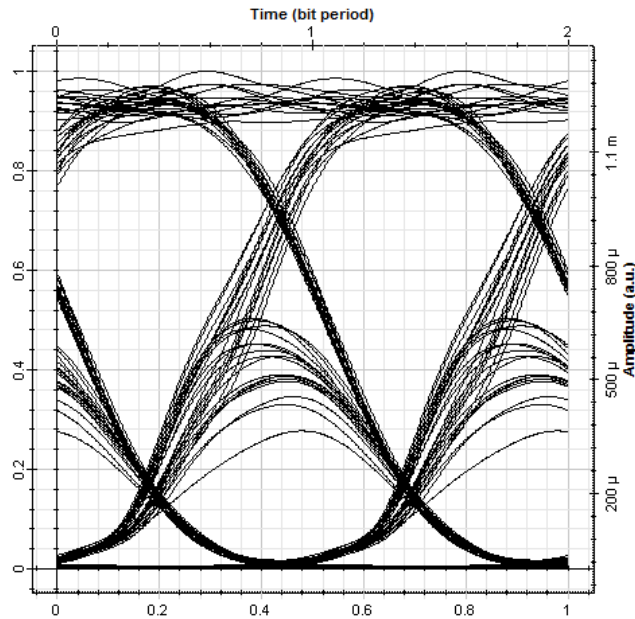


Figure 3.11 : Diagramme de l'œil pour le canal 21.

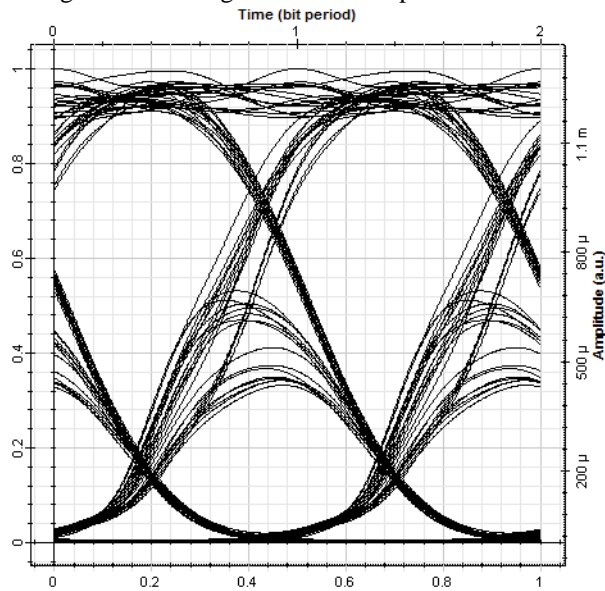


Figure 3.12 : Diagramme de l'œil pour le canal 30.

Le tableau 3.1 représente les résultats du BER et facteur de qualité pour des distance allant de 20 à 140 km avec un pas de 20 km (canal 21).

| Longueurs de fibre optique | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $1.18e^{-5}$ | $2.62e^{-5}$ | $5.78e^{-5}$ | $9.96e^{-5}$ | $1.95e^{-4}$ | $3.83e^{-4}$ | $7.15e^{-4}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.07 | 3.88 | 3.69 | 3.55 | 3.37 | 3.19 | 3.01 |

Tableau 3.1 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 21).

Les figures 3.13 et 3.14 illustrent cette variation sur des courbes pour le canal 21.

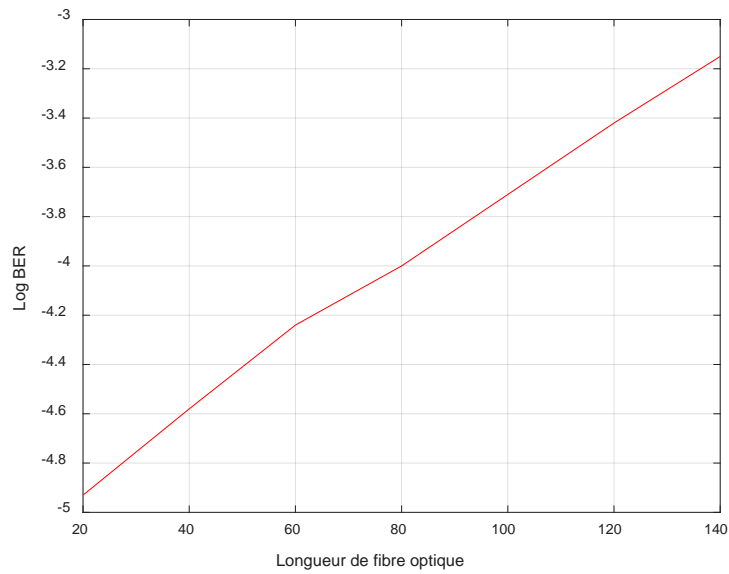


Figure 3.13 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canal 21).

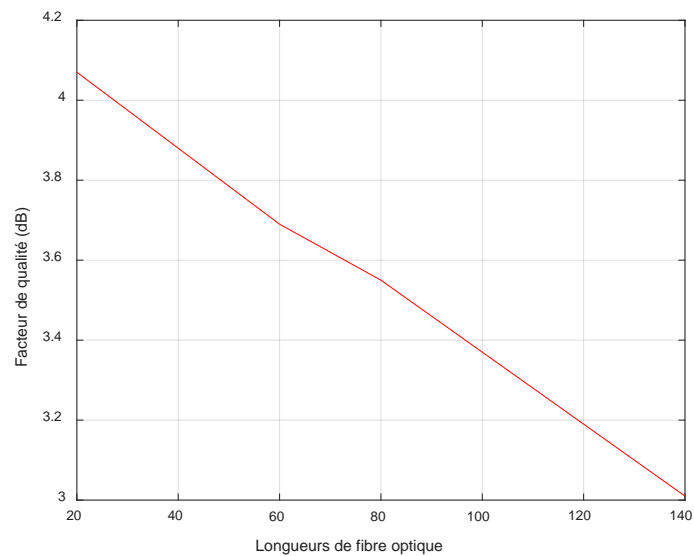


Figure 3.14 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 21).

On observe que le taux d'erreur binaire et le facteur de qualité sont inversement proportionnelle, le taux d'erreur binaire est minimal pour une longueur de 20 km, et plus la longueur augmente plus ce dernier augmente, d'après ces résultats on note que le taux d'erreur binaire est acceptable pour des longueurs de fibre optique inférieure de 100 km, mais il sera très élevé si la distance augmente au-delà de 100 km.

Le tableau 3.2 correspond à la même étude précédente mais avec le canal 30.

| Longueurs de fibre optique | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $5.01e^{-6}$ | $1.19e^{-5}$ | $2.42e^{-5}$ | $5.26e^{-5}$ | $1.27e^{-4}$ | $2.63e^{-4}$ | $3.76e^{-4}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.27 | 4.08 | 3.91 | 3.73 | 3.51 | 3.31 | 3.22 |

Tableau 3.2 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 30).

Les figures 3.15 et 3.16 sont des représentations graphiques du dernier tableau.

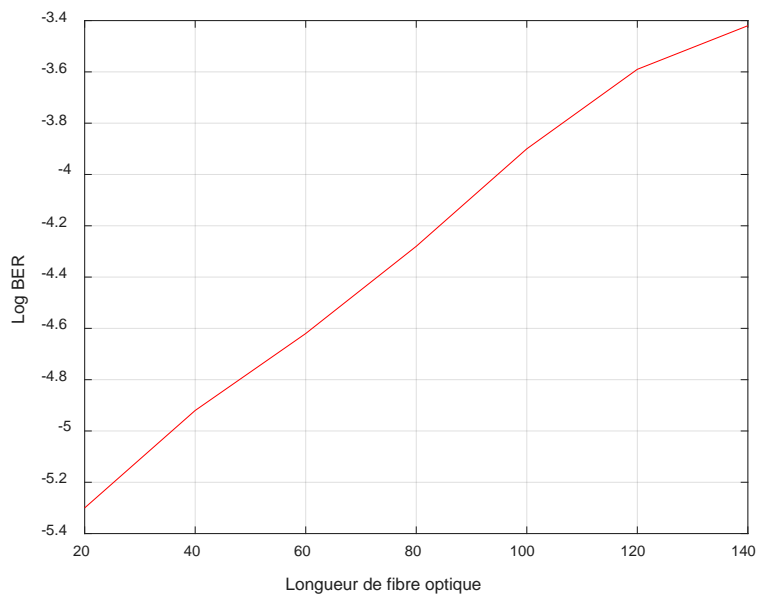


Figure 3.15 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur du fibre optique (canal 30).

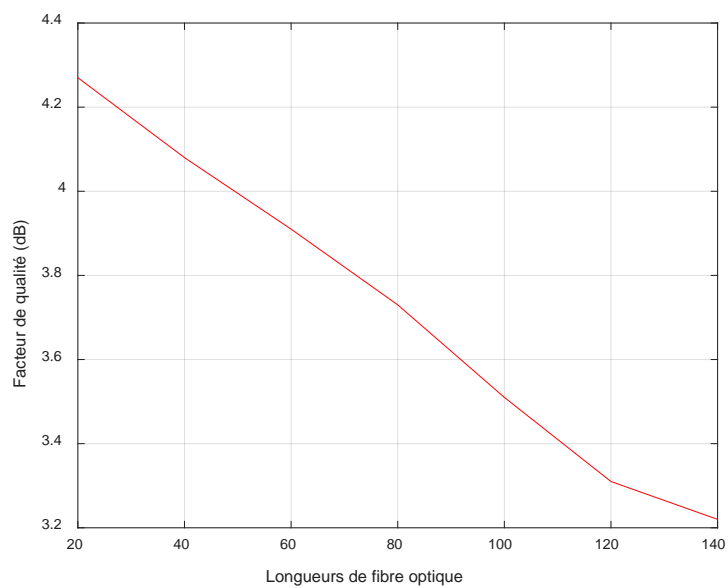


Figure 3.16 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de longueur du fibre optique (canal 30).

On note un facteur de qualité égal à 4.27 dB pour une distance de 20 km. On remarque que plus la longueur augmente plus le facteur Q diminue jusqu'à atteindre une valeur de 3.22 dB pour une distance de 140 km. On obtient le meilleur résultat pour une distance de 100 km, ce qui confirme que la fibre optique SMF s'adapte pour les grandes distances.

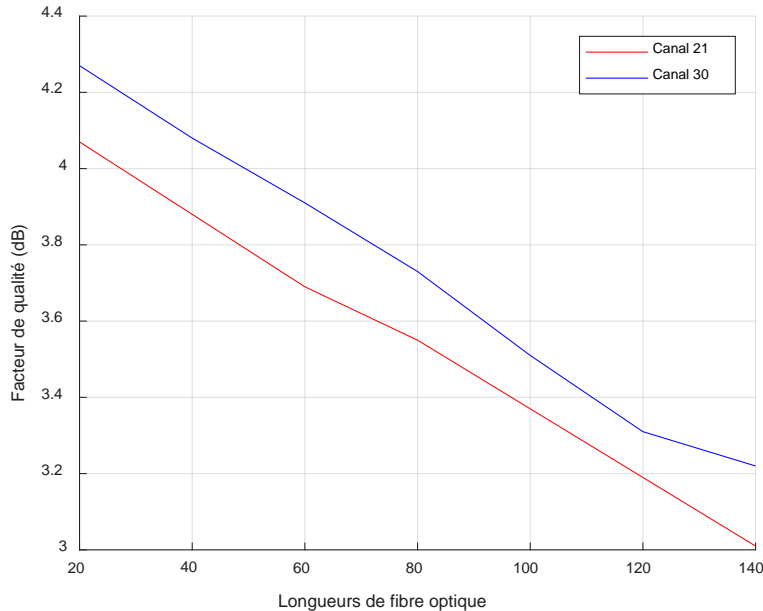


Figure 3.17 : Taux d'erreur binaire en fonction de longueur de fibre (canaux 21 et 30).

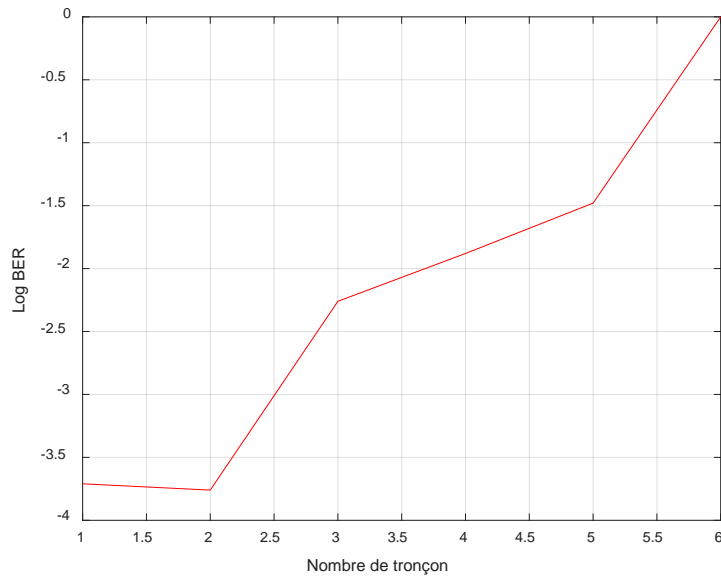
La figure 3.17 montre La variation du taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre optique pour les deux canaux (21 et 30). En comparant entre les deux canaux de ce système, on observe que le canal 30 est meilleur que le canal 21 en terme de meilleur facteur de qualité.

Cette fois ci on a va faire varier le nombre de tronçon de liaison, pour rappel chaque tronçon est composé d'une longueur de fibre optique et d'un amplificateur optique EDFA. La longueur de la fibre SMF pour un tronçon est fixée à 100 km. On a obtenu des valeurs de taux d'erreur binaire BER et du facteur de qualité Q en dB, montrées sur le tableau suivant :

| Nombre de tronçon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Taux d'erreur binaire BER | $1.95e^{-4}$ | $1.72e^{-3}$ | $5.46e^{-3}$ | $1.32e^{-2}$ | $3.32e^{-2}$ | 1 |
| Facteur de qualité Q(dB) | 3.37 | 2.76 | 2.41 | 2.09 | 1.65 | 0 |

Tableau 3.3 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21).

Les figures 3.18 et 3.19 montrent respectivement la variation de taux d'erreur binaire et du facteur de qualité Q(dB) en fonction du nombre de tronçon pour le canal 21.



3.18 : Taux d'erreur binaire en fonction de nombre du tronçon (canal 21).

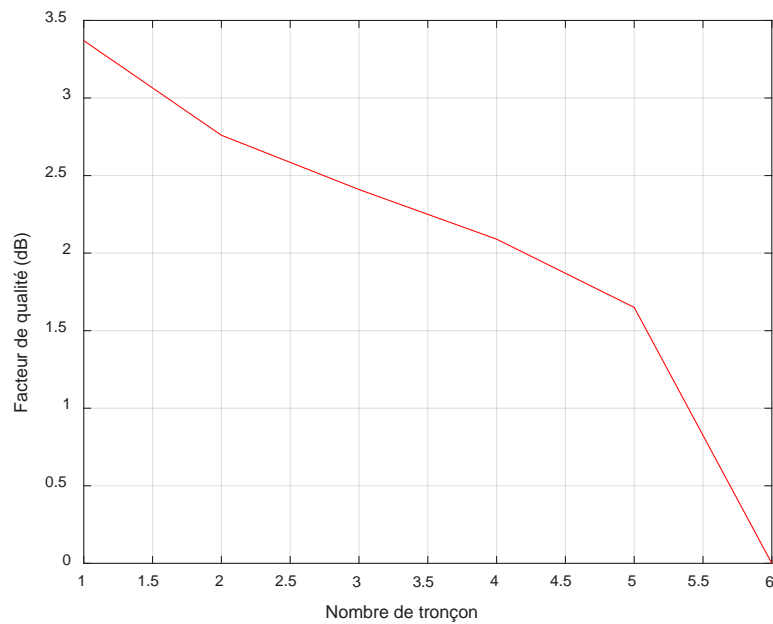


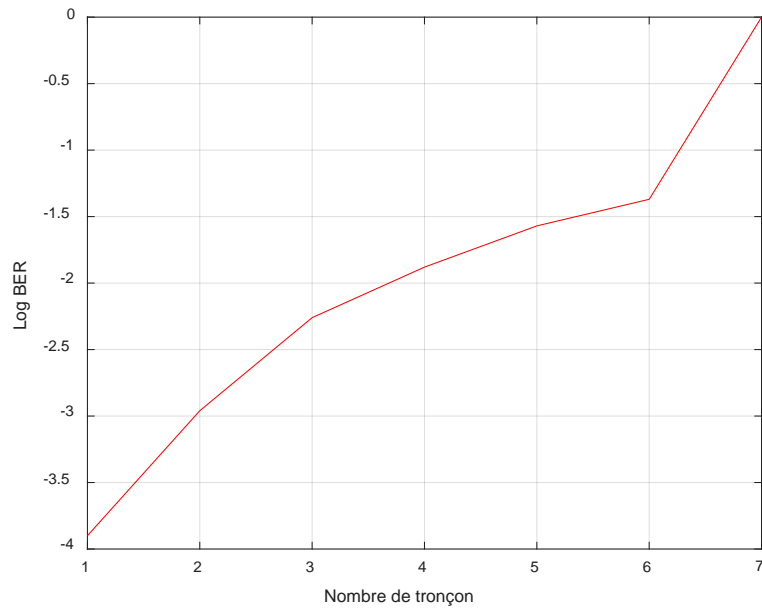
Figure 3.19 : Facteur du qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21).

Le taux d'erreur binaire est acceptable pour les tronçons 1 et 2 c'est-à-dire une distance allant jusqu'à 200 km. Une augmentation du nombre de tronçons affaibli la qualité de la liaison considérablement, mais reste tout de même dans des valeurs acceptable.

Le tableau suivant et les figures suivantes correspondent aux résultats du canal 30 :

| Nombre de tronçon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Taux d'erreur binaire BER | $1.27e^{-4}$ | $1.09e^{-3}$ | $5.52e^{-3}$ | $1.31e^{-2}$ | $2.59e^{-2}$ | $4.31e^{-2}$ | 1 |
| Facteur de qualité Q(dB) | 3.51 | 2.92 | 2.44 | 2.12 | 1.83 | 1.56 | 0 |

Tableau 3.4 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q (dB) en fonction du nombre de tronçon (canal 30).



3.20 : Taux d'erreur binaire en fonction du nombre du tronçon (canal 30).

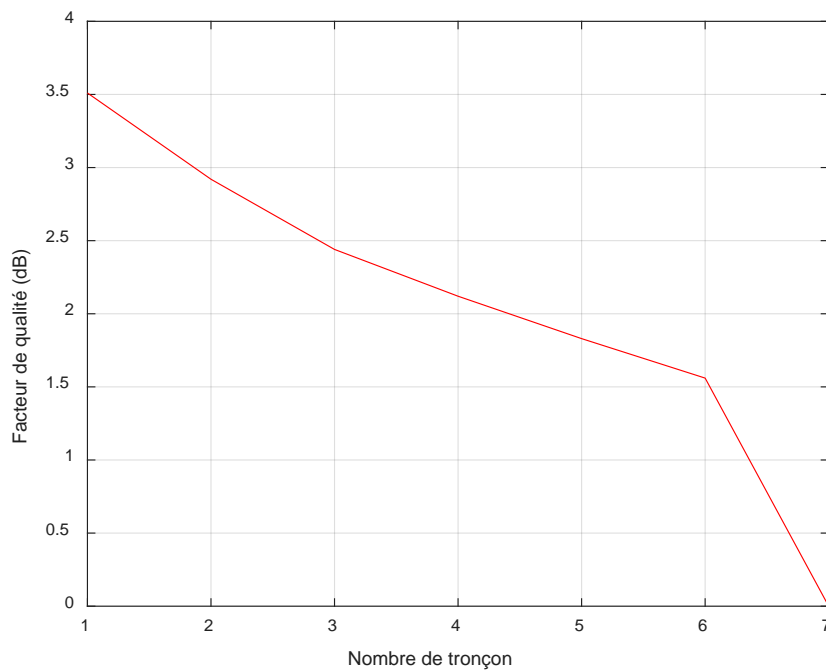


Figure 3.21 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction du nombre du tronçon (canal 30).

Le facteur de qualité est maximal lorsque le nombre de tronçon égale à 1 c'est-à-dire une longueur de fibre optique de 100 km, ce facteur chute avec l'augmentation de nombre du tronçon jusqu'à s'annuler à un nombre de tronçon égale à 6 ce qui est équivalent à une longueur 600 km. Il faut chercher un optimum entre qualité et distance souhaitée.

La figure 3.12 montre la variation de facteur de qualité en fonction de nombre du tronçon pour les deux canaux 21 et 30.

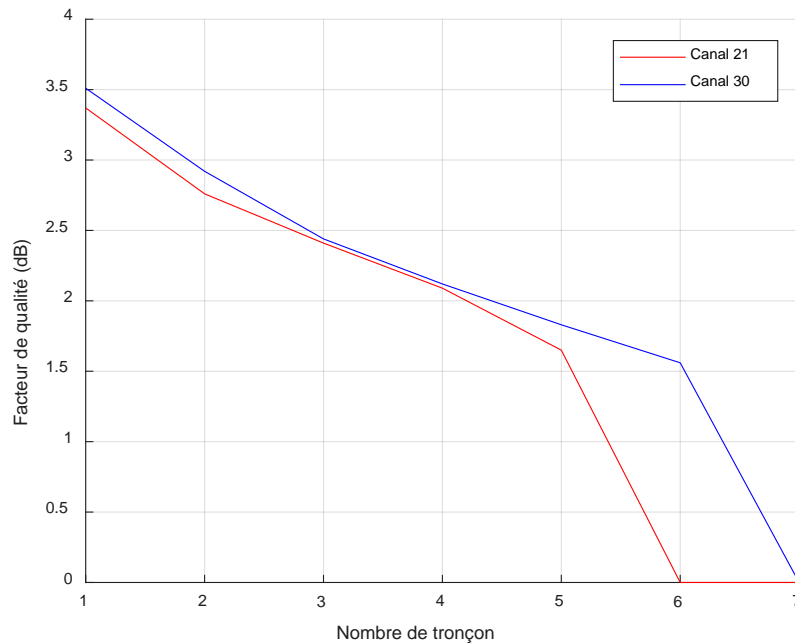


Figure 3.22 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre du tronçon pour les canaux 21 et 30.

Ces résultats montrent de meilleurs résultats pour le canal 30.

3.5 Système DWDM à fibre optique Metro-Core à 32 canaux

Pour le système DWDM à fibre optique Metro-Core, on va effectuer la même étude que pour SMF-28. Pour rappel le système se compose de trois parties : émission, ligne de transmission et réception, ces parties contiennent les mêmes composants que dans le système DWDM à fibre optique SMF-28, sauf qu'on a remplacé une fibre optique Metro-Core avec la fibre optique SMF-28, comme il est illustrée dans figure 3.23.

La fibre optique Metro-Core a une dispersion décalée non nulle optimisée pour l'utiliser dans les systèmes de multiplexage à haut débit (WDM), il fonctionne dans la même bande que l'amplificateur EDFA, sa faible dispersion négative diminue les coûts d'exploitation des réseaux optiques, et permet une transmission des signaux optiques pour les grandes distances sans compensation [64].

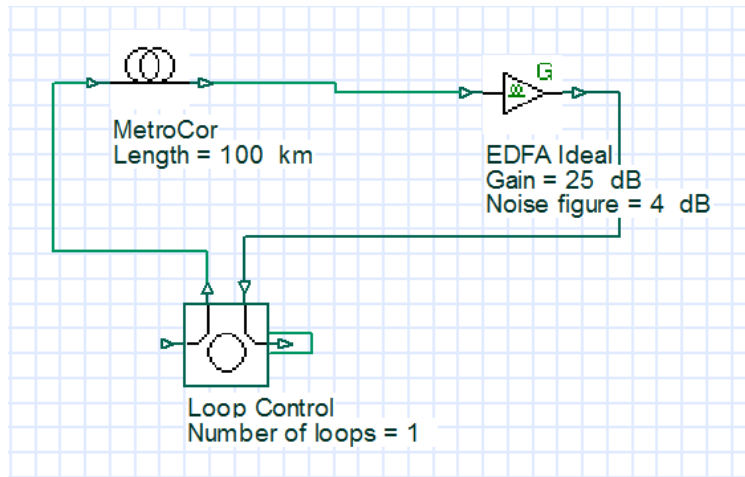


Figure 3.23 : Composants de la ligne de transmission.

Les caractéristiques de fibre optique utilisée sont : longueur d'onde égal à 1550 nm, longueur de la fibre varie entre 20 et 140 km, atténuation de 0.25 dB/km et la dispersion égal à -5.6 ps/nm/km. Les caractéristiques de l'amplificateur sont : un gain variant de 5 à 35 dB et un facteur de bruit de 4 dB.

Le signal de sortie du multiplexeur est illustré sur la figure 3.24.

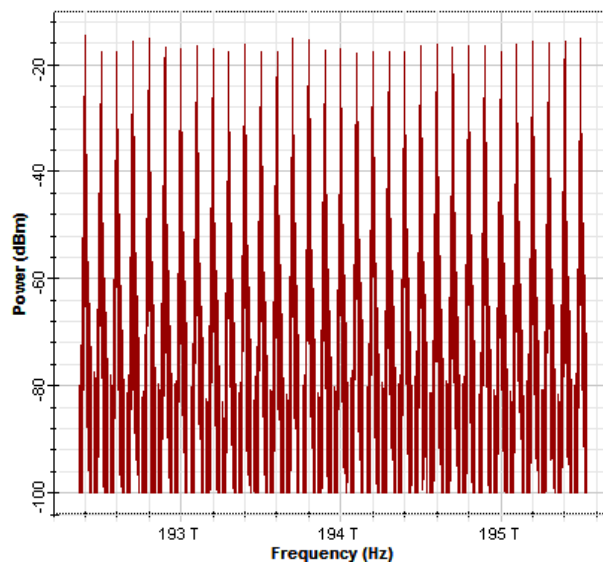


Figure 3.24 : Signal de sortie du multiplexeur.

Le spectre du signal amplifié est illustré sur la figure 3.25 (gain 25dB et facteur de bruit 4dB).

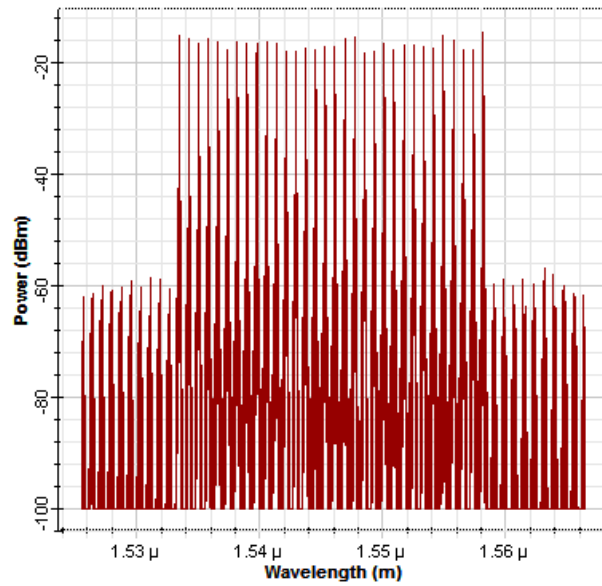


Figure 3.25 : Spectre de 32 canaux après l'amplification.

On note clairement que la valeur de l'intensité a été amplifiée sans remodeler le spectre du signal optique après amplification, ce qui démontre que le système a atteint la fonction de technologie d'amplification optique

3.6 Performance de la liaison

Pour étudier les performances du système DWDM à fibre optique Metro-Core, on va visualiser le diagramme de l'œil, les valeurs du taux d'erreur binaire BER et du facteur Q en dB pour des longueurs de fibre optique de 20 à 140 km.

Les résultats du facteur de qualité et du BER sont notés sur le tableau 3.7, pour le canal 21.

| Longueurs de fibre optique (km) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $1.01e^{-5}$ | $8.00e^{-6}$ | $7.63e^{-6}$ | $6.66e^{-6}$ | $4.96e^{-6}$ | $4.46e^{-6}$ | $6.34e^{-6}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.10 | 4.15 | 4.16 | 4.20 | 4.26 | 4.29 | 4.22 |

Tableau 3.5 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB en fonction De la longueur du fibre optique (canal 21).

Les figures 3.26 et 3.27 sont la représentation graphique du tableau 3.7.

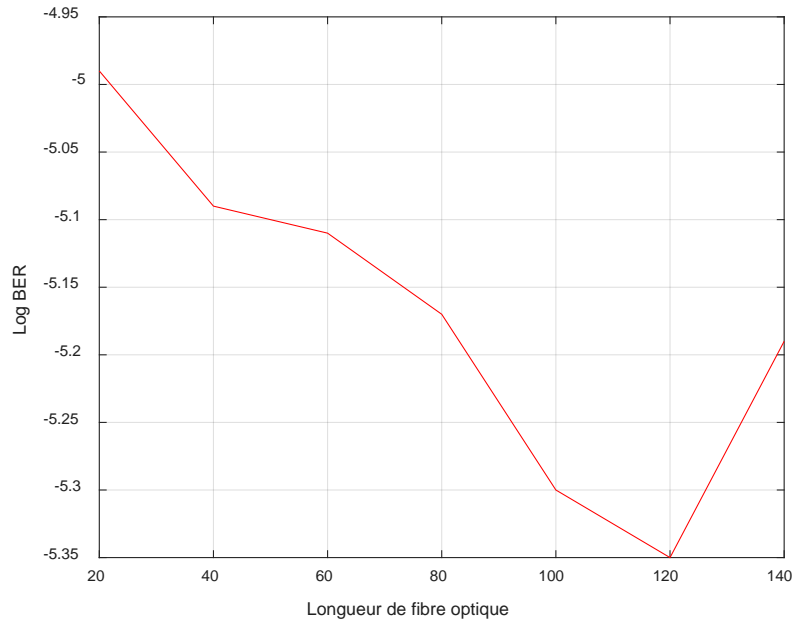


Figure 3.26 : Taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre optique (canal 21).

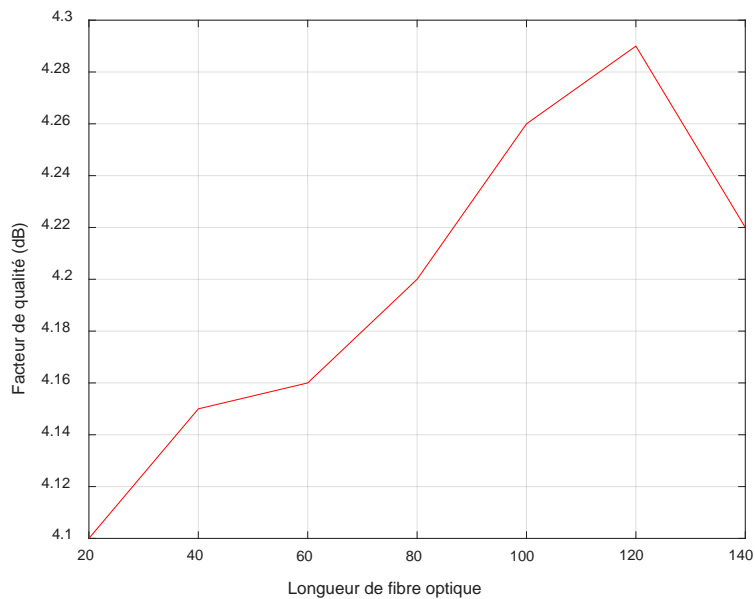


Figure 3.27 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction De la longueur de la fibre optique (canal 21).

La qualité de transmission augmente avec l'augmentation de la distance pour atteindre une valeur de 4,29 à une distance de 120 km, puis elle diminue, ce qui traduit une bonne qualité de transmission pour des longueur de fibre optique inférieur ou égal à 120 Km.

Le tableau suivant présente les résultats du BER et du facteur de qualité pour des distances de 20 à 140 km pour le canal 30.

| Longueurs de fibre optique (km) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $9.69e^{-6}$ | $7.50e^{-6}$ | $6.57e^{-6}$ | $4.92e^{-6}$ | $4.52e^{-6}$ | $5.88e^{-6}$ | $2.75e^{-6}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.11 | 4.17 | 4.20 | 4.26 | 4.28 | 4.23 | 4.41 |

Tableau 3.6 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q(dB) en fonction de la longueur de la fibre optique (canal 30).

L'illustration graphique de ce tableau est sur les figures 3.28 et 3.29.

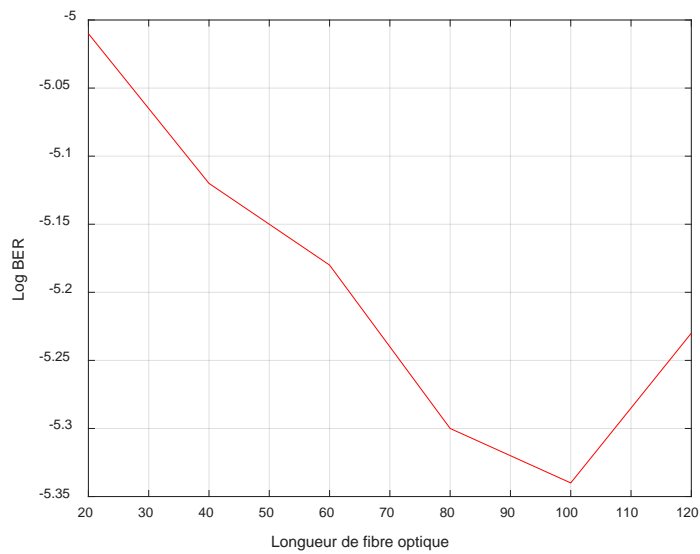


Figure 3.28 : Taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de la fibre optique (canal 30).

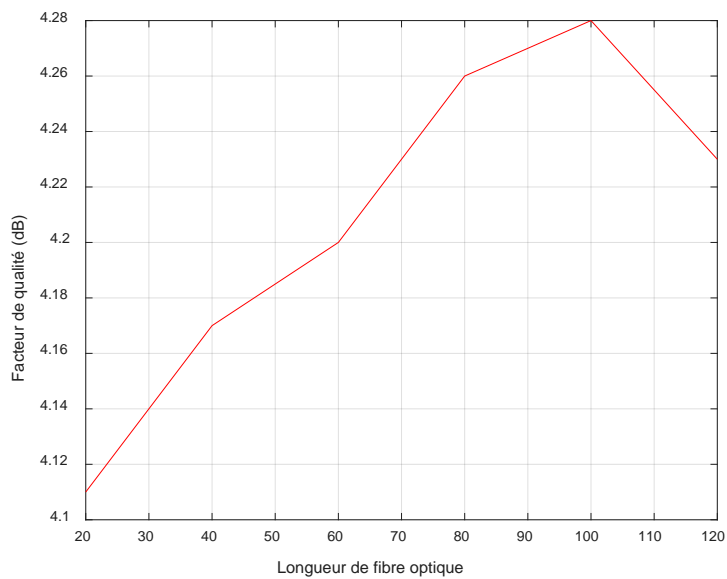


Figure 3.29 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de la longueur de la fibre optique (canal 30).

Les résultats montrent un comportement différent par rapport au canal 21, avec toujours une augmentation du facteur de qualité jusqu'à 100 km (120 km pour canal 21) puis une diminution à partir de 100km.

La figure 3.30 présente une comparaison entre les performances des liaisons des canaux 21 et 30.

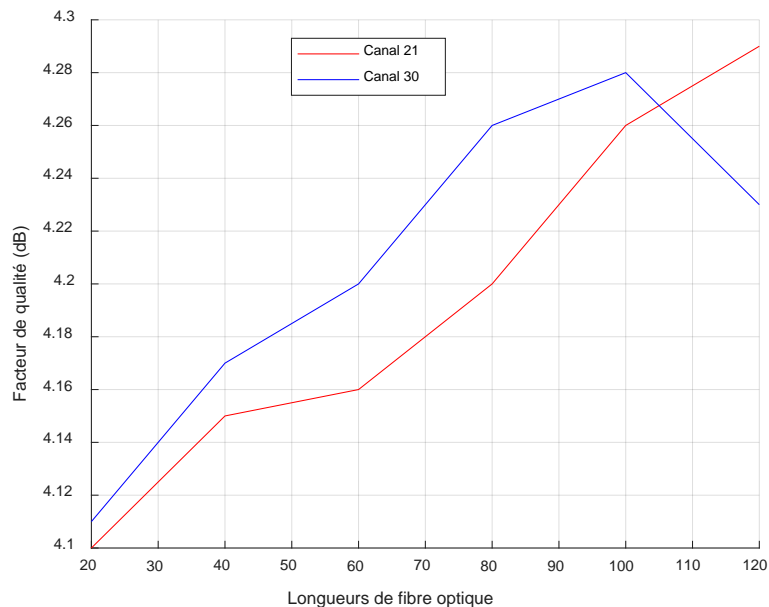


Figure 3.30 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de la longueur de la fibre optique (canaux 21 et 30).

La figure précédente est une illustration parfaite de la comparaison entre les canaux 21 et 30, ça confirme les remarques faites précédemment, mais on note en plus que les facteurs de qualités sont proches entre les canaux 21 et 30.

Cette fois ci, on va faire varier le nombre de tronçons, la longueur de la fibre Metro-core pour un tronçon est fixée à 100 km. On a obtenu les valeurs du taux d'erreur binaire BER et du facteur de qualité Q (en dB) qui sont montrées dans les tableaux suivants :

| nombre de tronçon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $4.96e^{-6}$ | $7.27e^{-6}$ | $4.87e^{-6}$ | $3.21e^{-6}$ | $2.11e^{-6}$ | $1.60e^{-6}$ | $1.28e^{-6}$ | $1.32e^{-6}$ | $7.33e^{-4}$ | $2.23e^{-3}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.27 | 4.18 | 4.27 | 4.36 | 4.46 | 4.52 | 4.57 | 4.56 | 3.08 | 2.73 |

Tableau 3.7 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB en fonction du nombre de tronçons (canal 21).

Les figures suivantes représente le facteur de qualité et le BER en fonction du nombres de tronçons pour le canal 21.

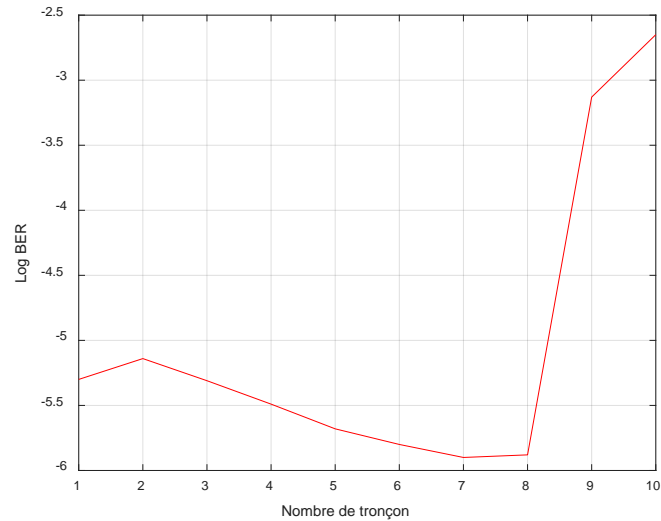


Figure 3.31 : Taux d'erreur binaire en fonction du nombre de tronçon (canal 21).

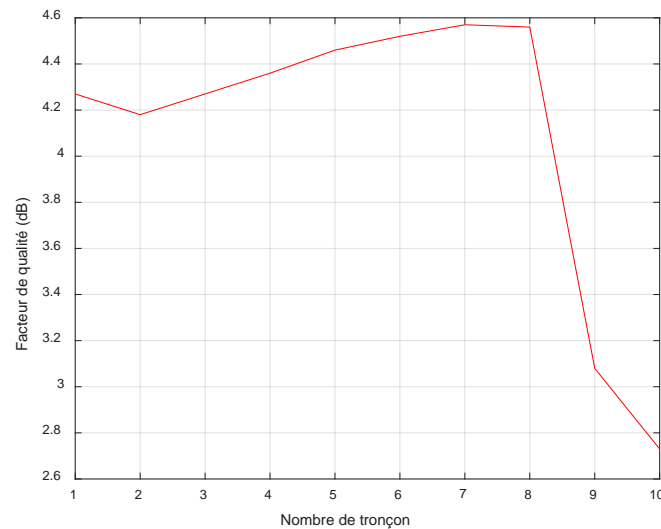


Figure 3.32 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction de nombre de tronçon (canal 21).

Le facteur de qualité augmente légèrement pour un nombre de tronçons allant jusqu'à 8, puis à partir de 8 on remarque une dégradation considérable de la qualité de la liaison, il est donc conseillé d'utiliser un nombre de tronçons 8 et une distance de 800 km, ce qui est beaucoup plus important par rapport à la liaison avec SMF-28. On note aussi en comparant avec la liaison précédente que les valeurs de facteur de qualité et du taux d'erreur binaire sont dans le même périmètre.

Le tableau suivant et les figures suivantes représentent une étude du canal 30, dans le même contexte (nombre de tronçons).

| Nombre de tronçon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Taux d'erreur binaire BER | $4.52e^{-6}$ | $6.91e^{-6}$ | $5.72e^{-6}$ | $4.29e^{-6}$ | $3.53e^{-6}$ | $2.35e^{-6}$ | $1.64e^{-6}$ | $1.15e^{-6}$ | $3.04e^{-4}$ | $5.92e^{-4}$ |
| Facteur de qualité Q(dB) | 4.29 | 4.19 | 4.23 | 4.30 | 4.34 | 4.43 | 4.51 | 4.59 | 3.33 | 3.15 |

Tableau 3. 8 : Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q en dB en fonction du nombre de tronçon (canal 30).

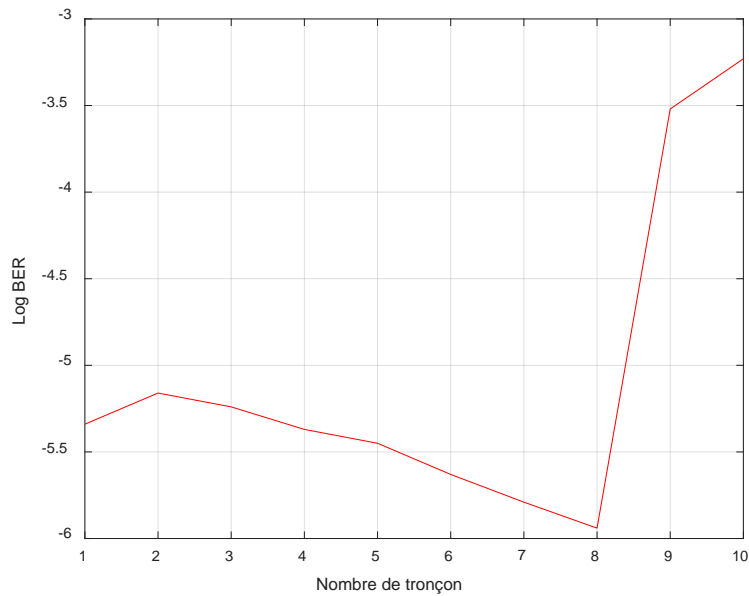


Figure 3.33 : Taux d'erreur binaire en fonction du nombre de tronçons (canal 30).

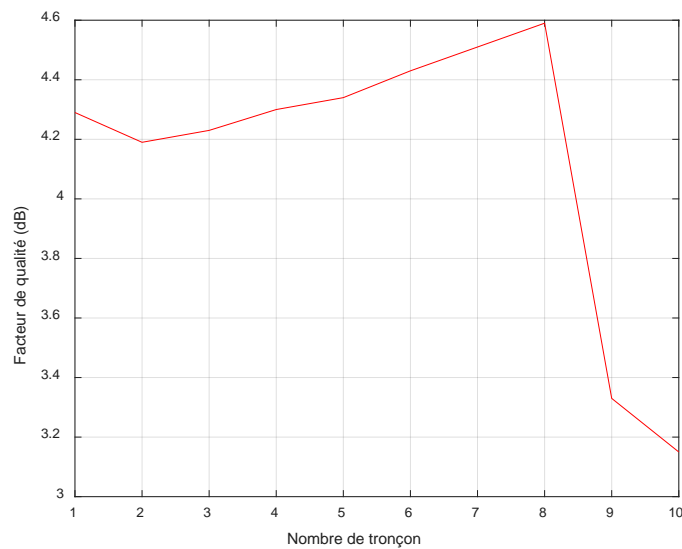


Figure 3.34 : Facteur de qualité Q(dB) en fonction du nombre de tronçons (canal 30).

On note un même comportement du canal 30 que le canal 21 avec une légère augmentation suivi d'une forte dégradation.

La figure 3.35 présente une comparaison entre les canaux 21 et 30.

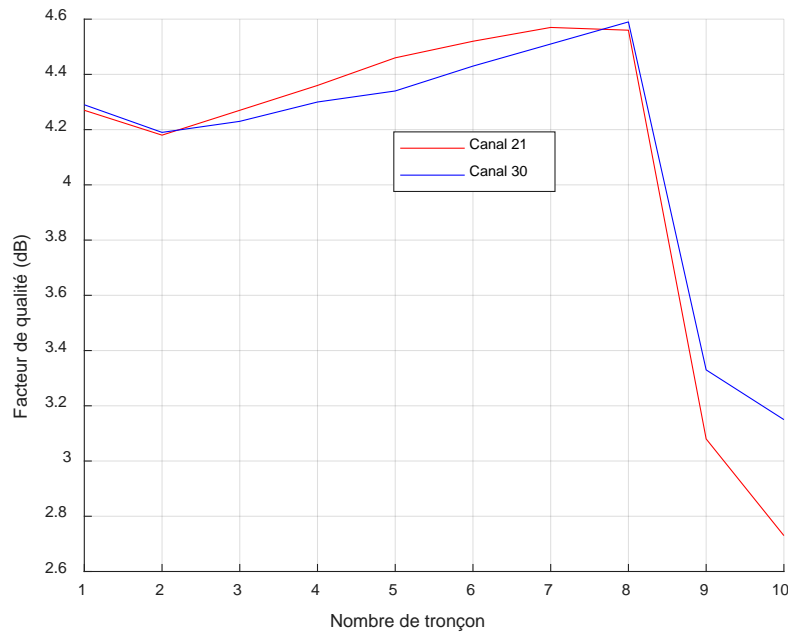


Figure 3.35 : Taux d'erreur binaire en fonction du nombre de tronçons (canaux 21 et 30).

Les résultats des deux canaux sont pratiquement les mêmes, ce qui démontre que la fibre optique Metro-Core est plus insensible au numéro du canal par rapport à la fibre optique SMF-28.

3.7 Conclusion

Ce dernier chapitre a été consacré à l'étude de deux systèmes similaires, le premier avec la fibre optique SMF-28 et le second avec la fibre optique Metro-Core, ces deux fibres sont différentes en terme de dispersion.

Nous avons testé les deux systèmes pour une augmentation de la longueur de la fibre, puis une augmentation du nombre de tronçons. Nous avons fait notre étude pour deux canaux 21 et 30. On a remarqué que la fibre Metro-Core peut aller jusqu'à des distances de 800 km alors que la fibre SMF-28 est préférable pour des distances plus faibles. On a noté aussi que la différence de qualité entre canaux n'est pas importante pour les fibres optiques Metro-Core par rapport à SMF-28.

Conclusion général

Le premier chapitre de ce mémoire a été consacré à une description d'une liaison par fibre optique avec tous ses éléments : émetteur, récepteur et canal de transmission. Pour l'émission nous avons étudié les diodes DEL et les diodes laser et les techniques de modulation. Pour le canal de transmission, nous avons défini une fibre optique avec toutes ses caractéristiques. Enfin la réception, avec les photodiodes PIN et à avalanche.

Pour le second chapitre, nous avons décrit une technique d'actualité, qui est le multiplexage en longueur d'onde, elle permet d'augmenter le débit d'une liaison. Il existe plusieurs sous-techniques, différentes en espacement et en nombre de canaux, on peut les citer : WDM, DWDM, UDWDM et CWDM.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude de deux systèmes sous le logiciel Optisystem. Les deux systèmes utilisent une modulation directe avec les diodes DML, et une technique de multiplexage à 32 canaux, des fréquences de 192.4 THz à 195.5 THz avec un pas de 0.1 THz, un générateur d'impulsion NRZ. La fibre optique est accompagnée par un amplificateur optique EDFA pour compenser les pertes.

Le premier système utilise une fibre optique SMF-28 avec une dispersion de 16.75 ps/nm/km et une atténuation de 0,25 dB/km. Nous avons d'abord changé la longueur de la fibre pour voir son influence sur le facteur de qualité et le taux d'erreur binaire des canaux 21 et 30. On a noté que le facteur de qualité est inversement proportionnel à la distance. Ensuite on a fait varier le nombre de tronçons, chaque tronçon est composé d'une longueur de fibre optique et d'un amplificateur EDFA. Nous avons établi que le nombre maximal pour une qualité de transmission convenable est de 5 ce qui correspond à une distance de 500 km.

Pour le second système nous avons changé la fibre optique par une autre avec une dispersion négative égale à -5.6 ps/nm/km et avec la même atténuation, cette fibre est Metro-Core. Nous avons noté une légère amélioration de la qualité du système et une augmentation de la distance à plus de 1000 km.

Il serait intéressant par la suite d'étudier ces deux mêmes systèmes en faisant varier la puissance d'émission et le débit.

Liste des Acronymes

APD Avalanche Photo Diode.
ASK Amplitude Shift Keying.
AWG American Wire Gauge.
BER Bite Error Rate.
CCITT Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy.
CWDM Coarse Wavelength Division Multiplexing.
DEL Diode Electroluminescente.
DL Diode laser.
DML Direct Modulation Laser.
DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing.
EDFA Erbium Doped Fiber Amplifier.
ER Extinction Ratio.
FIU Unité d'Interface de la Fibre optique.
FTTx Fiber To The X (désigne la fibre optique jusqu'au usagers finaux).
G957, G958 série G : système et support de transmission, système et réseau numériques.
LAZER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
MZI Mach-Zehnder Interferometer.
NRZ Non-Return-to-Zéro.
OH Ions hydroxyls.
OA Amplificateur Optique.
OADM Optical Add-Drop Multiplexer.
OD Démultiplexeur Optique.
OM Multiplexeur Optique .
OOK On/Off Keying.
OSC Canal de Supervision Optique .
OTU Unité de Transpondeur Optique.
OXC Connexion Optique Croisée.
PIN Positive Intrinsic Negative.
PK Phase Shift Keying.
Q Qualité de facteur
REG Régénérateur.
RX Reception.

RZ Return-to-Zéro.

SMF Single Mode Fiber.

TDM Time Division Multiplexing.

TIA TransImpedance Amplifier.

UTC Uni-Travelling Carrier.

TX Emission ou Transmission.

UDWDM Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing.

WDM Wavelength Division Multiplexing.

xDSL ou DSL Digital Subscriber Line.

Références bibliographiques

- [1] H.BILLAMI et R.BENDAHMABE, "Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, juin 2013.
- [2] Y.HAMED, "Etude d'une liaison Radio sur Fibre", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2014.
- [3] K-D.KUNGW, "Etude d'une liaison transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau", 2016.
- [4] Notions.informatique.free.fr/reseaux/cablagefibre%20optique.pdf.
- [5] M.AMARI et B.HAMRI, "Etude et évaluation d'une chaîne de transmission optique point à point avec une longueur d'onde 1.55 μ m", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université de Saïda -Dr Moulay Tahar, juin 2017.
- [6] fjehin.free.fr/LP/Stages_Projets/Projets_Lp09/FO_Legrand.pdf.
- [7] www.syscope.net/elec/B33.pdf.
- [8] P.LECOY, "communication sur fibres optiques", 4^{ème} édition.
- [9] P-A.BELANGER, "Supplément d'électromagnétisme appliqué".
- [10] S.PHILIPPE, "la fibre optique technologies et applications".
- [11] P.FERDINAND, "Capteurs à fibres optiques et réseaux associés".
- [12] http://www.wigm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2007/rlefievr_Fibre_Optique_et_WDM/fibre_optique_dispersion_modale.htm.
- [13] P.LECOY, "Télécoms sur fibres optiques", 3^{ème} édition revue et augmentée.
- [14] M.LOUZANI et S.MEDDANE, "Étude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueur d'onde", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, juin 2017.
- [15] <http://millysu.e-monsite.com/blog/>.
- [16] <http://fibre-optique.weebly.com/avantages-et-inconveacutenients.html>.
- [17] ABOUDKHIL, A.OUZZANI et B.SOUDINI, "communication optique-bruit de photodétection".
- [18] D.ALEXIS, "Télécommunications par fibres optiques et lumière révolution les télécoms".
- [19] T-N.NGUYEN, "Etude de composants optiques à base de fibres optiques non-linéaires", Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes, octobre 2008.

-
- [20] M. DJELLOULI et A.HAMOUDA, "L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux des télécommunications", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université de Saïda -Dr Moulay Tahar, juin 2016.
- [21] I.CHIALI, "Etude d'une transmission d'un signal modulé directement par une source optique laser à un débit de 10 Gbit/s", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Septembre 2013
- [22] IRENE et M.JOINDOT ET DOUZE, "Les télécommunications par fibres optiques".
- [23] A.KABALAN, "Etude de systèmes radio sur fibre pour des applications de réseaux domestiques en bande millimétrique", Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est, juillet 2016.
- [24] N. BOUDRIOUA, "Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique vers une compensation électronique de la PMD", Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine – Metz, octobre 2007.
- [25] <https://www.first-sensor.com/fr/produits/capteurs-optiques/detecteurs/photodiodes-avalanche-apd/>.
- [26] <https://www.first-sensor.com/fr/produits/capteurs-optiques/detecteurs/photodiodes-pin/>.
- [27] A.JARRY, "Planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances", Thèse de Doctorat de l'Université de Montréal, Août 2009.
- [28] B.BEAUQUIER, "Communication in Wavelength Multiplexed Optical Networks", Thèse de Doctorat de l'Université de NICE _ SOPHIA ANTIPOLIS, janvier 2000.
- [29] K.MERZOUK, "Étude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel", Thèse de Doctorat de l'Institut Polytechnique de Grenoble, Avril 2008.
- [30] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/rlefievr_Fibre_Optique_et_WDM/wdm_presentation.htm.
- [31] J-P. GAUTIER, "Les réseaux optiques".
- [32] <https://patents.google.com/patent/EP0138698B1/fr>.
- [33] N.PUECH, "Contributions à la planification, à l'ingénierie de réseau et à l'ingénierie de trafic des réseaux optiques WDM", Thèse de Doctorat de l'Université de Pierre et Marie Curie (Paris 6), Décembre 2007.
- [34] M.LEFRANCOIS, "Étude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s", Thèse de Doctorat de l'Université Paris-sud, Décembre 2007.

- [35] S.BENAMEUR, " La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission optique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable", Thèse de Doctorat de l'Université de Sidi Bel-Abbes, juin 2015.
- [36] https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing.
- [37] F.RAHARIMANITRA, "Contribution à l'étude des architectures basses sur le multiplexage en temps et en longueur d'onde dans le réseau d'accès, permettant la migration vers la nouvelle génération de pon (ng-pon) à 10 Gbit/s", Thèse de Doctorat de l'Université européenne de Bretagne, janvier 2012.
- [38] J-P.MEUNIER, "Télécoms optiques composants à fibre, systèmes de transmission".
- [39] <http://cwdm.fr/>
- [40] S.BHATT et S.JHAVERI, "A review of dense wavelength division multiplexing and next generation optical internet", International journal of engineering science and innovative technology (IJESIT), Mars 2013.
- [41] <https://www.smartoptics.com/this-is-wdm/cwdm-dwdm-explained/>.
- [42] GUY PUJOLLE, "Les réseaux", Groupe Eyrolles, 2006.
- [43] http://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_multiple_xages.htm.
- [44] <http://www.thefoa.org/tech/dwdm.htm>
- [45] H.SINGH et H.SINGH, "Performance Analysis of Next Generation High Capacity Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing (UDWDM) Based on Inter-Satellite Optical Wireless Communication (OWC)", 10th International Conference on Recent Trends in Engineering Science and Management, Août 2017.
- [46] <http://itbundle.net/archives/2211>.
- [47] <http://www.pandacomdirekt.com/en/technologies/wdm/what-is-cwdm.html>.
- [48] <https://www.infradata.euftrtechnologiescore-networking/wdm-dwdm>
- [49] F.PAYOUX, "Etude des réseaux d'accès optique exploitation le multiplexage longueurs d'onde", Thèse de Doctorat de l'ENST Bretagne, Août 2006.
- [50] <https://www.fs.com/cwdm-cost-effective-alternative-to-expand-network-capacity-aid-63.html>.
- [51] <https://fr.scribd.com/document/371605482/Definition-WDM>.
- [52] <http://www.dkphotonics.com/blog/application-of-optical-add-drop-multiplexer-cwdmdwdm-module/>.
- [53] <http://www.supinfo.com/articles/single/1065-technologie-wdm-wavelength-division-multiplexing>.

- [54] I.HADJERESE et I.NOURA, "Étude et simulation de la technique CDMA appliqué aux transmissions optiques utilisant les réseaux de Bragg", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Djilali Bounaama-Khemis Miliana, Année 2016.
- [55] H.HAMMACHE, "Étude et simulation des pertes dans une liaison fibre optique avec application", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université A.Mira de Bejaïa, Année 2016.
- [56] http://www.lightwavestore.com/product_datasheet/FSC-SMF-SPOOL-080C_pdf3.pdf.
- [57] M.GAY, "Étude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit", Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Février 2006.
- [58] <http://www.linktionary.com/f/fiber-optic.html>.
- [59] F.AJIBODO, Z.ADETONA et B.OJO, "Performance analysis of erbium doped fiber amplifier's and FWM characteristics in a passive optical network", Année 2016.
- [60] J.MINHAS et R.KOCHER, "Design and performance evaluation of DWDM based metropolitan ring networks", international Journal of innovative research in computer and communication engineering, Mars 2015.
- [61] J.CORREALE, "Analyser les signaux numériques rapides avec le diagramme de l'œil".
- [62] K. MERZOUK, "Étude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel", Thèse de Doctorat de l'Institut Polytechnique de Grenoble, Avril 2008.
- [63] T-A.BOUZIDI, "Effet de l'espacement inter-canal et du débit binaire sur une liaison WDM", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université ABOU-BEKR BELKAID -Tlemcen, Juillet 2013.
- [64] https://www.artisan-tg.com/TestMeasurement/55696-1/Corning_25km_MetroCor_Fiber_Spool.

Résumé

L'évolution des systèmes de transmission par fibre optique s'est accélérée ces dernières années. Où les lasers à semi-conducteur modulés directement connaissent une grande demande par les concepteurs de systèmes, grâce à leur simplicité et leur faible coût. La technologie WDM est connue comme une technologie de multiplexage et de transmission de signaux optiques de différentes fréquences (longueurs d'ondes) par une fibre optique.

Le but de ce mémoire est d'étudier un système DWDM avec 32 canaux, modulation directe et fibre optique SMF-28 avec dispersion négative. Puis de comparer ces résultats avec un autre système utilisant une fibre optique Metro-Core avec une dispersion positive. Les critères de qualité de la liaison sont le taux d'erreur binaire, diagramme de l'œil et facteur de qualité.

Mots clés: modulation directe, WDM, SMF-28, Metro-Core.

Abstract

The evolution of optical fiber systems has been accelerated in recent years. Where direct-modulated semiconductor lasers are in great demand by system designers because of their simplicity and low cost. WDM technology is known as a technology of multiplexing and transmitting optical signals for different frequencies (wavelengths) by an optical fiber.

The purpose of this work is to study a DWDM system with 32 channels, direct modulation and SMF-28 optical fiber with negative dispersion. Then compare these results with another system using a Metro-Core optical fiber with a positive dispersion. The quality criteria of the link are the bit error rate, eye diagram and quality factor.

Keywords: Direct modulation, WDM, SMF-28, Metro-Core.