



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



Université Saad Dahlab-Blida 1



***Institut d'aéronautique et les études spatiales
Département des études spatiales***

Mémoire fin de cycle

Thème

Etude de performances du system WDM PON radiofréquence en application
réseaux télécommunications Avancés.

Spécialité : télécommunications spatiales

Présenté Par :

NABET Hamza

MENDIL Zakaria

Devant le jury composé de :

Promoteur : Dr. Krim Mohamed.

Session 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Il est particulièrement agréable, avant de présenter notre travail, d'exprimer notre gratitude envers les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions tout d'abord les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Qu'il nous soit permis d'adresser nos remerciements à notre encadreur, Dr. Krim Mohamed, pour la qualité de son encadrement et pour tous les conseils précieux qu'il nous a prodigués.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À ma mère et mon père, qui me sont les plus chers au monde, ainsi qu'à ma famille.

À tous mes amis et collègues.

À tous ceux qui m'ont aidé à finir ce mémoire.

Résumé

La radio sur fibre (RoF) connaît actuellement une évolution très rapide qui accompagne le développement de la technologie des systèmes de télécommunications dans le monde entier.

Le but de cette étude est de faire d'abord une analyse de la qualité et des performances de la technologie RoF dans une liaison de communication optique bidirectionnelle, puis d'introduire la technique du multiplexage WDM-PON. L'objectif visé est d'étendre la couverture géographique des signaux radiofréquences et de répondre à l'augmentation continue du débit élevé et de la bande passante. La solution proposée consiste à réaliser des systèmes hybrides combinant les technologies de fibres optiques bidirectionnelles, la sécurité physique et le système radio sur fibre (RoF). D'un autre côté, le multiplexage en longueur d'onde répond aux besoins d'augmentation de débit et du nombre d'utilisateurs. Les résultats de simulation d'un système proposé sous le logiciel OptiSystem sont évalués en termes de BER, de facteur Q et de diagramme de l'œil.

Mots-clés : RoF, WDM-PON, OptiSystem, système de télécommunication.

Abstract

Radio over fiber (RoF) is currently experiencing very rapid development, accompanying the advancement of telecommunications systems technology worldwide.

The aim of this study is to first analyze the quality and performance of RoF technology in a bidirectional optical communication link, and then to introduce the WDM-PON multiplexing technique. The objective is to extend the geographic coverage of radio frequency signals and to meet the continuously increasing demand for high data rates and high bandwidth. The proposed solution involves implementing hybrid systems that combine bidirectional optical fiber technologies, physical security, and radio over fiber (RoF) systems. On the other hand, wavelength division multiplexing addresses the need for increased data rates and the number of users. The simulation results of a proposed system using the OptiSystem software are evaluated in terms of BER, Q-factor, and eye diagram.

Keywords: RoF, WDM-PON, OptiSystem, telecommunications system.

ملخص

حاليًا تطورًا سريعًا للغاية يصاحب تطور تكنولوجيا أنظمة الاتصالات في جميع أنحاء العالم (RoF) تشهد تقنية الاتصال اللاسلكي عبر الألياف الضوئية

الهدف من هذه الدراسة هو أولاً تحليل جودة وأداء تقنية الترددات الراديوية عبر الألياف الضوئية في وصلة اتصالات بصرية ثنائية الاتجاه، ثم تقديم تقنية تعدد الهدف من ذلك هو توسيع التغطية الجغرافية لإشارات الترددات الراديوية والاستجابة للزيادة المستمرة في معدل البيانات العالية. WDM-PON الإرسال وعرض النطاق الترددي. ويتكون الحل المقترح من أنظمة هجينة تجمع بين تقنيات الألياف الضوئية ثنائية الاتجاه والأمن المادي والراديو عبر الألياف من ناحية أخرى، يلبي تعدد تقسيم الطول الموجي الحاجة إلى زيادة الإنتاجية وعدد المستخدمين. يتم تقييم نتائج المحاكاة للنظام المقترح باستخدام (RoF). ومخطط العين Q وعامل BER من حيث معدل التكرار الترددي OptiSystem برنامج

نظام الاتصالات السلكية واللاسلكية، OptiSystem نظام، WDM-PON، RoF: الكلمات المفتاحية

Sommaire

Remerciement	2
Dédicaces.....	3
Résumé.....	4
Sommaire	5
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux.....	13
Liste des abréviations.....	14
Introduction générale	16
Chapitre I : Généralités sur la fibre optique et les Applications	
I. Introduction.....	18
I.1.1 Système de communication par fibre optique	18
I.1.2 Principe d'une communication à fibre optique	18
I.1.3 Avantages et inconvénients	19
I.2 Structure, principe et caractéristiques de la fibre optique	21
I.2.1 Les caractéristiques attrayantes de la transmission par fibre optique	22
I.2.1.1 Spectre optique	23
I.2.1.2 Emetteur optique	24
I.2.2 Diode DEL	24
I.2.2.1 Diode LASER	25
I.2.2.2 La différence entre la diode DEL et la diode LASER	25
I.2.2.2 Les types de la fibre optique	26
I.2.3.1 Les fibres optiques monomode	26
I.2.3.2 Les fibres optiques multimodes à gradient d'indice	27
I.2.3.3 Les fibres optiques multimodes à saut d'indice	27
I.2.4 Principe de propagation dans la fibre optique	38
I.3 Câble à fibres optique	29

I.3.1 Types de câble à fibre optique	30
I.3.2 Différentes structures des câbles à fibre optique	30
I.3.2.1 Câbles à fibres optiques à structure serrée	30
I.3.2.2 Câbles à fibres optiques à structure libre	31
I.3.3 Code couleur du revêtement extérieur de la fibre optique	31
I.3.3.1 Normes spéciales de la fibre optique monomode	32
I.3.4 Jonction de la fibre optique	33
I.3.4.1 Raccordement mécanique	33
I.3.4.2 Raccordement par fusion	34
I.3.4.3 Techniques de pose des câbles à fibre optiques	34
I.4 Domaine d'applications	35
I.5 Conclusion	36

Chapitre II : Télécommunications optique bidirectionnelle WDM-ROF

II. Introduction	37
II.1 Système de télécommunication optique pour réseaux haut débit	38
II.1.1 Système de communication (modèle OSI)	38
II.1.2 Les différentes couches du modèle OSI	39
II.2 Grandeur physique	40
II.2.1 Phenomene physique	40
a.La réflexion.....	41
b.La réfraction	41
c.La réflexion totale	42
II.3 Support physique	42
II.3.1 Liaison par la fibre optique	43
II.3.2 La chaine de télécommunications optique	43
II.3.3. Principe physique de la télécommunication optique	45
II.4 Modes de transmission WDM	45
II.4.1 Normes pour les Réseaux Optiques WDM	46
II.4.1.2 Méthode de fonctionnalité WDM	47
II.5 Principe et concept de WDM	48
II.5.1 Technique de WDM	49

II.5.2. Applications de WDM	49
II.5.3 Les avantages de la technologie WDM	50
II.5.4 Les limitations de la technique WDM	50
II.5.5 Types de techniques WDM	51
A. CWDM	52
B. DWDM	52
C. WWDM.....	53
II.6 Bloc de l'émetteur optique	53
II.6 Bloc du milieu de transmission optique	54
II.6.1 Milieu de transmission optique bidirectionnelle	54
II.6.2 Milieu de transmission optique unidirectionnelle	55
II.6.3 Bloc du récepteur optique RX	55
II.7 PON (Passive Optical Network).....	55
II.8 La technologie Radio sur Fibre RoF.....	56
II.8.1 Définition de RoF.....	56
II.8.2 Le système de communication RoF	57
II.10 Conclusion.....	57

Chapitre III : System WDM PON radiofréquence en application réseaux cinquième génération.

III. Introduction	58
III.1 Présentation de logiciel de simulation OptiSystem	58
III.1.1 Interface de l'Optisystem	58
III.1.2 Création et lancement d'une simulation	60
III.1.3 Critère de qualité d'une transmission	62
III.1.3.1 Diagramme de l'œil	62
III.1.3.2 Taux d'erreurs binaires (BER : Bite Error Rate)	63
III.1.3.3 Facteur de qualité (Q Factor)	63
III.1.4 Avantages du logiciel OptiSystem.....	64
III.2 Les composantes d'une liaison optique	64
III.2.1 WDM Mux	64
III.2.2 Fibre optique SMF	65

III.2.3 Démultiplexeur WDM	66
III.2.4 Récepteur optique.....	66
III.2.5 Amplificateur optique	67
III.2.6 Analyseur BER.....	68
III.2.7 CW LASER.....	68
III.2.8 Analyseur de spectre.....	69
III.2.9 Analyseur de diagramme de l'œil	69
III.2.10 Générateur d'une séquence binaire	69
III.2.11 Générateur NRZ	70
III.2.12 Circulateur.....	70
III.2.13 Emetteur.....	71
III.3 Résultats de simulation et interprétations	71
III.3.1 Scénario 1 pour une liaison optique simple.....	72
A. L'effet de la variation de la distance de fibre optique SMF à 10 Gbit/s	73
b. Simulation d'un système WDM à 2 canaux	74
III.3.2 Résultats et discussions du Deuxième scenario.....	78
III.3.2.1 Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM	81
III.3.2.2 Description de la figure 44 de simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM RF	81
III.3.2.3 Partie émission	82
III.3.2.4 Partie du canal de la transmission par liaison optique	82
III.3.2.5 Partie réception	83
III.4 Synthèses des résultats.....	84
III.4.1 Performance de facteur de qualité en fonction de temps	85
III.5. Conclusion	86
Conclusion générale.....	88
Référence.....	89

Listes des figures :

Figure I.1 : Schéma de base d'une communication par fibre optique.....	19
Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de transmission par fibre optique.	21
Figure I.3 : Système optique montrant un appel téléphonique.	21
Figure I.4 : Constitution d'une fibre optique.....	23
Figure I.5 : Classification des fibres optiques selon le matériau, le mode de propagation et le profil d'indice.....	24
Figure I.6: Atténuation en fonction de la fréquence pour trois supports de transmission différents	25
Figure I.7 : Caractéristiques spectrales de la DEL.	26
Figure I.8 : Caractéristiques spectrales de la diode LASER.....	27
Figure I. 9 : Différence entre la diode DEL et la diode LASER.....	28
Figure I.10 : Fibre optique à saut d'indice monomode.	28
Figure I.11 : Fibre optique multimodes à saut d'indice.....	29
Figure I.12 : Fibre optique à gradient d'indice et son profil d'indice.	29
Figure I.13 : Guidage de la lumière dans la fibre optique.	30
Figure I.14 : Câble optique standard	31
Figure I.15 : Structures serrée et libre d'un câble optique.....	33
Figure I.16 : Code couleur des fibres optiques.	34
Figure I.17 : Raccordement d'un connecteur fibre optique.	36
Figure I.18 : Raccordement par fusion sur terrain.	37
Figure II.1 : Architecture de base d'un système de communication en 7 couches.....	43
Figure II.2 : Le phénomène de réflexion	44
Figure II.3 : Le phénomène de réfraction.	44
Figure II.4: La réflexion totale	45
Figure II.5 Schéma synaptique d'une liaison point à point sans répéteur.....	46
Figure II. 6 : bloc chaine de télécommunication optique	47

Figure II.7 : Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique.....	48
Figure II. 8 : Modèle de la réalisation conceptuelle WDM Bidirectionnelle WDM ROF.	49
Figure II.9 Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF pour l'implémentation 5G.....	50
Figure II .10 : Principe et concept de WDM.....	51
Figure II .11 : Technique multiplexage WDM.	52
Figure II.12 : Peigne des fréquences en WDM.....	52
Figure II.13 : Différents protocoles sont multiplexés.....	53
Figure II.14 : Longueurs d'onde CWDM.....	54
Figure II.15: Longueurs d'onde DWDM.....	55
Figure II.16 : Transmission une fibre bidirectionnelle.....	57
Figure II.17 : Transmission unidirectionnelle.....	58
Figure II. 18 : Synoptique d'un système radio sur fibre classique	59
Figure III.1 Bibliothèque de logiciel OptiSystem.....	62
Figure III.2 Editeur de layout.....	62
Figure III. 3 Fenêtre de description.....	63
Figure III. 4 Création de nouveau fichier.	63
Figure III. 5 WDM MUX.	64
Figure III.6 Interface de définition du WDM MUX.	64
Figure III.7 Fenêtre montre les procédés de lancement de la simulation.....	65
Figure III.8 : Affichage de Diagramme de l'œil d'un signal.	66
Figure III.9 : Modèle de simulation d'un multiplexeur.....	67
Figure III.10 : Modèle de simulation pour une fibre optique	68
Figure III.11 : Paramètres caractéristiques d'une fibre optique.....	68
Figure III.12: Modèle de simulation pour une fibre optique	68
Figure III.13 : Modèle de simulation d'un démultiplexeur.	69
Figure III.14 : Paramètres caractéristiques d'un WDM Demux.	69
Figure III.15 : Modèle de simulation d'un Rx.	69
Figure III.16 : Paramètres caractéristiques d'un Rx.....	70
Figure III.17 : Modèle de simulation d'un amplificateur optique.....	70

Figure III.18 : Paramètres caractéristiques d'un EDFA	71
Figure III.19 : Modèle de simulation d'un analyseur BER.....	71
Figure III.20 : Modèle de simulation de CW Laser	71
Figure III.21 : Paramètres caractéristiques d'un CW LASER.....	71
Figure III.22 : Model de simulation d'un analyseur du spectre optique	72
Figure III.23 : Modelé d'un diagramme de l'œil	72
Figure III.24 : Modelé d'un diagramme de l'œil	72
Figure III.25 : Paramètres caractéristiques du générateur d'une séquence binaire.....	73
Figure III.26 : modèle de simulation d'un générateur NRZ	73
Figure III.27 : Circulateur bidirectionnel	74
Figure III.28 : Emetteur WDM	74
Figure III.29 : Simulation d'une transmission pour un canal	75
Figure III.30 : la distance de SMF en fonction de (FAQ) et (BER).....	75
Figure III.31 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 10km).....	75
Figure III. 32 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 40 km).....	76
Figure III.33 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 70Km).....	76
Figure III.34 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 80 km).....	77
Figure III.35 : Simulation d'une transmission pour deux canaux.....	78
Figure III.36 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre	78
Figure III. 37 : Le spectre du signal à la sortie de la fibre.....	79
Figure III.38 : la distance de SMF en fonction de Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) WDM.....	79
Figure III.39 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 10km)	80
Figure III. 40 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 40km)	80
Figure III.41 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 70km)	80
Figure III. 42 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance	

de 80 km)	81
Figure III.43 : Simulation d'une transmission pour quatre canaux.....	81
Figure III.44 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre.	82
Figure III.45 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre.	82
Figure III.46 : la distance de SMF en fonction de Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) WDM.....	83
Figure III.47 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 10 km).	83
Figure III.48 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 40 km).	83
Figure III. 49 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 70 km)	84
Figure III. 50 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 80 km).....	84
Figure III.51 : Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM RF	85
Figure III.52 : Emetteur TX avec une bande passante de 100 GHz	85
Figure III. 53 : Temps optique du signal à l'émission.....	86
Figure III.54 : le bloc de transmission bidirectionnelle.....	87
Figure III.55 : Partie réception de la liaison optique d'un UNO avec 2 RX.	87
Figure III. 56 : Partie retour DWDM	87
Figure III.57 : le facteur de qualité Q	88
Figure III 58 : Diagramme de l'œil pour une liaison WDM bidirectionnelle	89
Figure III.59 : Evolution du facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil pour la liaison PON WDM bidirectionnelle.....	89

Liste des tableaux :

Tableau I.1. Comparaison entre les supports de transmissions..	22
Tableau I.2. Caractéristiques générales des fibres optiques .	30
Tableau I.3. Tableau comparatif entre les différentes normes G65X de la fibre monomode	35
Tableau III.1. Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF.....	75
Tableau III.2. Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF WDM.....	79
Tableau III.3. Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF WDM.....	82

Liste des abréviations:

APD	Avalanche Photodiode
ADM	Add Drop Multiplexer
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DEL	Diode électroluminescente
DS SS	Direct Sequence Spread Spectrum
DL	Diode laser
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DCF	Dispersion Compensating Fiber
FH SS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FTTH	Fiber to the home
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
MAC	Media Access Control
OSI	Open System Interconnection
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PON	Passive Optical Network
PHD	Plesiochronous Digital Hierarchy
QOS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
ROF	Radio over fiber
SMF	Single Mode Fiber
TDM	Time Division Multiplexing
WDM	wavelength division multiplexing

Introduction générale

Introduction générale :

Les technologies de nouvelle génération, comme la 5G, doivent gérer efficacement des volumes massifs de données, dépassant les capacités des infrastructures actuelles. Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est essentiel, permettant de transmettre simultanément plusieurs signaux sur une fibre optique en utilisant différents canaux. Cette technique réduit les coûts et augmente la capacité des réseaux longue distance, en optimisant l'utilisation des infrastructures existantes.

Ce mémoire se concentre sur l'étude des performances du système WDM PON-ROF (Passive Optical Network - Radio over Fiber) dans les réseaux 5G. L'objectif est d'analyser les transmissions unidirectionnelles et bidirectionnelles en utilisant des outils de simulation comme Simulink et OptiSystem. Ces analyses permettront d'identifier les configurations optimales en se basant sur des indicateurs de performance tels que le facteur de qualité et le diagramme de l'œil.

La première partie du mémoire explore les généralités sur la fibre optique et ses applications. Elle présente les principes fondamentaux de la fibre optique, ses diverses applications dans les télécommunications modernes et les avantages qu'elle offre par rapport à d'autres technologies de transmission.

La deuxième partie se concentre sur les télécommunications optiques bidirectionnelles WDM-ROF. Elle examine les concepts de base des télécommunications optiques bidirectionnelles, détaille la technologie WDM-ROF et son intégration dans les réseaux de télécommunications actuels, et étudie les défis et solutions pour la mise en œuvre de systèmes bidirectionnels WDM-ROF.

La troisième et dernière partie du mémoire est dédiée à l'étude des performances du système WDM PON-ROF pour les réseaux 5G, à l'aide d'OptiSystem. Cette section décrit la méthodologie de simulation et les outils utilisés, analyse les résultats de simulation pour évaluer les performances des configurations étudiées, et discute des implications des résultats pour le déploiement pratique des réseaux 5G.

En conclusion, ce mémoire vise à fournir une compréhension approfondie des performances des systèmes WDM PON-ROF dans le contexte des réseaux 5G. Il met en lumière les meilleures pratiques et configurations pour maximiser l'efficacité et la fiabilité des transmissions de données, répondant ainsi aux exigences croissantes des technologies de communication modernes.

Chapitre I :
Généralités sur la fibre optique et les Applications

I. Introduction :

La fibre optique, mince cheveu de verre transparent, a révolutionné les télécommunications depuis sa découverte dans les années soixante. L'information n'est plus transmise sous forme électrique mais sous forme d'un signal lumineux. En raison de sa faible atténuation, de son faible poids, de sa très petite taille et de sa résistance mécanique, elle s'est imposée au fil des années comme le média par excellence pour la transmission des données sur de longues distances.

La conception des systèmes de transmission à très grande capacité est désormais possible. De plus, les échanges à travers ces systèmes sont de plus en plus nombreux, et la demande de services est de plus en plus élevée. Son apparition a nécessité la conception et le développement de nouveaux composants optiques.

I.1 Généralité sur la fibre optique :

I.1.1 Système de communication par fibre optique :

On définit une liaison par fibre optique comme étant la transmission des données d'un endroit à un autre en utilisant des sources de lumière, comme le montre la Figure 1 selon la Réf [1]. Le système de communication par fibre optique de base se compose de :

- Un émetteur qui génère un signal optique.
- Un canal à fibres optiques qui transporte la lumière.
- Un récepteur optique qui reçoit le signal optique transmis pour récupérer des informations.

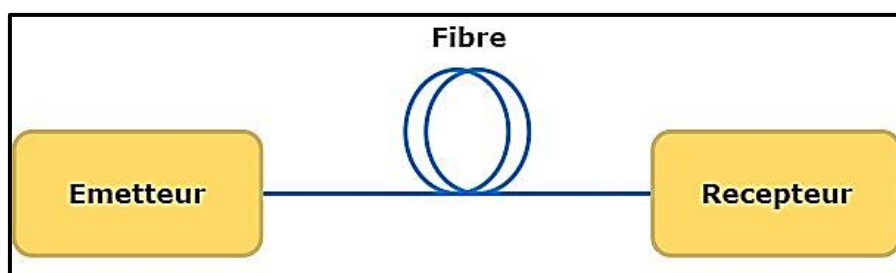


Figure I.1 : Schéma de base d'une communication par fibre optique.

Le système peut comprendre d'autres composants, tels que des amplificateurs à fibre ou des compensateurs de dispersion qui régénèrent la puissance optique pour contrer les effets de la dispersion. En 1966, Charles Kao et George Hockham ont été les premiers à utiliser la fibre optique comme moyen de télécommunications [2]. Cette idée a été concrétisée lorsque des fibres optiques en verre à faibles pertes ont été fabriquées pour la première fois par Corning en 1970 [3]. Presque simultanément, Bell Labs a développé des lasers à diodes semi-conductrices fonctionnant à température ambiante [4]. La combinaison de supports de transmission optiques compacts et de lasers à diodes miniatures a produit une série de révolutions dans la technologie des communications par fibres optiques.

À l'heure actuelle, en raison de la demande croissante de débits de données plus élevés, les systèmes de communication à fibre optique sont largement utilisés dans différents types d'infrastructures, tels que les réseaux téléphoniques longue distance, les réseaux de télévision par câble ou à antenne communautaire, les services Internet à large bande, ainsi que dans la transmission de services multimédias comme la voix, l'image, la vidéo, etc. La maturité de la technologie des fibres optiques et des réseaux de communication a été progressivement mise à jour avec l'introduction de technologies plus avancées visant à exploiter pleinement le potentiel de transmission des liaisons par fibre optique. Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), les amplificateurs optiques, les commutateurs optiques, la gestion de la dispersion et d'autres technologies permettent de charger davantage de trafic de transmission sur une seule fibre optique.

En théorie, la bande passante potentielle de la fibre monomode est proche de 50 Tbps. Avec les réseaux de fibres optiques, nous pouvons atteindre des capacités de liaison de l'ordre de milliers de Gigabits/s [5]. La dispersion limite le débit de transmission maximal et les distances maximales auxquelles les répéteurs optiques doivent être positionnés le long de la liaison optique [6].

I.1.2 Principe d'une communication à fibre optique :

La **Figure I. 2** Montre un schéma de principe d'un système de transmission à fibre optique. Tous les systèmes comprennent un module émetteur, une série de sections de fibres séparées par des amplificateurs et un module récepteur.

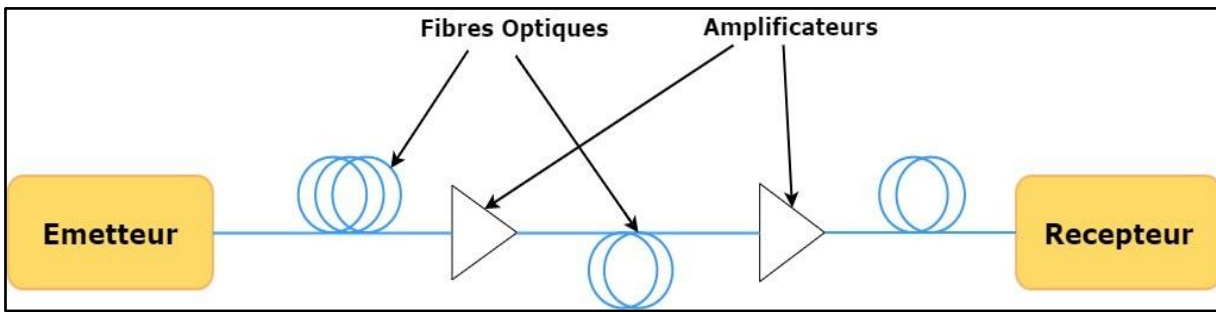


Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de transmission par fibre optique.

La fonction de ce système est d'abord d'envoyer un signal optique continu au niveau de l'émetteur et de le moduler en fonction des données binaires et du format sélectionné. Ensuite, bien entendu, l'autre objectif est de propager le signal optique sur une distance donnée à travers la ligne optique formée par la fibre optique et l'amplificateur, de sorte que le signal optique soit le moins affecté possible par les différents effets de propagation. Finalement, au niveau du récepteur, le signal optique est détecté et reconverti en un signal binaire électrique [7].

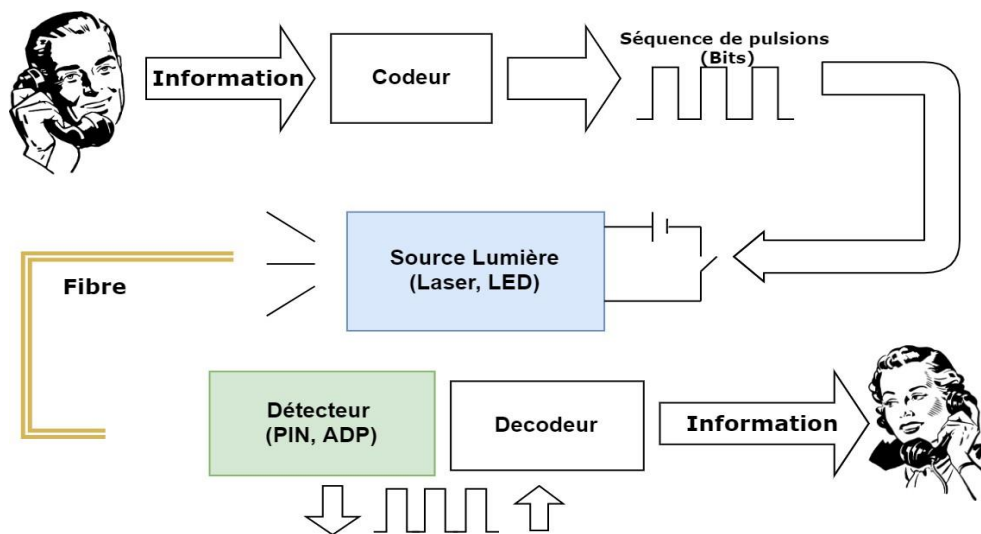


Figure I.3 : Système optique montrant un appel téléphonique.

La Figure I.3 est un exemple simple de transmission d'une conversation téléphonique par un système de communication par fibre optique. Le système se compose d'un émetteur sous la forme d'un laser semi-conducteur ou d'une Diode Électroluminescente (DEL), qui est modulé par un signal porteur d'informations. Cette source de lumière rayonne généralement dans le proche infrarouge du spectre électromagnétique, où les caractéristiques de transmission des fibres optiques sont optimales. La partie réception du système comprend un photon détecteur PIN ou une photodiode à avalanche (APD), qui convertit le signal optique en un signal électrique porteur d'informations. Ce signal électrique est

ensuite démodulé pour produire le signal audio entendu au téléphone. Les composants de ce système simple sont présents dans la plupart des communications par fibre optique existant aujourd'hui [8].

I.1.3 Avantages et inconvénients :

La lumière au sens large est une onde électromagnétique qui peut transporter de l'information, sa transmission guidée dans une fibre optique présente les avantages suivants [9] :

- Faibles pertes.
- Large bande passante.
- Insensibilité aux perturbations électromagnétiques.
- Possibilité de raccordement entre les fibres optiques.
- Robustesse, faible poids et faible encombrement.
- Possibilité de regroupages de plusieurs liaisons
- Repérage des défauts très précise (homogénéité du support).

Le **tableau I.1**, résume ces divers avantages par rapport aux autres supports de transmission

Support	Câble coaxial	Ondes radio	Fibre optique
Propagation	Guidée	Libre/dirigée	Guidée
Milieu de propagation	Cuivre	/	Silice
Bande passante	MHz	GHz	THz
Atténuation	Forte avec fréquence	Variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations Électromagnétiques	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Correcte	Nulle	Élevée
Applications	Réseaux locaux hautdébit, vidéo	Mobiles, satellites, Hertzien	Haut débit longue distance, réseaux locaux.
Compatibilité avec les nouveaux équipements	Dépassé	Nécessite des améliorations	Compatible

Tableau I.1 Comparaison entre les supports de transmissions.

Toutefois avec les avantages sus indiqués la fibre optique présentent certains inconvénients :

- Le coût des équipements actifs ainsi que les équipements de tests.

- Des pertes peuvent être causées par des courbures du câble, des connecteurs mal positionnés ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.
- Difficultés d'adaptation avec les émetteurs lasers.
- Exigences micromécaniques très importantes lors du raccordement ou de connexion (alignement).

I.2 Structure, principe et caractéristiques de la fibre optique :

Une fibre optique est un cylindre en verre, qui est constitué d'une partie centrale, le cœur, d'indice de réfraction $n_{\text{cœur}}$, qui est entourée par une seconde partie, la gaine optique, d'indice de réfraction n_{gaine} plus faible ($n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$). Ces deux régions essentielles pour le guidage de la lumière sont réalisées avec deux matériaux différents. La fibre optique est souvent recouverte d'un revêtement protecteur qui n'a aucun rôle dans le guidage de la lumière et le transport de l'information [10].

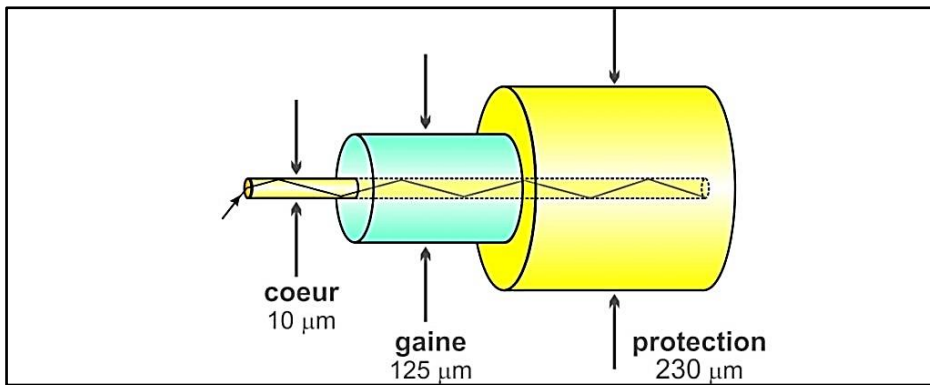


Figure I.4 : Constitution d'une fibre optique.

Généralement, la fibre optique est fabriquée à partir de silice, un matériau qui ressemble au verre. La silice est un composé de silicium (Si) et d'oxygène (O), dont la formule chimique est SiO_2 [10].

L'indice de réfraction d'un milieu change selon ses composants et il est défini comme le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré : [10]

$$n = \frac{c}{c_{\text{matériau}}} \quad (\text{I.1})$$

- c est la vitesse de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$),
- $c_{\text{matériau}}$ est la vitesse de la lumière dans le matériau (dans ce cas, la silice)

Les fibres optiques utilisées en télécommunication sont fabriquées en SiO_2 du fait de son faible coût et de la variation de son indice de réfraction [11]

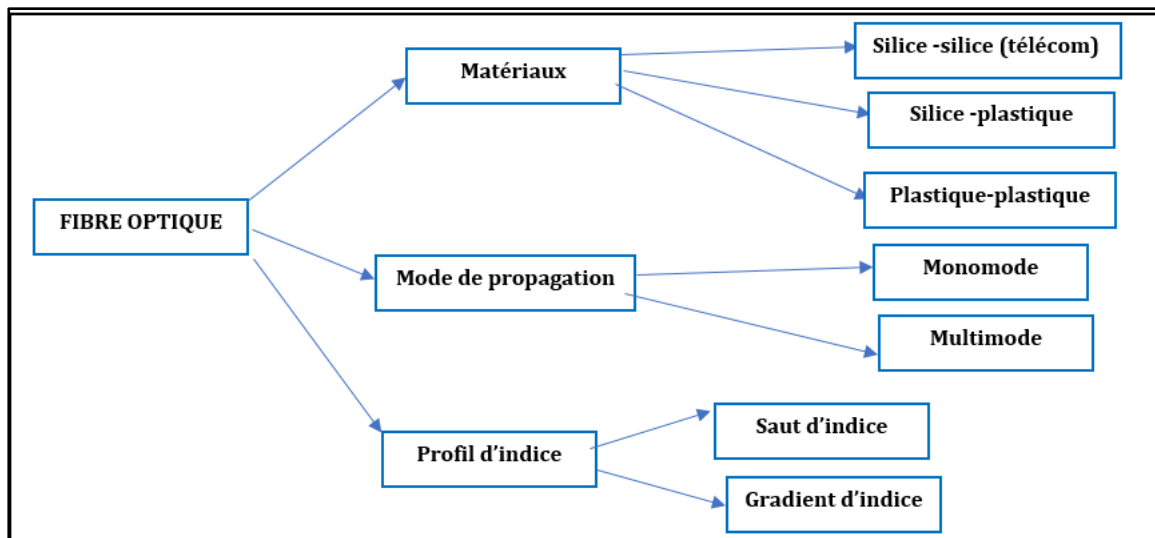


Figure I.5 : Classification des fibres optiques selon le matériau, le mode de propagation et le profil d'indice.

En fonction du mode de propagation, on peut classer les fibres en deux types principaux, la fibre monomode et la fibre multimode.

I.2.1 Les caractéristiques attrayantes de la transmission par fibre optique :

En raison de leur faible perte et de leur large bande passante, les fibres optiques peuvent être utilisées là où les paires torsadées ou les câbles coaxiaux sont utilisés comme moyen de transmission dans les systèmes de communication.

On observe la courbe d'atténuation du signal par rapport à la fréquence pour trois transmissions différentes, comme démontré dans la Figure 3. Comparativement aux câbles coaxiaux, la fibre optique présente une perte beaucoup plus faible à des fréquences de signal supérieures à quelques mégahertz. Cette caractéristique est essentielle car elle permet au concepteur du système de communication d'augmenter la distance entre les régénérateurs, ce qui a un impact significatif sur le coût global du système [14].

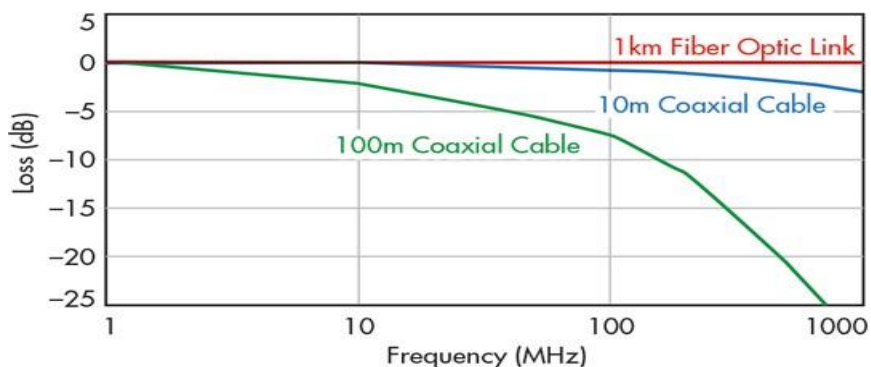


Figure I.6: Atténuation en fonction de la fréquence pour trois supports de transmission différents [15].

I.2.1.1 Spectre optique :

Les systèmes de communication optique utilisent des fréquences porteuses élevées, comprises entre 100 et 1000 THz dans la gamme visible et proche infrarouge du spectre électromagnétique, pour transmettre des informations analogiques et numériques d'un endroit à un autre. En revanche, les systèmes hyperfréquences utilisent des fréquences porteuses inférieures à 5 ordres de grandeur (1 à 10 GHz).

Ainsi, pour des systèmes à fibre optique fonctionnant dans des largeurs de bande de 650 à 670 nm avec une gaine en plastique, la perte est de 120 à 160 dB/km. Ceux fonctionnant dans une largeur de bande de 800 à 900 nm présentent une perte de 3 à 5 dB/km, tandis que ceux utilisant des largeurs de bande de 1250-1350 nm et 1500-1600 nm, avec une gaine en verre, ont respectivement une perte de 0, 50 et 25 dB/km. La relation entre la longueur d'onde (λ) et la fréquence (f) est $\lambda = c/f$, où la vitesse de la lumière dans le vide est $c = 3.10^8$ m/s [16] [17].

I.2.1.2 Emetteurs optique :

Le rôle de l'émetteur optique est de convertir le signal électrique d'entrée en un signal optique correspondant, puis de le transmettre à la fibre optique utilisée comme canal de transmission. Le composant principal de l'émetteur lumineux est la source lumineuse. Les systèmes de communication à fibres optiques utilisent souvent des sources de lumière à semi-conducteur telles que les Diodes Électroluminescentes (DEL) et les lasers à semi-conducteur comme les diodes laser, en raison de leurs avantages. Le rôle de l'émetteur optique est de convertir le signal électrique d'entrée en un signal optique correspondant, puis de le transmettre à la fibre optique utilisée comme canal de transmission. Le composant principal de l'émetteur de lumière est la source lumineuse. Les systèmes de communication à fibres optiques utilisent souvent des sources de lumière à semi-conducteur telles que les Diodes Électroluminescentes (DEL) et les lasers à semi-conducteur comme les diodes laser, en raison de leurs avantages inhérents.

I.2.2 Diode DEL :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) représente l'amplification de la lumière par l'émission de rayonnement stimulée. Dans leur forme la plus simple, les Diodes Électroluminescentes (DEL) sont des homojonctions p-n polarisées vers l'avant. La recombinaison radiative des paires électron-trou dans la région de déplétion produit de la lumière, dont une partie s'échappe du dispositif et peut être couplée à la fibre [18].

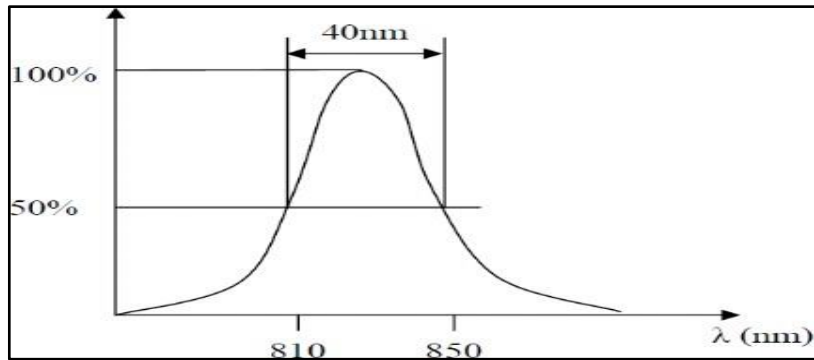


Figure I.7 : Caractéristiques spectrales de la DEL.

I.2.2.1 Diode LASER :

Les lasers à semi-conducteurs émettent de la lumière par émission stimulée. En raison de la différence fondamentale entre l'émission spontanée et l'émission stimulée, ils sont capables d'émettre une puissance élevée (100 mW). La dispersion angulaire du faisceau de sortie est relativement étroite par rapport à la DEL, ce qui leur confère une efficacité de couplage élevée dans la fibre monomode (50%). La largeur spectrale relativement étroite de la lumière émise permet de fonctionner à un débit binaire élevé (10 Gb/s), car la dispersion de la fibre devient moins critique pour cette source lumineuse. La plupart des systèmes de communication à fibre optique utilisent des lasers à semi-conducteurs comme sources de lumière car leurs performances sont supérieures aux DEL [19]

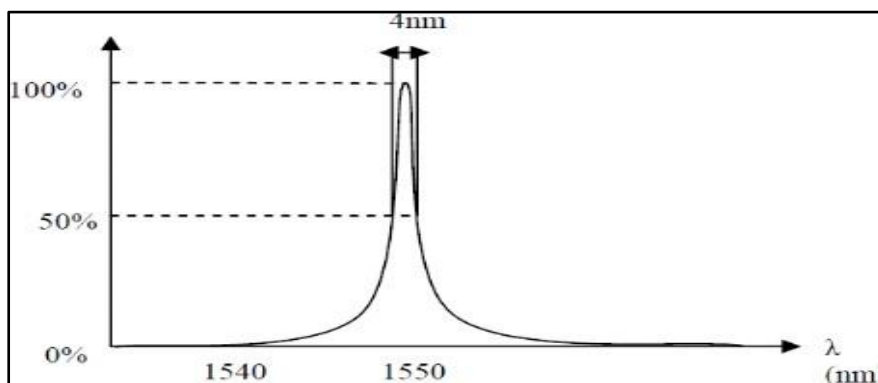


Figure I.8 : Caractéristiques spectrales de la diode LASER.

I.2.2.2 La différence entre la diode DEL et la diode LASER :

Pour montrer la différence entre une diode DEL et une diode LASER, la Figure I.9 illustre les courbes caractéristiques de la puissance lumineuse en fonction du courant :

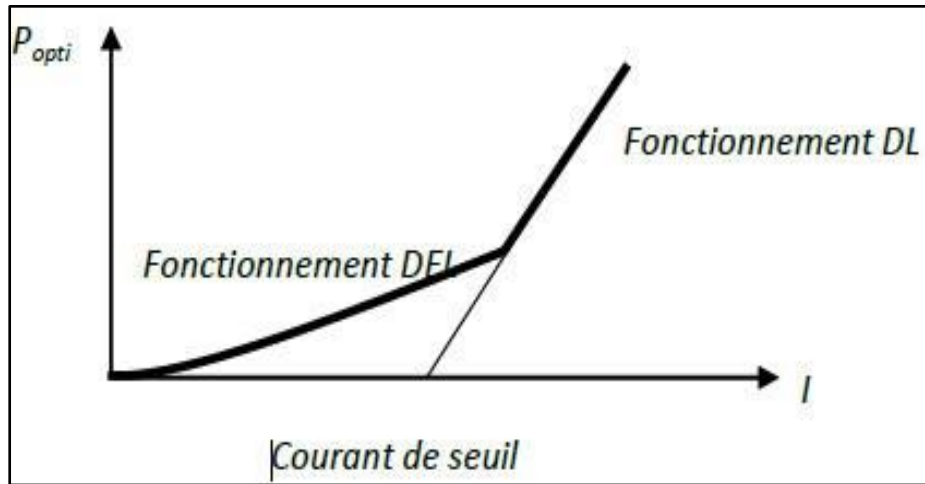


Figure I. 9 : Différence entre la diode DEL et la diode LASER.

I.2.3 Principaux types de fibre optique :

I.2.3.1 Les fibres optiques monomode :

Elles se différencient avec les fibres optiques à saut d'indice multimodes en diamètres. Le diamètre de leurs cœurs varie entre $6\ \mu\text{m}$ et $8\ \mu\text{m}$, tandis que le diamètre de leurs gaines est de $125\ \mu\text{m}$ [11][12].

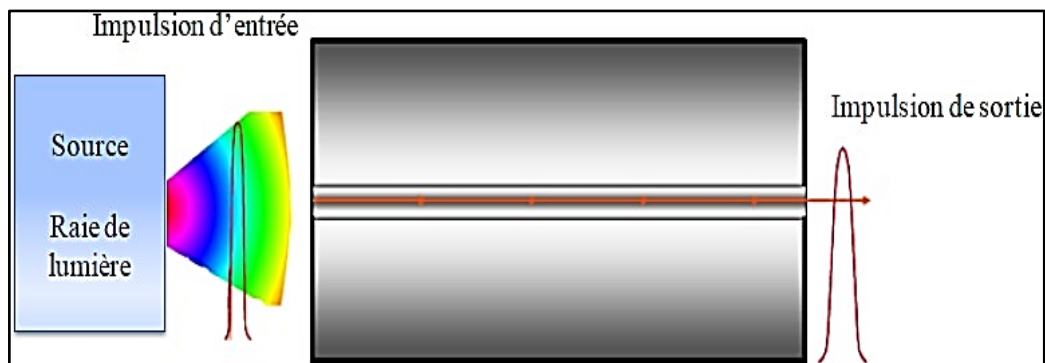


Figure I.10 : Fibre optique à saut d'indice monomode.

I.2.3.2 Les fibres optiques à saut d'indice multimodes :

Dans ces types de fibres, le cœur est homogène de diamètre variant entre 100µm et 200µm tandis que celui de la gaine varie de 150 µm à 250 µm, leurs indices de réfraction sont donnés par [11] :

$$f(x) = \begin{cases} n1, si r < a(coeur) \\ n2, si r \geq a(gaine) \end{cases} \quad (I.2)$$

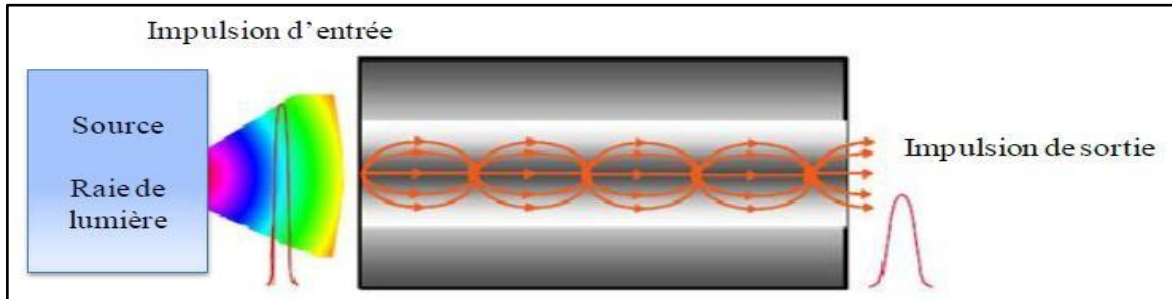


Figure I.11 : Fibre optique multimodes à saut d'indice.

I.2.3.3 Les fibres optiques multimodes à gradient d'indice :

Dans ces types de fibres, l'indice du cœur diminue progressivement vers l'extérieur à partir de l'axe du cœur vers l'interface cœur-gaine. Le diamètre du cœur est de 50 µm et celui de la gaine est de 150 µm, leur indice de réfraction est donné par [11] :

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)}, si r < a(coeur) \\ n1\sqrt{1 - 2\Delta n2}, si r \geq a(gaine) \end{cases} \quad (I.3)$$

- r : Rayon ou distance radiale à partir du centre du cœur.
- a : Rayon du cœur de la fibre optique.
- Δ : Différence relative des indices de réfraction entre le cœur et la gaine.
- n1 : Indice de réfraction du cœur.
- n2 : Indice de réfraction de la gaine.

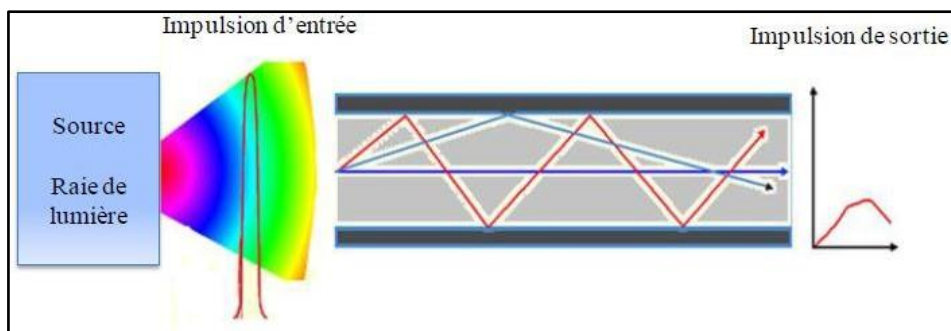


Figure I.12 : Fibre optique à gradient d'indice et son profil d'indice.

Le tableau I.2, présente une comparaison des caractéristiques des deux familles de fibre

Fibre monomode	Fibre multimodes
Ouverture numérique faible (connexion difficile)	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (quelque dixième de dB/km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
La bande passante supérieure à 10 GHz/km	Bande passante comprise entre 200 et 4700 MHz.km
Utilisation pour longues distances	Utilisation pour réseaux privés
Injection de type LASER (VCSEL)	Généralement injection de type LED

Tableau I.2 Caractéristiques générales des fibres optiques [9].

I.2.4 Principe de propagation dans la fibre optique :

Afin d'assurer la propagation du signal lumineux dans la fibre optique et de réduire les pertes, certaines conditions s'imposent. Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique par l'une de ses extrémités avec un angle approprié, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre sans perte, suivant un parcours en zigzag.

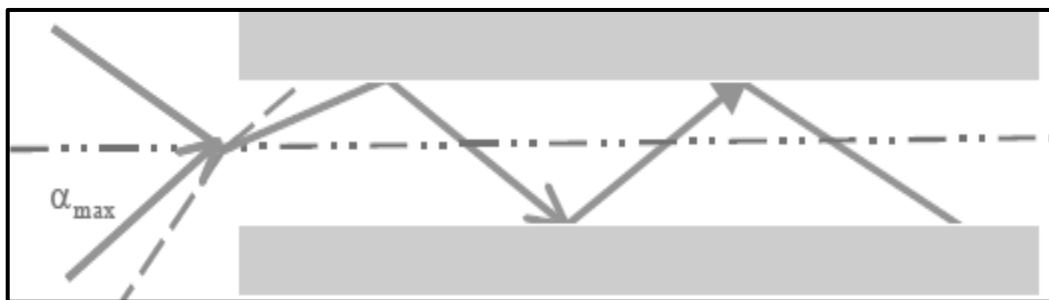


Figure I.13 : Guidage de la lumière dans la fibre optique.

L'ouverture numérique (ON) de la fibre optique représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre, α_{max} , nécessaire pour que la lumière puisse être guidée sans pertes. Cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre [13].

$$ON = \sin \alpha_{max} \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (I.4)$$

Un rayon lumineux qui entre dans la fibre en dehors du cône d'acceptance sera simplement réfracté à l'entrée de la fibre puis à l'interface des deux couches. Il passera alors dans la gaine et sera perdu.

Les rayons lumineux qui pénètrent dans le cœur de la fibre sous une incidence égale ou inférieure à l'angle limite sont guidés par la fibre. Si le diamètre du cœur est relativement grand (entre 50 et 85 μm), différents modes de propagation sont possibles et la fibre est de type multimode (MMF, Multi-mode Fibre). Elle est principalement utilisée dans les réseaux locaux s'étendant sur quelques kilomètres. Les

données sont émises par une diode électroluminescente (LED) à une longueur d'onde de 850 ou 1300 nm.

En revanche, si le cœur de la fibre est petit par rapport à la longueur d'onde de transmission, un seul mode de propagation est possible et la fibre est de type monomode (SMF, Single Mode Fibre), avec un cœur extrêmement fin de l'ordre de 9 μm . La transmission des données se fait par des lasers optiques émettant des longueurs d'onde de 1300 à 1550 nm, accompagnés d'amplificateurs optiques à intervalles réguliers.

Une fibre optique est caractérisée par deux paramètres principaux. Le premier est la différence d'indice normalisée (Relative Index Difference) Δ , qui mesure le saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}{2n_{\text{cœur}}} \approx \frac{n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}}}{n_{\text{cœur}}} \quad (I.5)$$

Le second paramètre est le paramètre V, la fréquence normalisée de la fibre.

$$V = a * \frac{2\pi}{\lambda} * (n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (I.6)$$

a : est le rayon du cœur, λ est la longueur d'onde de la lumière. Si la valeur de V est inférieure à 2.405, la fibre à saut d'indice est dite monomode [12].

V : la fréquence normalisée de la fibre

I.3 Câble à fibres optique :

Les câbles à fibres optique sont constitués de brins optiques qui sont conditionnés avec un enrobage en plastique de forme cylindrique qui assure une protection mécanique, thermique et chimique, sont faible poids et sa taille réduit permet d'effectuées des pose jusque à 2 km (avec technique de soufflage ou flottage) contre 300 m avec du câble en cuivre [1].

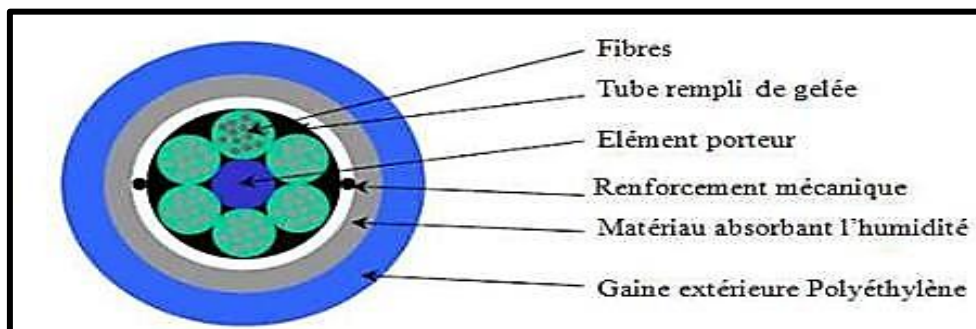


Figure I.14 : Câble optique standard

I.3.1 Types de câble à fibre optique :

Il existe une très large gamme de câbles optiques répondant à tous les cas rencontrés [16] :

- Câbles d'extérieur, entre immeubles, installés en aérien, en souterrain ou en caniveaux.
- Câbles pour la distribution verticale entre étages.
- Câbles pour la distribution horizontale jusqu'au poste de travail, en apparent, en faux-plafond ou faux-plancher. – Cordons de liaisons et cordons de brassage.
- Câbles dotés de gaines particulières pour certaines protections contre les rongeurs, contre l'humidité, contre des agents corrosifs, contre des plombs de chasse, etc.
- Câbles dont les gaines sont sans halogène et à faibles dégagement de fumées (lowSmoke zero halogen - LSZH ou LSOH) pour les bâtiments recevant du public.
- Câbles pour les liaisons de très longues distances terrestres, fluviales ou sous-marines .

I.3.2 Différentes structures des câbles à fibre optique :

Quel que soit le type de câble, il sera constitué selon une des deux possibilités de structure que sont la structure serrée ou la structure libre et il contiendra un nombre de fibres optiques très variable, de la fibre unitaire à plusieurs centaines de fibres [16].

I.3.2.1 Câbles à fibres optiques à structure serrée :

La structure élémentaire d'une fibre optique est dite structure serrée lorsqu'elle est recouverte de façon solidaire par un revêtement secondaire. Ce revêtement protecteur est extrudé directement sur la fibre optique et, généralement, son diamètre est de 900 microns. Puis, à chaque fibre on ajoute des renforts en polyamide de type Kevlar ainsi qu'une gaine supplémentaire. Tout cela confère à la fibre optique des avantages en maniabilité et en résistance mécanique. De plus, l'assemblage des fibres optiques de ce type autour d'un renfort central permet de constituer facilement un câble présentant une grande facilité de pose et de raccordement car chaque fibre est directement connectable. Les coefficients de dilatation et de rétractation de la fibre en verre et des revêtements en plastique étant différents, cette structure se rencontre essentiellement dans des applications à l'intérieur des bâtiments [16].

I.3.2.2 Câbles à fibres optiques à structure libre :

En structure libre, la fibre élémentaire de 250 microns est logée librement dans un tube plus large afin de faire face aux risques de dilatation ou rétractation offrant ainsi des possibilités d'utilisation avec des plages de températures plus étendues. Un autre avantage de cette structure tient au fait que plusieurs fibres optiques peuvent être placées dans un même tube d'où un moindre encombrement qu'en structure serrée, à nombre de fibres égal. En revanche, le tube est rempli d'un gel spécial qui sert de barrière à l'humidité. Ceci nécessite une plus longue préparation du câble, un temps de raccordement plus long et une manipulation plus délicate. Cette structure libre se rencontre en rocares extérieures inter-bâtiments ou sur de longues distances mais aussi en distribution intérieure en version économique sans gel d'étanchéité [20].

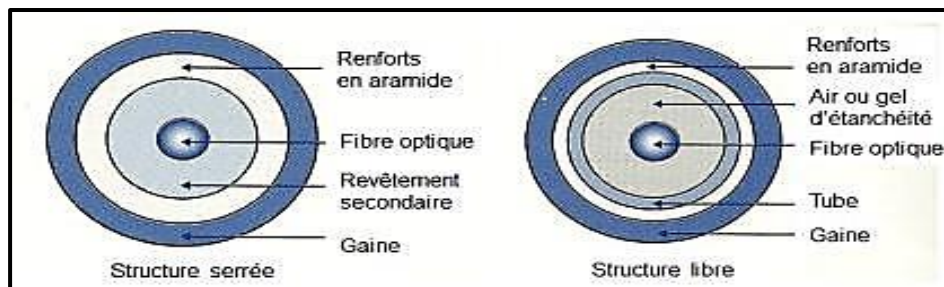


Figure I.15 : Structures serrée et libre d'un câble optique.

Une fibre optique élémentaire à structure serrée est aussi appelée fibre revêtue 900 microns ou souplisseau. Un câble constitué de telles fibres est nommé, en langue anglaise, buffer 900 microns ou structure light. Quant à la structure libre, les synonymes sont structure tubée ou câble à graisse et, en anglais, (loose tube fiber). On rencontre également une variante de la structure serrée : le principe appelé "micro-gaine" dans laquelle plusieurs fibres optiques sont étroitement enserrées par une enveloppe. Cette structure est fréquemment utilisée pour la pose de câbles en conduite.

I.3.3 Code couleur du revêtement extérieur de la fibre optique :

La couleur de la gaine est parfois utilisée pour distinguer les câbles multimodes de ceux monomodes. La norme TIA-598C recommande, pour les applications non militaires, la gaine jaune pour la fibre monomode et la couleur orange et aqua pour la fibre multimode selon les types. Certains fournisseurs utilisent la couleur violette pour distinguer les fibres de communication OM4 de performance supérieure des autres types [21].



Figure I.16 :code de couleur fibre optique

I.3.3.1 Normes spéciales de la fibre optique monomode :

G652 Normalisation des fibres optiques monomodes standards (à dispersion non décalée).

G652a Version de base de la fibre G652, définie à 1310 nm et à 1550 nm.

G652b Version de la fibre G652, définie à 1625nm avec des affaiblissements améliorés à 1310nm et à 1550nm par rapport à la version a, et avec une meilleure PMD.

G652c Version de la fibre G652, définie à 1383nm (faible pic OH) avec un affaiblissement amélioré à 1550nm par rapport à la version b.

G652d Version de la fibre G652 la plus performante (meilleures caractéristiques des versions b et c).

G653 Normalisation des fibres optiques monomodes à dispersion décalée (peu utilisée aujourd'hui).

G655 Normalisation des fibres optiques monomodes à dispersion décalée non nulle (NZDF : Non Zero Dispersion Fiber). Utilisation à 1550nm pour les infrastructures longues distances en DWDM.

G657 Fibre à faible rayon de courbure.

G657a Fibre G657 compatible avec la fibre optique G652d.

G657b Fibre G657 non compatible avec la fibre optique, G652 mais avec des meilleures caractéristiques d'insensibilité aux courbes que la version a.

G657a2 Fibre G657 compatible à la fibre G652d et offrant une meilleure caractéristique d'insensibilité aux courbes que la version a1.

Une Comparaison entre les normes G652, G653, G655 et G657 de la fibre optique monomode est illustrée dans le tableau 5, en termes de : l'année de mise en service, la longueur d'onde de coupure, l'affaiblissement et la dispersion.

Type de fibre monomode	G652	G653	G655	G657
Année de mise en service	1983	1985	1994	2005
Longueur d'onde de coupure en nm	1310	1550	1550	1260-1625
Affaiblissement 123.5 - 1330 nm en dB/Km	<0.4	<0.5	<0.5	<0.35
Affaiblissement 15.50 nm en dB/Km	<0.25	<0.25	<0.25	<0.21
Longueur d'onde de coupure en câble	1150/1280	1050/1350	1450	1260

Tableau I.3 Tableau comparatif entre les différentes normes G65X de la fibre monomode [21].

I.3.4 Jonction de la fibre optique :

Il existe aujourd'hui deux méthodes principales pour raccorder entre elles deux fibres Optiques :

I.3.4.1 Raccordement mécanique :

Le raccordement mécanique comprend le plus souvent le couplage de deux connecteurs mis bout à bout. Le raccordement par "Splice" mécanique est utilisé pour les réparations suite à une rupture de la fibre. Les tiroirs optiques permettent de brasser les fibres provenant des différents câbles au moyen de jarretières en jaune (pigtail) et de connecteurs optiques. Cette opération est nécessaire pour effectuer les différentes dérivations dont certaines constituent les points de sortie vers le réseau du client. Ces connexions peuvent engendrées un affaiblissement du signale qui est insignifiant (ex : 2 connecteurs et 1 jarretière) une atténuation inférieure à 0.7dB (à 1300 nm et 1550 nm) [21].

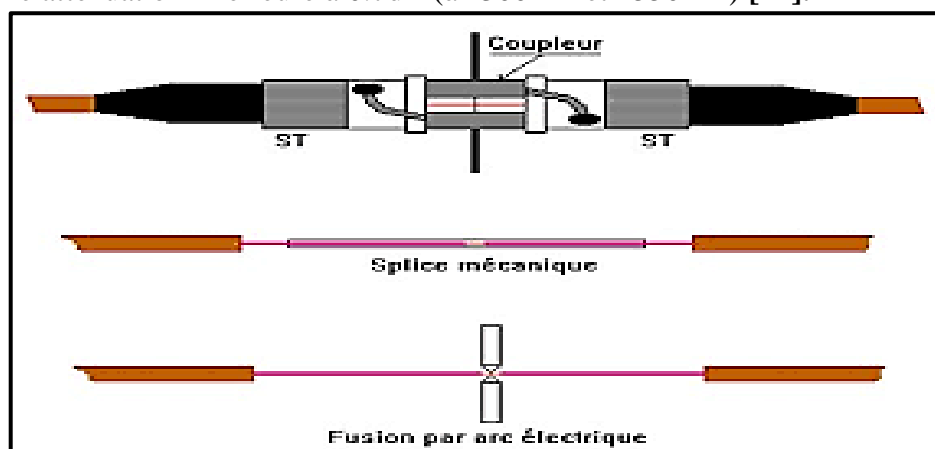


Figure I.17 : Raccordement d'un connecteur fibre optique.

I.3.4.2 Raccordement par fusion :

Cette opération est réalisée avec l'aide d'une fusionneuse automatique qui assure notamment :

- L'alignement par le cœur de la fibre dans les 3 axes.
- La visualisation en temps réel de la fusion des 2 fibres.
- Le test de traction après soudure (50 g à 500 g).
- La mesure de l'affaiblissement à 1310 et 1550 nm (en moyenne de 0,03 à 0,1dB avec pour valeur maximale 0,15 dB)



Figure I.18 : Raccordement par fusion sur terrain.

I.3.4.3 Techniques de pose des câbles à fibre optiques :

La pose des câbles à fibre optique se fait de trois techniques :

Par soufflage du câble : par la pression de l'air on fait le drainage du câble dans des fourreaux en PHD (Poly Ethylène-Haute Densité) de diamètre de 43 mm, pratiquement pour des distances continues inférieures à 2 km.

Par flottage : on utilise la pression de l'eau pour des distances continues inférieures à 2km.

Tirage par jeux d'aiguilles : on utilise des baguettes d'aiguilles pour drainer le câble pour des distances continues inférieures à 150 m [22].

I.4 Domaine d'applications :

Défense I.4.1 :

Souvent associés au radar, omniprésents en défense, les équipements optroniques apportent leurs avantages en discrétion (quand ils émettent, leur émission est plus directive que celle du radar) et en précision angulaire, qualité traditionnelle de l'optique. L'optronique permet d'améliorer l'observation sur le champ de bataille, pour l'aide à la navigation, le pilotage, la reconnaissance et l'identification de cibles,

le guidage d'armement. Pour neutraliser ces équipements très efficaces, les contre-mesures optroniques sont en très fort développement.

Spatial I.4.2 :

L'optronique spatiale intervient dans l'aide à la navigation des satellites (senseurs d'horizon ou d'étoiles), l'observation de la terre et de l'espace, le suivi des ressources terrestres, l'astronomie, Il existe aussi des programmes de recherche en télécommunications spatiales par laser, destinés aux transmissions à très grandes distances, par exemple entre satellites géostationnaires et satellites à orbites basses.

Télécommunications I.4.3:

Parmi les raisons qui expliquent l'emploi croissant des fibres optiques en télécommunications, on peut citer : faibles pertes, bandes passantes élevées, légèreté, encombrement réduit, possibilité d'exposition à des tensions élevées, absence d'étincelles, de conduction, de boucles de masse, de rayonnement, insensibilité aux perturbations optiques ou électromagnétiques, Des terminaux à fibre optique de hautes capacités sont maintenant disponibles à coûts compétitifs.

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. C'est probablement l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300000 pour la fibre optique. Les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde (câbles transatlantiques) avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s.

Industrie I.4.4 :

En fabrication industrielle, on trouve de plus en plus d'équipements laser pour la découpe, la soudure, le marquage. L'optronique intervient aussi en contrôle industriel, pour les mesures de : température, débit (fluides), déplacement, vitesse, accélération, pression (fluides, acoustiques), humidité, contraintes, forces, charges, gaz, pollution, niveau (liquides), vibrations, chocs, couples, formes de surfaces... Ces capteurs sans contact ne perturbent pas les phénomènes observés, et peuvent fonctionner en présence d'agressions chimiques (corrosion), mécaniques (vibrations, pression, choc), thermiques, électriques, magnétiques ou radiatives (milieu nucléaire), grâce à la possibilité d'éloigner le capteur du point de mesure. Ils prennent une place grandissante en robotique (reconnaissance par traitement d'image), surveillance industrielle et environnementale, analyse chimique, métrologie, Ils s'introduisent dans les transports, pour l'aide à la vision, l'anticollision.

I.5 Conclusion :

En conclusion, cette étude approfondie sur la fibre optique a mis en lumière les avantages significatifs et l'importance croissante de cette technologie dans les réseaux de télécommunications modernes. Nous avons exploré en détail les différents aspects de la fibre optique, notamment ses avantages intrinsèques, sa structure, ses types et ses applications pratiques. Les avantages de la fibre optique par rapport aux autres moyens de transmission, tels que sa capacité élevée, sa faible atténuation et son immunité aux interférences électromagnétiques, ont été clairement démontrés. En examinant les types de fibres optiques (monomodes et multimodes), les structures de câbles et les techniques de jonction, nous avons souligné l'importance des bonnes pratiques d'installation et de maintenance pour assurer des performances optimales des réseaux à fibre optique.

De plus, cette analyse a mis en évidence les normes spéciales associées à la fibre optique monomode, soulignant l'importance de la conformité réglementaire pour garantir des performances fiables. Les techniques de raccordement, y compris les raccordements mécaniques et par fusion, ont été examinées en détail pour illustrer les diverses approches utilisées dans les réseaux à fibre optique. Enfin, nous avons discuté des perspectives futures de recherche et d'application de la fibre optique, mettant en évidence son rôle central dans l'évolution des technologies de communication.

Cette étude fournit ainsi une base solide pour comprendre et exploiter pleinement le potentiel de la fibre optique dans les réseaux de télécommunications. En continuant à développer cette technologie et à explorer de nouvelles applications, nous sommes sur la voie d'une connectivité encore plus rapide, fiable et efficace pour répondre aux besoins croissants de communication à l'échelle mondiale.

La fibre optique reste une solution essentielle pour relever les défis futurs de la connectivité numérique et jouer un rôle clé dans la transformation des infrastructures de communication à l'ère numérique en constante évolution.

CHAPITRE II :

Télécommunications optique bidirectionnelle WDM-ROF

II. INTRODUCTION :

Ce chapitre explore les systèmes de télécommunication optique, en mettant l'accent sur la technologie bidirectionnelle WDM-ROF et son importance pour la cinquième génération (5G) des réseaux mobiles.

Nous commencerons par examiner le modèle OSI (Open Systems Interconnection) et les principes physiques fondamentaux qui sous-tendent le transport de l'information à travers les fibres optiques, en mettant en lumière les modes de transmission WDM (Wavelength Division Multiplexing) pour optimiser l'utilisation de la bande passante optique.

Ensuite, nous aborderons les composants essentiels des systèmes de télécommunication optique bidirectionnelle, en soulignant leur rôle dans la garantie de performances fiables et efficaces.

Cette exploration jettera les bases nécessaires pour intégrer ces technologies avancées dans le contexte innovant de la 5G, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles possibilités dans les communications mobiles.

II.1 Système de télécommunication optique pour réseaux haut débit :

Le système de télécommunication optique pour les réseaux haut débit, ce dernier est un assemblage d'électronique et d'information des données. La transmission des données sera faite à l'aide des réseaux et protocoles, d'où la mise au point d'un point d'un protocole nommé FTTH pour faciliter la transmission et augmenter la fidélité des informations.

II.1.1 Système de communication (modèle OSI) :

Un système de communications sécurisé représente une application prometteuse de l'estimation d'état des systèmes non linéaires. A partir d'un message contenant de masque de la donnée, l'émetteur génère un signal qui est transmis au récepteur par le canal. Le récepteur reconstruit et traite le message original, grâce à une "clé" partagée avec l'émetteur. La Figure 1 Montre les différentes couches de basse d'un système de communication moderne [24].

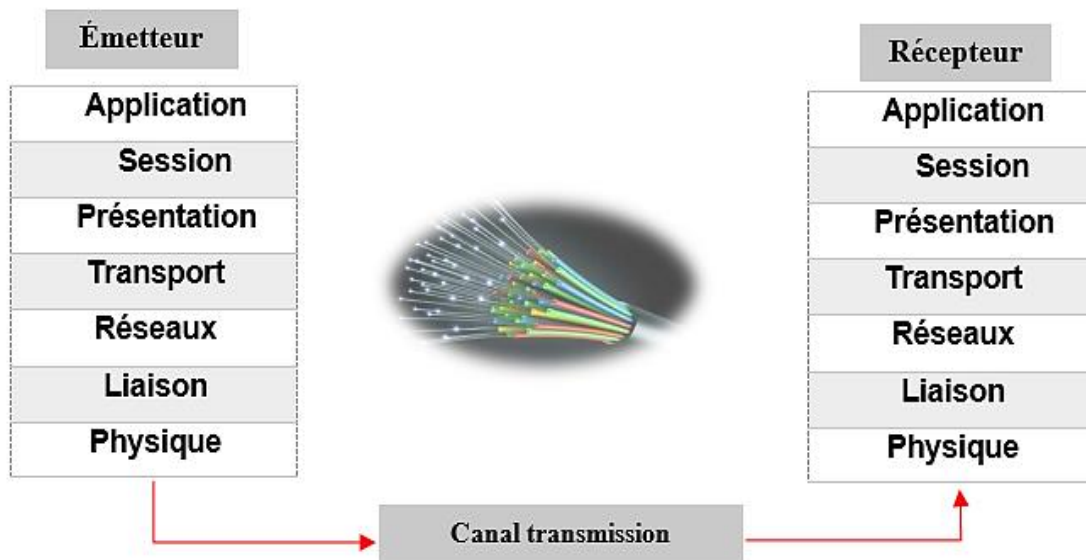


Figure II.1 : Architecture de base d'un système de communication en 7 couches
(Modèle OSI Télécommunications).

II.1.2 Les différentes couches du modèle OSI :

Le modèle OSI (ou Open System Interconnections) décrit sept couches avec les noms de : couches physiques, liaison, réseau, transport, session, présentation et application. Les différents protocoles qui définissent le réseau et les communications sont donc distribués dans chaque couche, selon leur utilité. Il est d'usage de diviser ces sept couches en deux : les couches basses, qui gèrent des fonctionnalités de base, et les couches hautes, qui contiennent les protocoles plus élaborés [25] :

- **Couche application** : Le point d'accès aux services réseaux, elle n'a pas de service propre spécifique et entrant dans la portée de la norme.
- **Couche Session** : elle permet de gérer les connexions et déconnexions et la synchronisation entre deux processus.
- **Couche Présentation** : chargé du codage des données à transmettre. Elle s'occupe des conversions d'alignement et du chiffrement ou de la compression des données transmises.
- **Couche Transport** : En charge de la liaison d'un bout à l'autre. S'occupe de la segmentation des données en petits paquets et vérifie éventuellement. Qu'elles ont été transmises correctement.
- **Couche Réseau** : s'occupe de tout ce qui a trait à internet : l'identification des différents réseaux à interconnecter, la spécification des transferts de données entre réseaux, leur synchronisation,

II.2 Grandeur physique :

II.2.1 Phénomènes physiques :

Le phénomène physique principal étant à l'origine du transport de la lumière au sein de la fibre optique est connu et maîtrisé depuis longtemps. Il porte le nom de réflexion totale. Afin de bien comprendre son principe, redéfinissons d'abord deux autres notions simples [26] :

a. La réflexion :

La figure 2 représente le phénomène de réflexion.

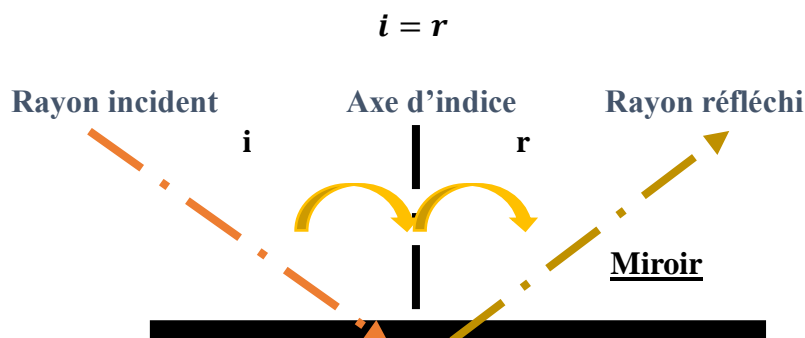


Figure II.2 : Le phénomène de réflexion [26].

Lorsqu'un rayon lumineux (figure II.2), appelé rayon incident, « tombe » sur une surface réfléchissante (exemple : un miroir) il subit une déviation dans le même plan suivant un angle de réflexion « r » qui est de même valeur que l'angle d'incidence « i » par rapport à un axe appelé axe d'incidence, perpendiculaire à la surface de séparation [26].

b. La réfraction :

La figure suivante représente le phénomène de réfraction ;

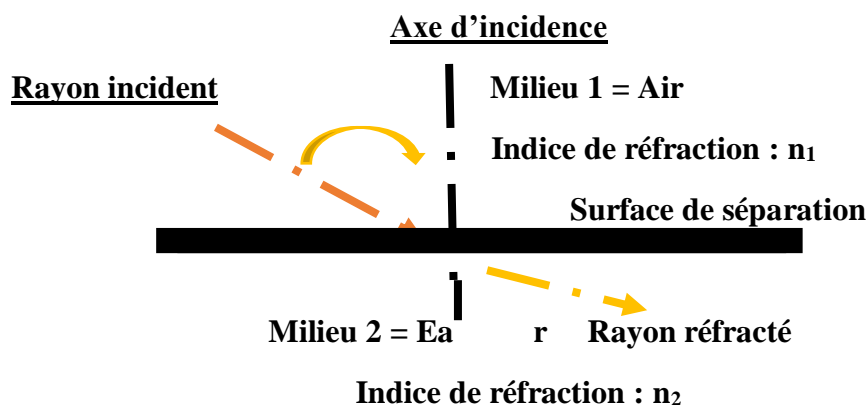


Figure II.3 : Le phénomène de réfraction. [26].

L'équation suivante représente condition de la réfraction entre 2 milieux :

$$i > r \quad n_2 > n_1 \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (II.1)$$

La figure 3 illustre un autre phénomène optique : La réfraction. Elle agit lors du passage d'un rayon lumineux incident d'un milieu 1, par exemple de l'air, vers un milieu 2 (n_2). Différent, par exemple de l'eau. Ce rayon incident va subir une déviation lors de la traversée dans le second milieu. L'angle de réfraction « r » du rayon réfracté sera différent de l'angle d'incidence « i » par rapport à l'axe d'incidence déjà défini ci-dessus. Les relations mathématiques qui en résultent sont indiquées à côté de la figure II.3. Dans notre exemple, le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1. Son indice de réfraction n_2 est plus grand que l'indice de réfraction du milieu 1 (n_1). L'indice de réfraction est le rapport entre la vitesse de propagation d'un signal lumineux dans le vide et la vitesse de propagation du signal lumineux dans le milieu considéré [26].

$$n_{milieu} = \frac{c_0}{c_{milieu}} \quad (II.2)$$

- n_{milieu} : L'indice de réfraction du milieu.
- c_0 : La vitesse de la lumière dans le vide.
- c_{milieu} : La vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

c. La réflexion totale :

Nous pouvons définir ce phénomène comme suit : Il y a réflexion totale lorsque l'angle d'un rayon lumineux incident, évoluant d'un milieu plus réfringent (+ dense) vers un milieu moins réfringent (- dense), est supérieur à la valeur de l'angle limite du milieu où se propage le rayon incident.

La figure suivante représente la réflexion totale [26].

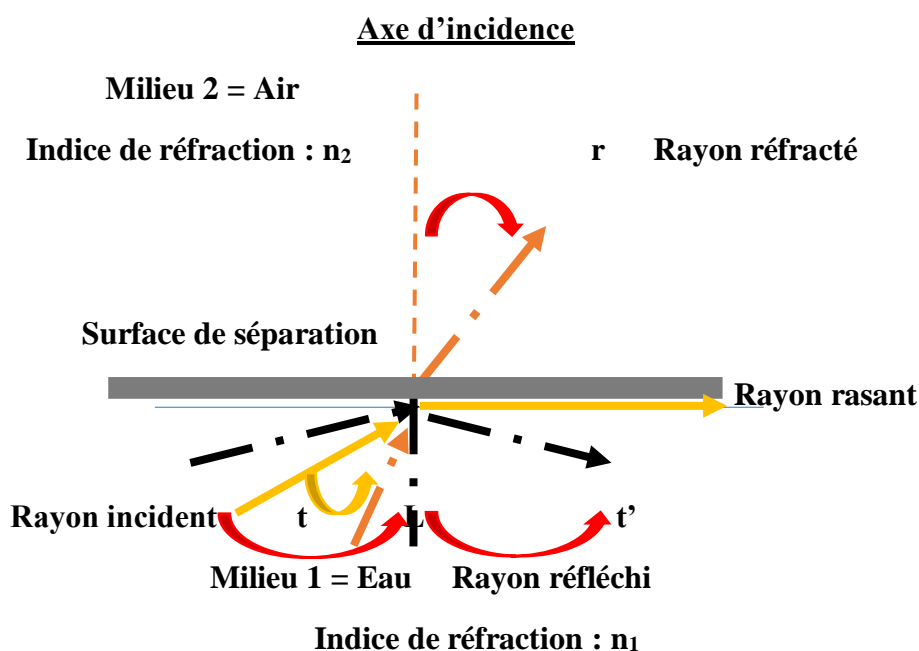


Figure II.4 : La réflexion totale [26].

Les conditions indispensables :

$$n_1 > n_2 \quad t > L \quad L = \text{angle limite} \quad t = t'$$

La figure II.4 montre qu'en-dessous de l'angle limite « L », les rayons lumineux (en rouge) subissent le phénomène de réfraction et traversent la surface de séparation des deux milieux. Le rayon (jaune) ayant son angle d'incidence égale à l'angle limite rase la surface de séparation. Par contre le rayon (vert) qui attaque la surface de séparation avec un angle d'incidence supérieur à l'angle limite n'est plus en mesure de « sortir » vers le deuxième milieu mais subit une réflexion totale dans le premier milieu. Exemple : dans une fibre optique, nous allons donc créer les conditions nécessaires et indispensables à la réflexion totale pour guider le signal lumineux dans le conduit en verre.

II.3 Support physique :

II.3.1 Liaison par la fibre optique :

Une liaison de transmission en fibre optique est dite directe si c'est une liaison entre deux équipements terminaux. Elle est constituée d'une source lumineuse (DL ou LED) qui convertit un signal électrique en un signal optique, par la suite ce signal est injecté dans une fibre où il se propage tout en subissant des déformations dues aux différents phénomènes d'atténuation. A la fin de la liaison, ce signal optique est reconverti en signal électrique à l'aide d'un photodétecteurs (PIN ou APD). Actuellement les câbles à fibres optiques existant sur le marché sont de longueur maximale de quatre (04 km), de ce fait pour de longue distance on utilise des joints de connexion (épissures) ce qui induit d'autres pertes qui s'ajoutent.

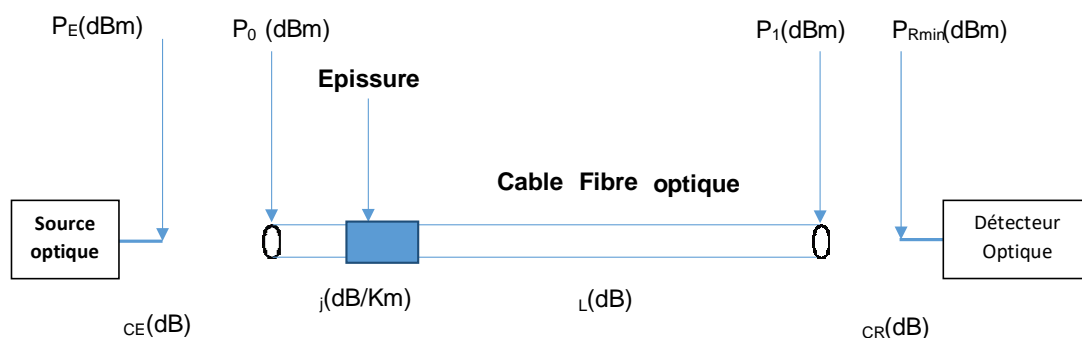


Figure II.5 Schéma synoptique d'une liaison point à point sans répéteur

Avec :

- PE : Puissance rayonnée par la source optique.
- P0 : Puissance injectée dans la fibre.
- P1 : Puissance à la sortie de la fibre.
- PRmin : Puissance minimal capté par le détecteur.
- α_{CE} : Affaiblissement du couplage source/fibre.
- α_j : Affaiblissement des jonctions (Épissures).
- α_L : Affaiblissement Linéaire (caractéristique de fabrication).
- ACR : Affaiblissement du couplage fibre/détecteur.

II.3.2 La chaîne de télécommunications optique :

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois blocs : un bloc d'émission, un bloc de transmission et un bloc de réception.

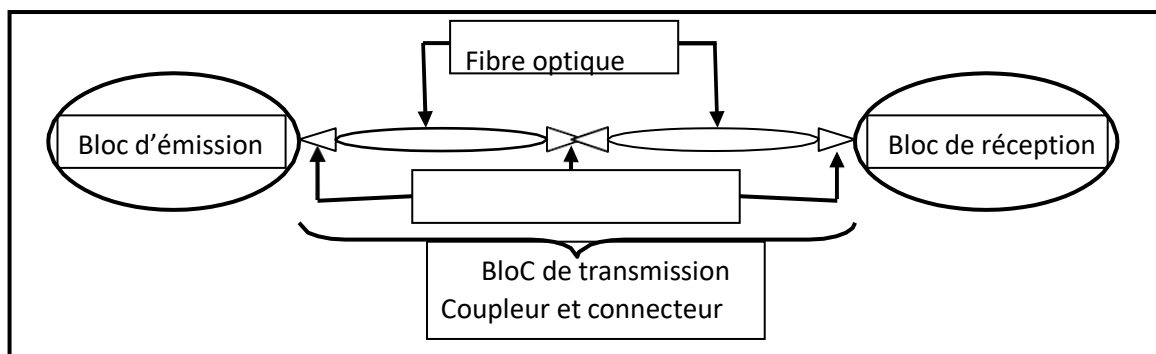


Figure II. 6 : bloc chaîne de télécommunication optique

II.3.3. Principe physique de la télécommunication optique :

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois blocs : un bloc d'émission, un bloc de transmission et un bloc de réception. Un système de transmission optique se compose de composants suivants : Un émetteur, un multiplexeur/démultiplexeur, une ligne de transmission, censée se composer de fibres optiques et d'amplificateurs optiques qui substituent les régénérateurs électriques et d'un récepteur. La partie émission optique est constituée d'une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL) ayant pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique.

Ensuite, le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. La partie réceptrice photo détectrice convertit le signal optique reçu en signal électrique [27].

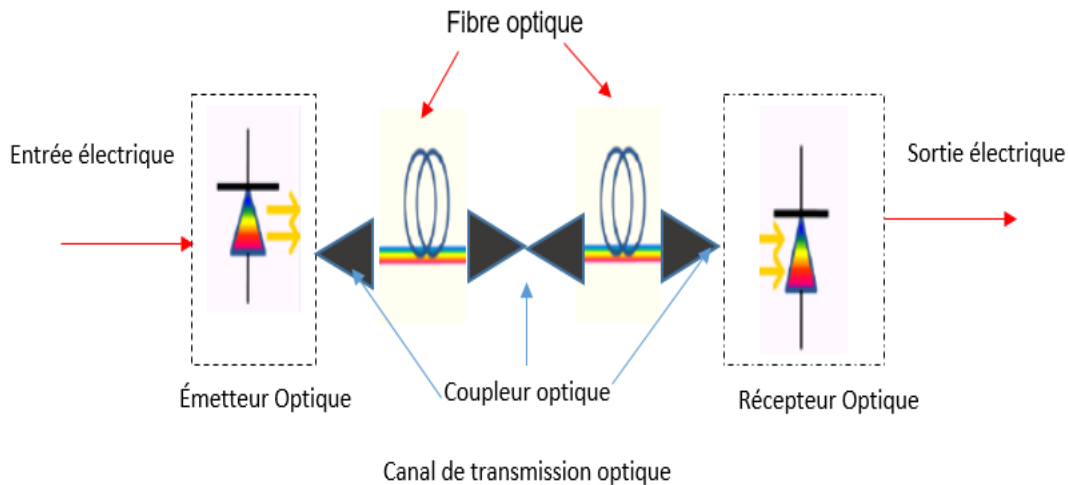


Figure II.7 : Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique

(Liaison optique point à point).

La figure II.7 montre un schéma fonctionnel générique d'un système de communication optique typique. Il se compose d'un émetteur, d'un canal de communication et d'un récepteur, les trois éléments communs à tous les systèmes de communication [27].

L'émetteur optique convertit le signal électrique sous forme optique et lance le signal optique résultant dans la fibre optique. Il se compose d'une source optique, d'un modulateur et d'un coupleur de canaux. Des lasers semi-conducteurs ou des diodes électroluminescentes sont utilisés comme sources optiques. Le signal optique est généré en modulant l'onde porteuse optique. Un récepteur optique convertit le signal optique reçu à l'extrémité de sortie de la fibre optique en signal électrique d'origine.

Il se compose d'un coupleur, d'une photo détectrice et d'un démodulateur. Le coupleur focalise le signal optique reçu sur la photo détectrice. Les photodiodes semi-conductrices sont utilisées comme photo détecteurs en raison de leur compatibilité avec l'ensemble du système.

II.4 Modes de transmission WDM :

Le développement de normes pour un réseau LAN WDM (Local Area Network à multiplexage en longueur d'onde) par SAE International représente une avancée significative dans le domaine des télécommunications. Ces normes sont conçues pour créer un cadre permettant d'intégrer efficacement des réseaux optiques WDM dans les infrastructures de télécommunication, en capitalisant sur les avancées des composants et des techniques du secteur.

II.4.1 Normes pour les Réseaux Optiques WDM :

L'objectif principal de ces normes est de soutenir des réseaux optiques WDM capables de prendre en charge une multitude de protocoles et de canaux à haut débit, en préparation aux futurs besoins des télécommunications, notamment ceux attendus avec le déploiement de la technologie 5G.

Plus précisément, ces normes visent à :

a. l'Utilisation de Réseaux WDM :

Établir des directives et des spécifications techniques pour l'implémentation de réseaux LAN WDM dans les infrastructures de télécommunication.

b. Intégrer des Composants et Techniques de Pointe :

Identifier et intégrer les composants et techniques les plus récents du secteur des télécommunications pour optimiser les performances et l'efficacité des réseaux WDM.

c. Prendre en Charge de Multiples Protocoles et Canaux :

Permettre la prise en charge de divers protocoles de communication et de nombreux canaux à bande passante élevée, afin de répondre aux exigences croissantes des applications télécom modern :

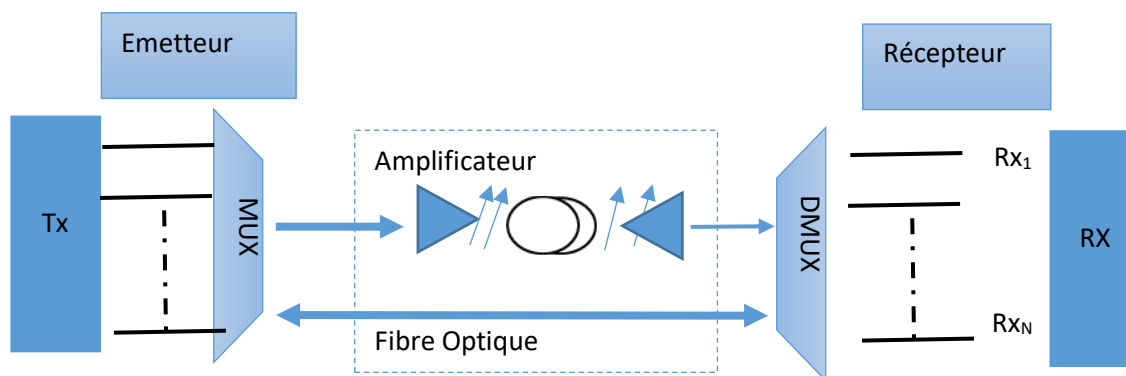


Figure II. 8 : Modèle de la réalisation conceptuelle WDM Bidirectionnelle WDM ROF.

d. Anticiper les Besoins de la NOUVELLE Technologie 5G :

Préparer les infrastructures de télécommunication à exploiter pleinement les capacités attendues avec le déploiement et l'implémentation vers la 5G, en offrant des réseaux optiques adaptés aux exigences futures en matière de bande passante et de latence. ces normes jouent un rôle crucial dans l'évolution des réseaux de télécommunication en permettant l'adoption de technologies optiques avancées, et en préparant les infrastructures à répondre efficacement aux défis et opportunités des communications de demain [28].

la figure suivante présente Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF pour l'implémentation 5G.

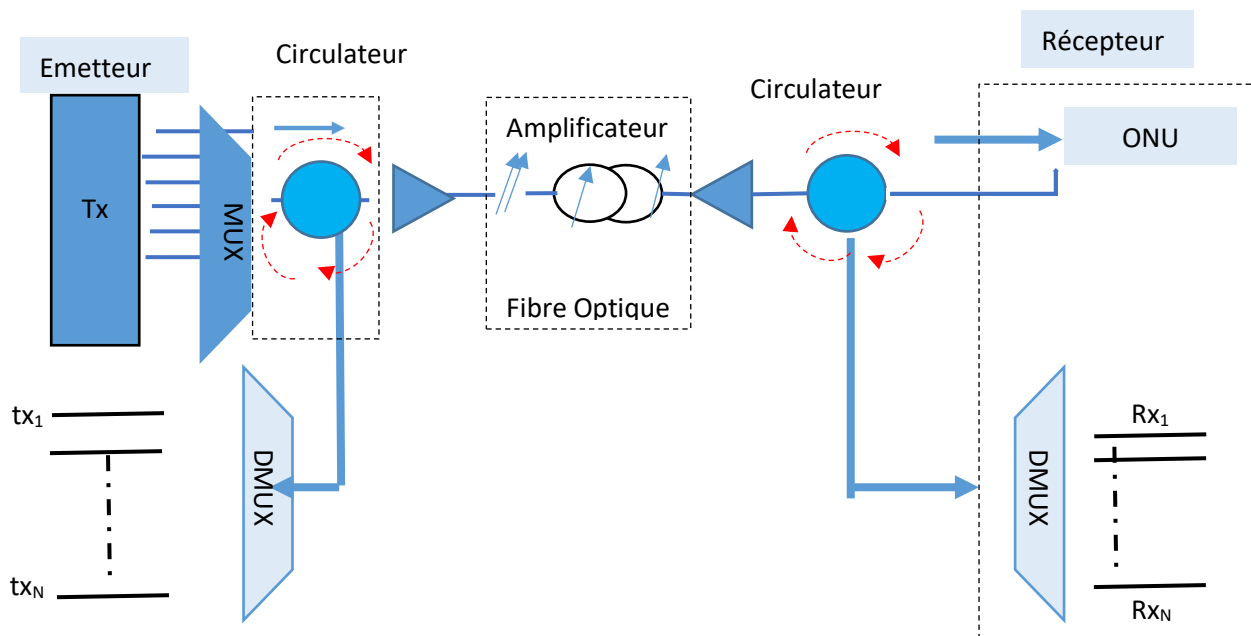


Figure II.9 Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF pour l'implémentation 5G.

II.4.2 Méthode de fonctionnalité WDM :

Le WDM est une fonctionnalité importante dans l'expansion des communications optiques. WDM a apporté plus de flexibilité au système et simplifié la conception du réseau. Cela contribue à améliorer la capacité du système en envoyant plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre [31]. Une augmentation considérable du débit de données peut être offerte par les systèmes WDM qui transitent sur une seule fibre utilisant plusieurs longueurs d'onde, où un canal séparé est acheminé à chaque

longueur d'onde. Dans WDM, le spectre optique est divisé en canaux plus petits ; chacun peut être utilisé pour transmettre et recevoir des données simultanément [32].

Pour le système WDM, chaque longueur d'onde peut être conservée comme un canal discret sur lequel différentes données peuvent être transportées. Un multiplexeur WDM peut être considéré comme un dispositif passif dans lequel les signaux lumineux sont combinés avec différentes longueurs d'onde dans une seule fibre. L'utilisation du WDM pour la distribution du signal RoF a pris de l'importance ces derniers temps. WDM permet une exploitation efficace de la bande passante de la fibre. Les limites de sélection du filtre optique et de stabilité de longueur d'onde des lasers à semi-conducteurs, ainsi que l'espacement minimum des canaux pour le WDM commercial, sont d'environ 50 GHz. Cet espacement des canaux peut être réduit à 50 GHz ou rendu égal à 25 GHz avec la possibilité d'utiliser des centaines de canaux [33].

WDM a la capacité de transmettre différentes fréquences sans aucune interférence dans radiodiffusion [34]. Il existe deux types de systèmes WDM : le multiplexage par répartition en longueur d'onde dense et le multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière.

II.5 Principe et concept de WDM :

A l'inverse de la technologie de multiplexage temporel TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.

Le WDM consiste à diviser le spectre optique en plusieurs sous canaux, chaque sous canal étant associé à une longueur d'onde. La fibre optique se prête bien à ce type d'usage car sa bande passante est très élevée : de l'ordre de 25 000 GHz. Elle présente donc un fort potentiel au multiplexage de très nombreux canaux sur de longues distances [29].

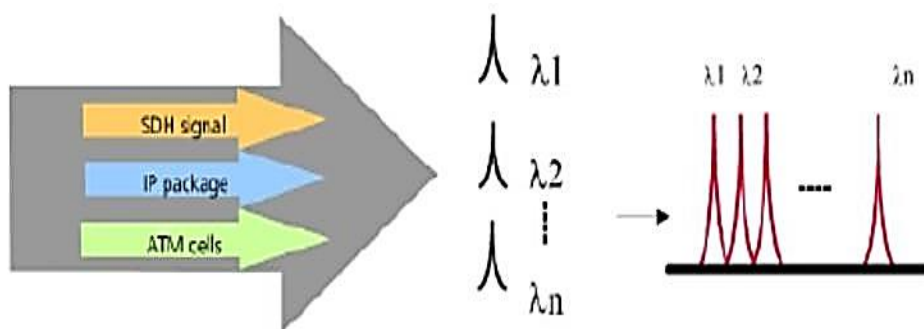


Figure II.10 : principe et concept de WDM.

II.5.1 Technique de WDM :

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à longueurs d'ondes différentes mais assez proches dans le voisinage des 1550 nm, et de multiplexeur / démultiplexeur optiques pour combiner/ séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre [30].

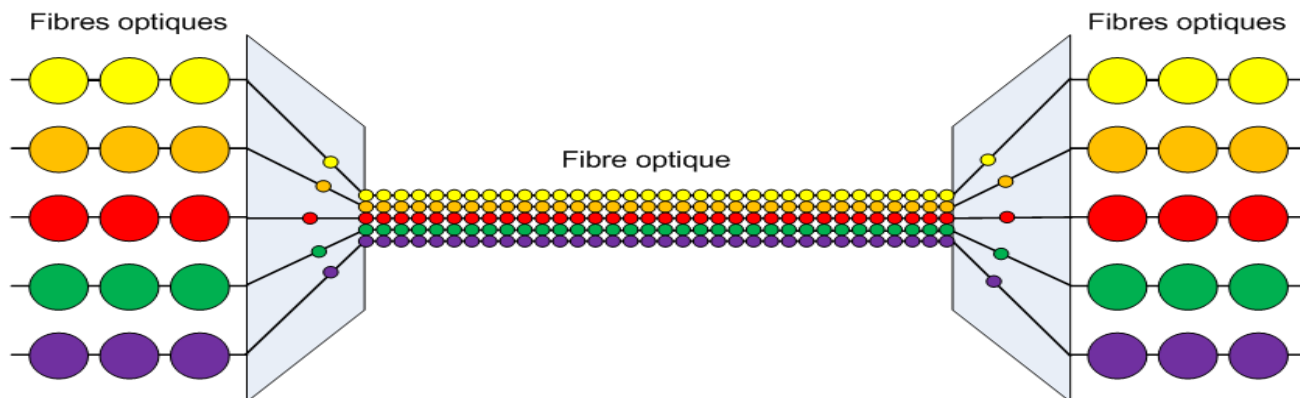


Figure II .11 : Technique multiplexage WDM.

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiple dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'ondes émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses : qualité de la fibre, qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source.

La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à $N \cdot D$. Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système.

La norme ITU-T définit la plage de longueurs d'ondes est de 1.6 ou 0.8 nm. Le peigne de fréquence dans les réseaux WDM est présenté dans la figure II.13.

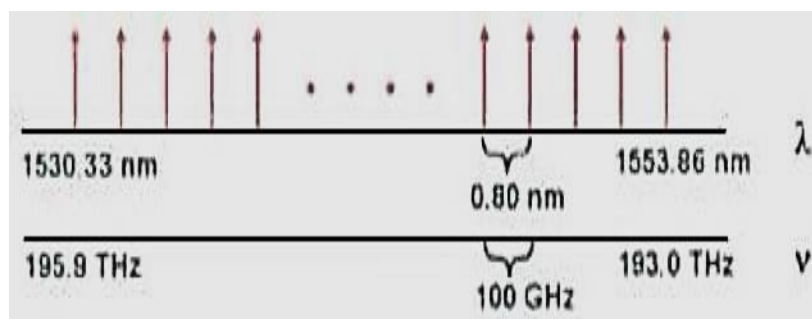


Figure II.12 : Peigne des fréquences en WDM

II.5.2. Applications de WDM :

L'intérêt premier du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. On trouve aujourd'hui des systèmes à 4*10 Gb/s, 16*10Gb/s. Mais le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique.

En effet, l'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des N canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile et envoyer des canaux dans une fibre optique plutôt que N fibres devenait un avantage économique indiscutable. S'il y a encore peu de temps, l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1 nm. Une seconde application du WDM concerne les réseaux locaux. Chaque abonné se voit alors attribuer une longueur d'onde, c'est-à-dire une « couleur ». Cette technique présente l'avantage de permettre une évolution continue du réseau par l'adjonction de nouveaux services ou de nouveaux abonnés simplement par insertion d'une nouvelle longueur d'onde.

II.5.3 Les avantages de la technologie WDM :

Nous pouvons mentionner quelques avantages du multiplexage optique en longueur d'onde :

- La technologie WDM garantit des débits de transmission élevée et de taux de partage dans le réseau d'accès.
- Dans la technologie WDM, la transmission est transparente, permet aussi une indépendance vis-à-vis les protocoles et une indépendance entre canaux (on peut trouver sur une même fibre optique de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM), comme il est illustré sur la figure II.14.

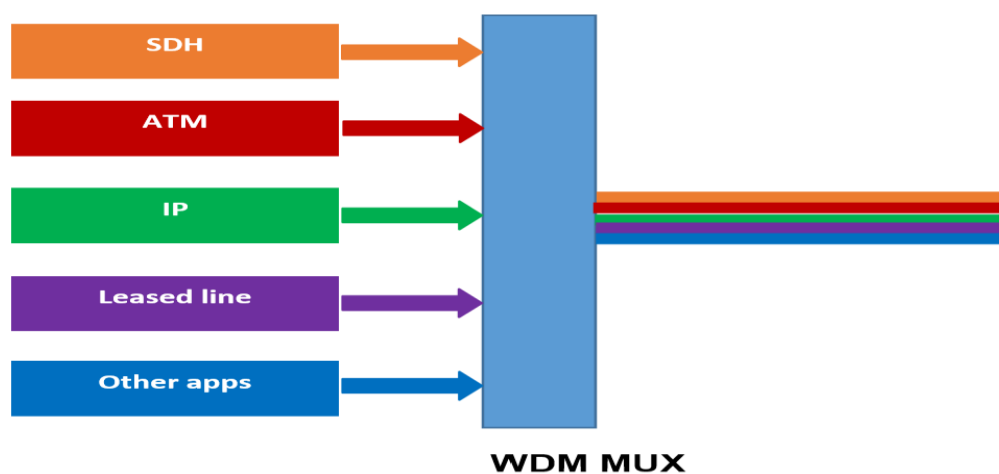


Figure II.13 : Différents protocoles sont multiplexés

- Nous pouvons contribuer à plusieurs applications dans cette technologie, à titre d'exemple : le multiplexage en longueurs d'onde pour la commutation et le routage optique.
- La limite de débit imposée par la technique TDM peut être dépassée en introduisant le WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur

II.5.4 Les limitations de la technique WDM :

Nous pouvons citer quelques limitations du multiplexage optique en longueur d'onde comme suit :

- Effet de la diaphonie due à d'autres phénomènes non-linéaires (produisent lors de la propagation du signal dans la fibre optique dépendamment du niveau de puissance véhiculé).
- Effet de la diaphonie due à la conversion Raman.
- Effet de la polarisation au niveau des multi/démultiplexeurs (pertes d'insertion).
- Effet de filtrage de longueur d'onde sur les lasers multimodes.
- Espace entre voies lié aux relations d'incertitude.

II.5.5 Types de techniques WDM :

On distingue plusieurs types de multiplexage en longueur d'onde. Dans cette section, nous mentionnons les plus utilisés dans les applications de transmission optique [31] :

A. CWDM :

La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) est adaptée pour le transport courte distance. En outre, le système CWDM est idéalement adéquat pour des infrastructures en fibre optique avec des portées de fibres qui sont à 50 km ou moins et qui n'ont pas besoin de la régénération du signal ou de la présence des amplificateurs optiques, utilisent des lasers qui ont un débit de 2,5 Gbps (OC-48/STM- 16) et peuvent multiplexer jusqu'à 18 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 45 Gbps sur une seule fibre optique [30].

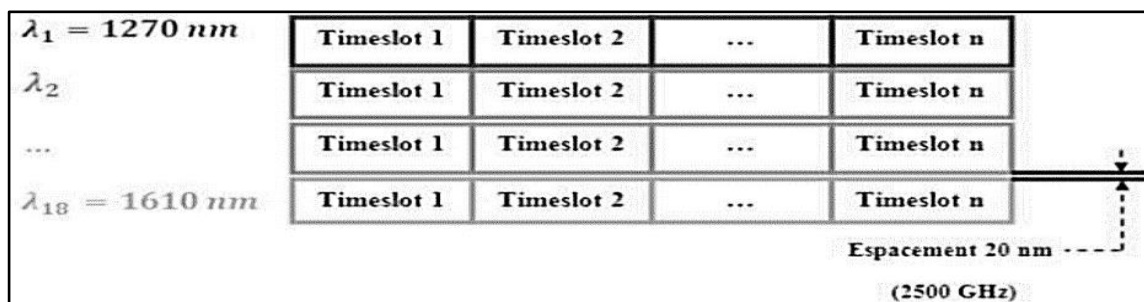


Figure II.14 : Longueurs d'onde CWDM.

Le laser de transmission et le détecteur de réception sont généralement intégrés dans un ensemble unique appelé un émetteur-récepteur optique. Les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'onde. Ils ne nécessitent pas un contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui explique leur coût moins élevé par rapport aux équipements DWDM.

B. DWDM :

La technologie DWDM est adaptée pour le transport courte et longue distance de données [30].

En outre, le système DWDM est parfaitement adapté dans le Metro ou longue distance où les demandes de capacité sont extrêmement élevées. Cette grande capacité demande un résultat de l'agrégation des services reçus des clients multiples à la périphérie de l'entreprise, utilisent des lasers qui ont un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps (OC-192/STM-64) et peuvent multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 2,4 Tbps sur une seule fibre optique. De plus, les nouveaux systèmes DWDM seront en mesure de soutenir 40 Gbps avec un maximum de longueurs d'onde de 300 chaînes, résultant en 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre optique. Les émetteurs-récepteurs optique des systèmes DWDM consomment plus d'énergie et dissiper la chaleur beaucoup plus que les émetteurs- récepteurs des systèmes CWDM. Cela crée une obligation pour le refroidissement des sous-systèmes de DWDM.

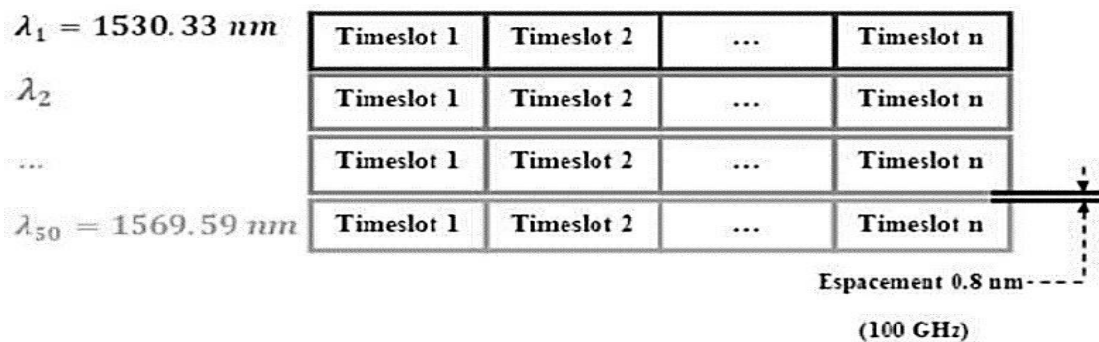


Figure II.15 : Longueurs d'onde DWDM.

La répartition en longueur d'onde de la technologie CWDM est illustrée sur la figure II.16 ci-dessus. Cependant, les systèmes DWDM Metro déployés utilisent généralement un espacement de fréquence de 100 GHz ou de 200 GHz. L'espacement commun du DWDM peut être 200, 100, 50, 25, ou 12,5 GHz avec un nombre de canaux pouvant atteindre jusqu'à 300 ou plusieurs canaux à des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec l'amplification et la régénération le long de cette route. Comme spécifiés par le standard ITU G.694.1, les systèmes DWDM sont caractérisés par un espacement entre canaux de 50 ou 100 GHz. La grille de fréquence de DWDM est ancrée à

193,1 THz. Les systèmes DWDM ont de façon significative une granularité plus fine entre les longueurs d'onde (espacement typique de 100-GHz) par rapport à leurs homologues CWDM. Selon la grille ITU, les produits DWDM fonctionnent dans la bande C entre 1530 et 1565 nm ou dans la bande L entre 1565 et 1625 nm. L'un des avantages du DWDM est le gain dans la région de l'EDFA (Amplificateur à Fibre dopée Erbium) qui correspond à la bande C. Les longueurs d'onde peuvent être amplifiées pour compenser les pertes dues à la longue distance de transmission des fibres ou /et les pertes passives élevées (pertes du coupleur, du multiplexeur, etc...).

C.WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing):

Le multiplexage WWDM est un autre dérivé du WDM. Il est encore plus restrictif que le CWDM puisqu'il n'autorise l'utilisation que de quatre canaux au maximum. Les canaux ont une longueur d'onde comprise entre 1275,7 nm et 1349,2 nm. Les canaux sont espacés de 24,5 nm entre eux et travaillent sur une longueur d'onde de 1310 nm. Ce multiplexage peut être utilisé sur des fibres multimode et monomode [32].

II.6 Bloc de l'émetteur optique :

Les émetteurs à fibre optique sont les pièces d'un réseau à fibre optique qui traduisent un signal électronique en signal optique. Ce signal peut ensuite être envoyé le long des fibres optiques en verre sous forme d'impulsion lumineuse. Les fibres optiques sont la forme de télécommunications la plus avancée, car elles sont capables d'envoyer des informations à grande largeur de bande sur de très longues distances, sans le risque d'interférence électromagnétique car les fibres sont en verre. Les émetteurs à fibre optique sont utilisés dans de nombreuses applications, telles que pour la transmission de signaux téléphoniques, Internet ou la télévision par câble. Les émetteurs à fibre optique sont généralement des dispositifs semi-conducteurs. Les deux principaux types sont les LED (diodes électroluminescentes) et les diodes laser.

Les LED produisent une lumière incohérente qui est couplée dans la fibre optique. Elles sont le plus souvent utilisées dans les réseaux locaux.

Les diodes laser produisent une lumière cohérente directionnelle, c'est à dire que moins de lumière est dispersée et perdue lors du processus de transmission. Les diodes laser à cavité verticale et à émission par la surface (VCSEL) ont largement supplanté les LED car elles offrent généralement une vitesse et une puissance supérieures.

II.6 Bloc du milieu de transmission optique :

II.6.1 Milieu de transmission optique bidirectionnelle :

Dans la chaîne optique bidirectionnelle, les signaux optiques à longueurs d'onde multiples sont transmis à travers une seule fibre dans les deux directions de réception et d'émission. Ce mode est principalement utilisé côté client, mis en œuvre grâce à la fonction de filtrage d'un module optique bidirectionnel à fibre unique. Différentes longueurs d'onde centrales sont utilisées pour les deux directions.

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique qui transmet des signaux optiques.

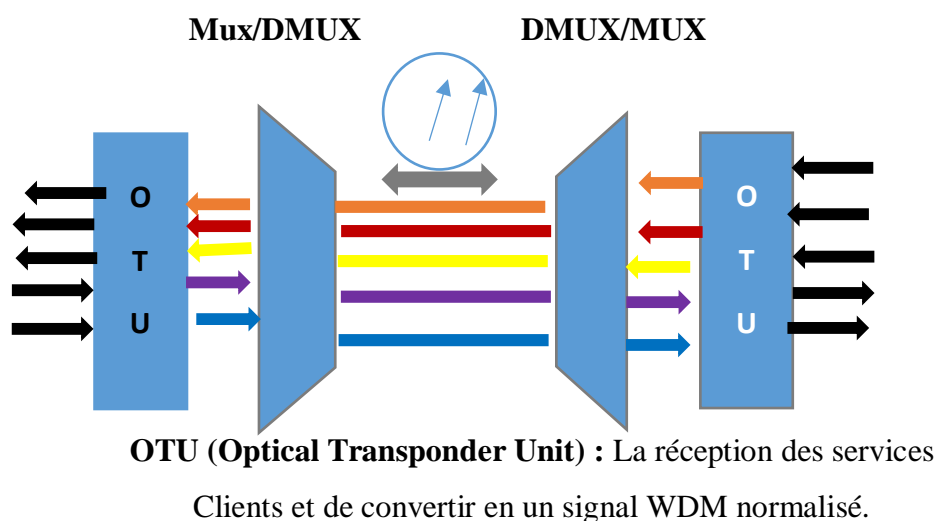


Figure II.16 : Transmission une fibre bidirectionnelle

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique qui transmet des signaux optiques dans les deux directions simultanément en longueurs d'onde différentes.

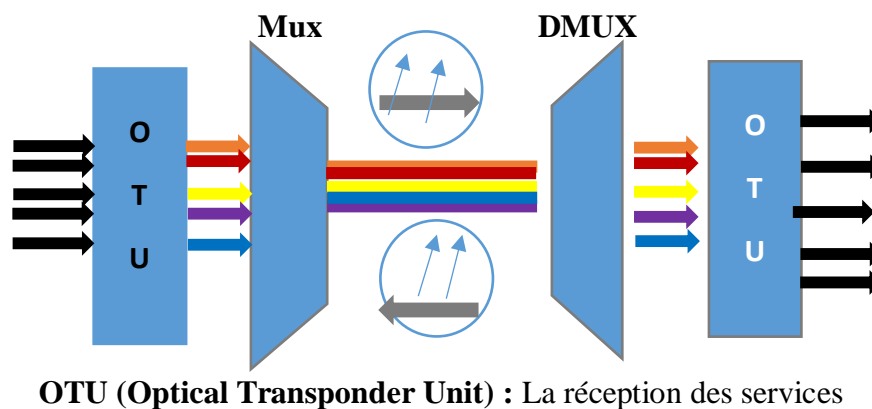
Fonctionnalité:

- Ce mode se caractérise par une économie de **50%** des ressources en fibre par rapport au mode unidirectionnel à fibre unique.
- Cependant, sa conception et l'exploitation et la maintenance du système WDM sont plus compliquées.
- Les plages de protection doivent être configurées pour séparer les longueurs d'onde afin d'éviter les interférences de signal dans deux directions, ce qui gaspille les spectres.

II.6.2 Milieu de transmission optique unidirectionnelle :

Dans le mode Unidirectionnelle à fibre unique, le système WDM transmet des signaux optiques à longueurs d'onde multiples dans des directions de réception et de transmission à travers des fibres séparées.

La figure suivant II.18 représente la transmission unidirectionnelle :



OTU (Optical Transponder Unit) : La réception des services Clients et de convertir en un signal WDM normalisé.

Figure II.17 : Transmission unidirectionnelle

Le système WDM unidirectionnelle adopte deux fibres optiques, un implémente que la transmission de signaux dans un sens, et un autre équipement (ADM) met en œuvre la transmission de signaux dans la direction opposée, largement utilisé dans le monde entier

Fonctionnalité:

- Conception simple et faibles exigences.
- Isolation simple des défauts et surveillance des performances.
- En pratique Unidirectionnelle à fibre optique et mise en réseau flexible facilitant la mise à niveau et l'expansion des capacités.

II.6.3 Bloc du récepteur optique RX :

Les récepteurs encore appelés détecteurs optiques utilisent le principe de l'effet photoélectrique. Deux types de composant peuvent être utilisés :

Les phototransistors et les photodiodes. Les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche sont les plus utilisées car elles sont peu coûteuses, simples d'utilisation et possèdent les performances adéquates.

L'atténuation et la déformation du signal sont des conséquences directes de la longueur du canal de transmission.

Afin de conserver le signal optique de la source, les systèmes de transmission optique peuvent utiliser trois types d'amplificateurs (répéteurs) :

- Regeneration (amplification seule).
- Regeneration-reshaping (amplification et remise en forme).
- Regeneration-reshaping-retiming (amplification, remise en forme et synchronisation).

On a vu dans cette section les processus, que comportent la chaîne de télécommunication optique et leurs applications dans le domaine de transmission des données et on a présenté l'essentiel sur les éléments de chaque bloc.

II.7 PON (Passive Optical Network)

Un PON est un réseau de communication qui utilise des composants optiques passifs (sans alimentation électrique) pour distribuer les signaux optiques. Les PONs sont couramment utilisés dans les réseaux d'accès, comme les réseaux FTTH (Fiber To The Home), car ils sont économiques et nécessitent moins de maintenance que les réseaux actifs.

II.8 La technologie Radio sur Fibre RoF :

II.8.1 Définition de RoF :

Le terme « Radio-sur-Fibre » (RoF) fait référence à des techniques de génération et/ou de transmission de signaux radiofréquences (RF) par voie optique [35]. La RoF est consacrée à la transmission optique de signaux analogiques micro-ondes. Par conséquent, la liaison RoF exploite l'efficacité des fibres optiques pour la distribution des signaux radio vers plusieurs points d'accès sans fil qui offrent l'avantage de la mobilité [36]. En effet, au lieu de distribuer des signaux numériques tels que l'Ethernet (IEEE 802.11ad) ou HDMI (Wireless HD) pour communiquer entre chaque point d'accès, ce qui nécessite des processus de traitement du signal tel que des conversions de signaux analogique/numérique et numérique/analogique, les systèmes RoF distribuent les signaux radio dans leur format analogique initial. Les signaux radio sont transposés sur une porteuse optique par modulation de l'intensité ou phase de la lumière d'une source laser sans changer le format de

modulation. Ceci est possible par l'utilisation de fibres optiques en silice qui offrent une large bande passante et une faible atténuation .

II.8.2 Le système de communication RoF :

Les technologies Radio-sur-Fibre s'appuient sur des technologies de transmission par fibre optique pour distribuer des signaux RF entre une station centrale (CS ou Central Station) et des modules d'antennes distribués (Remote Antenna Units : RAUs ou Stations de Bases (SB ou Base Station). Ces dernières communiquent par signaux radio avec les stations des abonnés (MS : Mobile Station) [37].

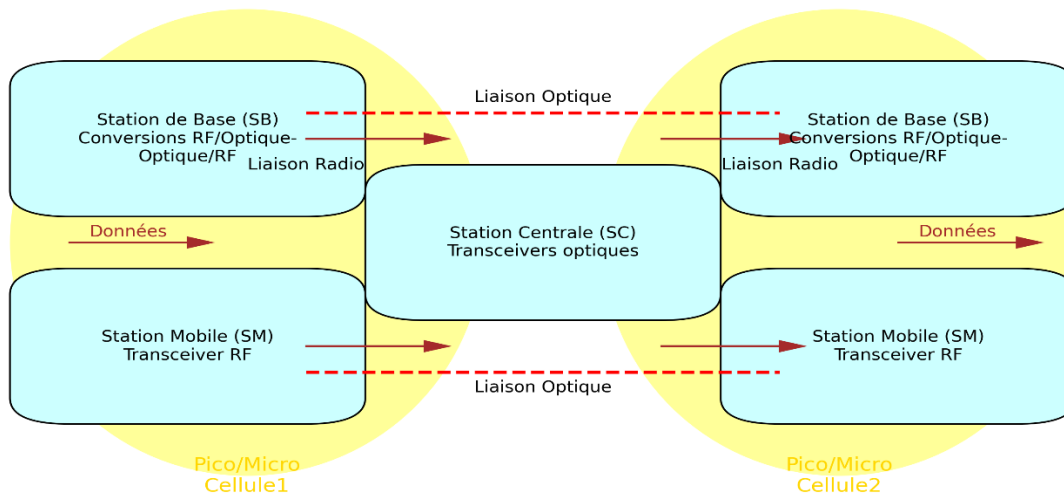


Figure II. 18 : Synoptique d'un système radio sur fibre classique

Généralement, la génération optique est implémentée dans la station centrale (CS) tandis que les signaux optiques portant des données sont transmis de la CS à la station de base (BS) par une fibre optique, où les signaux en bande de base ou à fréquence intermédiaire (IF) peuvent être transmis à BS pour d'autres applications utilisées [37]. La fréquence radio (RF) est l'étape de conversion vers le haut débit. Cette fréquence est appliquée à la liaison optique à l'aide du convertisseur électronique-optique (généralement un type de transmetteur laser). A l'extrémité de la réception, le signal RF est récupéré à partir du convertisseur optique-électronique (photodiode) [38]. Dans les systèmes de communication à bande étroite et WLAN, les fonctions de traitement de signaux RF, telles que la conversion ascendante de fréquence, la modulation de porteuse et le multiplexage, sont exécutés au niveau du BS, et immédiatement intégrées dans le module d'antenne. La technologie RoF permet de centraliser les fonctions de traitement du signal RF dans un emplacement partagé en utilisant la fibre optique afin de distribuer les signaux RF . Ainsi, la station de base dans un système RoF devient beaucoup plus simple par rapport au système traditionnel : l'adaptation aux niveaux désirés et la conversion entre le signal RF et le signal optique sont ses fonctionnalités .

II.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, l'objectif est d'apporter l'ensemble des éléments de base pour bien appréhender le fonctionnement des liaisons optiques dans l'accès, passe en revue les structures des réseaux optiques de façon générale afin de se familiariser avec les termes et les technologies employés, et présente les différentes techniques de transmission utilisées (WDM/DWDM).

Les solutions pour un accès très haut débit ont été présentées sur la base d'architectures types des futures générations de réseau PON (Passive Optical Network). Des architectures qui sont toujours en cours d'étude telles que l'architecture WDM-PON, qui possède une bande-passante très élevée, jusqu'à un débit de l'ordre de 10 Gbit/s et plus par client. Aussi, le fait que chaque abonné communique sur une longueur d'onde spécifique permet de garantir une excellente sécurité au niveau de la couche physique, et d'éviter la collision entre les abonnés. De plus, avec cette solution à base de multiplexage en longueur d'onde, on peut obtenir une transparence au niveau du protocole entre les différents ONUs. Par conséquent, le WDM est entrevu actuellement comme une solution attractive pour la future génération d'accès optique et c'est l'une des solutions sur laquelle repose le travail de simulation présenté ultérieurement. Son inconvénient majeur est en revanche le coût élevé des sous-systèmes d'émetteur-récepteur. L'idée du PON WDM est d'utiliser à la fois les avantages de l'allocation dynamique de la bande passante et la capacité du WDM pour augmenter le nombre de clients par PON.

**Chapitre III : system WDM PON radiofréquence en application
réseaux cinquième génération.**

III. Introduction :

Les systèmes de communication optique se développent rapidement, l'analyse de ces systèmes est très complexe et nécessite des outils logiciels avancés. OptiSystem est un de ces logiciels qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de communication optique.

Au cours ce chapitre, nous allons décrire le simulateur OptiSystem, et définir les éléments utilisés comme critères de qualité pour évaluer la qualité de la transmission des données des utilisateurs. Par la suite, nous présenterons l'étude et la conception d'un système de transmission optique. En utilisant la technique WDM précisément DWDM.

III.1 Présentation de logiciel de simulation OptiSystem :

OptiSystem (Optical communication System Design Software) est un logiciel de simulation développé par une société canadienne qui permet aux chercheurs et ingénieurs de simuler, modéliser, analyser et concevoir n'importe quel module de système optique. Allant du dispositif le plus basique au système complet de communication, c'est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur très simple.

III.1.1 Interface de l'Optisystem :

L'interface Optisystem contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties une bibliothèque, un éditeur du layout et une fenêtre pour les Projets en cours.

La bibliothèque: est une base de données qui contient tous les types de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas modulaires.

La figure III.1 suivante représente la Bibliothèque de logiciel OptiSystem :

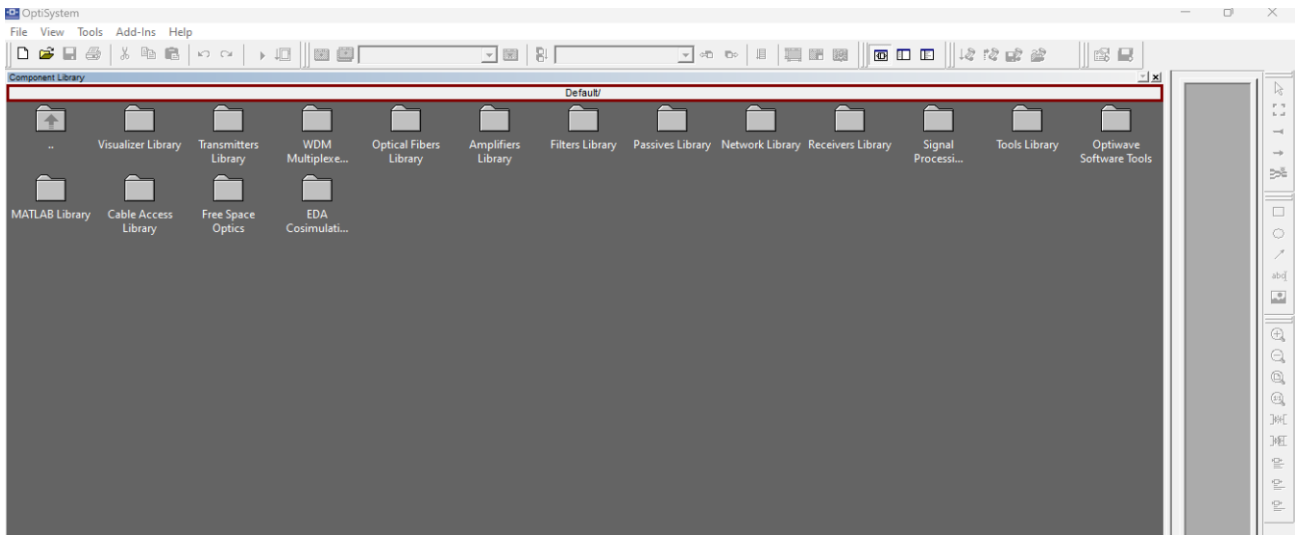


Figure III.1 Bibliothèque de logiciel OptiSystem.

Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de Conception.

La figure III.2 représente Editeur de layout :

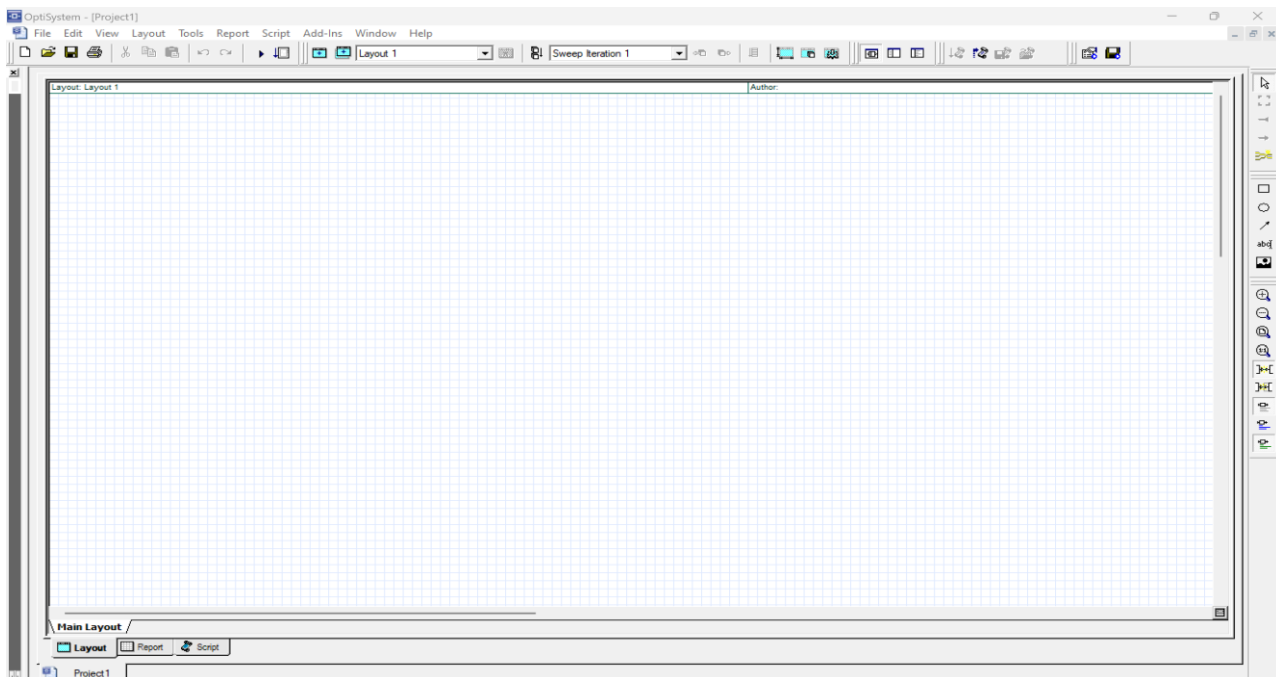


Figure III.2 Editeur de layout.

Projet en cours (layout description) : visualise divers fichiers et composants correspondants au projet en cours.

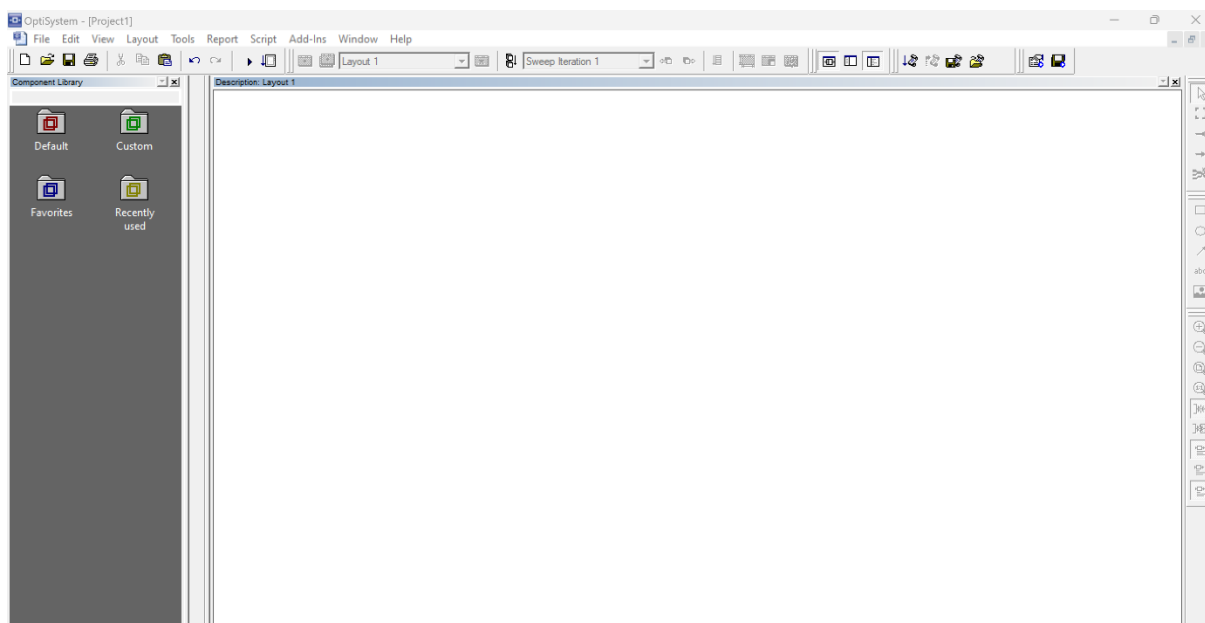


Figure III.3 Fenêtre de description

III.1.2 Création et lancement d'une simulation :

Pour créer un nouveau fichier cliquez sur FILE après NEW une nouvelle fenêtre apparaîtra (layout).

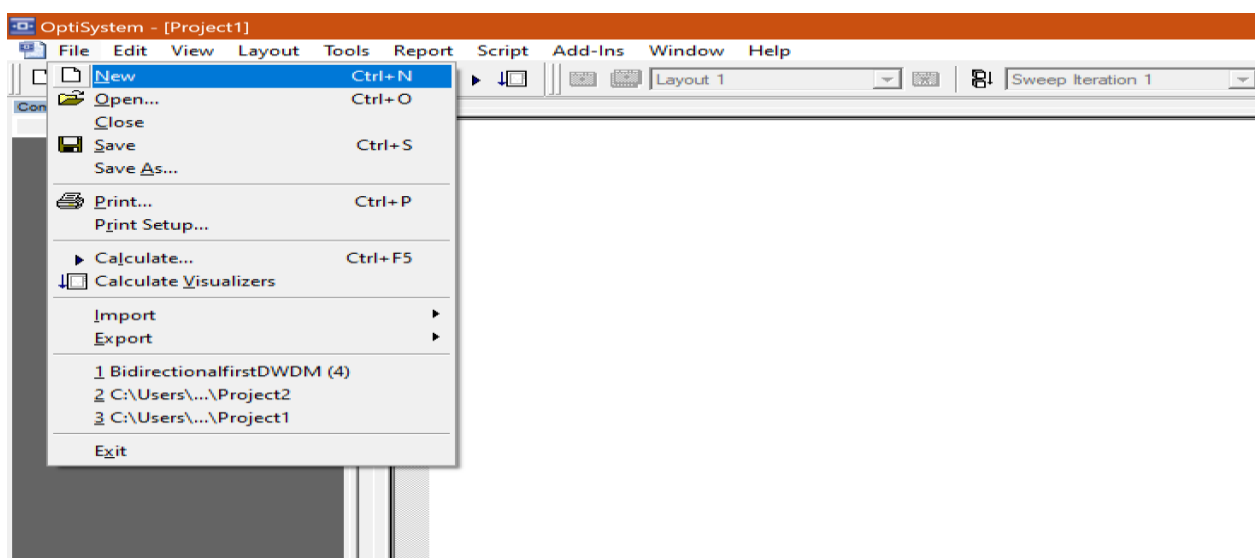


Figure III.4 Création de nouveau fichier.

Pour insérer un composant par exemple WDM multiplexeur de la bibliothèque OptiSystem, il suffit d'accéder au bloc Default, on choisit le fichier qui contient tous les différents composants de multiplexage (WDM multiplexers library), puis on clique sur le multiplexers après on choisit WDM mux et on le glisse vers la fenêtre d'éditeur du layout.

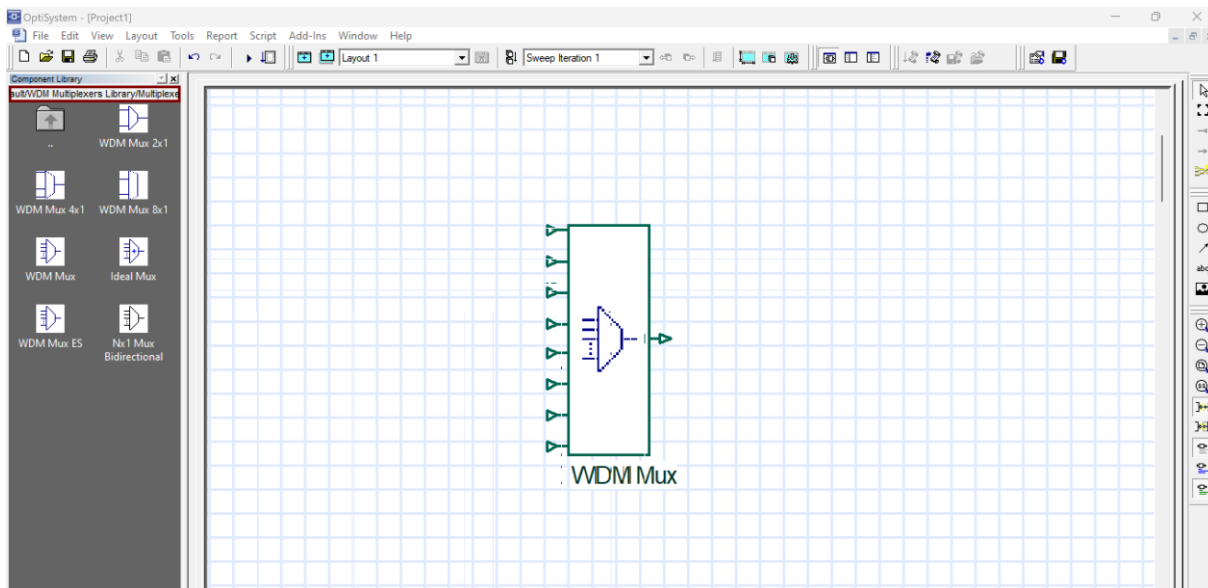


Figure III. 5 WDM MUX.

Par deux clics sur ce composant utilisé, on obtient une fenêtre qui contient toutes ces caractéristiques comme on peut changer ces paramètres.

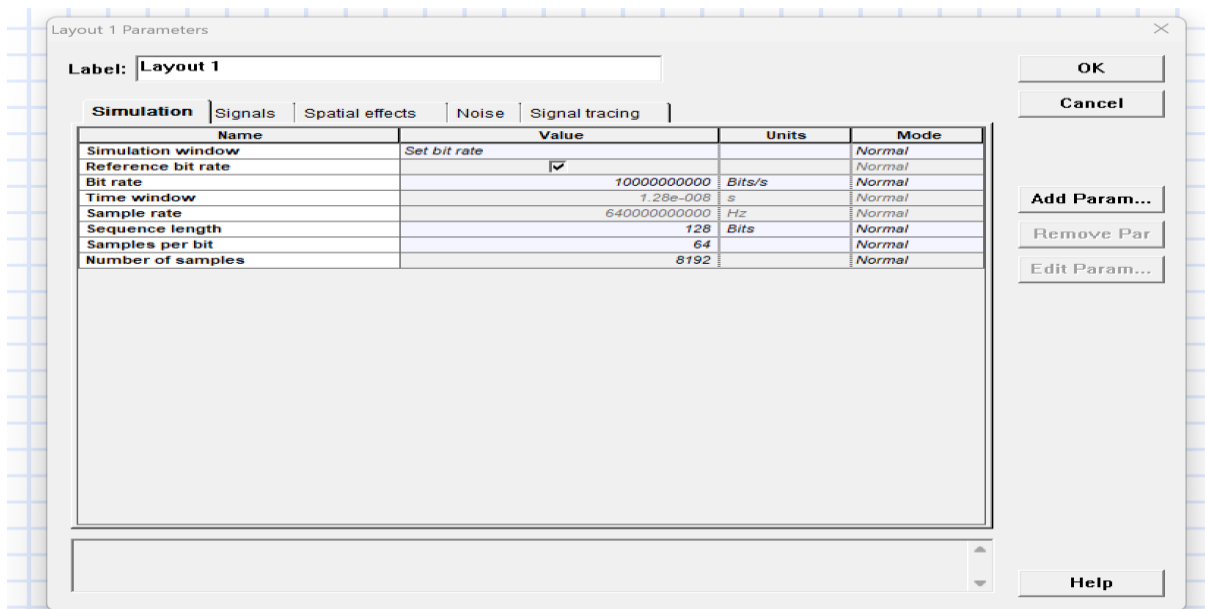


Figure III.6 Interface de définition du WDM MUX.

Pour exécuter une simulation, procédez comme montre dans la figure suivante :

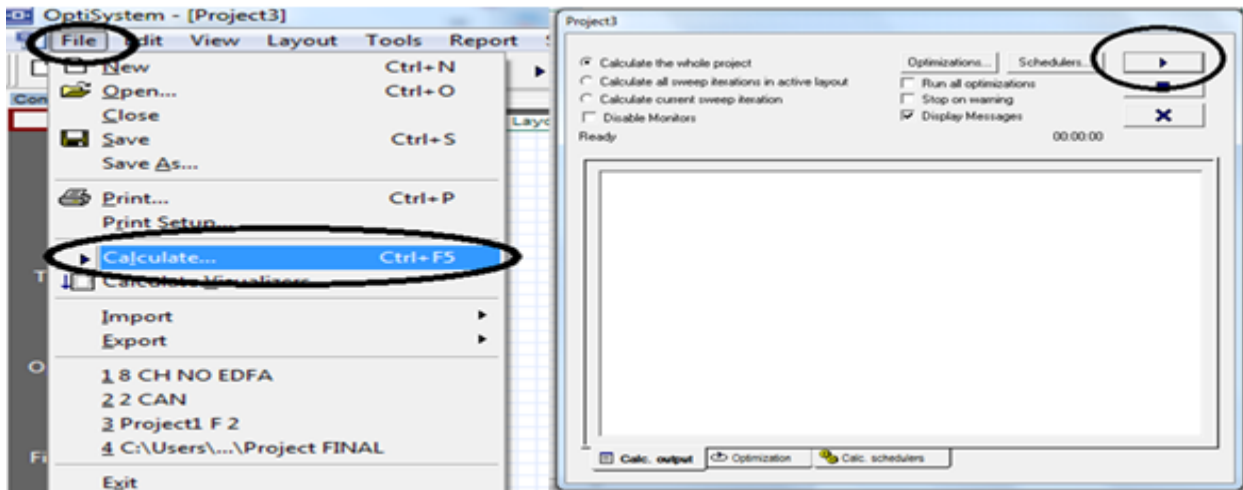


Figure III.7 Fenêtre montre les procédés de lancement de la simulation

III.1.3 Critère de qualité d'une transmission :

Pour définir la qualité d'une transmission optique, différents critères existent, Les trois principaux critères pour déterminer la qualité de transmission d'un signal sont :

Diagramme de l'œil (eye diagram), taux d'erreurs binaires (BER), facteur de qualité (Q).

III.1.3.1 Diagramme de l'œil :

Le diagramme de l'œil est un moyen visuel efficace jugeant la qualité du signal il permet d'avoir une idée de la qualité du signal en termes de bruit d'amplitude, d'interférences entre symboles, de gigue temporelle, il est obtenu dans le domaine électrique après la détection par une photodiode et un filtre Le principe général plus le diagramme de l'œil est fermé Plus le signal est de mauvaise qualité. La largeur est liée à la facilité à synchroniser et différencier les échantillons successifs alors que la hauteur du lobe central traduit le rapport d'énergie entre le signal original et le bruit de canal [19].

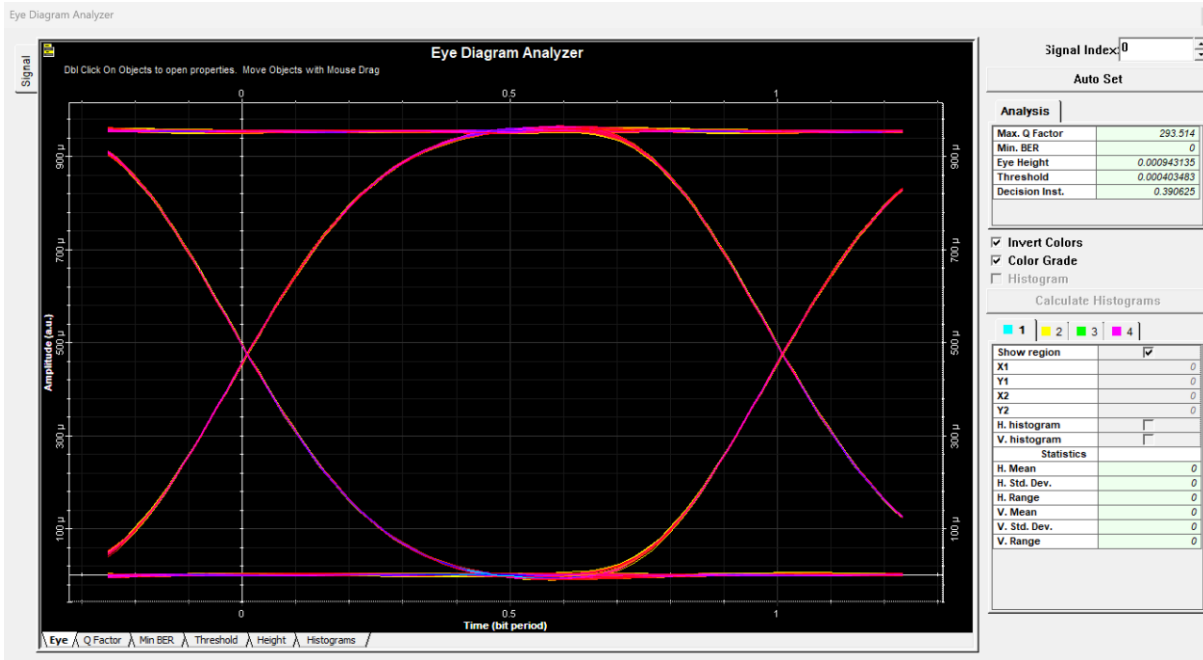


Figure III.8 : Affichage de Diagramme de l'œil d'un signal.

III.1.3.2 Taux d'erreurs binaires (BER : Bite Error Rate) :

Le taux d'erreur binaire BER est le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits émis :

$$BER = \frac{\text{Nombres de bits erronées}}{\text{Nombres de bits transmis}} \quad (III.1)$$

Le récepteur prend une décision sur la présence d'un symbole "1" ou "0" selon le niveau de signal reçu à un instant donné appelé instant de décision. Si les fluctuations d'amplitude et temporelles sont importantes, la tension d'un symbole "1" peut passer au-dessous du seuil et la tension d'un symbole "0" au-dessus du seuil, des erreurs sont alors commises, Un TEB acceptable à la réception est généralement inférieur à 10^{-9} [20].

La mesure de qualité globale d'un système de canaux multiplexés en longueurs d'onde passe nécessairement par une mesure du BER de tous les canaux. Si un seul canal parmi plusieurs présentes des erreurs, BER du système global est proche de celui du canal présentant des erreurs.

III.1.3.3 Facteur de qualité (Q Factor) :

Facteur de qualité est un critère de qualité d'un signal optique, il est le rapport signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur, il est défini par [21] :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\delta_1 - \delta_0} \quad (III.2)$$

Où μ_0 et μ_1 sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile δ_0 et δ_1 sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

Le facteur de qualité a une relation avec taux d'erreur binaire (TEB) :

$$BER = \frac{1}{2} \times erfc \times \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (III.3)$$

Ou *erfc* la fonction erreur complémentaire définit par :

$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (III.4)$$

III.1.4 Avantages du logiciel OptiSystem :

Optisystem II présente de nombreux avantages, parmi lesquels :

- Fournir un aperçu de performances du système mondial de fibres optiques.
- Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation [22].

III.2 Les composantes d'une liaison optique :

Cette partie nous décrira la description des composants présents dans un système de transmission optique. Ces derniers sont choisis en fonction des objectives de simulation, et nous avons détaillé leurs fonctionnements et leurs limites.

III.2.1 WDM Mux :

c'est un multiplexeur optique qui regroupe sur une même sortie plusieurs longueurs d'onde issues de différentes entrées.

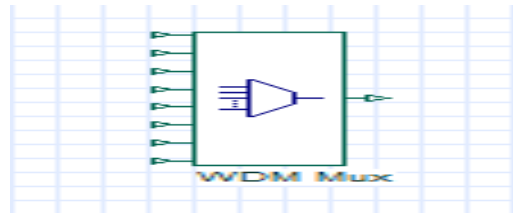


Figure III.9 : Modèle de simulation d'un multiplexeur.

III.2.2 Fibre optique SMF :

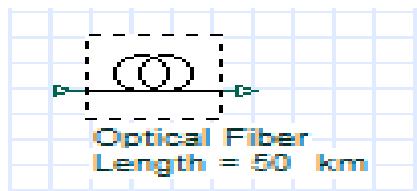


Figure III.10 : Modèle de simulation pour une fibre optique

Les paramètres caractéristiques d'une SMF sont dans le tableau suivant :

Name	Value	Units	Mode
Simulation window			Normal
Reference bit rate	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	1000000000	Bits/s	Normal
Time window	1.28e-008	s	Normal
Sample rate	64000000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

Figure III.11 : Paramètres caractéristiques d'une fibre optique

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Group velocity dispersion	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Third-order dispersion	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Dispersion data type	Constant		Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency domain parameters	<input type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Dispersion	16.75	ps/nm/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Dispersion slope	0.075	ps/nm ² /km	Normal
<input type="checkbox"/>	Beta 2	-20	ps ² /km	Normal
<input type="checkbox"/>	Beta 3	0	ps ³ /km	Normal
<input type="checkbox"/>	Dispersion file format	Dispersion vs. wavelength		Normal
<input type="checkbox"/>	Dispersion file name	Dispersion.dat		Normal

Figure III.12 : Paramètres de dispersion d'une fibre optique.

III.2.3 Démultiplexeur WDM :

C'est un filtre de longueur d'onde il fait l'opération inverse d'un multiplexeur.

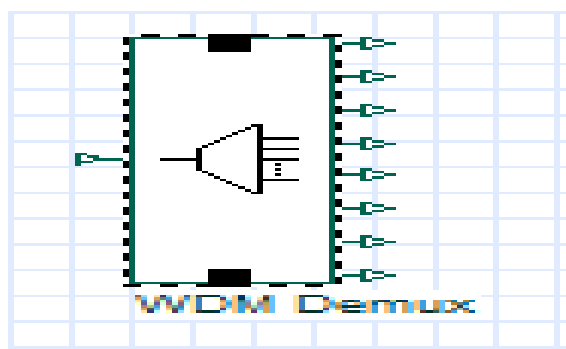


Figure III.13 : Modèle de simulation d'un démultiplexeur.

Les paramètres caractéristiques d'un WDM Demux sont dans le tableau suivant :

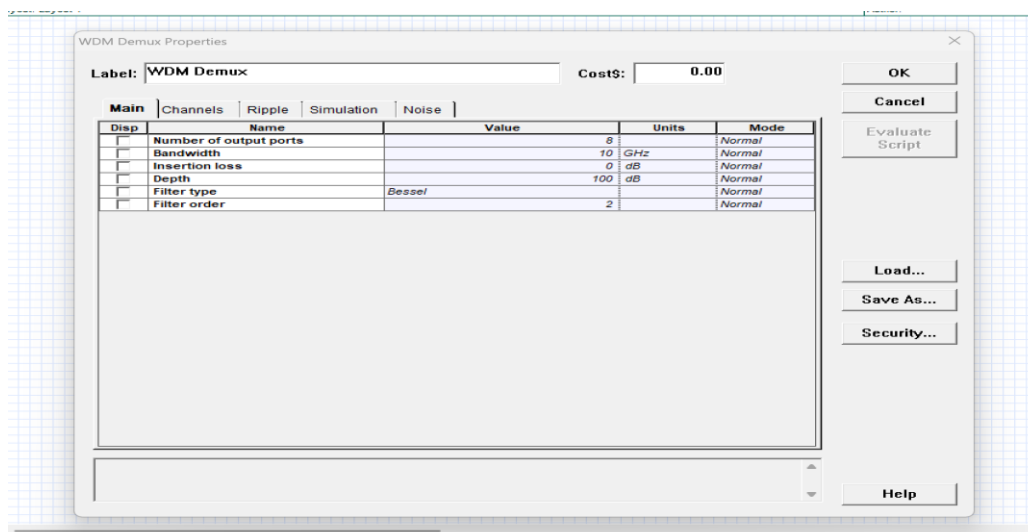


Figure III.14 : Paramètres caractéristiques d'un WDM Demux.

III.2.4 Récepteur optique :

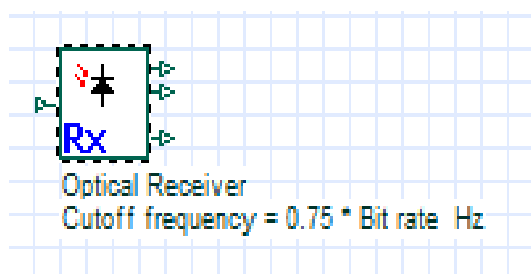


Figure III.15 : Modèle de simulation d'un Rx.

Les paramètres caractéristiques d'un Optical receiver sont dans le tableau suivant :

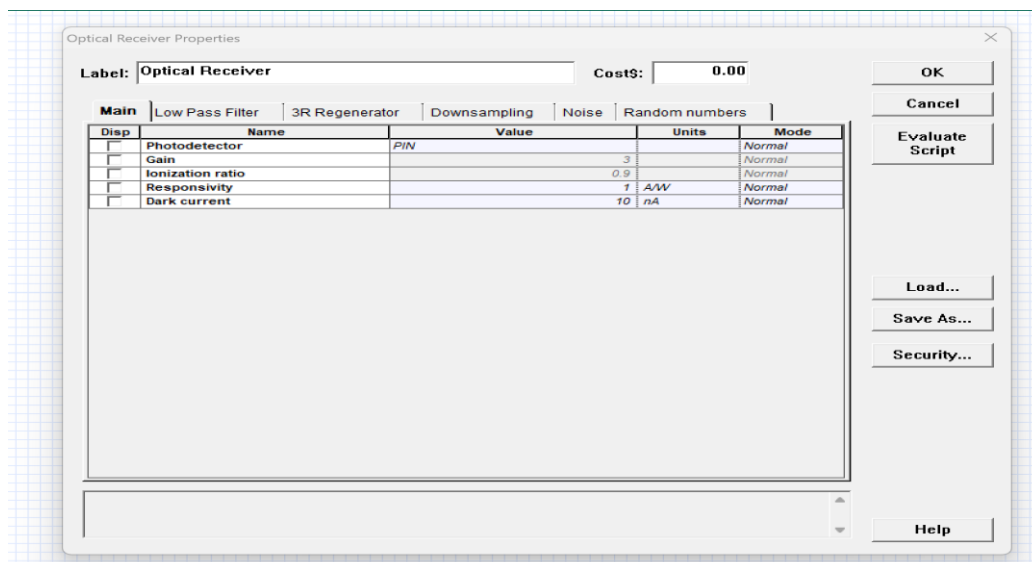


Figure III.16 : Paramètres caractéristiques d'un Rx.

III.2.5 Amplificateur optique :

Il est pour rôle d'amplifier simultanément plusieurs signaux multiplexés en longueurs d'onde. Ces paramètres caractéristiques sont présentés dans le tableau suivant :

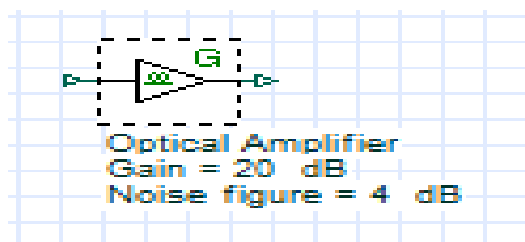


Figure III.17 : Modèle de simulation d'un amplificateur optique.

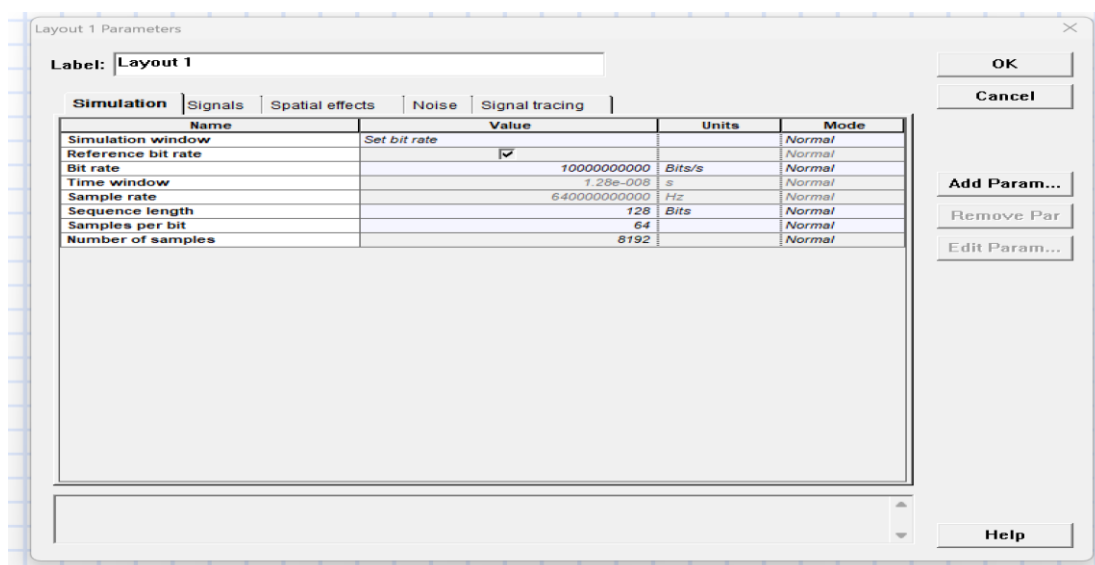


Figure III.18 : Paramètres caractéristiques d'un EDFA.

III.2.6 Analyseur BER :

Le bloc 'BER analyser' nous permet de calculer le seuil de décision, évaluer le BER et le Q factor et nous permet encore de visualiser le digramme de l'œil.

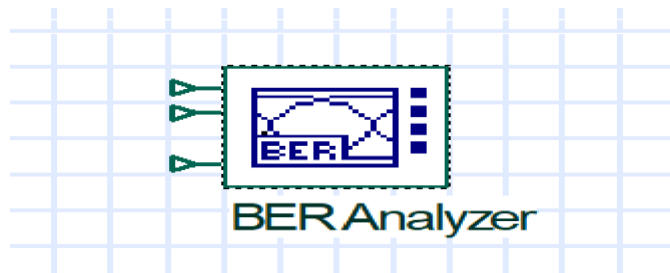


Figure III.19 : Modèle de simulation d'un analyseur BER.

III.2.7 CW Laser :

La source laser à semi-conducteurs CW doit fournir une lumière stable dans une bande passante étroite et spécifique qui transporte des données numériques modulées par un signal analogique.

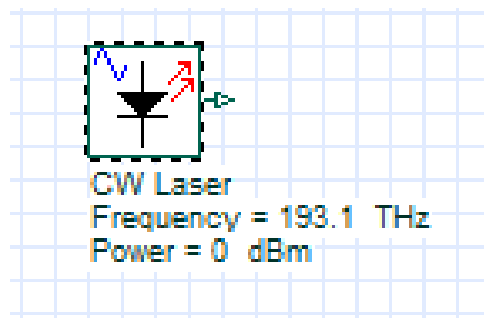


Figure III.20 : Modèle de simulation de CW Laser

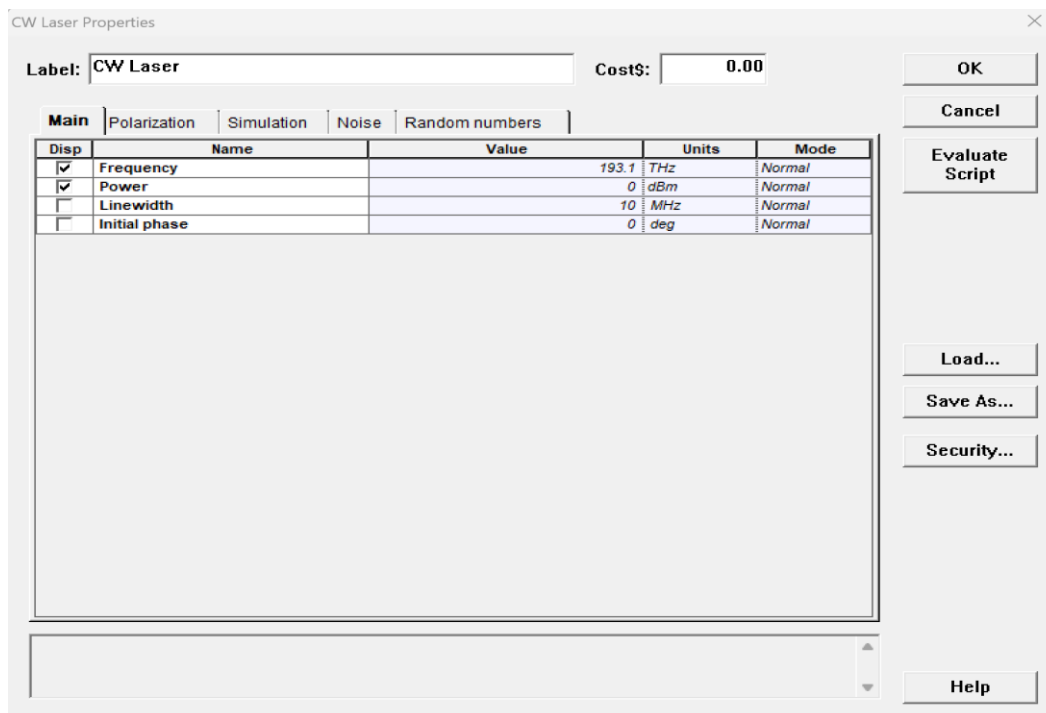


Figure III.21 : Paramètres caractéristiques d'un CW LASER.

III.2.8 Analyseur du spectre optique :

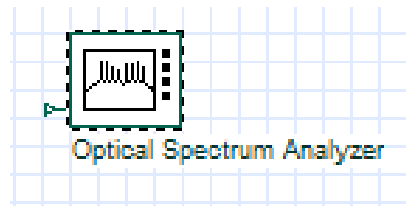


Figure III.22 : Model de simulation d'un analyseur du spectre optique

III.2.9 Analyseur de diagramme de l'œil :

Il nous permet de visualiser la qualité d'un signal dans le domaine temporel en superposant un grand nombre de séquence au moyen d'un oscilloscope synchronisé sur le signal d'horloge de signal de données. Et pour superposer tous les bits il suffit de faire glisser temporellement chaque séquence bit à bit.

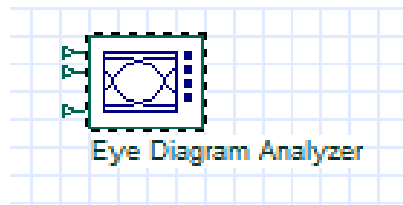


Figure III.23 : Modelé d'un diagramme de l'œil

Remarque :

L'ouverture de l'œil caractérise le bruit et les distorsions de l'œil bien ouvert permettront au dispositif de démoduler les signaux transmis. Si l'ouverture de l'œil est fermée ça traduira inévitablement par de nombreuses erreurs de transmission.

III.2.10 Générateur d'une séquence binaire :

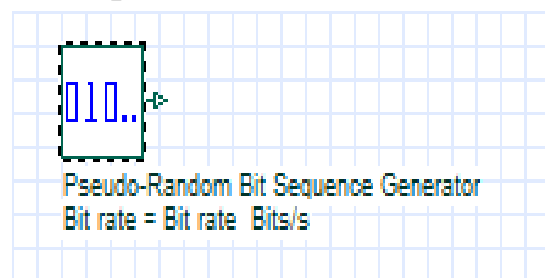


Figure III.24 : Modelé d'un diagramme de l'œil

C'est une information numérique dont les paramètres caractéristiques de la séquence binaire sont représentés dans le tableau suivant :

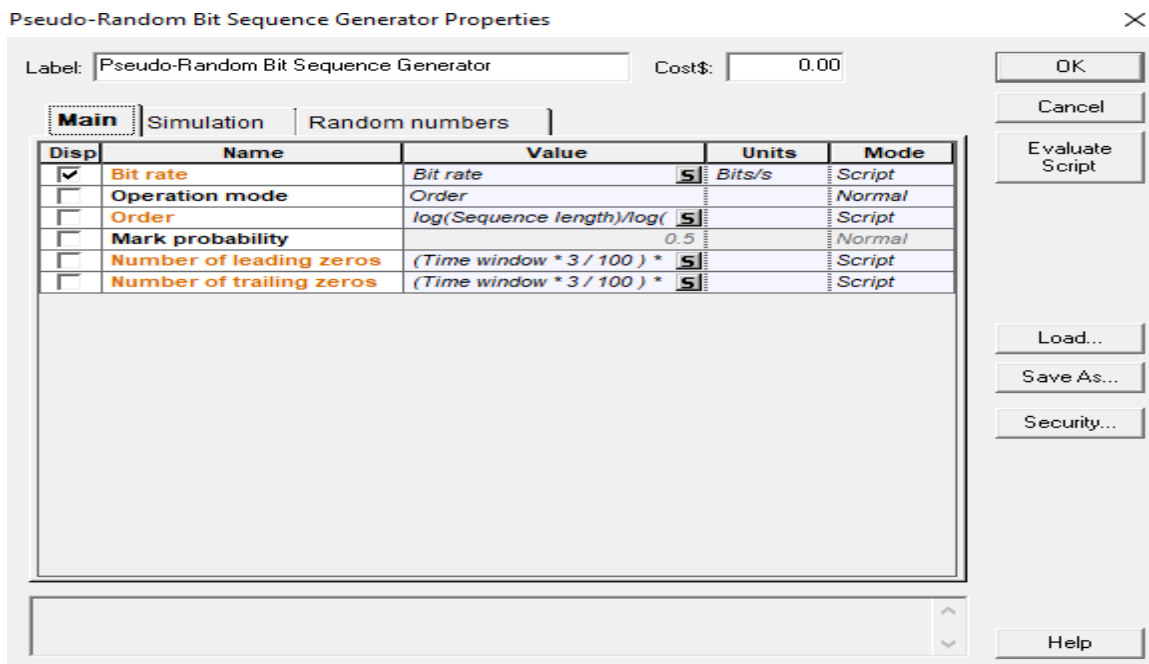


Figure III.25 : Paramètres caractéristiques du générateur d'une séquence binaire

III.2.11 Générateur NRZ :

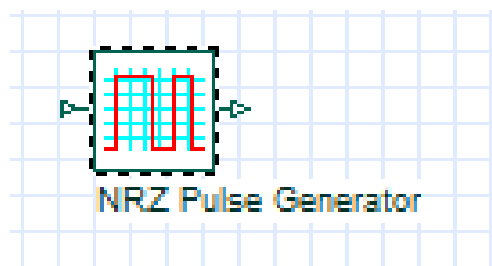


Figure III.26 : modèle de simulation d'un générateur NRZ

Un signal optique modulé en NRZ est la copie conforme de signal binaire électrique. Un (0) est codé par un signal faible puissance. Un (1) est codé par un signal fort puissance.

III.2.12 Circulateur :

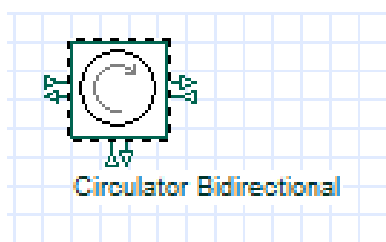


Figure III.27 : Circulateur bidirectionnel

III.2.13 Emetteur WDM :

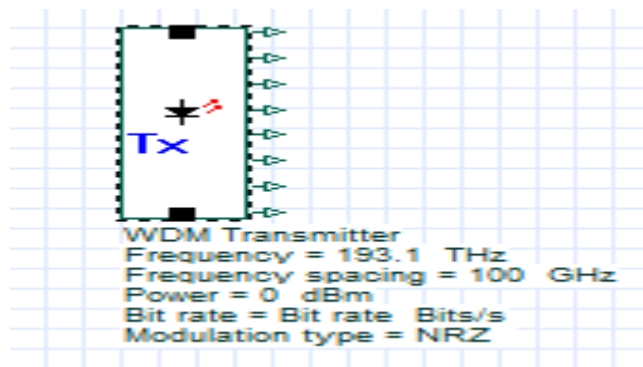


Figure III.28 : Emetteur WDM

III.3 Résultats de simulation et interprétations :

III.3.1 Scénario 1 pour une liaison optique simple :

A. L'effet de la variation de la distance de fibre optique SMF à 10 Gbit/s :

Dans cette partie, une liaison optique simple a été conçue à 10 Gbit/s à l'aide du logiciel de simulation OptiSystem 7.0. Le schéma de base de la configuration de la simulation est présenté sur la figure 4.8. La section émettrice consiste à une source de données qui produit une séquence pseudo-aléatoire de bits à 10 Gbit/s. Le générateur d'impulsions électriques (NRZ ou RZ selon le format de modulation requis) convertit les données de base en impulsions électriques qui modulent l'allumage du laser via le biais du modulateur externe Mach-Zehnder. Après la modulation, les données sont envoyées via une fibre optique de type SMF, la longueur d'onde du signal source qui se propage dans la fibre est autour de 1550 nm, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique SMF utilisées, sont respectivement, 0.2 dB/km et 17 ps/nm/km. Du côté du récepteur, les données reçues de la sortie de fibre optique SMF sont détectées par un photodétecteur, type de PIN, puis sont passées par un filtre Bessel électrique passe-bas et un analyseur BER ou bien un analyseur de diagramme

d'œil. Pour juger la performance de la liaison optique simple proposée de la figure 4.8, nous avons sélectionnés un TEB (BER) d'environ 10^{-9} et le facteur de qualité du signal reçu d'environ 6 DB.

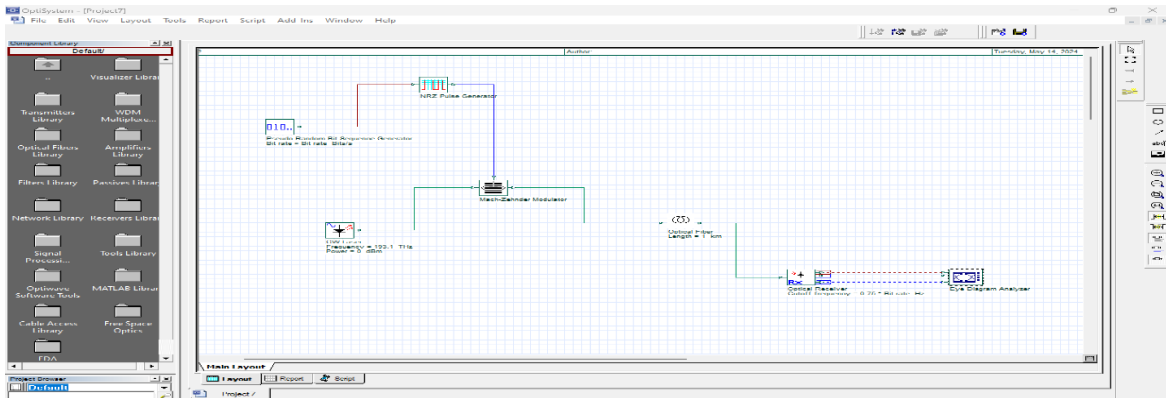


Figure III.29 : Simulation d’une transmission pour un canal

Cependant, l'objectif dans cette partie est d'évaluer la performance de la liaison optique simple proposée de la Figure III.30, selon la variation de la distance de fibre optique SMF à 10 Gbit/s, afin d'observer l'effet de cette dernière à propos de l'efficacité d'une liaison WDM qui sera suggéré dans un autre scénario.

Selon les résultats obtenus dans les deux figures III .31 et 32, nous avons enregistré que l'augmentation de la portée de la fibre optique SMF, à partir de 10 km jusqu'au 80 km, a une nette influence sur la liaison optique simple proposée dans la Figure III.30 Comme conclusion, la performance d'une liaison optique peut être détériorée à cause de l'augmentation de la distance de la fibre optique. À titre d'exemple, en termes de taux d'erreur binaire, nous avons obtenu les valeurs suivantes, sont respectivement : 10 km ($4.91 * 10^{-260}$), 40 km ($7.87 * 10^{-23}$), 74.5 km ($2.36 * 10^{-8}$) et 80 km ($1.52 * 10^{-3}$). En revanche, en terme du facteur de qualité, nous avons obtenu les valeurs suivantes, sont respectivement : 10 km (34.42), 40 km (9.76), 74.5 km (5.855) et 80 km (2.931).

Distance (L) km	10	40	70	80
Facteur de qualité (Q) dB	34.42	9.76	5.855	2.931
Taux d'Erreur Binaire (BER) D'erreur	$4,91 * 10^{-260}$	$7,87 * 10^{-23}$	$2,36 * 10^{-8}$	$1,52 * 10^{-3}$

Tableau III.1 : Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF

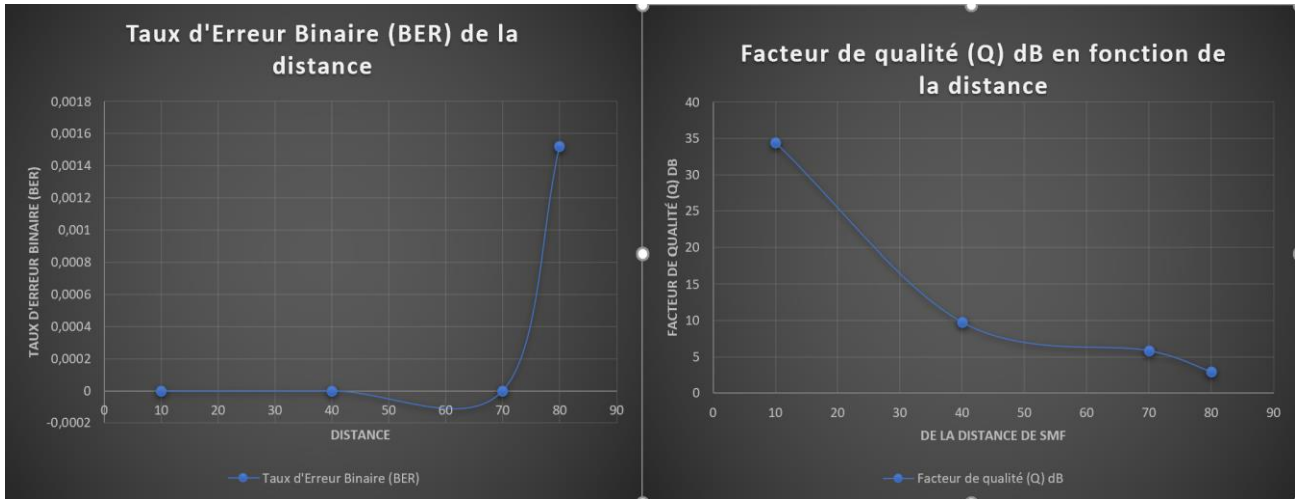


Figure III.30 : la distance de SMF en fonction de (FAQ) et (BER).

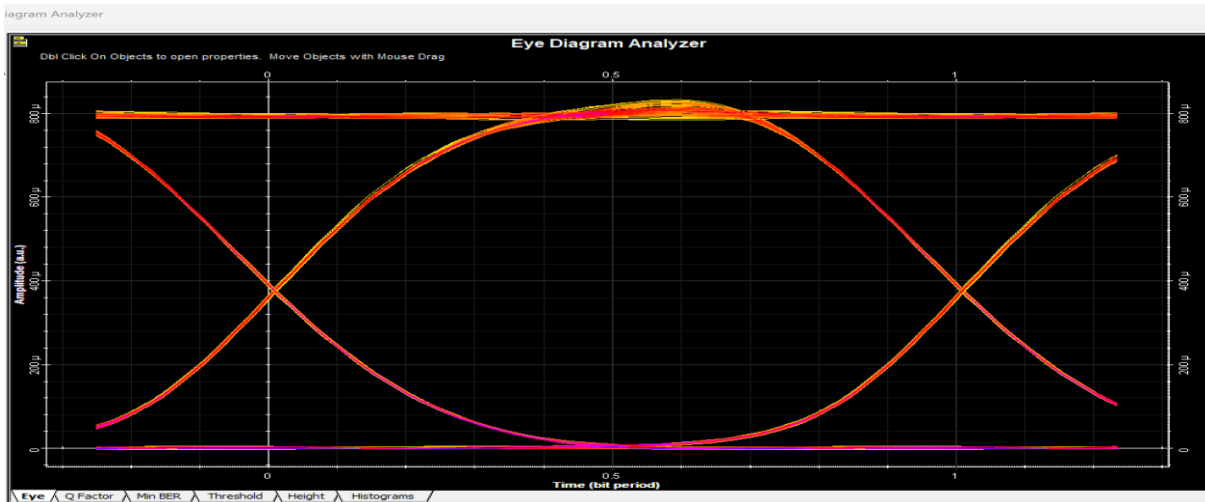


Figure III.31 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 10km)

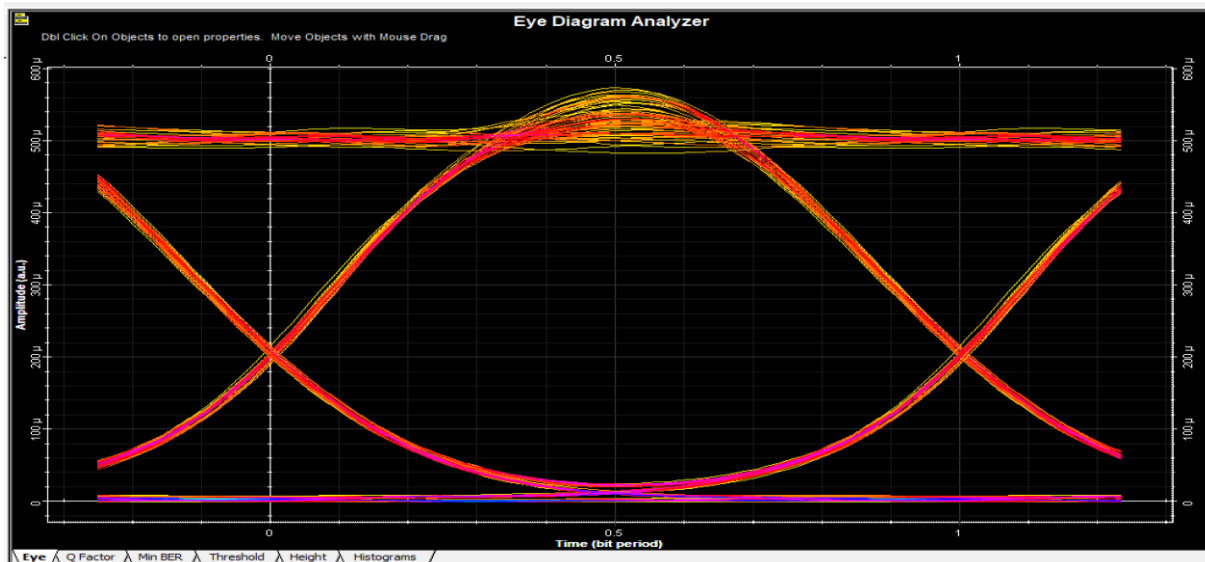


Figure III. 32 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 40 km).

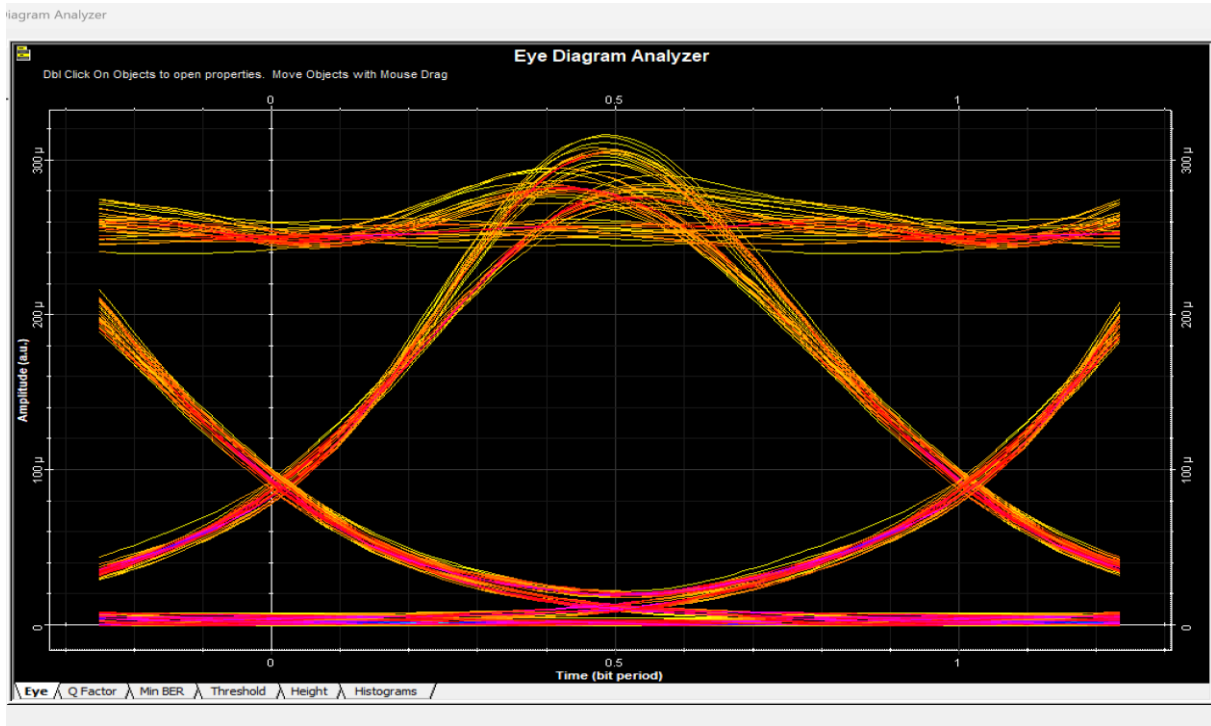


Figure III.33 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 70km).

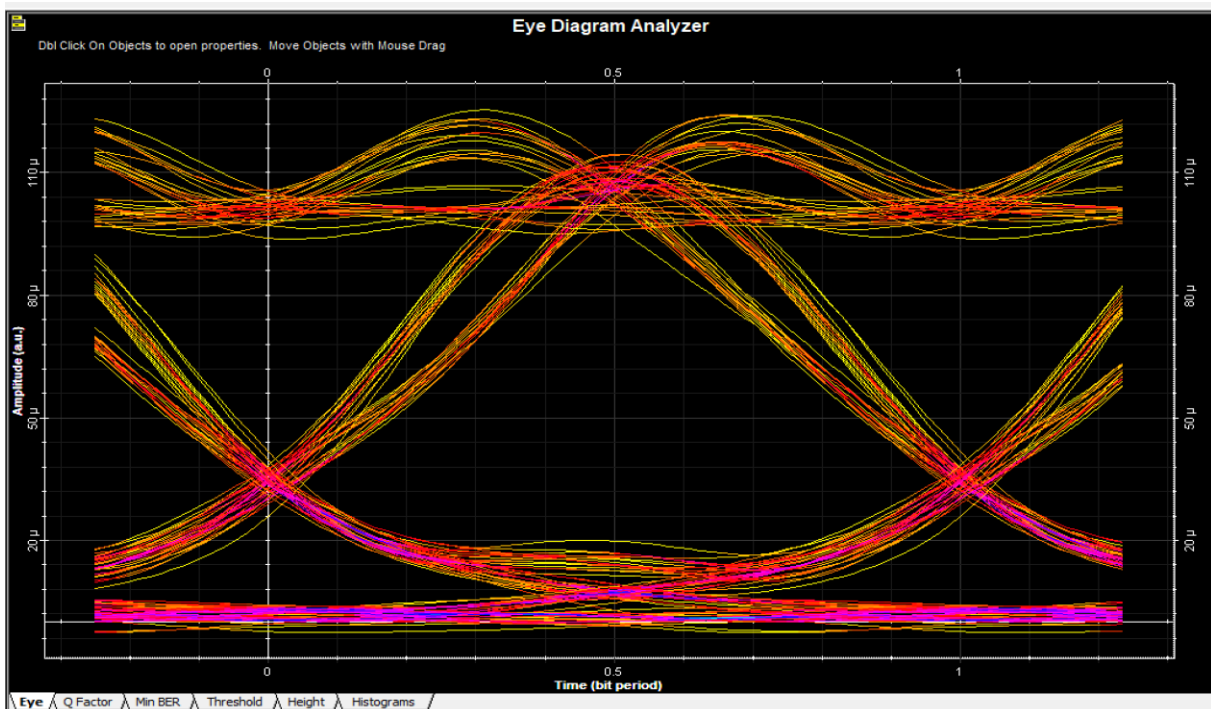


Figure III.34 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF (pour une distance de 80 km).

b. Simulation d'un système WDM à 2 canaux :

Dans cette partie nous allons faire une simulation d'un système WDM à 2 canaux sous le logiciel Optisystem, Le schéma utilisé est illustré dans la figure :

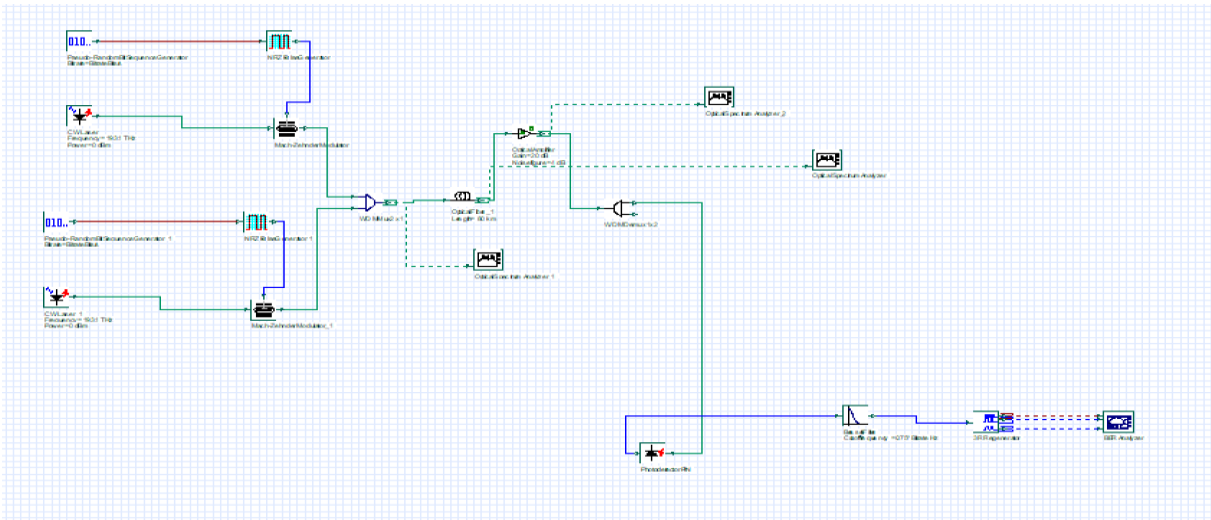


Figure III.35 : Simulation d'une transmission pour deux canaux

La figure suivante représente la simulation de spectre du signal à l'entrée de la fibre.

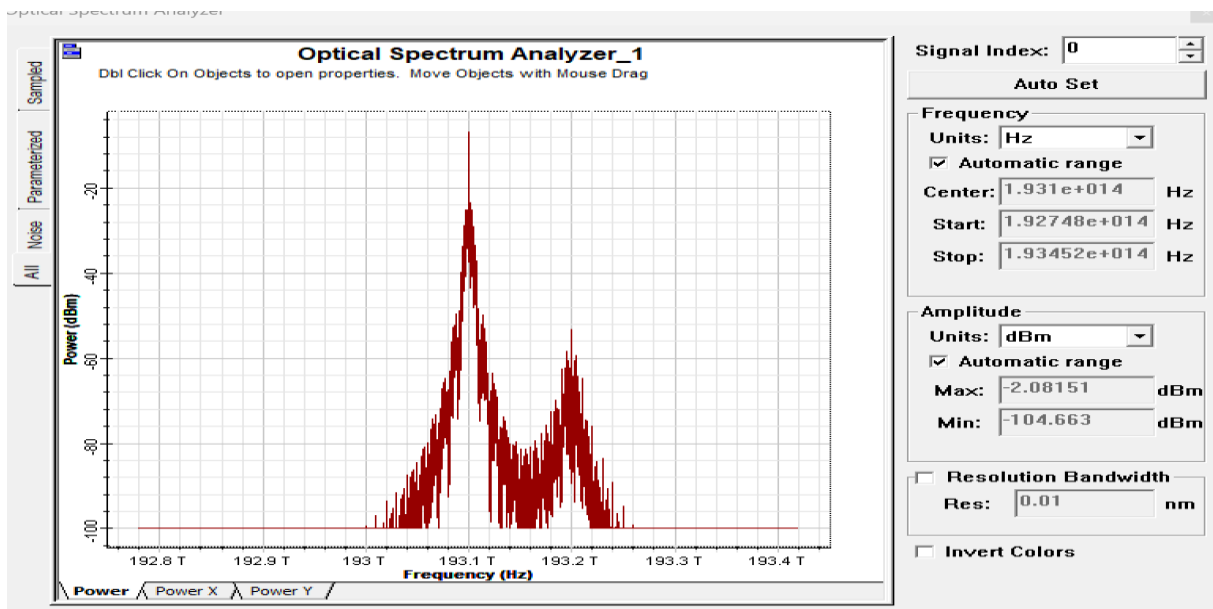


Figure III.36 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre.

La figure suivante représente la simulation de spectre du signal à la sortie de la fibre.

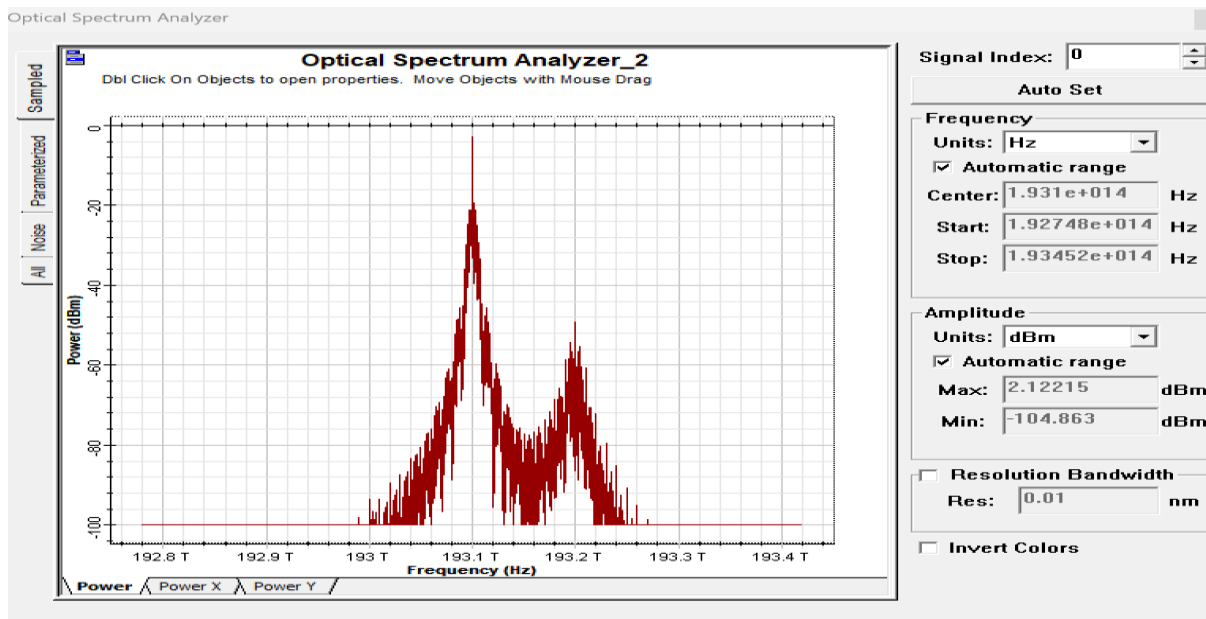


Figure III. 37 : Le spectre du signal à la sortie de la fibre.

Distance (L) km	10	40	70	80
Facteur de qualité (Q) Dbm	4.798	4.203	3.396	4.96
Taux d'Erreur Binaire (BER) d'erreur	5.81×10^{-7}	1.023×10^{-5}	2.8×10^{-4}	3.402×10^{-7}

Tableau III 2 : Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF WDM.

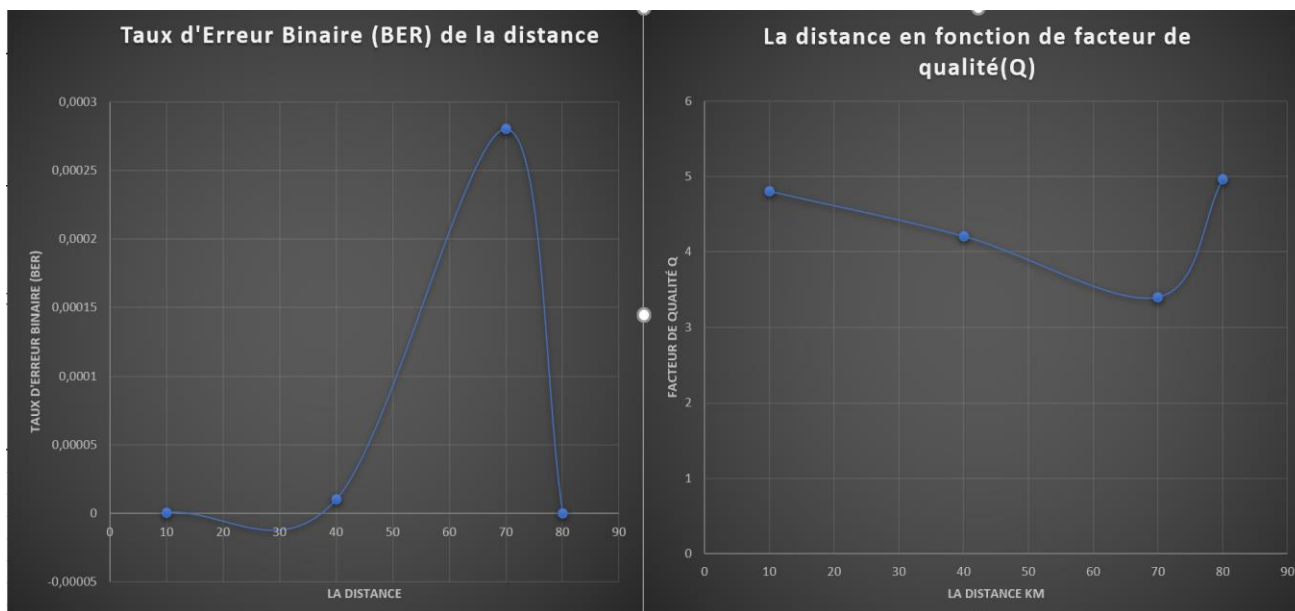


Figure III.38 : la distance de SMF en fonction de Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) WDM.

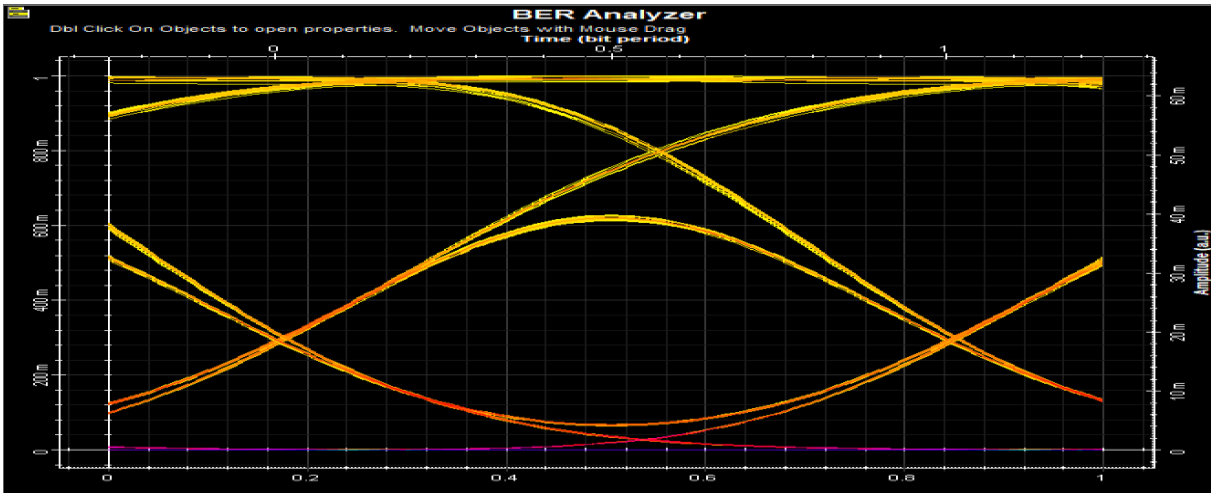


Figure III.39 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 10km)

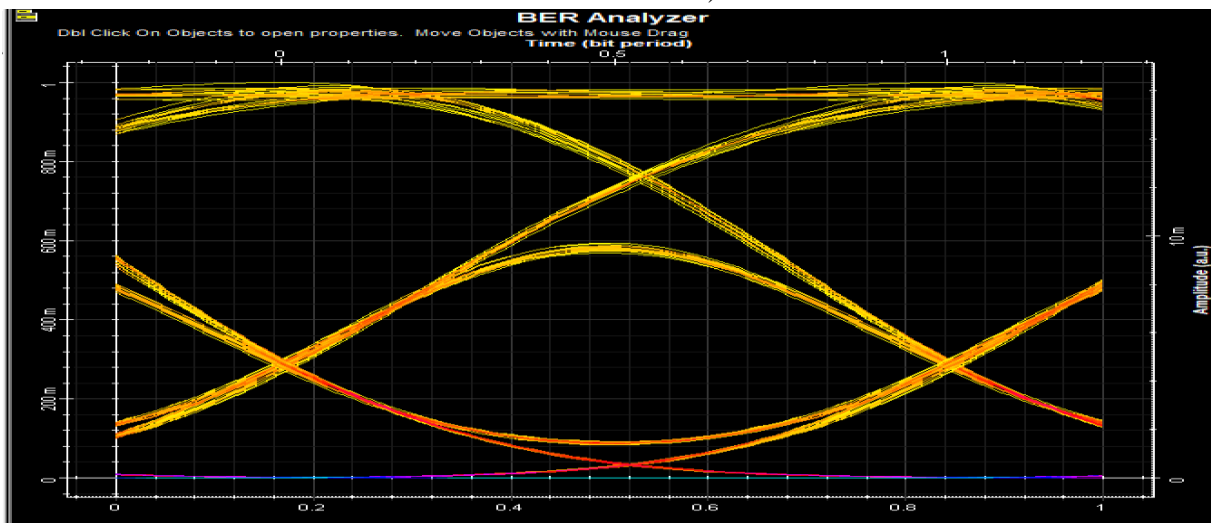


Figure III. 40 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 40km)

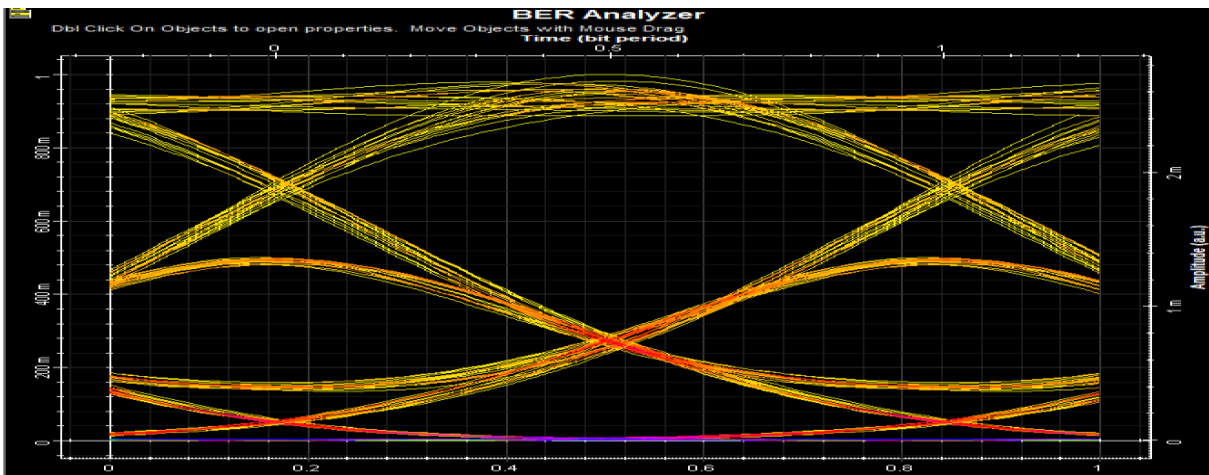


Figure III.41 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 70km)

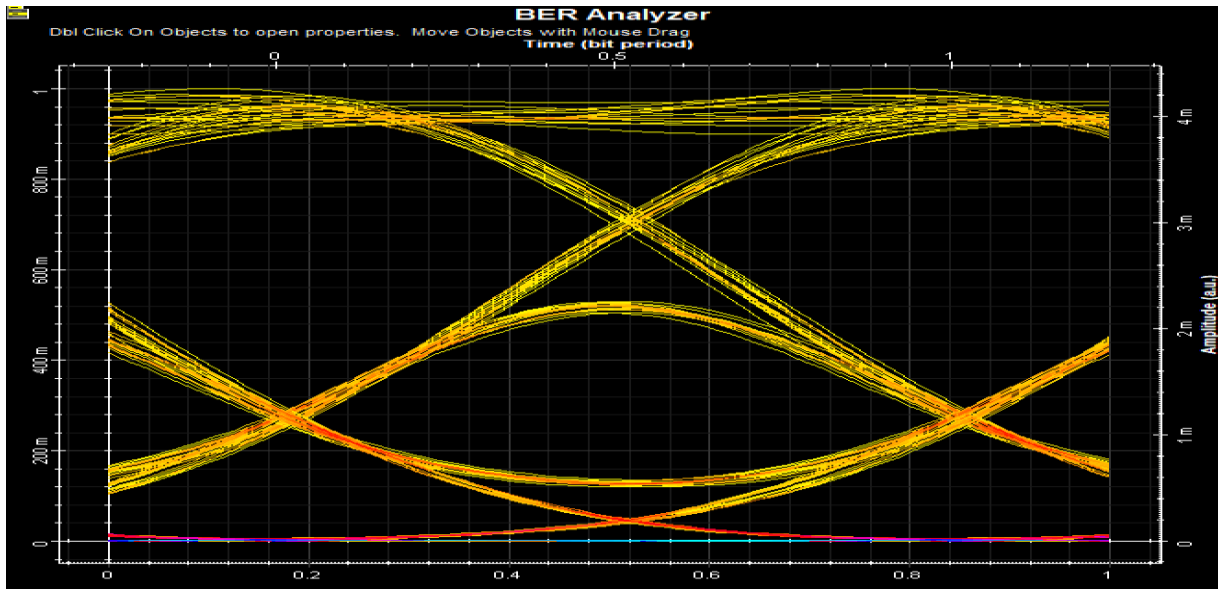


Figure III. 42 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 80 km).

c. Simulation d'un système WDM à 4 canaux :

Dans cette partie nous allons faire une simulation d'un système WDM à 4 canaux sous le logiciel Optisystem, Le schéma utilisé est illustré dans la figure :

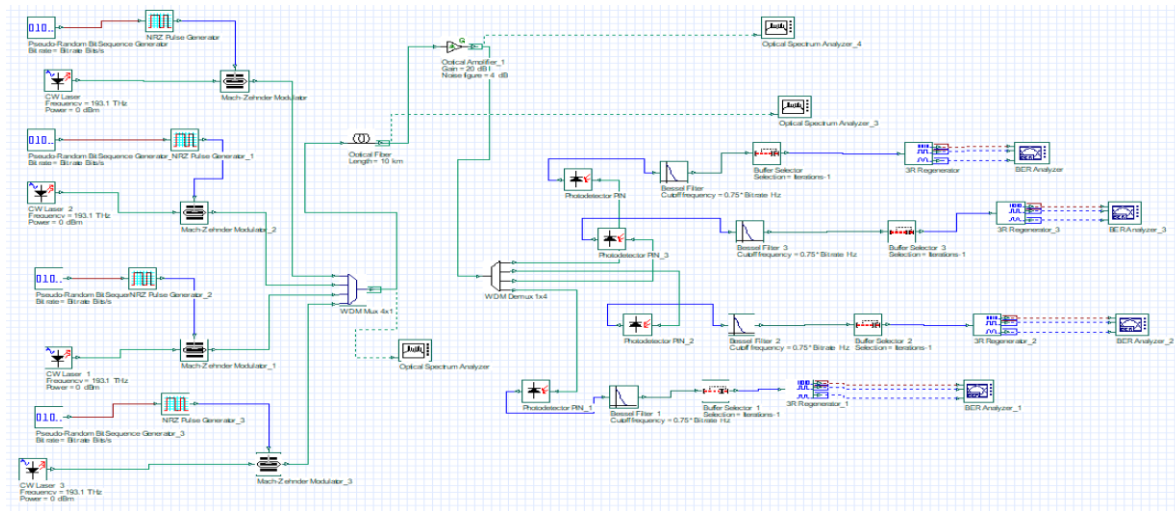


Figure III.43 : Simulation d'une transmission pour quatre canaux.

La figure suivante représente la simulation de spectre du signal à l'entrée de la fibre.

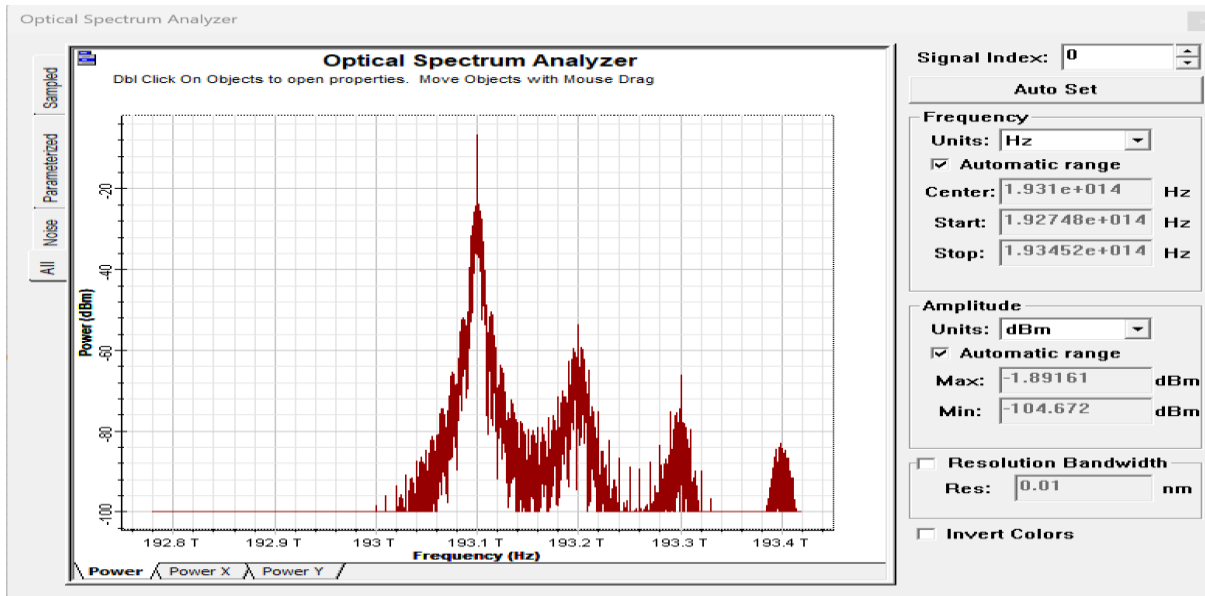


Figure III.44 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre.

La figure suivante représente la simulation de spectre du signal à l'entrée de la fibre.

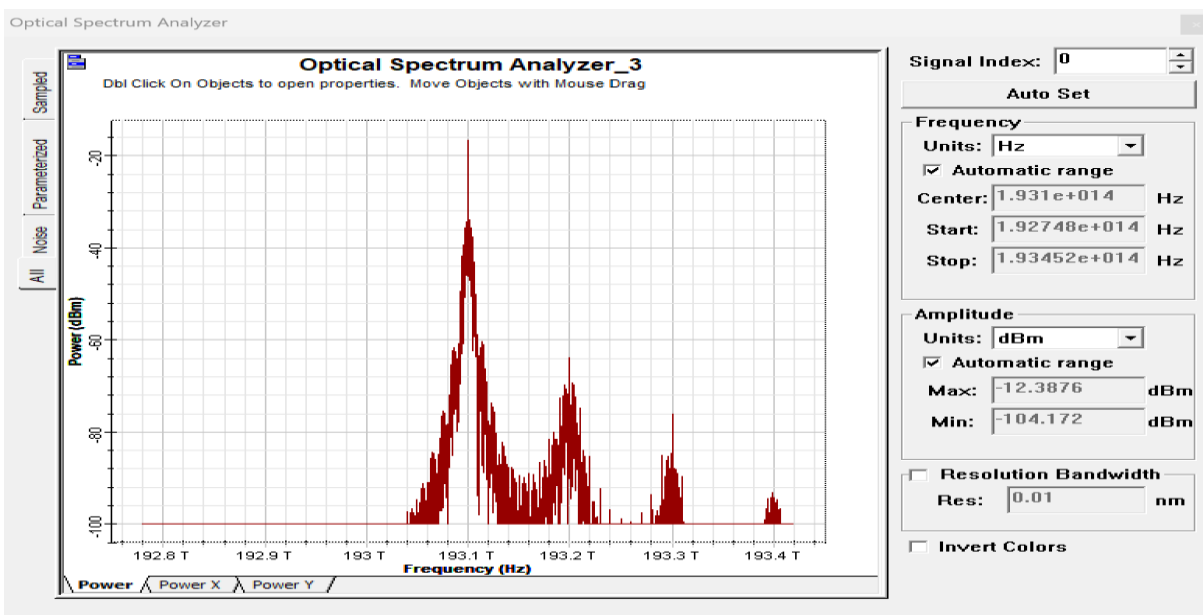


Figure III.45 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre.

Distance (L) km	10	40	70	80
Facteur de qualité (Q) Dbm	4.897	4.292	3.45	5.068
Taux d'Erreur Binaire (BER)	3.636×10^{-7}	7.119×10^{-5}	2.32×10^{-4}	1.962×10^{-7}
D'erreur				

Tableau III.3 : Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) vs de la distance de SMF

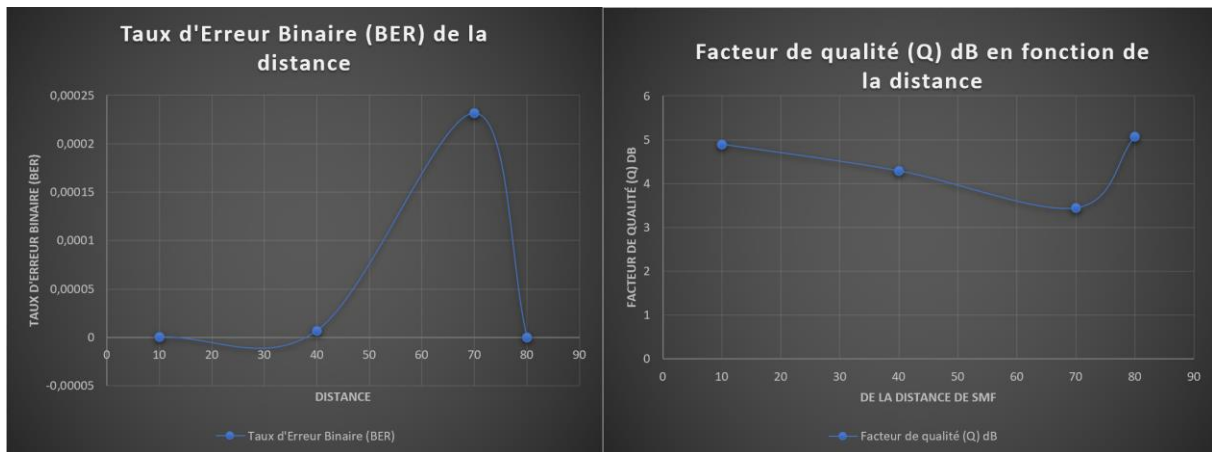


Figure III.46 : la distance de SMF en fonction de Facteur de qualité (Q) et taux d'erreur binaire (BER) WDM.

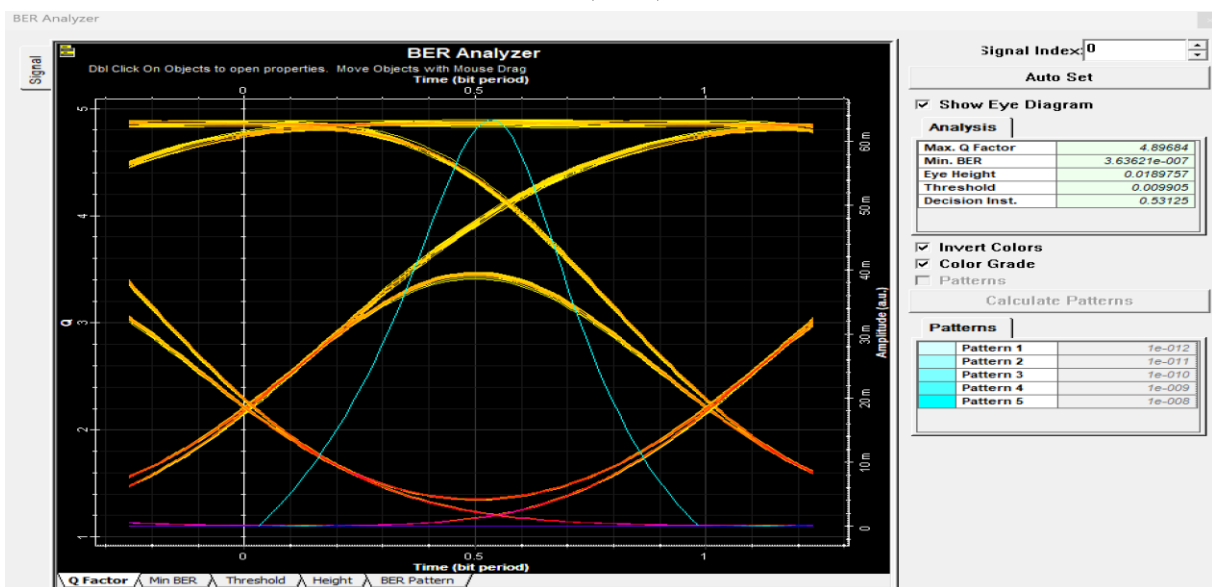


Figure III.47 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 10 km).

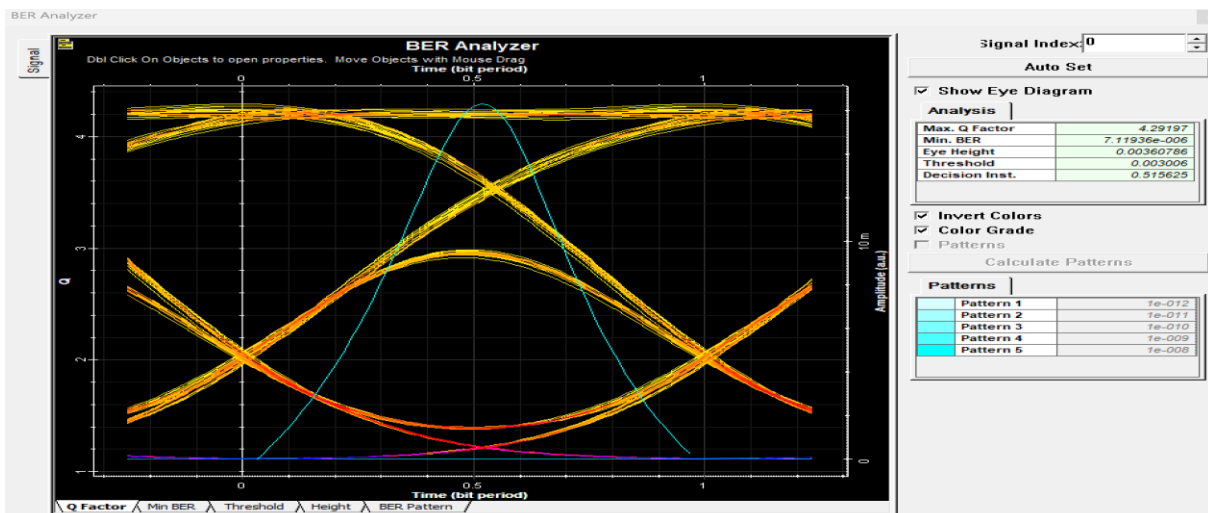


Figure III.48 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 40 km).

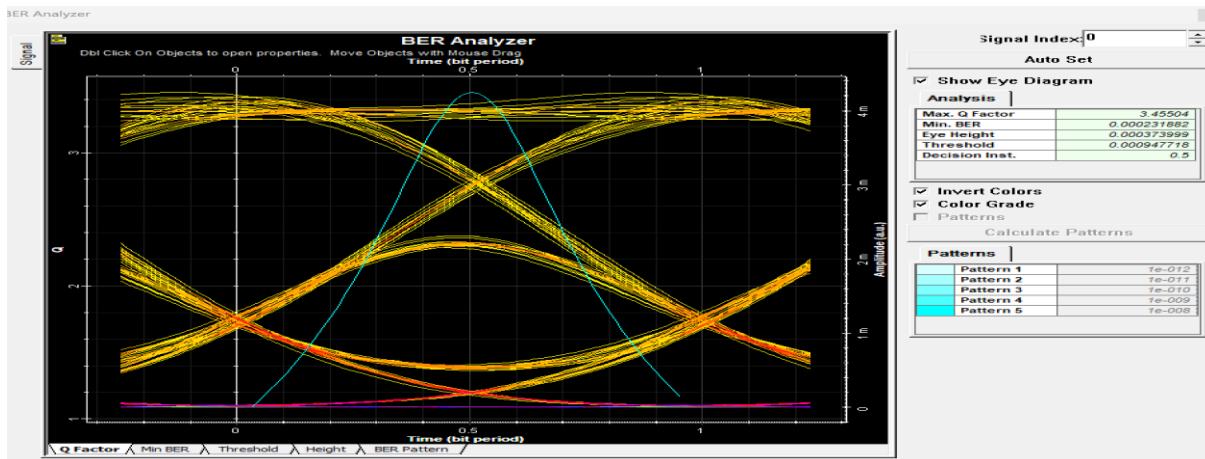


Figure III. 49 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 70 km).

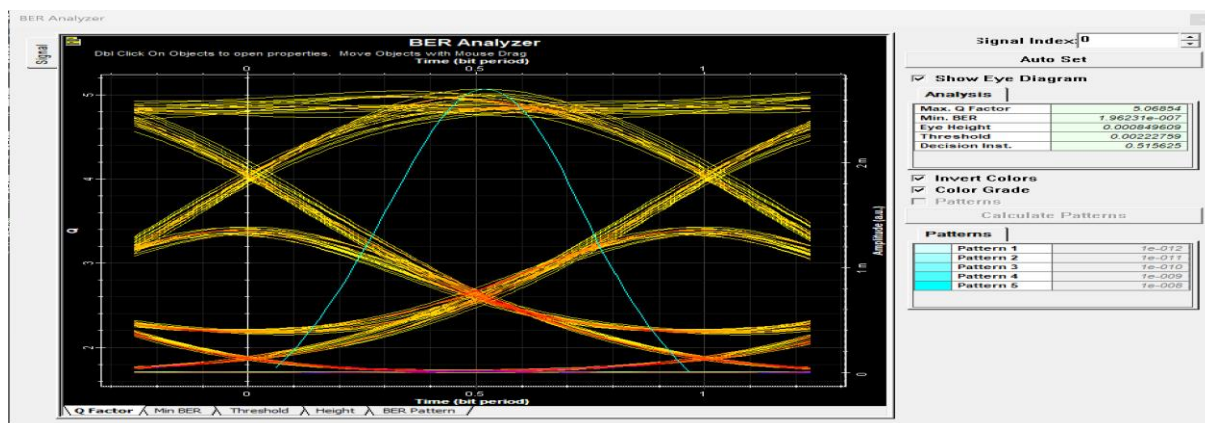


Figure III. 50 : Le diagramme de l'œil en fonction de la distance de SMF WDM (pour une distance de 80 km).

III.3.2 Résultats et discussions du Deuxième scenario :

III.3.2.1 Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM :

Dans ce scénario, nous allons présenter les résultats obtenus d'une analyse d'un système de communication optique à WDM-RF. Pour ce scénario proposé, on a étudié les termes de facteur Q et de BER.

Dans cette partie nous avons étudié et évalué la performance d'une liaison optique, pour différentes valeurs d'atténuation.

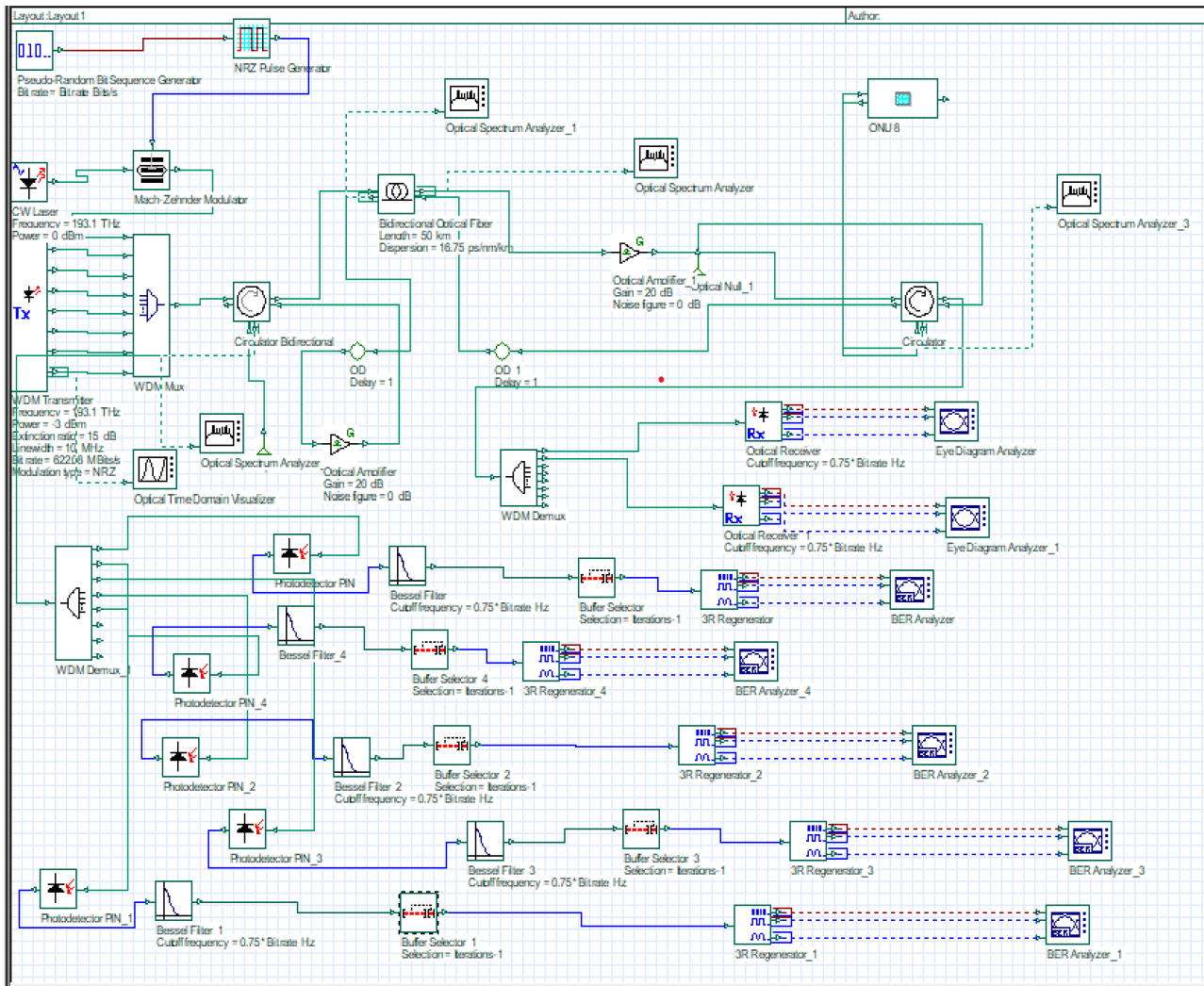


Figure III.51 : Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM RF.

III.3.2.2 Description de la figure III.51 de simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM RF :

III.3.2.3 Partie émission :

La figure suivante représente bloc Emetteur TX avec une bande passante de 100 GHz ;

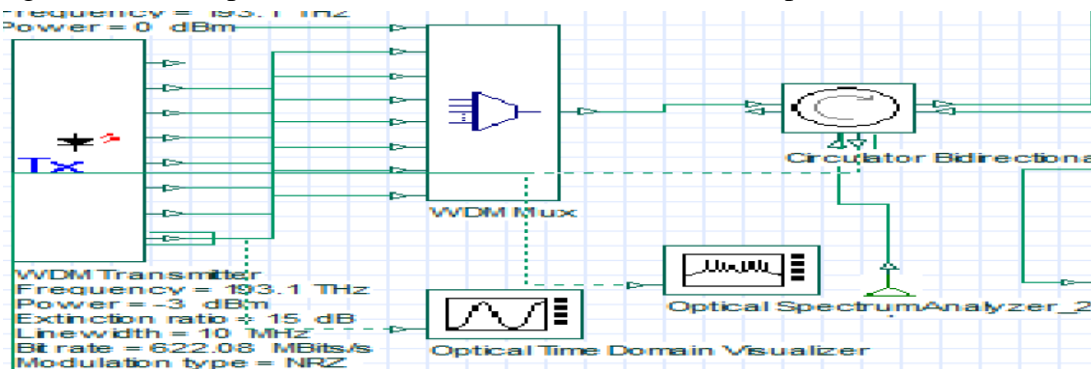


Figure III.52 : Emetteur TX avec une bande passante de 100 GHz

La figure suivante représente bloc du Temps optique du signal à l'émission :

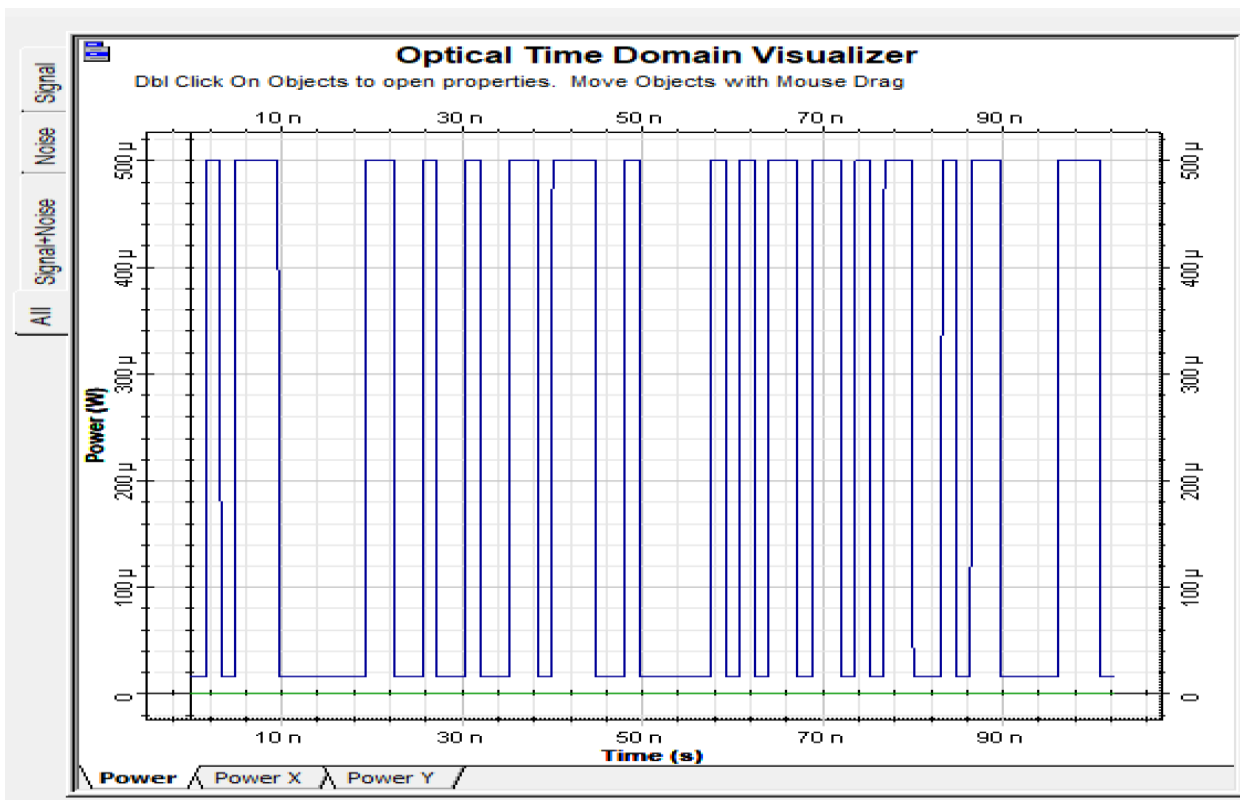


Figure III. 53 : Temps optique du signal à l'émission.

III.3.2.4 Partie du canal de la transmission par liaison optique :

La figure suivante représente le bloc de transmission bidirectionnelle

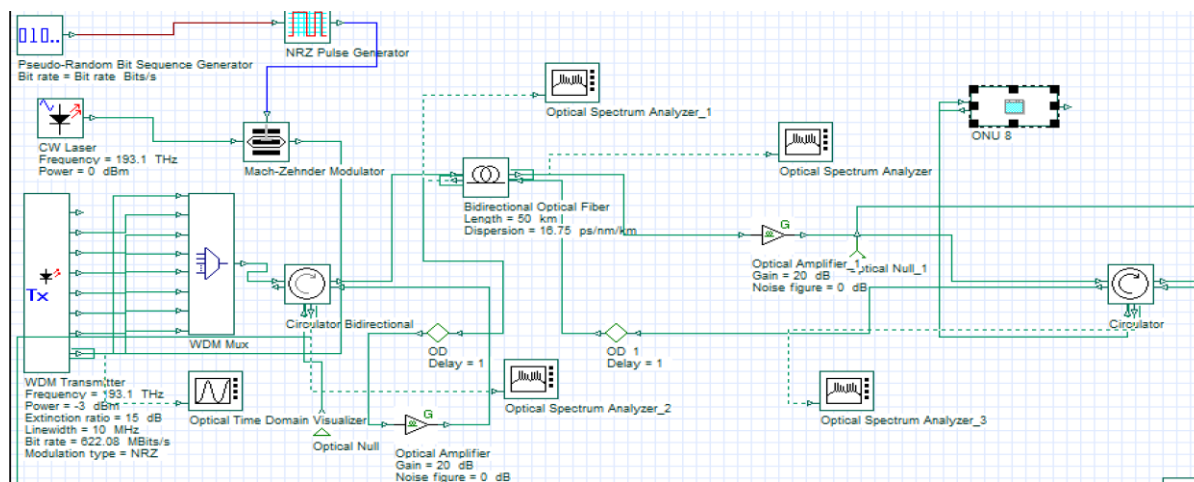


Figure III.54 : le bloc de transmission bidirectionnelle.

III.3.2.5 Partie réception :

La réception optimisée avec un seul UNO et 2 Rx :

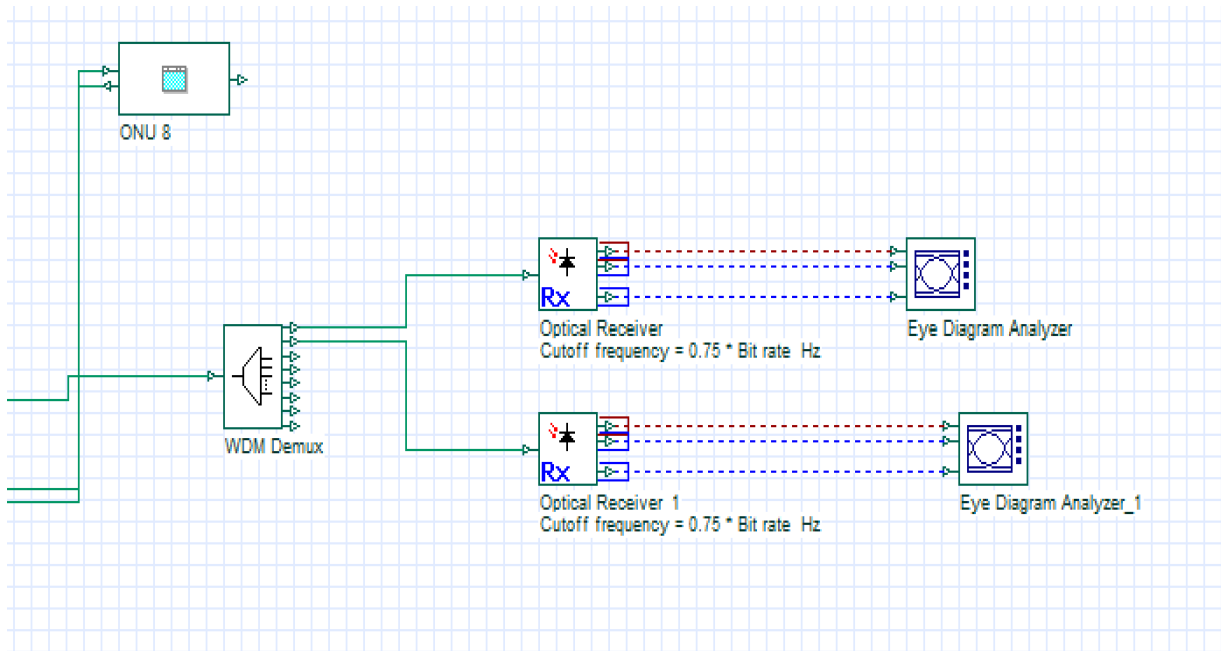


Figure III.55 : Partie réception de la liaison optique d'un UNO avec 2 RX.

III.3.2.6 Partie retour DWDM :

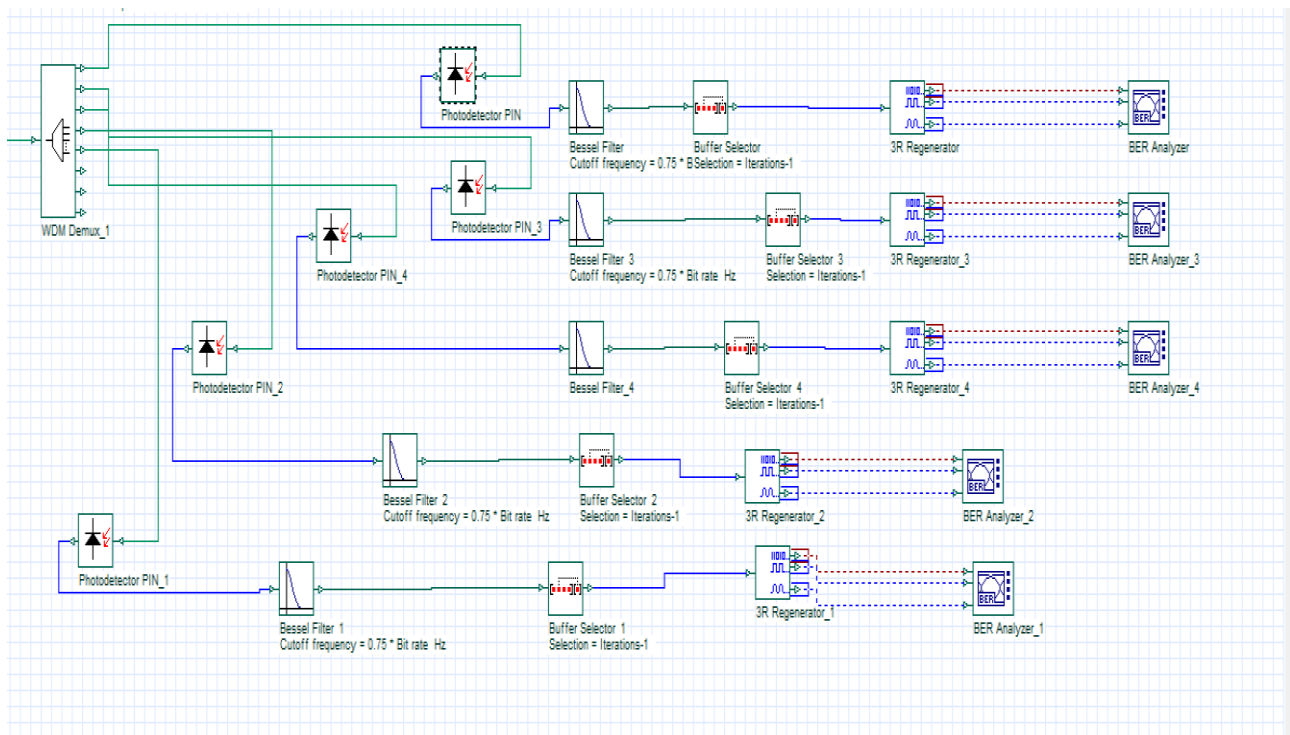


Figure III. 56 : Partie retour DWDM.

III.4 Synthèses des résultats :

III.4.1 Performance de facteur de qualité en fonction de temps :

Le facteur de qualité Q après la minimisation des UNO et récepteur

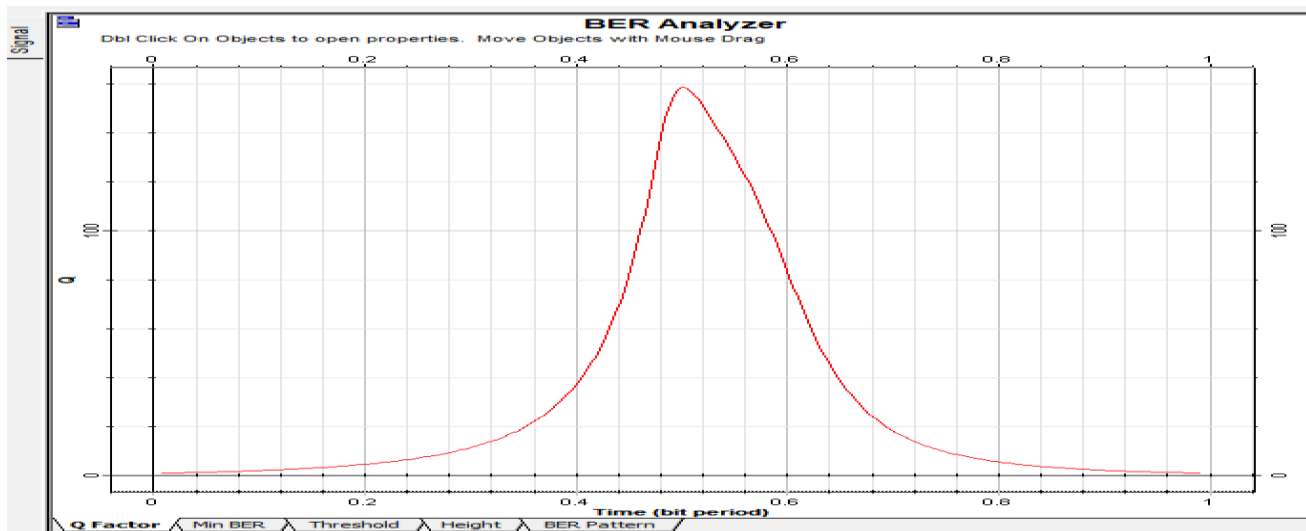


Figure III.57 : le facteur de qualité Q

III.4.2 Le diagramme de l'œil :

La figure suivante représente les performances du système à 8 utilisateurs (L=50KM, D=16.75ps/nm/km) :

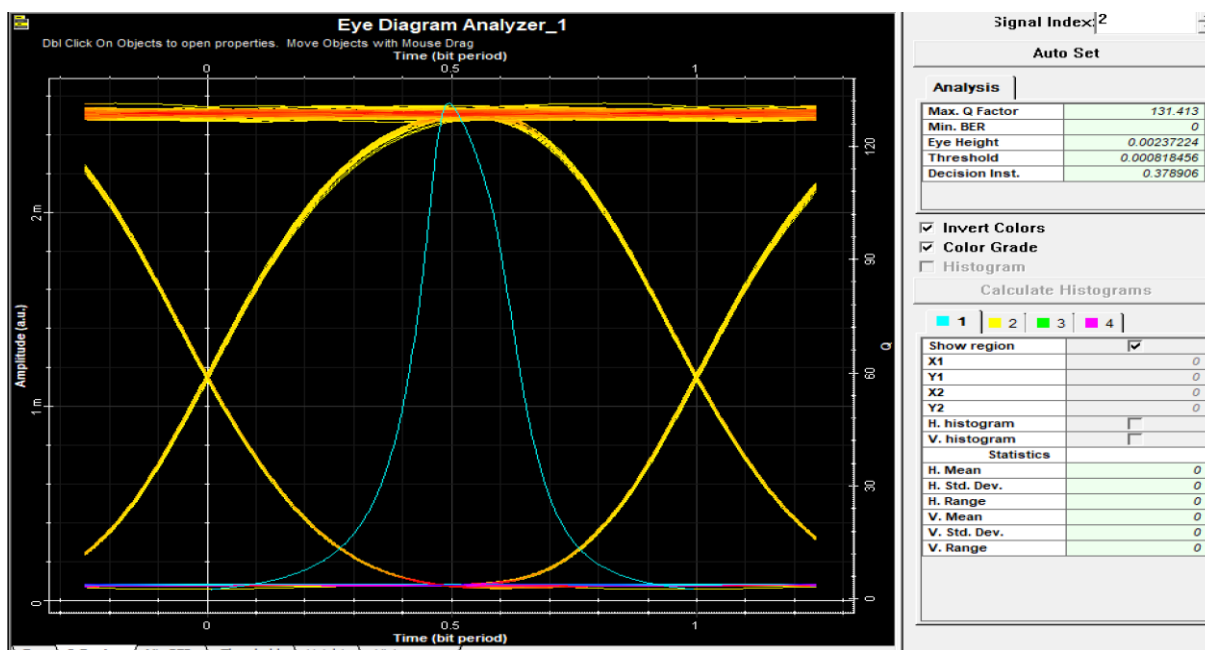


Figure III 58 : Diagramme de l'œil pour une liaison WDM bidirectionnelle

La figure III.58 pour l'implémentation avancé, nous avons choisi cette figure est la comparer avec la figure III.8 (le système atteint les trois caractéristiques).

III.4.3 Phase retour DWDM :

On va voir le diagramme obtenu et le facteur de qualité du système a 8 utilisateurs (L=50KM, D=16.75ps/nm/km) :

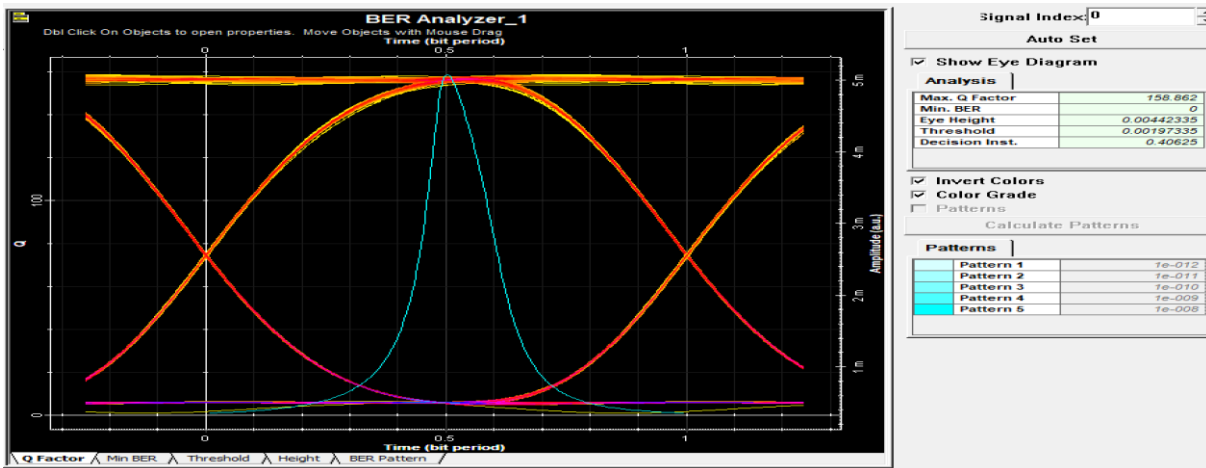


Figure III.59 : Evolution du facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil pour la liaison PON WDM bidirectionnelle.

Discussion:

- Après le passage du signal lumineux (photons) par photodiode il va se transformèrent signal électrique, donc à partir du signal lumineux détecte en sortie de fibre optique. Elle est en effet en mesurée détecter le signal optique et le transformer en signal exploitable. Bonne sensibilité aux longueurs d'onde utilisées. Rapidité de détection pour supporter des débits supérieurs à 100 G bit/s.
- On voit dans cette partie des simulations, que le diagramme obtenu à la réception est le même de celui de la phase retour avec un facteur de qualité très bon.

III.5. Conclusion :

Dans cette étude, nous avons évalué les performances d'un système de communication bidirectionnel en termes de facteur Q, de taux d'erreur binaire (BER) et de performance des diagrammes de l'œil. Nous avons observé que l'augmentation de l'atténuation entraîne une dégradation des performances d'une liaison optique.

En outre, il a été confirmé que l'augmentation du débit de transmission pose un problème majeur dans une liaison optique, un phénomène connu sous le nom de "dispersion chromatique". Pour remédier à ce problème, nous avons utilisé une fibre à dispersion compensée (DCF).

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE :

Les capacités des systèmes WDM ont récemment connu une augmentation remarquable grâce à l'augmentation du nombre de canaux disponibles. La technologie DWDM n'a pas encore atteint ses limites et de nouvelles avancées promettent d'accroître encore d'avantage les capacités des systèmes optiques.

Au cours de ce mémoire nous avons proposé d'utiliser la technologie WDM bidirectionnelle qui a établi de nouveaux records en termes de débit, bénéficiant d'une capacité inégalée alors que le coût des fibres optiques et des matériaux continue de diminuer, permettant des distances de transmission de plus en plus longues. Pour augmenter la capacité, il est possible d'ajouter plus de canaux dans une fibre et d'améliorer le débit par canal en multiplexant séquentiellement des signaux analogiques à différentes longueurs d'onde le long de la fibre optique.

Dans le domaine des télécommunications, une étude approfondie est menée sur les systèmes de transmission optique appliqués pour toutes transmissions, notamment dans les échanges d'informations critiques en radiofréquence. Cette étape inclut la mise en place de chemins unidirectionnels et bidirectionnels, exploitant la technique du PON optique pour éviter les collisions. Les résultats de simulations étudient le système proposé avec une modulation 2 état donne les meilleures performances et caractéristiques (facteur de qualité et diagramme de l'œil) avec un haut débit.

Cette étude démontre que la méthode bidirectionnelle offre des performances remarquables, justifiant son application dans les réseaux de télécommunications avancées modernes 5G.

Références :

- [1] F.A. Jenkins and H.E. White. Fundamentals of optics. International student edition. McGraw-Hill, 3rd edition, 1957.
- [2] K. C. Kao and G. A. Hockham. Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 113(7) :1151– 1158, 1966.
- [3] F.P. Kapron, D.B. Keck, and R.D. Maurer. RADIATION LOSSES IN GLASS OPTICAL WAVEGUIDES. Applied Physics Letters, 17(10) :423–425, 1970.
- [4] K. Chang. Handbook of Microwave and Optical Components, Fiber and Electro- Optical Components. Handbook of Microwave and Optical Components. Wiley, 1991.
- [5] Michael Borella, Jason Jue, Dhritiman Banerjee, Byrav Ramamurthy, and Biswanath Mukherjee. Optical Components for WDM Lightwave Networks. Proceedings of the IEEE, 85 :1274 – 1307, 09 1997.
- [6] Lars Grüner-Nielsen, Stig Nissen Knudsen, Bent Edvold, Torben Veng, Dorte Magnussen, C. Christian Larsen, and Hans Damsgaard. Dispersion Compensating Fibers. Optical Fiber Technology, 6(2) :164 – 180, 2000.
- [7] Mathieu Lefrançois. Étude de technologies avancées pour l’optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d’onde au débit de 40 gbit/s. These de doctorat, Université Paris Sud - Paris XI, December 2007.
- [8] A.H. Cherin. An Introduction to Optical Fibers. Electrical & electronic engineering series. McGraw-Hill, 1983.
- [9] C.Servin, ‘‘ Réseau et Télécoms ‘‘, Edition Dunod, (2008).
- [10] Dossier technique ‘‘Les Fibres optiques’’, AT, (1999).
- [11] J. Sewter, ‘‘Electronic equalization of polarization mode dispersion in 40 Gb/s Optical systems’’, thèse de doctorat, université de Toronto, (2005).
- [12] N. Boudrioua, ‘‘Etude et optimisation d’une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD’’, Thèse de doctorat, université Paul Verlaine, Metz, France, (2007).
- [13] L.Cherbi ‘‘Propagation et caractérisation des fibres optiques ‘‘Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique Alger, (2007).
- [14] A.H. Cherin. *An Introduction to Optical Fibers*. Electrical & electronic engineering series. McGraw-Hill, 1983.
- [15] Jean-Jacques DeLisle. Why More RF Engineers Are Choosing Fiber Connections.

- [16] D. Marcuse. *Light Transmission Optics*. Bell Laboratories series. Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [17] J.P. Dakin, J. Dakin, B. Culshaw, and J.D.B. Culshaw. *Optical Fiber Sensors: Principles and components*. Number vol. 1 in Artech House telecommunications library. Artech House, 1988.
- [18] J. Gowar. *Optical Communication Systems*. Eastern Economy Edition. Prentice Hall, 1993
- [19] P.G. Eliseev. Chapter 2 - Long Wavelength ($\lambda > 2 \mu\text{m}$) Semiconductor Lasers. In Eli Kapon, editor, *Semiconductor Lasers II*, Optics and Photonics, pages 71 155. Academic Press, San Diego, 1999.
- [20] J-M. Mur "Notions fondamentales (Câbles, Connectique, Composants, Protocoles, Réseaux...)" 2^{ème} édition eni, (2012).
- [21] P. Lecoy, "Télécoms sur fibres optiques ", 3^{ème} édition Hermès, (2008).
- [22] Manuel Algérie Télécom "manuelle de pose", (2012).
- [23] Minouprof. (2016, Juin 16). Retrieved from wordpress: <https://emrecmic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-des-fibres-optiques/>
- [24] AhmadrezaAmirzadeh. Amélioration de la sécurité et de la fiabilité des systèmes de communication sans fil. Maîtrise en génie électrique Maître ès sciences (M. Sc.). Québec, Canada. 2017.
- [25] Les réseaux informatiques les modèles OSI et TCP wikilivres wikibooks.org
- [26] Günther Mahlke/Peter Gössing – Siemens – Ed. Teknea.
- [27] Vinita, A Comprehensive Review of Recent Advancement in Optical Communication Networks, Dept. of Electronics & Communication Engineering, Dr. A.P.J. Abdul Kalam University, Indore, India, 30/Sept/2018.
- [28] Fiber-optic network architectures for on-board digital avionics signal distribution, Mohammad F. Alam, Mohammed Atiquzzaman, Bradley D. Duncan, Hung Nguyen⁴ and Richard Kunath, INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS Int. J. Commun. Syst. 2002.
- [29] MEUNIER. J - P ; 2003 – « Télécoms Optique » : Composants à fibres systèmes de transmission. Ed. Hermes. Paris.
- [30] REGIS. A ; VENOT.R « Les techniques de transmission optiques ».
- [31] SEGURA. D ; LABAUD. A ; 2007 - « Réseaux optiques et routage optique ».
- [32] CALVEZ. S ; 2002 - « Laser à fibre pour les télécommunications multiplexées en longueur d'onde : étude de l'accordabilité en longueur d'onde et de la génération de trains d'impulsions

multi-longueur d'onde par voie électro-optique » Thèse de doctorat de l'université de Franche-Comté.

- [33] Arya Mohan, A.A. Performance comparison of radio over fiber system using WDM and OADM with various digital modulation formats. *Int. J. Sci. Res.* 2015, 4, 2013–2016.
- [34] Singh, S.P.; Sengar, S.; Bajpai, R.; Iyer, S. Next-generation variable-line-rate optical WDM networks: Issues and Challenges. *J. Opt. Commun.* 2013, 34, 331–350. [CrossRef]
- [35] M. A. Elaji, Etude et modélisation d'un système de transmission radio-sur-fibre, mémoire de fin d'étude, Bretagne: Université de Bretagne, 2019.
- [36] A. Kabalan, Etude de systèmes radio sur fibre pour des applications de réseaux domestique en bande millimétrique, thèse doctorat, Paris: école doctorale MSTIC Mathématiques, sciences et technologies de l'information et de la communication, 2017.
- [37] H. Hallak Elwan, Optical systems for next wireless standard (5G) generation delivery, thèse doctorat, Grenoble: Université Grenoble Alpes, 2017.
- [38] Y.-D. Hamedi, Etude D'une liaison Radio sur fibre, Tlemcen: université Tlemcen, 2014.