

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Abou-Bekr Belkaïd-Tlemcen



Faculté de technologie
Département de Télécommunications

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtention d'un **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par

Safi BOUAMAMA & Abdelillah DJEMAI

Sujet

CONCEPTION ET CONFIGURATION DES RÉSEAUX OPTIQUES GPON

Soutenu en 27 septembre 2020 devant le Jury composé de :

CHIKH-BLED Hicham	MCB Univ-Tlemcen	Président
OUADAH Mohammed Chamse Eddine	MCB Univ-Tizi Ouzou	Examineur
CHIKH-BLED Mohammed El- Kebir	Prof Univ-Tlemcen	Encadrant
BOUREGAA Mouweffeq	MCB Centre Univ-Mascara	Co-encadrant

2019-2020

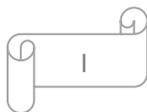
Dédicaces

*Je dédie ce travail À mes très chers parents, à mes frères et sœurs Ainsi qu'à tous ceux
qui me sont chers*

Mr. Safi Bouamama

*Je dédie ce travail À mes très chers parents, à mes frères et sœurs Ainsi qu'à tous mes
amis et toute la famille*

Mr. Abdelillah Djemai



Remerciements

Avant toute chose, Nous remercions «Allah» le tout puissant qui nous a donné la force et la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

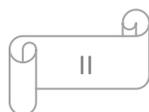
Nous remercions infiniment notre encadrant Mr. Chikh-Bled Mohammed-El- Kebir, professeur à l'université de Tlemcen, nous voudrions lui exprimer notre profonde gratitude pour avoir accepté de nous encadrer et guider nos pas sur la voie de la recherche scientifique. Permettez-nous Mr de vous exprimer notre reconnaissance, et nos remerciements les plus sincères pour votre patience, vos conseils précieux qui ont été très utiles et pour vos qualités humaines et scientifiques. Que Dieu le tout puissant vous protège, et vous garde pour nous inchallah.

Nos sincères remerciements vont aussi à notre co-encadrant Mr. Bouregaa Mouweffeq, MCB Centre Univ-Mascara pour son soutien scientifique tout au long de ce travail, son implication, ses critiques constructives qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Mr vous trouviez ici tout le témoignage de vos qualités scientifiques et humaines.

Nous remercions chaleureusement Mr. Chikh-Bled Hicham de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce modeste travail.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à Mr Ouadah Mohammed Chamse Eddine d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous nos enseignants depuis le primaire jusqu'au Master qui ont contribué à nous former tout au long de notre cursus scientifique.



ملخص

شهد العالم في الآونة الأخيرة طلبا متزايدا لخدمة نقل البيانات والاتجاه نحو خدمات الحزمة العريضة، بحيث تراكب النقل المكثف للبيانات والصوت، والفيديو خاصة نتيجة لذلك دخلت البصرييات بيوتنا من خلال وصلات عالية التدفق، شهدت شبكات الوصول تطورا سريعا جدا حيث يمكن أن تصل الشبكة الضوئية السلبية إلى ما بين ٣٢ و ٦٤ مشتركا الذين يتشاركون نفس الألياف أحادية الوضع، كما تتيح " توفير سرعة تعد بجيجا بت /ثانية يمكن استخلاص عدة فئات من هذه الشبكة APON : شبكة بصرية سلبية لوضع النقل غير المتزامن لنظام و BPON :شبكة ضوئية سلبية ذات نطاق تردد عريض وEPON : شبكة إيثرنت ضوئية سلبية و: GPON شبكة جيجا بت ضوئية سلبية. وفي هذا السياق، يهدف عملنا إلى دراسة ربط GPON-FTTH في وضع TDMA وفي WDM من خلال برنامج Optisystem ، لتحديد جودة الإرسال، من خلال الأخذ بالاعتبار بعض المحددات، وهي: التدفق، وعدد المستخدمين، والمسافة، والطاقة.

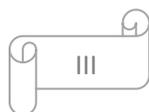
الكلمات المفتاحية:

الألياف البصرية، FTTH ، شبكة جيجا بت ضوئية سلبية.

Abstracts

In recent decades, access networks have experienced very rapid development, very high speed access has become a necessity for users, with the appearance of new services linked to the development of multimedia which can be used to support a broadband network. through which television, telephone, videoconference or computer data also pass through very high speed FTTH links. Several techniques stand out for bringing the fiber to the subscriber and we will focus on the PON solution (Passive Optical Networks). The passive optical network can reach 32 to 64 subscribers who share the same single-mode fiber, and allows " offer a speed which is counted in Gbit / s. several categories can be derived from this network such as: APON (ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), BPON (Broadband Passive Optical Network), EPON (Ethernet Passive Optical Network), GPON (Gigabit Passive Optical Network). In this context, our work aims to study by the Optisystem software the GPON-FTTH link in TDMA mode and in WDM, and to determine the transmission quality, by taking into account certain parameters of the link namely, the bit rate binary, number of users, link distance and power.

Keywords: Optical Fiber, FTTH, PON, GPON,



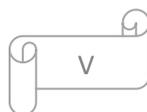
Résumé

Les réseaux d'accès ont connu ces dernières décennies un développement très rapide. L'accès au très haut débit devient une nécessité pour les utilisateurs, avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia liés aux applications tels que la télévision, la téléphonie, la visioconférence, transmissions de données. Plusieurs techniques ont été mises en œuvre pour amener la fibre jusqu'à l'abonné. Parmi celles-ci, nous nous attachés particulièrement à la solution PON (Réseaux Optiques Passifs) pouvant atteindre 32 à 64 abonnés qui se partagent la même fibre monomode, et permettant d'offrir un débit qui se compte en Gbit/s. Plusieurs catégories peuvent être dérivées de ce réseau tel que : APON (ATM PON Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), BPON (Broadband Passive Optical Network), EPON (Ethernet Passive Optical Network), GPON (Gigabit Passif Optical Network). Dans ce contexte, notre travail avait pour objectif d'étudier les performances de la solution GPON-FTTH en mode TDMA et en WDM par le biais du logiciel OptiSystem, en tenant compte du débit binaire, du nombre d'utilisateurs, de la distance de la liaison, et de la puissance optique.

Mots clés: Transmission optique- Réseaux d'accès optiques FTTH – Topologies PON, GPON,

Liste des tableaux

Tableau I.1: Comparaison entre fibre monomode et multimode	5
Tableau II.1 : Comparaison entre FTTH et ADSL.....	17
Tableau II.2: Comparaison entre P2P et PON.....	20
Tableau II.3: Récapitulatif des performances des PON normalisés.....	29
Tableau III.1: Descriptif des composants utilisés dans la simulation.....	35
Tableau III.2: Q, BER en fonction de Distance (Km) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA.....	38
Tableau III.3: Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA.....	39
Tableau III.4: Q, BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans le réseau FTTH-GPON en TDMA.....	40
Tableau III.5: Q, BER en fonction de Débit binaire (Gbit/s) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA.....	41
Tableau III.6 : Paramètres optimaux de P, L, D et N pour $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$ dans un réseau FTTH-GPON en TDMA.....	42
Tableau III.7: Q, BER en fonction de Distance (Km) dans le réseau FTTH-GPON en WDM.....	44
Tableau III.8: Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans le réseau FTTH-GPON en WDM.....	45
Tableau III.9: Q, BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans le réseau FTTH-GPON en WDM.....	46
Tableau III.10: Q, BER en fonction de Débit binaire (Gbit/s) dans le réseau FTTH-GPON en WDM.....	47
Tableau III.11 : Paramètres optimaux de P, L, D et ONTs pour $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$ dans un réseau FTTH-GPON en WDM.....	48
Tableau III.12: étude comparative entre l'étude théorique et pratique FTTH-GPON pour une performance $Q=6$ et $BER=10^{-9}$	51



Liste des figures

Figure I.1: constitution d'une fibre optique.....	3
Figure I.2: Schéma d'une fibre multi-modes à saut d'indice.....	4
Figure I.3: Shéma d'une fibre multi-modes à gradient d'indice.....	4
Figure I.4: Trajet du signale dans une fibre monomode.....	5
Figure I.5: Les diamètres du cœur et de la gaine d'une fibre monomode.....	5
Figure I.6: Schéma d'une liaison optique.....	7
Figure I.7: Bloc de réception dans système de transmission optique.....	9
Figure I.8: Schéma du réseau de télécommunications.....	10
Figure I.9: Le réseau local.....	13
Figure I.10: Schéma de principe de la technique d'Accès Multiple par Répartition de Temps (TDMA).....	13
Figure I.11: Schéma de principe de la technique d'Accès par répartition en fréquence(FDMA)	14
Figure I.12: Schéma d'un multiplexage en longueur d'onde WDM.....	14
Figure I.13: Système utilisant la technique du CDMA.....	15
Figure II.1: Point to Multi-Point (P2MP).....	18
Figure II.2: Point to Point (P2P).....	18
Figure II.3: Terminal de réseau optique ONT.....	21
Figure II.4: Coupleur optique (splitter).....	22
Figure II.5: Ligne optique terminal OLT.....	22
Figure II.6 : Architecture GPON.....	24
Figure II.7 : Transmission data de L'OLT VERS L'ONT en mode broadcast.....	24
Figure II.8 : Transmission data de L'ONT VERS L'OLT en mode TDMA.....	25
Figure II.9 : le format de trame GPON dans le sens descendant.....	26
Figure II.10 : La structure de trame dans le sens descendant.....	26
Figure II.11 : La structure de trame dans le sens amont.....	27
Figure II.12 : diagramme de la structure de trame dans le sens amont.....	28
Figure III.1 : les éléments constitutifs d'un réseau GPON FTTH.....	32
Figure III.2: Interface graphique du logiciel OptiSystem.....	33
Figure III.3: Chaîne de transmission de FTTH-GPON en TDMA.....	37
Figure III.4 : Bloc d'émission.....	37
Figure III.5 : Canal de transmission.....	38
Figure III.6 : Bloc de réception.....	38

Figure III.7 : Q, BER en fonction de Distance (km) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA.	39
Figure III.8: Q,BER en fonction de Puissance (dBm) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA	40
Figure III. 9: Q,BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans un réseau FTTH-GPON en TDMA	41
Figure III.10 : Q, BER en fonction de Débit (Gbit/s) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA	42
Figure III.11: système FTTH-GPON en WDM.....	44
Figure III.12: Chaine de transmission de FTTH-GPON en WDM.....	44
Figure III.13 : Q,BER en fonction de Distance (km) dans un réseau FTTH-GPON en WDM	45
Figure III.14 : Q,BER en fonction de Puissance(dBm) dans un réseau FTTH-GPON en WDM	46
Figure III.15: Q,BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans un réseau FTTH-GPON en WDM	47
Figure III.16 : Q, BER en fonction de Débit (Gbit/s) dans un réseau FTTH-GPON en WDM	48
Figure III.17 : Logo de l'opérateur Algérie Télécoms	49
Figure III.18 : Logo de la société HUAWEI.....	50
Figure III.19 : Services offert dans le réseau FTTH-GPON.....	50
Figure III.20 : Kit de nettoyage des connecteurs optiques et Réflectomètre OTDR.....	51

Liste des abréviations

A

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.

AES: Advanced Encryption Standard.

APON: Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network.

ATM: Asynchronous Transfer Mode.

B

BER: Bite Error Rate.

BPON: Broadband Passive Network.

C

CDMA : Code Division Multiple Access.

CW: Continuous Wave.

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing.

D

DEL : Diode Electroluminescente.

DL : Diode laser.

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

E

EPON: Ethernet Passive Optical Network.

F

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FSAN: Full Service Access Network.

FSO :

FTTB: Fiber To The Building.

FTTC: Fiber To The Curb.

FTTH: Fiber To The Home.

FTTN: Fiber to the Node.

FTTX: Fiber To The

G

GEM: GPON Encapsulating Method.

GPON: Gigabit Capable Passive Optical Network.

I

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IES : les interférences inter-symboles.

IP : Internet Protocol.

IPTV: Internet Protocol Television.

ISP : Internet Service Provider

ITU : International Télécommunications Union.

J

L

LAN: Local Area Network.

M

MAN: Metropolitan Area Network.

MZM: Mack Zehnder Modulator.

N

NRO : Nœud de Raccordement Optique.

NRZ: Non-Return-to-Zéro.

O

OADM: Optical Add Drop Multiplexing.

OLT: Optical Line Termination.

ONT: Optical Network Termination.

ONU: Optical Network Unit.

P

P2P: Point-to-Point.

P2MP: Point-to-Multipoint.

PIN: Positive Intrinsic Negative.

PON: Passive Optical Network.

PSTN: Public Switched Telephone Network.

Q

Q : Qualité de facteur.

QoS : Quality Of Service.

S

SDH: Synchronous Digital Hierarchy.

SONET: Synchronous Optical Network.

T

TDM: Time Division Multiplexing.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TEB : Taux D'erreur Binaire.

TV : Télévision.

V

VoD : Vidéo on Demande.

VoIP: Voice over Internet Protocol.

VPN: Virtual Private Network.

W

WAN: Wide Area Network.

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

X

XDSL: x Digital Subscriber Line.

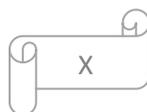
Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
Liste des tableaux.....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des abréviations.....	VIII
Sommaire.....	X

Introduction Générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de transmission optiques

1-Introduction	3
2-constitution d'une fibre optique.....	3
3- Types de fibre optique	3
3.1-Fibres multimodes.....	3
3.1.1-Fibres optiques multimodes à saut d'indice.....	4
3.1.2-Fibres optiques multimodes à gradient.....	4
3.2-Fibres monomodes.....	5
4-Comparaison entre fibre monomode et multimode.....	5
5-Avantages et inconvénients d'une fibre optique.....	6
5.1-Avantages	6
5.2-Inconvénients de la fibre optique.....	6
6-Applications.....	6
7- Définition d'une liaison par fibre optique.....	7
7.1-Emetteur (source optique).....	7
7.2- Tronçons de fibres optiques.....	8
7.3- Bloc récepteur.....	8
8- Réseaux Optiques.....	10
9- Différentes techniques d'accès multiples.....	13



9.1- Accès multiples par répartition de Temps (TDMA).....	13
9.2- Accès multiples par répartition en fréquence (FDMA).....	14
9.3- Accès multiples par répartition en longueur d'onde (WDM).....	14
9.4- Accès multiples par répartition de codes (CDMA).....	15
10-Conclusion.....	15

Chapitre II : Réseau LAN optique

1-Introduction.....	16
2-Technologie FTTH.....	16
3-Comparaison entre FTTH et ADSL.....	17
4-Présentation de réseau optique passif	17
5- Topologies.....	18
5.1- Topologie point-à-multipoint (P2M).....	18
5.2- Topologie point à point (P2P).....	19
5.3-Comparaison entre les deux architectures P2P et PON.....	20
6-présentation de PON.....	20
6.1-structure et fonctionnement.....	21
7- Types de technologies de réseau PON.....	22
7.1- Norme APON (ATM PON)	22
7.2- Norme BPON (Broadband PON).....	23
7.3- Norme EPON (Ethernet PON)	23
7.4- Norme GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network).....	23
7.4.1-Transmission GPON.....	25
7.4.2-Sécurité dans GPON.....	28
7.4.3-Protection dans GPON.....	28
7.4.4-Avantages et inconvénients d'un réseau GPON.....	29
8-Comparaison des standards d'un réseau PON.....	29
9-Conclusion.....	30

Chapitre III : Etudes les performances des réseaux FTTH-GPON

1-Introduction.....	32
2- Présentation du logiciel optisystem.....	32

2.1- Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem.....	33
2.2- Applications du logiciel OptiSystem.....	33
3-Facteur de qualité.....	34
4-Le taux d'erreurs binaires (BER).....	35
5- Diagramme de l'œil.....	35
6-Système FTTH-GPON en TDMA.....	37
6.1-Impact de la distance.....	39
6.2-Impact de la puissance.....	40
6.3-Impact de nombre d'utilisateur.....	41
6.4-Impact de débit binaire.....	42
7-Système FTTH-GPON en WDM.....	44
7.1-Impact de la distance.....	45
7.2-Impact de la puissance.....	46
7.3-Impact de nombre d'utilisateur	47
7.4-Impact de débit binaire.....	48
8-Conception et ingénierie du réseau FTTH-GPON.....	49
8.1-Présentation de l'opérateur Algérie Télécoms.....	49
8.2-Equipement de l'opérateur Algérie Télécoms	49
9-Services offert dans le réseau FTTH-GPON	50
10-Test d'installation FTTH-GPON.....	51
10.1-Test de la puissance optique.....	51
10.2-Test de la qualité service en fonction de nombre de clients ONTs et le débit de transmission	51
11-Conclusion.....	52
Conclusion Générale.....	54
Liste des références bibliographiques.	

Introduction Générale

Les réseaux d'accès optiques ont connu ces dernières années un développement avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia et des applications très large bande. Ainsi, l'accès au très haut débit est devenu une nécessité pour les utilisateurs, avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia. La fibre optique offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peuvent servir de support à un réseau large bande par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphonie, la visioconférence ou bien des données informatiques. Son utilisation est devenue très répandue dans les réseaux de télécommunications.

Au début (1984 à 2000), la fibre optique s'est limitée à l'interconnexion des centraux téléphoniques, qui nécessitent de forts débits.

Dans le but de faire face à la forte demande en terme de débit, les équipes se sont lancés dans une course au développement de nouveaux systèmes, avec comme challenge le traitement d'une quantité énorme d'informations. De ce fait la fibre optique a fait son entrée dans les foyers depuis quelques années, à travers les liaisons très haut débit FTTH.

Pour amener la fibre jusqu'à l'abonné, ils existent plusieurs techniques, la plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui sont basés sur les technologies gigabit PON (Passif Optical Network). Ces réseaux sont basés sur une architecture point à multipoints basée sur un multiplexage temporel de la transmission des données de chaque utilisateur. Le PON s'illustre alors sur une portée de 20 Km et permet de desservir jusqu'à 64 clients à partir d'un seul point d'agrégation au central ; ce type de réseau transporte des flux de données avec un débit de l'ordre des Gbit/s qui permet d'offrir une bande passante atteignant 100Mbit/s chez l'utilisateur.

Notre objectif à travers ce projet est d'étudier un réseau de transmission à très haut débit FTTH et plus particulièrement la liaison GPON.

Le présent mémoire se décline en trois chapitres:

Le premier chapitre est consacré aux généralités concernant la transmission optique. Les différents composants optoélectroniques, ainsi que les caractéristiques des fibres optiques sont présentées. Une description portant sur les réseaux optiques ainsi les différents techniques d'accès multiples utilisée est également présentée.

Le deuxième chapitre est consacré aux réseaux optiques FTTH. Après une introduction sur les réseaux FTTH, nous détaillerons le réseau optique passif avec les différentes topologies. Leur principe de fonctionnement, ainsi que leur structure (L'ONT, Coupleur, L'OLT) seront présentés.

Le troisième et dernier chapitre, présente les résultats de simulation, après une présentation du logiciel OPTISYSTEM et des critères de qualité d'une transmission. Les performances d'une liaison optique FTTH GPON en TDMA et WDM ont été abordées et discutées en tenant compte de la distance de la fibre optique, la puissance optique, du débit binaire, et du nombre d'utilisateurs.

Nous terminerons notre travail par une comparaison des performances pratiques, et de simulation et une conclusion.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de transmission optiques

1-Introduction

La fibre optique a été développée au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated).

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Le signal lumineux de grandes quantités de données à la vitesse de la lumière sur plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres, elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peuvent servir de support à un réseau large bande par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

2-Constitution d'une fibre optique

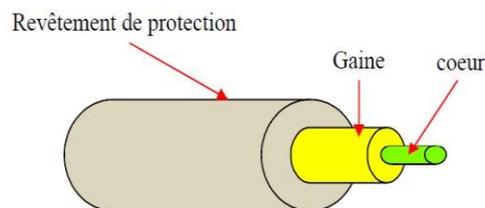


Figure I.1: constitution d'une fibre optique

La fibre optique est constituée de trois éléments :

Le cœur : Est un milieu dans lequel une quantité d'énergie lumineuse véhiculée au sein de la fibre sera confiné au voisinage du centre dont l'indice de réfraction est dans laquelle se propage la lumière.

La gaine : Elle est la partie qui enveloppe le cœur dont la réfraction est plus faible.

Revêtements de protection : Assure une protection mécanique de la fibre optique contre les parasites elle est de l'ordre de 230µm

3- Types de fibre optique

On peut classer les fibres optiques en deux catégories selon leurs diamètres et la propagation de la longueur d'onde.

3.1-Fibres multimodes [1]

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multimode si le cœur a un grand diamètre devant la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 50 à 200 µm pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1 mm pour les fibres plastiques.

Dans une fibre multimode, les différents rayons se propagent longitudinalement grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le cœur et la gaine en empruntant des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont

différents, ce qui résulte une dispersion dite multimodale. Ces fibres sont en général employées pour les réseaux locaux (ne s'étendant pas sur plus de deux kilomètres), les bas débits ou encore pour des longueurs d'onde proches de 850 nm.

Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (Débit limité à 50 Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gb/s).

3.1.1-Fibres optiques multimodes à saut d'indice

Le type le plus simple de fibre multimodes est la fibre optique à saut d'indice (step-index fibre), dans laquelle les indices du cœur et de la gaine sont voisins de 1,5 pour les fibres de silice.

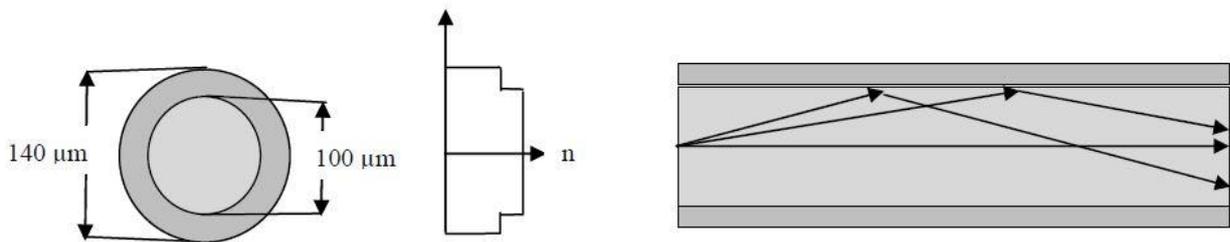


Figure I.2:Schéma d'une fibre multi-modes à saut d'indice

3.1.2-Fibres optiques multimodes à gradient d'indice

Les fibres à gradient d'indice (graded-index fiber) ont été spécialement conçues pour les télécommunications à fin de minimiser l'effet de la dispersion intermodale sans trop réduire l'ouverture numérique, donc la puissance couplée. L'indice de leur cœur diminue suivant une loi d'allure parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine, De sorte que les rayons suivent des trajectoires sinusoïdales, et ceux qui passent par le milieu d'indice le plus faible ayant le trajet le plus long, ce qui augmente leur vitesse et permet d'égaliser approximativement les temps de propagation.

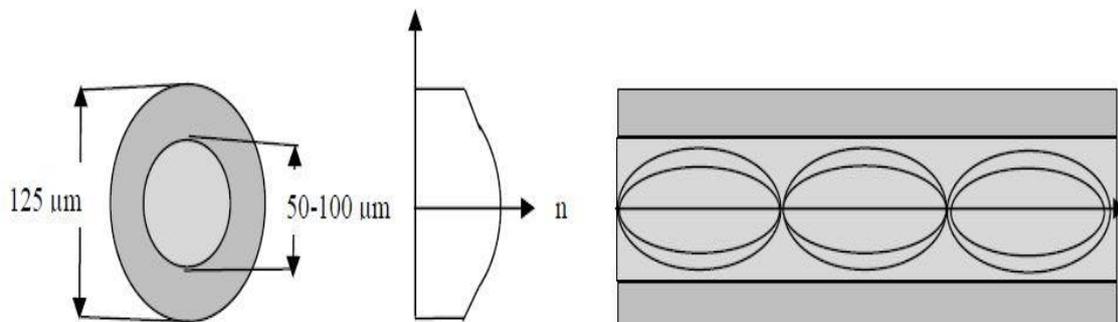


Figure I.3:Shéma d'une fibre multi-modes à gradient d'indice.

3.2-Fibres monomodes [23]

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

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

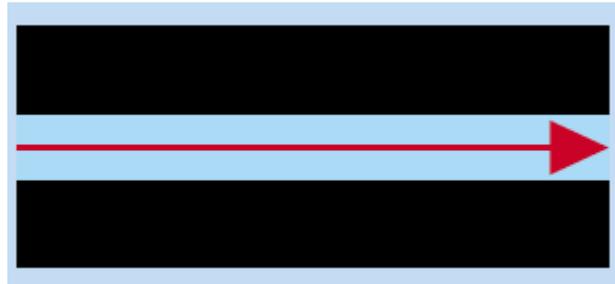


Figure I.4: Trajet du signal dans une fibre monomode.

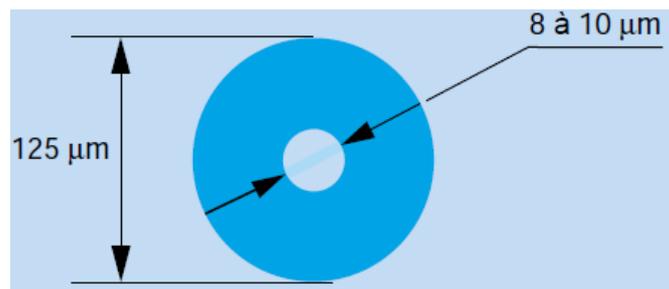


Figure I.5: Les diamètres du cœur et de la gaine d'une fibre monomode.

4- Comparaison entre fibre monomode et multimode [2]

Tableau I.1.: Comparaison entre fibre monomode et multimode

Fibre	Monomode	Multimode
Dispersion	Faible	Forte
Connexion	Délicate	Facile
Atténuation	Faible	Forte
Utilisation	Haut débit, longue distance	Réseaux locaux

5- Avantages et inconvénients d'une fibre optique

5.1- Avantages

Les fibres optiques offrent de nombreux avantages pour les télécommunications :

- une bande passante optique très grande, et donc une grande capacité (débit de plusieurs Téra bits/seconde).
- Absence de rayonnement, Il n'y a pas d'interférences.
- Il est impossible d'écouter ou d'intercepter les signaux lumineux qui circulent à l'intérieur d'une fibre optique son emploi particulièrement intéressant pour les applications militaires.
- La perte de signal sur une longue distance est très faible.
- La durée d'utilisation d'une fibre optique est de plusieurs décennies environ plus de 100 ans
- Le mode de transmission est le plus fiable et le plus sécurisé. La fibre ne perd pas de lumière, donc la transmission est également sécurisée et ne peut pas être perturbée.
- -Poids léger : un câble de cuivre de 900 paires pèse (8000 kg/km), alors qu'un câble de fibre optique de 900 paires pèse (660 kg/km)
- Température environnementale : une fibre peut fonctionner à l'intérieur d'une vaste plage de température.

5.2- Inconvénients de la fibre optique

- les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer.
- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques
- Le verre de la fibre optique est fragile. Les brins de fibres optiques peuvent se casser facilement.
- La transmission sur fibre optique nécessite de répéter à des intervalles de distance.

6-Applications

- Transmission numérique a haute débit

- Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.
- Réseaux locaux en environnement bruité.
- Médecine et chirurgie
- Télévision : Téléconférence, liaison caméra studio.
- Capteurs.
- Téléphonie vocale et vidéo sur IP

7- Définition d'une liaison par fibre optique [5]

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est converti d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur.

Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique.

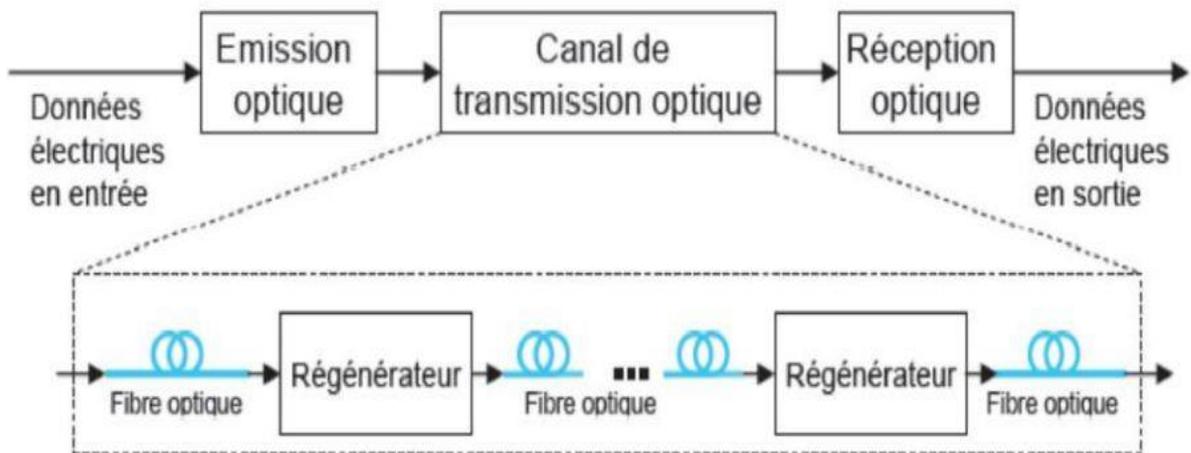


Figure I.6: Schéma d'une liaison optique.

7.1-Emetteur (source optique) [4]

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

En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus large impose le choix des sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL).

- Diode DEL (électroluminescente) [5]

La diode électroluminescente (DEL) est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et polychromatique elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre typique d'émission spontanée continu et assez large d'où une forte sensibilité à la dispersion chromatique.

- Diode laser (DL) [5]

Laser est l'acronyme anglais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

(En français, amplification de la lumière par émission stimulée de radiations). La diode laser est une source cohérente et monochromatique, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance, elle est caractérisée par : une faible largeur spectrale et une bande passante importante. Le spectre est monomode longitudinal.

7.2- Tronçons de fibres optiques

Une fois le signal optique émis par la source et modulé suivant le format choisi, il est introduit dans la première fibre optique du système et peut ainsi commencer, sous cette forme, une propagation sur une distance pouvant aller de quelques centaines de kilomètres pour les systèmes métropolitains à plus de 10000 kilomètres pour les systèmes sous-marins les plus longs. La fibre optique est le support de propagation de la lumière. Il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique.

- Amplificateurs

Bien que l'atténuation des fibres optiques soit très faible, un signal qui s'y propage ne peut pas être détecté après, au grand maximum, quelques centaines de kilomètres de propagation. Pour pallier cela des répéteurs, essentiellement formés d'amplificateurs, doivent être placés périodiquement le long de la ligne optique pour redonner de l'énergie au signal pour qu'il puisse être détecté de manière optimale.

7.3- Bloc récepteur [24]

Après propagation le long d'une série de tronçons de fibres optiques et d'amplificateurs, le signal arrive au niveau du récepteur. Le rôle de celui-ci est de récupérer la séquence binaire

sous forme électrique. Le récepteur est équipé notamment d'un détecteur constitué d'une ou plusieurs photodiodes permettant la conversion du signal optique en signal électrique. Les photodiodes peuvent parfois être précédées d'un démodulateur servant à récupérer l'information binaire lorsqu'elle est stockée dans la phase du signal optique. Après détection, le signal électrique alimente une bascule de décision, qui génère un signal binaire «1» si le signal électrique détecté est supérieur à une certaine valeur appelée seuil de décision, et «0» s'il y est inférieur.

La détection est un point clef des liaisons par fibre optique. En général, les signaux reçus sont très faibles (typiquement le mW) et rapides (le débit binaire des liaisons peut atteindre 40 Gbits/s). Il est donc nécessaire que le système de détection soit sensible et rapide. Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. On y retrouve trois parties :

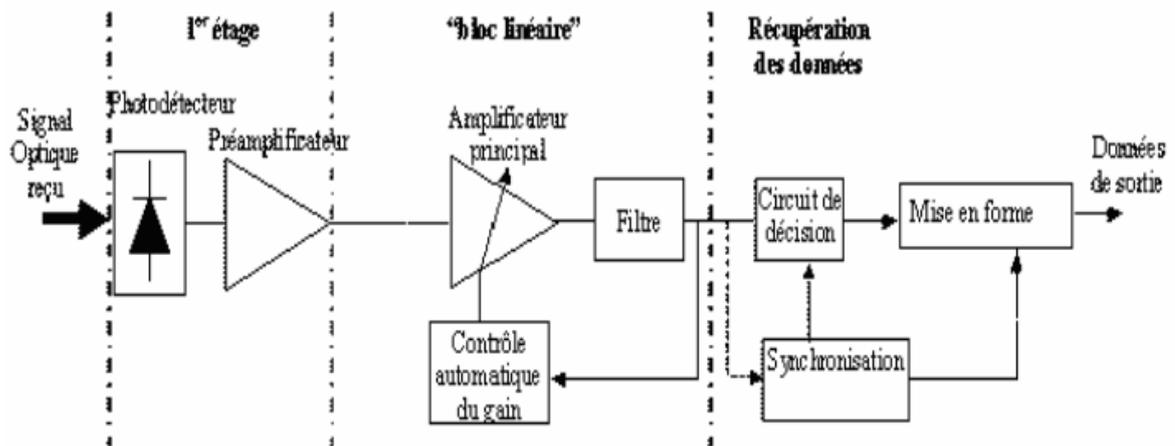


Figure I.7: Bloc de réception dans système de transmission optique

-Le bloc de 'premier étage' composé du photodétecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photocourant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.

-Le bloc 'linéaire', composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.

-Le bloc 'récupération des données', correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation

Photodiodes PIN : Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

Amplification électrique : Le courant émis par la photodiode, malgré la présence d'un préamplificateur, reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur en sortie de photorécepteur.

Filtrage : Afin de minimiser le bruit en sortie du récepteur, il faut filtrer le signal numérique dans une bande ΔF qui soit la plus petite possible, tout en ne créant pas d'interférences inter-symboles (IES), c'est-à-dire telle que la réponse du filtre à un symbole s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins.

Circuit de décision : Le circuit de décision effectue deux opérations : il échantillonne la tension électrique puis compare l'échantillon au seuil de décision pour décider que la donnée émise était un 0 (échantillon inférieur au seuil) ou un 1 (échantillon supérieur au seuil). L'échantillonnage s'effectue à un instant appelé instant de décision. La séquence binaire obtenue est transmise à l'analyseur de taux d'erreur-également appelé valise de réception.

8- Réseaux Optiques [10]

Dans un réseau de télécommunications, la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'expédition jusqu'au point de destination, comporte trois maillons principaux :

- Les réseaux longue distance WAN
- Les réseaux métropolitains MAN
- Les réseaux locaux LAN

Un schéma de l'architecture de ces réseaux est illustré en Figure 8.

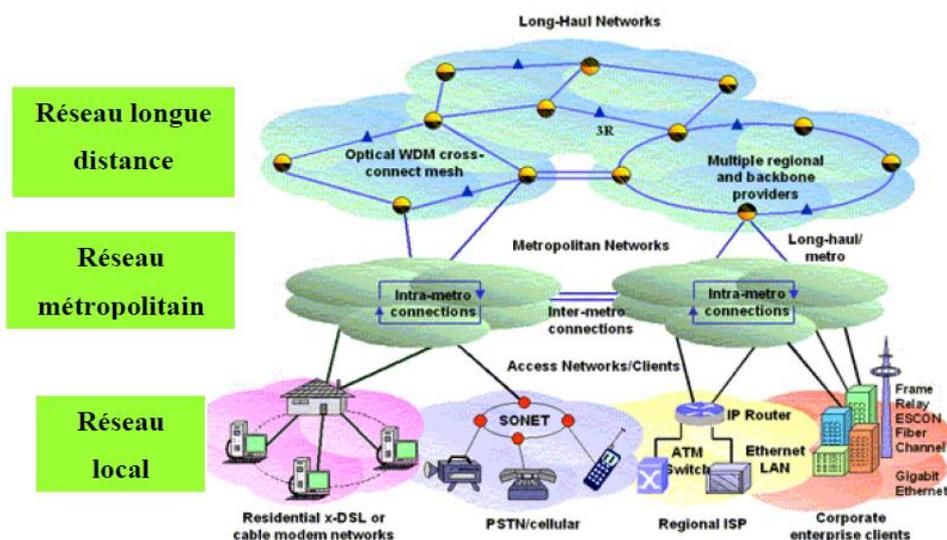


Figure I.8: Schéma du réseau de télécommunications

Tous ces maillons doivent répondre à la demande croissante de capacité des réseaux de télécommunications, quel que soit le type de service utilisé.

La structure des différentes couches de ce réseau est détaillée ci-dessous.

- Réseaux longue distance WAN [6]

Les réseaux longue distance, multiplexés en longueur d'onde et en temps, regroupent à la fois les liaisons internationales terrestres ou sous-marines. Ces réseaux sont, par nature, extrêmement performants c'est à dire qu'ils peuvent transmettre des débits allant jusqu'au

Térabits/s. Pour l'instant, une conversion Optique/Electronique/Optique (O/E/O) est nécessaire pour resynchroniser, remettre en forme et réamplifier le signal (appelé régénération 3R : Retime, Reshape, Reamplify) sur les longues distances. C'est la raison pour laquelle ces réseaux sont relativement coûteux à mettre en œuvre et sont donc des investissements à long terme.

Les nouvelles générations de réseaux longue distance tendent à devenir des réseaux tout optique passifs (régénération 3R « optique ») intégrant entre autres des compensateurs de dispersion, des amplificateurs tout optique ainsi que des filtres et isolateurs qui permettent de transmettre des informations sur plusieurs milliers de kilomètres sans passer par une conversion du signal en électronique. Les composants de ces réseaux devront respecter des espacements inter-canaux de 50 à 25 GHz.

- Réseaux métropolitains MAN [24]

Les réseaux métropolitains sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit nœuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants. Les topologies logiques (profils de trafic) des réseaux métropolitains diffèrent radicalement de celles des réseaux longue distance. Ces derniers correspondent pour l'essentiel à des lignes interurbaines point à point avec tout au plus un ou deux multiplexeurs d'insertion-extraction optiques (OADM) pour insérer et extraire le trafic en des points intermédiaires. Les réseaux métropolitains introduisent une infrastructure optique à haut degré de connectivité. Les anneaux métropolitains se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès, à la différence, collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant. La complexité de ce réseau ne se traduit pas uniquement par le haut

degré de connectivité. A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou du réseau optique synchrone (SONET) ou autres encore. Pour supporter cette diversité, ces réseaux sont souvent équipés de cartes transpondeurs multi débits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mbit/s à 2,5 Gbits/s, pouvant assurer ultérieurement le trafic à 10 Gbits/s sans modification.

- Réseaux locaux LAN [10]

Le réseau local comprend tout ce qui est situé entre le réseau métropolitain et le terminal de l'abonné. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain. La diminution du coût de la fibre optique et des composants optiques actifs et passifs, conjuguée à l'accroissement des besoins multiservices et aux exigences d'un réseau moderne, capable d'assurer disponibilité, qualité, évolutivité et réactivité, expliquent pour l'essentiel l'introduction de la fibre optique. Cependant, le débat entre la fibre optique, le câble coaxial et la distribution radiofréquence est toujours d'actualité. Le réseau local optique est encore souvent constitué par une partie en fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Selon la localisation de la terminaison de réseau optique, différentes configurations sont envisageables :

-**FTTH** (*Fiber To The Home*): La terminaison du réseau optique, propre à un abonné, est implantée dans ses locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau.

-**FTTB** (*Fiber To The Building*): La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.

-**FTTC** (*Fiber To The Curb*): La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau.

-**FTTN** (*Fiber To The Node*): La fibre optique est reliée jusqu'au central télécom du fournisseur d'accès, En général, ce nœud de distribution est situé à une certaine distance, en fonction de l'équipement à utiliser.

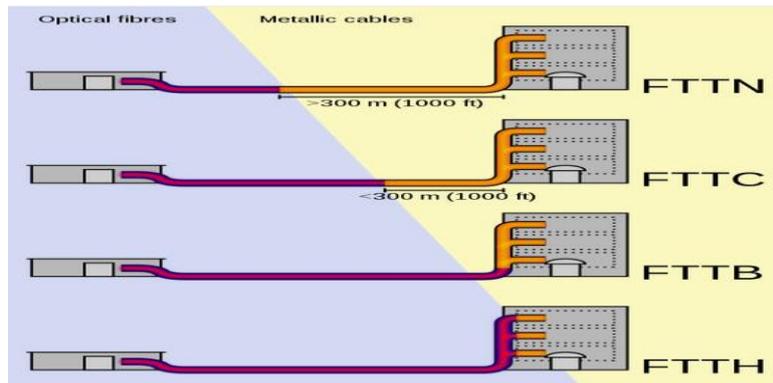


Figure I.9: Le réseau local

9- Différentes techniques d'accès multiples

Afin de profiter pleinement de la bande passante disponible dans les fibres optiques et de satisfaire la demande de bande passante dans les futurs réseaux d'information, il est nécessaire de multiplexer les flux de données de faible débit sur la fibre optique pour augmenter le débit total. L'utilisation des techniques d'Accès Multiple sur fibre est donc un enjeu important pour le partage des ressources entre des abonnés de plus en plus nombreux. Parmi les technologies d'accès multiple, nous devons choisir celle qui convient le mieux pour utiliser pleinement la large bande passante dans la fibre optique.

9.1- Accès multiples par répartition de Temps (TDMA) [25]

Le TDMA est la première technique utilisée dans le domaine des télécommunications optiques. Les utilisateurs partagent la même bande passante, et émettent sur la même fréquence les données à transmettre dans les différentes fenêtres temporelles qui leur sont allouées. Cette technique a pour avantage de ne nécessiter aucune gestion de fréquences des séquences de données à transmettre. Cependant un dispositif assurant la synchronisation entre les intervalles temporels de chaque canal doit être utilisé afin d'éviter toute interférence entre les canaux TDMA.

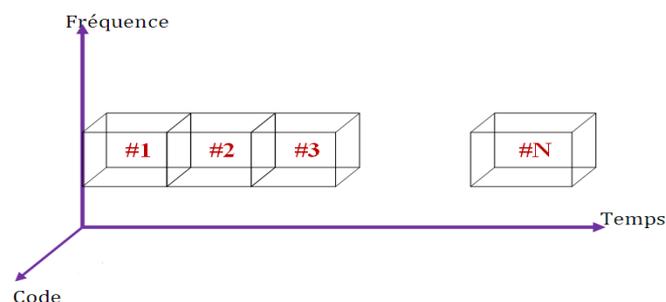


Figure I.10: Schéma de principe de la technique d'Accès Multiple par Répartition de Temps (TDMA)

9.2- Accès multiples par répartition en fréquence (FDMA) [25]

L'Accès par répartition en fréquence consiste à partager la bande passante en des fréquences distinctes. Les utilisateurs émettent leurs données de manière continue, chacun ayant une fréquence différente. La FDMA fournit un moyen efficace d'utiliser la très grande largeur de bande des fibres optiques. Cependant, cette technique nécessite un contrôle très précis des fréquences.

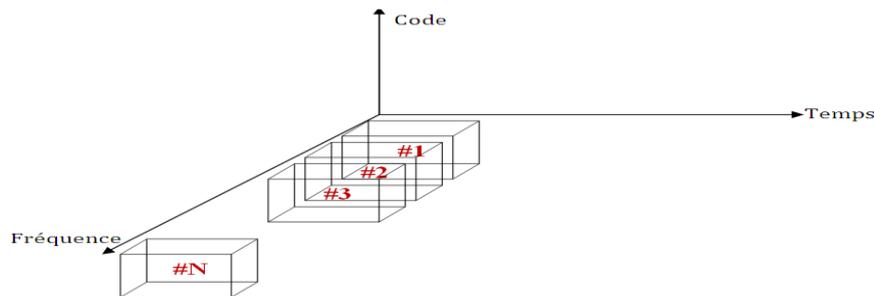


Figure I.11: Schéma de principe de la technique d'Accès par répartition en Fréquence (FDMA)

9.3- Accès multiples par répartition en longueur d'onde (WDM) [26]

Le WDM permet de multiplexer plusieurs signaux modulant des longueurs d'onde différentes dans une seule fibre optique, en les mélangeant à l'entrée par un multiplexeur (MUX) et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX). Les MUX/DEMUX sont des dispositifs passifs, ils agissent comme des filtres en sélectionnant le signal dans une bande de longueurs d'onde donnée. Lorsque moins de 8 longueurs d'ondes optiques sont utilisées, on parle de Coarse WDM (CWDM). Au-delà, on parle de Dense WDM (DWDM).

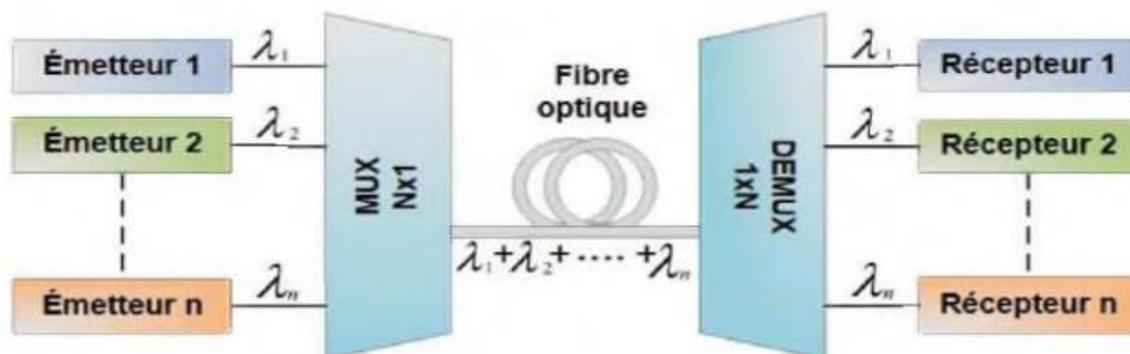


Figure I.12: Schéma d'un multiplexage en longueur d'onde WDM.

9.4- Accès multiples par répartition de codes (CDMA) [10]

Par exemple, nous pouvons citer l'Accès Multiple à Répartition par Code (noté aussi Code Division Multiple Access, CDMA), basé sur l'affectation d'un code à chaque station ou utilisateur. Chaque bit correspondant au 1 est remplacé par une séquence de M créneaux, différente pour chaque utilisateur et définie comme la signature (le code) de celui-ci. Un nombre important de messages peut donc être envoyé sur une même ligne de transmission (Figure). Le destinataire possédant la bonne « clé » pourra décoder le signal qui lui est adressé parmi toutes les informations transmises.

Cette technique connaît un véritable essor dans le domaine de la téléphonie cellulaire, et des recherches sont actuellement effectuées pour l'appliquer dans le domaine optique.

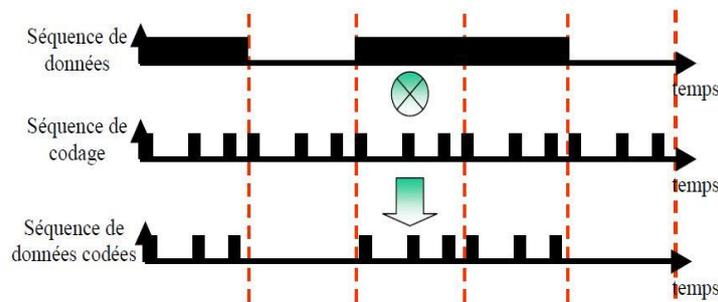


Figure I.13: Système utilisant la technique du CDMA.

10-Conclusion

Dans ce chapitre on a vu une description d'une liaison par fibre optique, les composants d'un émetteur, d'un récepteur et ses caractéristiques, avantages et inconvénients de la fibre optique ainsi que ses applications nous avons parlé aussi sur Les Réseaux Optiques et nous avons donné une brève description des différents types d'accès multiples appliqués aux communications optiques FTTH-GPON.

Chapitre II

Réseaux LAN optique

1-Introduction

Auparavant, les technologies d'accès réseau les plus utilisées sont l'ADSL et l'ADSL2+ sur fil de cuivre. Avec l'arrivée de nouvelles applications multimédias comme la voix IP (VoIP), la vidéo à la demande (VoD) ou la télévision IP (IPTV), plus de capacité et QoS sont nécessaires. Les nouvelles technologies Fiber to the Home (FTTH) remplacent le cuivre de liaison par la fibre optique. FTTx est un terme générique pour toute architecture de réseau à large bande utilisant la fibre optique pour remplacer tout ou partie de la boucle locale métallique habituelle utilisée pour les télécommunications. Cette partie introduit les réseaux optiques, en particulier les réseaux optiques passifs, son principe de fonctionnement, nous dériverons deux principales architectures du réseau FTTH : point à point, point à multipoints, nous discuterons par la suite sur les différents normes d'un réseau PON.

2-Technologie FTTH

Les réseaux FTTH appartiennent à la famille des systèmes de transmission FTTx dans le monde des télécommunications. Ces réseaux, qui sont considérés comme des réseaux à large bande, ont la capacité de transporter de grandes quantités de données et d'information à des débits très élevés jusqu'à un point proche de l'utilisateur final. La famille FTTx comprend un ensemble de technologies basées sur le transport de signaux numériques par fibre optique comme moyen de transmission.

Quels services sont accessibles via le haut débit FTTH:

- TV over IP Service.
- Vidéo à la demande communément appelée (VoD).
- Service audio à la demande.
- Bande passante à la demande (configurable par l'utilisateur et/ou le service).
- Enseignement à distance.
- Téléphonie vocale et vidéo sur IP : Connexion sous contrôle de commutateurs souples situés au centre.
- Jeux interactifs, même les jeux 3D et les jeux multi-joueurs.
- VPN sur large bande.
- Service VPN d'accès à distance.

3-Comparaison entre FTTH et ADSL

Tableau II.1 : Comparaison entre FTTH et ADSL

Type de fichier	Taille moyenne	FTTH		ADSL	
		Durée download	Durées upload	Durée download	Durées upload
Film en haute définition (1080px)	30 Go	40 min		8 h 20 min	66 h 40 min
Film qualité DVD	4.7 Go	6 min 16 s		1 h 18 min	10 h 24 min
Film qualité Divx	1Go	1 min 20 s		16 min 40 s	2 h 14 min
100 photo 8 méga pixels non compressées	2.4 Go	3 min 20 s		40 min	5 h 20 min
20 fichiers audio mp3	100 Mo	8 s		1 min 40 s	13 min 20 s

4-Présentation de réseau optique passif [11]

L'architecture du réseau fait référence à la conception d'un réseau de communication et fournit un cadre pour la spécification du réseau, des composants physiques aux services. Le réseau d'accès est une partie du réseau de communication qui se connecte directement aux utilisateurs finaux.

Afin de spécifier l'interfonctionnement des infrastructures passives et actives, il est important de faire une distinction claire entre les topologies utilisées pour le déploiement des fibres (l'infrastructure passive) et les technologies utilisées pour le transport des données sur les fibres (l'équipement actif).

Les deux topologies les plus utilisées sont le point-multipoint, souvent combiné avec une technologie de réseau optique passif(PON), et point-à-point, qui utilise généralement des technologies de transmission Ethernet.

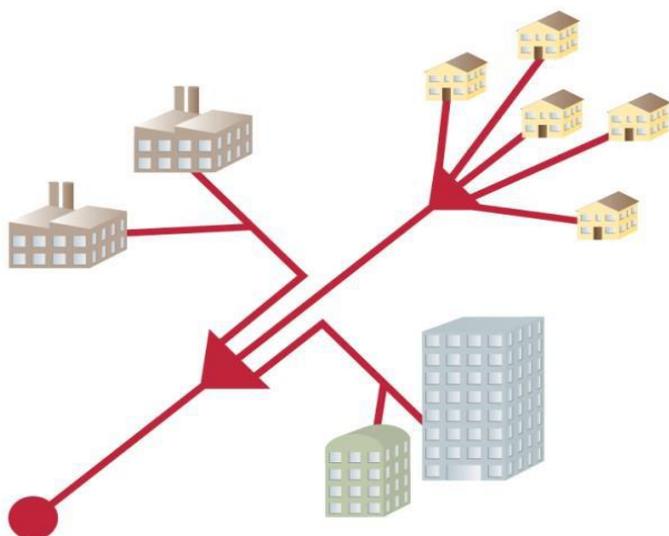


Figure II.1: Point to Multi-Point (P2MP)

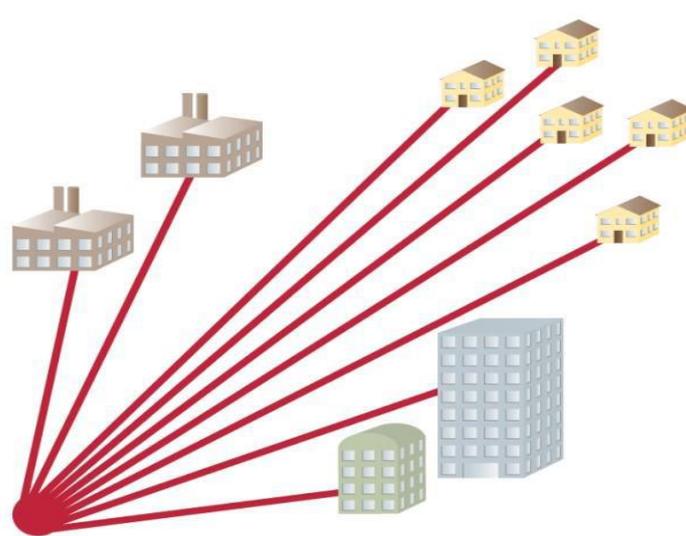


Figure II.2: Point to Point (P2P)

5- Topologies:

5.1- Topologie point-à-multipoint (P2M) [9]

Un réseau point-à-multipoint (P2M) connu aussi sous le nom de PON (Passive Optical Network) ou Réseau optique passif, le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique, la fibre optique partant du (OLT) alimente un équipement de répartition se trouvant dans une armoire de rue, dans une chambre de tirage ou dans le sous-sol d'un immeuble. Cet équipement peut-être soit passif avec un simple répartiteur optique (Splitter) qui divisent le signal optique d'une fibre d'entrée en plusieurs fibres de sortie, soit actif avec un commutateur Ethernet (Switch) ou un DSLAM (Digital Line Access Multiplexer). Chaque fibre partant du OLT alimente plusieurs utilisateurs, d'où la dénomination Point à Multipoint La caractéristique remarquable de ce type d'architecture de réseau, permet d'éliminer tous les composants actifs présents entre la station centrale (OLT) et l'abonné (ONT), en utilisant des composants optiques passifs pour acheminer le trafic à travers le réseau. [12]

- Avantages

-Une infrastructure PON est beaucoup moins coûteuse à mettre en œuvre et à entretenir que P2P.

- Plus rapide à déployer qu'une infrastructure P2P plus complexe.
- le splitter est un élément passif donc pas d'alimentation nécessaire entre le central (OLT) et le client (ONT).
- Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.
- Architecture favorable à la diffusion.
- **Inconvénients:**
 - la sécurité des données est limitée.
 - Zone de couverture limitée au maximum 20 km en fonction du nombre de divisions (plus de divisions = moins de distance) et le nombre de ONTs.
 - Pas d'interopérabilité avec d'autres réseaux.
 - la bande passante de la fibre est partagée entre plusieurs abonnés

5.2- Topologie point à point (P2P) [9]

Cette architecture est la plus simple à mettre en œuvre parmi les Topologies physiques du réseau d'accès optiques, utilise une fibre optique individuelle pour chaque abonné depuis station centrale (OLT) jusqu'à son domicile (appartement, bureau, villa individuelle). Chaque fibre partant de l'OLT alimente un seul abonné, d'où la dénomination Point à Point.

La plupart des déploiements de FTTH point à point utilisent Ethernet, qui peut être mélangé à d'autres systèmes de transmission pour applications commerciales par exemple, SDH/SONET. [12]

- Avantages

- une bande passante maximale
- un débit garanti
- La gestion du réseau est très simplifiée.
- permettre l'allocation de toute la bande passante potentiellement disponible sur une fibre pour un abonné
- Pertes de puissance minimales.

– Plus économique dans des secteurs d’abonné de faible densité.

-Inconvénients

-Pas de mutualisation de la fibre.

-Consommation d’énergie importante.

-une infrastructure coûteuse.

– Encombrement à l’intérieur du central dû au grand nombre de transcrives.

5.3-Comparaison entre les deux architectures P2P et PON [12] [18]

Le tableau ci-dessus résume une comparaison des deux architectures point à point et point à multipoint :

Tableau II.2: comparaison entre P2P et PON

Paramètre	Point à point	Point à multipoint
Gestion de chiffrement	Pas nécessaire	Nécessaire
bande passante	Bande passante non partagée sur le réseau d’accès	Allocation dynamique de la bande passante en fonction des besoins des abonnés
Distance (kms)	15	20
Fibre	Une fibre par abonné de bout en bout	Une fibre par abonné en partie distribution et raccordement, Une fibre pour n abonnés dans la partie transport
Energie	2 watt/abonné Dissipe au NA	0.6 watt/abonné dissipé au NA
Débit garantie	100 Mbit/s ou 1 Gbit/s symétrique selon connexion	Jusqu’ à 78 Mbit/s descendant En split se 32
Place occupée	1U pour 28 à 48 abonnés	4U pour 512 à 2304 abonnés
Débit maximum	100 Mbit/s ou 1Gbit/s symétrique selon connexion	Jusqu’ à 2.5 Gbit/s en descendants et 1 Gbit/s en montant

6-présentation de PON [13]

La technologie PON constitue une référence en matière de réseaux d’accès très haut débit, car elle permet d’offrir une très forte capacité de transport et minimisation des infrastructures (fibres nécessaires).

Cette technologie utilise des réseaux optiques passifs, optiques car ils utilisent comme infrastructure des fibres optiques, passifs car les équipements de la partie intermédiaire de ces réseaux sont inactif, ils ne sont pas alimentés en électricité et n’embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent un service d’acheminement de flux bidirectionnels et

multimédia à très haut débit, jusqu'à l'utilisateur final, entreprise ou particulier. Les réseaux PON sont normalisés au niveau international par les principaux organismes de normalisation : l'ITU (International Télécommunications Union) et le FSAN (Full Service Access Network), l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

6.1-structure et fonctionnement

Les réseaux PON adoptent une architecture point à multipoint (P2MP) Contrairement aux autres technologies d'accès, qui utilisent les supports en cuivre classiques pour les communications La demande en bande passante, la contrainte de la portée et les limites technique des technologies utilisées, comporte le central qui se dénomme NRO (un nœud de raccordement optique) appelé aussi (OLT), sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce NRO est lui-même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals (résidences, entreprises...) appelé ONU ou ONT .Les réseaux PON ont classiquement une portée de 20kilomètres, quels que soient les flux transportés, ce qui permet en réalité de couvrir une superficie de 20 kilomètres de rayon sans aucun répéteur.

-L'ONT

L'ONT peut être considéré comme un modem optique auquel le client vient connecter sa passerelle d'accès haut débit. Il garantit l'adaptation optique / électrique et le filtrage des flux entrants et sortants destinés à l'abonné permettant aussi de bénéficier des différents services.



Figure II.3: Terminal de réseau optique ONT

-Coupleur optique (splitter)

Un coupleur optique (splitter) est un composant passif qui n'intervient pas sur le contenu du signal lumineux et qui nécessite aucune alimentation électrique. Son rôle consiste simplement à distribuer la puissance d'une fibre principale vers une ou plusieurs autres fibres. La répartition de la puissance entre les différentes sorties dépend en général de la longueur d'onde et de la polarisation du signal d'entrée



Figure II.4: Coupleur optique (splitter)

-L'OLT

C'est un équipement actif, qui envoie et reçoit les signaux lumineux porteurs des données. permet de distribuer des services tel que : l'internet, la téléphonie et la vidéo. Situé en tête du réseau ou du commutateur FTTx.



Figure II.5: Ligne optique terminal OLT

7- Types de technologies de réseau PON

Il existe plusieurs standards X-PON qui sont normalisés soit par IUT, IEEE ou du groupe FSAN (FULL Service Access Network) ces dernières sont classifiées comme suit :

7.1- Norme APON (ATM PON)

Un protocole PON basé sur ATM Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournit un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbits/s ou 155Mbits/s en aval, 155Mbits/s en amont) développé par FSAN, Avec l'APON, les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre. Il a ensuite été nommé Broadband Réseaux optiques passifs (B-PON) par l'UIT-T [4], [14].

7.2- Norme BPON (Broadband PON)

Une évolution du protocole APON précédent C'est un réseau de distribution en fibre optique à large bande a été introduite en 1999; il a été accepté par l'Union internationale des télécommunications (UIT) L'architecture du BPON est très flexible et s'adapte bien à différents scénarios. En vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo) Ce réseau opère avec des débits downstream/upstream : 155Mb/s, 155Mb/s, 622Mb/s ,622Mb/s. : [15]

7.3- Norme EPON (Ethernet PON)

Est un réseau dans lequel la topologie point-multipoint (P2MP) est mise en application. Le travail de EPON a été commencé en mars 2001 par le groupe d'étude IEEE 802.3ah et terminé en juin 2004 basé sur Ethernet comme protocole de transport, la norme E-PON supporte le service « triple play : Voie, Data et la vidéo sur IP». Les données sont transmises en paquets de longueurs variables jusqu'à 1.518 octets. [16] [17]

7.4- Norme GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network)

GPON a une capacité améliorée par rapport à APON et BPON. Il est défini par les séries de recommandations UIT-T G.984.1 à G.984.4 qui définissent les caractéristiques générales.

GPON peut transporter non seulement Ethernet, mais le trafic ATM et TDM en utilisant la méthode d'encapsulation GPON (GEM).

Les principales caractéristiques de la norme GPON sont :

- Portée physique d'au moins 20 km, avec prise en charge d'une portée logique jusqu'à 60 km.
- GPON prend en charge le service triple play et plusieurs options de débit de données utilisant le même protocole.
- Gestion de services de bout en bout avec de bonnes capacités (exploitation, administration, maintenance et fourniture).

-GPON identifie 7 combinaisons de vitesses de transmission comme suit:

0.15552 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

0.62208 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

1.24416 Gbit/s up, 1.24416 Gbit/s down

0.15552 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

Chapitre II : Réseau LAN optique

0.62208 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

1.24416 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

2.48832 Gbit/s up, 2.48832 Gbit/s down

-Parmi eux, 1.24416 Gbit / s en up, 2.48832 Gbit / s en down est le courant dominant combinaison de vitesse prise en charge à l'heure actuelle.

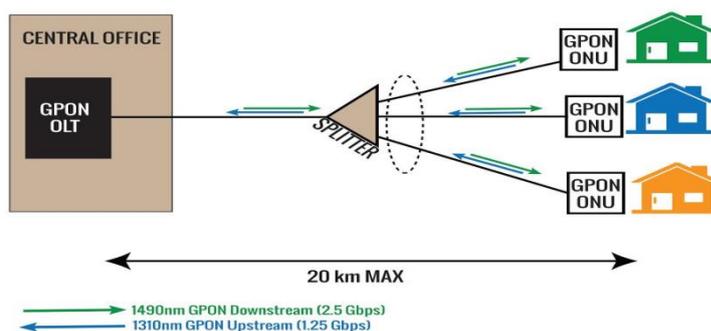


Figure II.6 : Architecture GPON

-Sens descendant (de l'OLT vers l'ONT) : Le partage des ressources dans le sens descendant en mode diffusion Chaque client reçoit toutes les informations mais n'est autorisé à recevoir que les données qui lui sont destinés. La bande passante attribuée à chaque utilisateur peut être statique ou variable les données sont au débit de 2,5 Gbits/s.

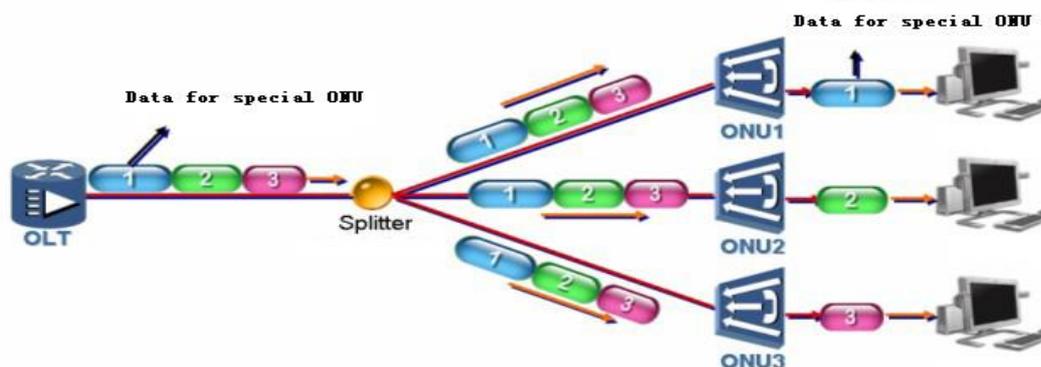


Figure II.7 : Transmission data de L'OLT VERS L'ONT en mode broadcast

-Sens montant (de l'ONT vers l'OLT):Le partage des ressources dans le sens montant s'effectue par le TDMA (Time Division Multiple Access). Chaque client dispose d'un intervalle de temps bien précis pour émettre afin de ne pas interférer avec un autre client les données sont au débit de 1,25 Gbits/s.

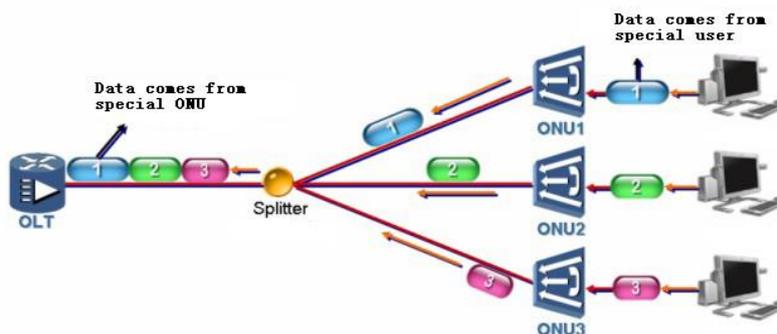


Figure II.8 : Transmission data de L'ONT VERS L'OLT en mode TDMA

7.4.1-Transmission GPON

Le protocole de contrôle de la couche de contrôle d'accès au support (MAC) est nécessaire pour coordonner la transmission du trafic, de sorte que la collision entre le trafic provenant de différentes ONU peut être évitée.

GEM est une méthode qui encapsule les données sur GPON. Il fournit une communication orientée connexion basée sur une version légèrement modifiée de la procédure de tramage générique de la Recommandation UIT-T G.7041.

- Transmission dans le sens descendant

En aval, l'OLT multiplexe les trames GEM sur le support de transmission en utilisant l'ID de port GEM comme clé pour identifier les trames GEM qui appartiennent à différentes connexions logiques en aval.

Chaque ONU filtre les trames GEM en aval en fonction de leurs ID de port GEM et traite uniquement trames GEM qui appartiennent à cette ONU.

- Format de trame GPON dans le sens descendant:

Les trames en aval superposent des données cartographiques à l'aide de la convergence de transmission GPON (GTC). La figure (9) montre le format de trame GTC en aval. Les trames GPON ont différentes quantités d'octets avec différents taux de transmission; plus le taux est élevé, plus le cadre est grand.

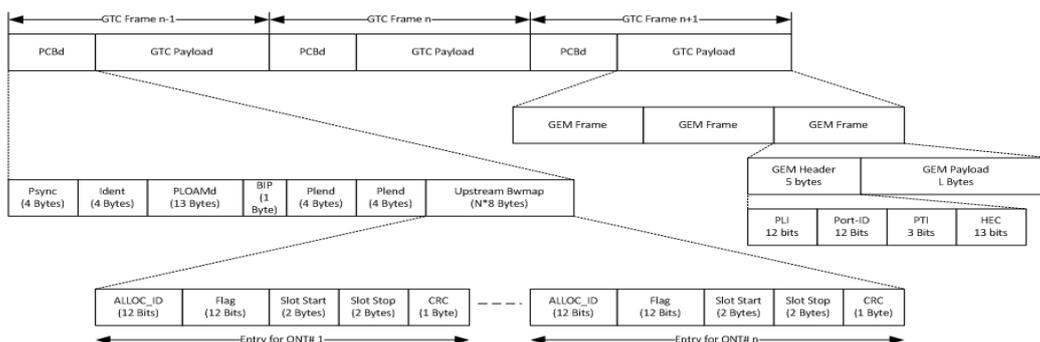


Figure II.9 : le format de trame GPON dans le sens descendant

Format de trame Le trafic en aval est diffusé depuis l'OLT vers toutes les ONU de manière TDM. Chaque ONU ne doit prendre en compte que les trames destinées à ce qui est assuré par le chiffrement. La trame en aval se compose d'une section d'en-tête appelée le bloc de commande physique en aval (PCBd) dont la plage de longueur est la même pour les deux vitesses et dépend du nombre de structures d'allocation par trame et section de charge utile qui contient les données réelles qui doivent être transféré. La section de charge utile à la partition ATM et une partition GEM. La trame en aval fournit la référence de temps commune pour le PON et fournit la signalisation de commande commune pour l'amont. S'il n'y a pas de données à envoyer, la trame en aval sera toujours transmise et utilisée pour la synchronisation de l'heure. La structure de trame aval GPON est illustrée sur la figure (10), la trame mesure 125 micro secondes et 38880 octets de long.

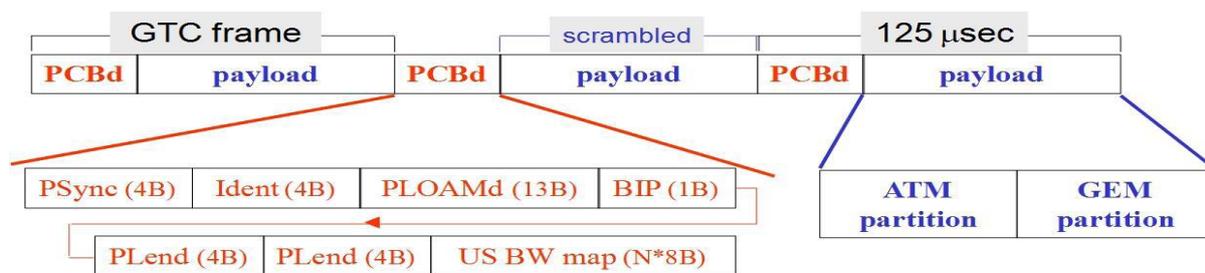


Figure II.10 : La structure de trame dans le sens descendant

-Transmission dans le sens amont

La fonctionnalité de multiplexage du trafic est distribuée. L'OLT accorde des allocations de bande passante en amont aux entités porteuses de trafic au sein des ONU sous-tendantes. Les entités porteuses de trafic de l'ONU sont identifiées par leurs ID d'allocation (Alloc-ID). Les allocations de bande passante aux différents Alloc-ID sont multiplexées dans le temps comme spécifié par l'OLT dans les cartes de bande passante (cartes BW) transmises en aval. Dans chaque attribution de bande passante, l'unité ONU utilise l'identifiant de port GEM comme clé

de multiplexage pour identifier les trames GEM qui appartiennent à différentes connexions logiques en amont. Format de trame GPON en amont Le contrôle d'accès aux médias et l'allocation des ressources pour le trafic en amont sont mis en œuvre dans la couche GTC comme spécifié dans l'UIT-TG.984.3. Fondamentalement, les trames en aval indiquent les emplacements autorisés pour le trafic en amont dans les trames GTC en amont. Le concept de contrôle d'accès aux médias dans le système GTC est illustré à la figure (11). La durée de trame GTC en amont est également de 125 micro-secondes et de 19440 octets.

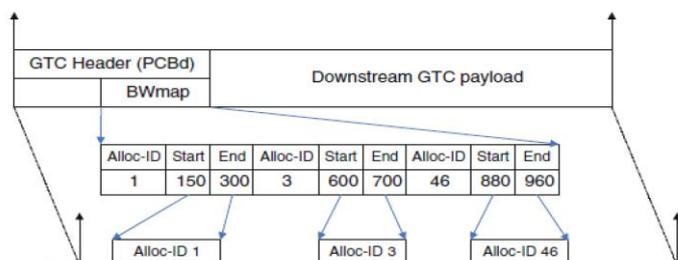


Figure II.11 : La structure de trame dans le sens amont

Le trafic en amont utilise le TDMA sous le contrôle de l'OLT situé au CO qui attribue des intervalles de temps variables à chaque ONU pour la transmission de ses rafales de données. L'OLT envoie des pointeurs dans le champ BW Map amont du PCBd. Ces pointeurs indiquent l'heure à laquelle chaque unité ONU peut commencer et terminer sa transmission en amont afin qu'une seule unité ONU puisse accéder au support à un moment spécifié. Il n'y a aucun conflit en fonctionnement normal. Les pointeurs sont donnés en unités d'octets permettant à l'OLT de contrôler le support à une granularité de bande passante statique effective de 64 kbps. Cependant, certaines implémentations de l'OLT peuvent choisir de définir les valeurs des pointeurs à une granularité plus grande et de réaliser un contrôle fin de la bande passante via une planification dynamique. La trame en amont se compose de multiples salves de transmission. Chaque rafale en amont contient au minimum le sur débit de couche physique (PLOu). Outre la charge utile, il peut également contenir les opérations de la couche physique, l'administration et la gestion en amont (PLOAMu), l'alimentation Sections de mise à niveau en amont (PLSu) et en amont du rapport dynamique de bande passante (DBRu). Un diagramme de la structure de trame en amont est illustré à la figure (12). La longueur de trame est la même qu'en aval pour tous les débits. Chaque trame contient un certain nombre de transmissions d'une ou plusieurs ONU. La carte BW dicte la disposition de ces transmissions. Au cours de chaque période d'allocation en fonction du contrôle OLT, l'unité ONU peut

envoyer de un à quatre types de sur débit PON et de données utilisateur.

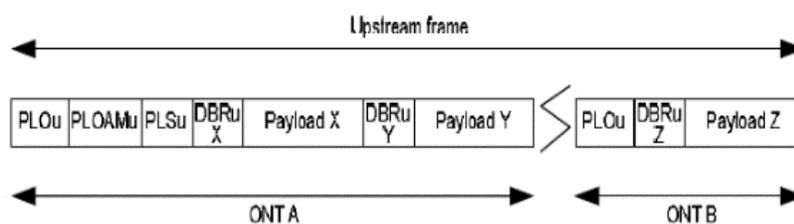


Figure II.12 : diagramme de la structure de trame dans le sens amont

7.4.2-Sécurité dans GPON [27]

Les données en aval sont diffusées à toutes les ONU et chaque ONU a alloué du temps lorsque les données lui appartiennent. De ce fait, un utilisateur malveillant peut reprogrammer sa propre ONU et capturer toutes les données en aval appartenant à toutes les ONU connectées à cette OLT.

En amont, GPON utilise une connexion point à point afin que tout le trafic soit sécurisé contre l'écoute. Par conséquent, chacune des informations confidentielles en amont (telles que la clé de sécurité) peut être envoyée en texte clair.

La recommandation GPON G.984.3 décrit l'utilisation d'un mécanisme de sécurité des informations pour garantir que les utilisateurs ne sont autorisés à accéder qu'aux données qui leur sont destinées. L'algorithme de chiffrement à utiliser est le standard de chiffrement avancé (AES). Il accepte des clés de 128, 192 et 256 octets, ce qui rend le chiffrement extrêmement difficile à compromettre. Une clé peut être modifiée périodiquement sans perturber le flux d'informations pour améliorer la sécurité.

7.4.3-Protection dans GPON [27]

L'architecture de protection de GPON est considérée comme améliorant la fiabilité des réseaux d'accès. Cependant, la protection est considérée comme un mécanisme optionnel car sa mise en œuvre dépend de la réalisation de systèmes économiques. Il existe deux types de commutation de protection, l'un d'eux est la commutation automatique qui est déclenchée par la détection de défaut, comme la perte de signal, la perte de trame, la dégradation du signal.

L'autre est la commutation forcée qui est activée par des événements administratifs tels que le réacheminement des fibres et le remplacement des fibres.

7.4.4-Avantages et inconvénients d'un réseau GPON

Avantage

- Un OLT peut desservir au moins 64 clients.
- Architecture favorable à la diffusion (typiquement diffusion TV).
- Peu de fibre sont employée dans le réseau GPON.
- Le génie civil a été amélioré et le coût est faible

Inconvénients

- Le coût optique est limité par le coupleur, donc portée réduite.
- Débit partagé et limité à la capacité de la fibre commune.
- La synchronisation est difficile pour la direction pour le sens montant.

8-Comparaison des standards d'un réseau PON :

Tableau II. 3: récapitulatif des performances des PON normalisés : [18], [8], [19]

NORMES	APON	BPON	EPON	GPON
Standard	ITU G983	ITU G983	IEEE 802.3ah	ITU G984
Débit descendant	155Mbit/s ou 622Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s	2.5Gbit/s
Débit montant	155Mbit	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s	1.25Gbit/s
Modes de trafic	ATM	ATM	Ethernet	GEM (ATM, Ethernet, TDM)
Nombre de clients	64 max	64 max	32 max	64 max
Longueur d'onde (descendant/ montant)	1490nm/1310nm	1490 nm/1310nm	1490nm/1310 nm	1490 nm/1310 nm
Budget optique	15/20/25 dB	15/20/25 dB	15/20 dB	15/20/25/28dB
Distance OLT-ONT	20 Km	20 Km	20 Km	60 Km

9-Conclusion

Dans cette partie on a parlé sur la technologie FTTH, dans un premier temps on a cité les différentes topologies utilisées pour le déploiement de FTTH (Fiber to the Home) : point à point, point à multipoint. On a particulièrement met l'intérêt sur les réseaux optiques passifs et en plus nous avons parlé sur la structure d'un réseau FTTH, et on a cité les différents normes utilisées dans le réseau FTTH finalement nous avons détaillé la technologie GPON.

Dans le chapitre suivant nous allons voir une étude détailler d'une liaison GPON FTTH en TDMA et en WDM.

Chapitre III

**Etudes les performances des réseaux
FTTH- GPON**

1-Introduction

Après une présentation des optiques GPON dans les deux premiers chapitres, nous allons simuler notre système GPON FTTH, sous le logiciel OptiSystem qui est un outil de simulation de systèmes de communications optiques. Dans un premier temps, on va présenter le logiciel OptiSystem, puis une étude des performances des réseaux GPON FTTH en TDMA et en WDM.

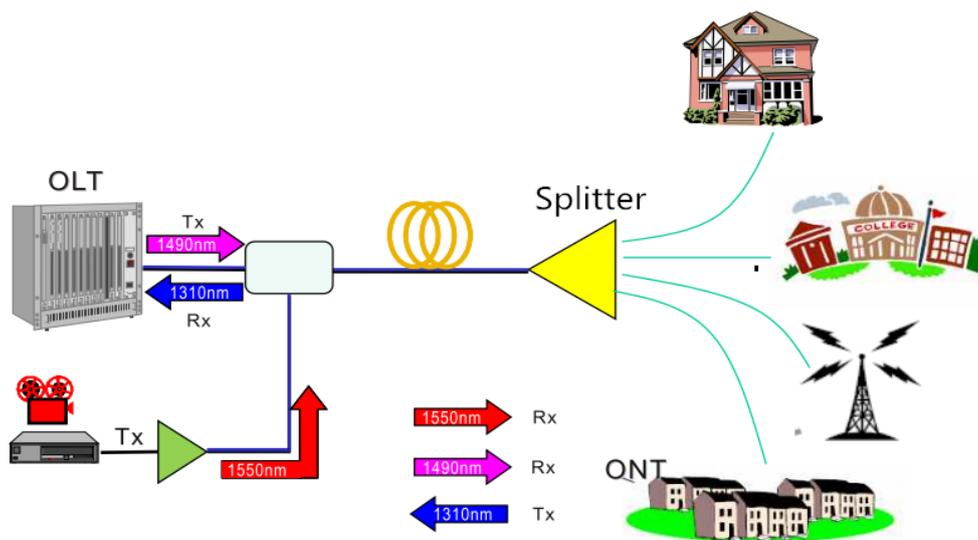


Figure III.1 :Les éléments constitutifs d'un réseau GPON FTTH

2- Présentation du logiciel OptiSystem

Le logiciel OptiSystem développé par la société canadienne Optiwave; Optical Communication System Design Software permet aux utilisateurs de concevoir, simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique. La diversité des systèmes simulés peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions réalisées par l'utilisateur et qui peuvent être ajoutées aux systèmes simulés.

Le logiciel OptiSystem permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique. Il est basé sur la modélisation des systèmes de communications par fibre optiques.

2.1- Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

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

2.2- Applications du logiciel OptiSystem

Parmi les diverses applications d'OptiSystem nous allons citer les plus utilisées :

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER ou TEB) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et les réseaux optiques passifs (PON).

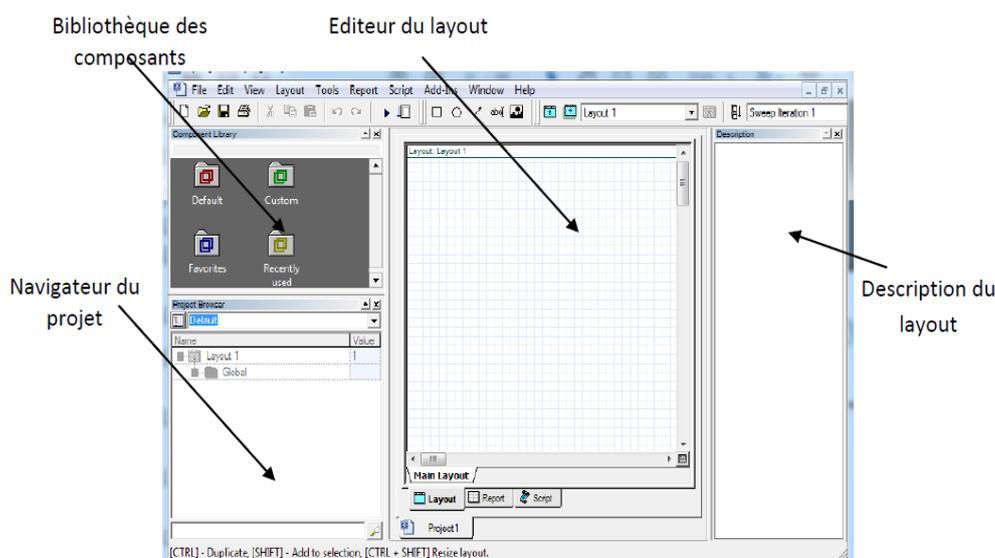


Figure III.2 : Interface graphique du logiciel OptiSystem

Principales parties de l'interface graphique : L'interface graphique de l'OptiSystem contient les fenêtres principales suivantes:

-La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurées à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.

-Editeur du layout : C'est la fenêtre principale dans laquelle vous insérez des composants dans la mise en page, modifiez les composants et créez des connexions entre les composants. Il permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.

- Projet en cours (description du layout): Visualise et affiche les divers fichiers et composants correspondants au projet en cours.

-Description de layouts : Cette fenêtre contient tous les composants utilisés lors du projet afin de pouvoir accéder plus rapidement aux différents composants, particulièrement dans le cas d'un projet complexe qui contient un nombre important de composants.

Critère de qualité de la transmission optique

Pour définir la qualité d'une transmission FSO, différents critères existent.

Pour cela il y'a trois critères principaux qui sont :

-Le facteur de qualité (Q).

-Le taux d'erreurs binaires (BER).

-Le diagramme de l'œil.

3-Facteur de qualité

Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission.

Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré, le signal utile est représenté par les niveaux moyens μ_1 et μ_0 . Le bruit représente les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens, il est quantifié en combinant les écarts-types σ_1 et σ_0 . On définit donc le facteur Q à partir de relevé du diagramme de l'œil par : [20]

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

4-Le taux d'erreurs binaires (BER) [21]

Etant donné que dans les systèmes de transmission, les données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires, le critère le plus intuitif permettant d'évaluer la qualité du signal transmis est la comparaison entre la séquence binaire à l'émission et celle à la réception. Nous parlons dans ce cas de taux d'erreur binaire. Il est défini par le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits transmis:

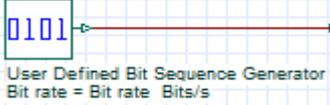
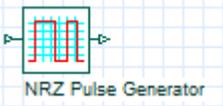
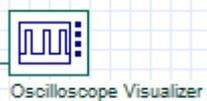
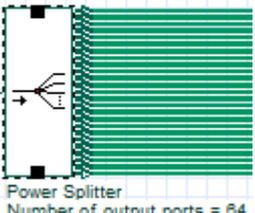
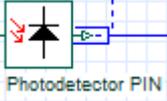
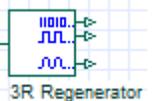
$$BER = \frac{\text{Nombres de bits erronés}}{\text{Nombres de bits transmis}}$$

Un système est généralement considéré de bonne qualité en télécom optique si ce BER est inférieure à une valeur de 10^{-9} suivant les systèmes.

5- Diagramme de l'œil [22]

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

Tableau III.1: Descriptif des composants utilisés dans la simulation

Eléments	Symbol	Description
User Defined Bit Sequence Generator		peut être utilisé pour générer une séquence de bits définie par l'utilisateur.
NRZ Pulse Generator		Permet aux utilisateurs de créer une séquence de impulsions non retournées à zéro codées par une entrée de signal numérique
CW Laser		Génère un signal optique d'onde continue
M Z M		Convertit le signal électrique en signal optique
optical time domain visualizer		Affiche le signal optique modulé dans le domaine temporel
Oscilloscope Visualizer		Affiche le signal électrique après le PIN dans le domaine temporel
Optical Fiber		C'est un moyen de transport de signal lumineux
Power Splitter		Est un composant qui divise également la puissance du signal d'entrée entre ses sorties
Photodetector PIN		photodiode détecte le signal optique et le convertir en signal électrique.
Low Pass Bessel Filter		Filtre le signal et minimiser le bruit en sortie du récepteur PIN.
3R Regenerator		ce composant permet d'analyser et de calculer le BER.
BER Analyzer		Mesure les performances du système et affiche les deux valeurs de facteurs de qualité Q et BER et le diagramme de l'oeil.

6-Système FTTH-GPON en TDMA

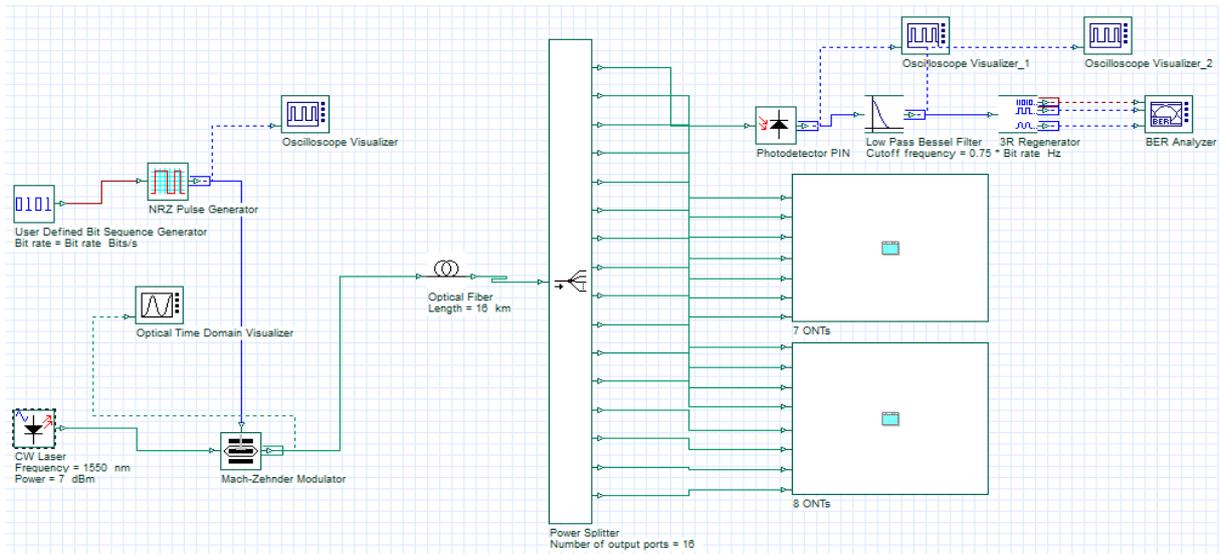


Figure III.3: Chaîne de transmission de FTTH-GPON en TDMA

-Bloc d'émission :

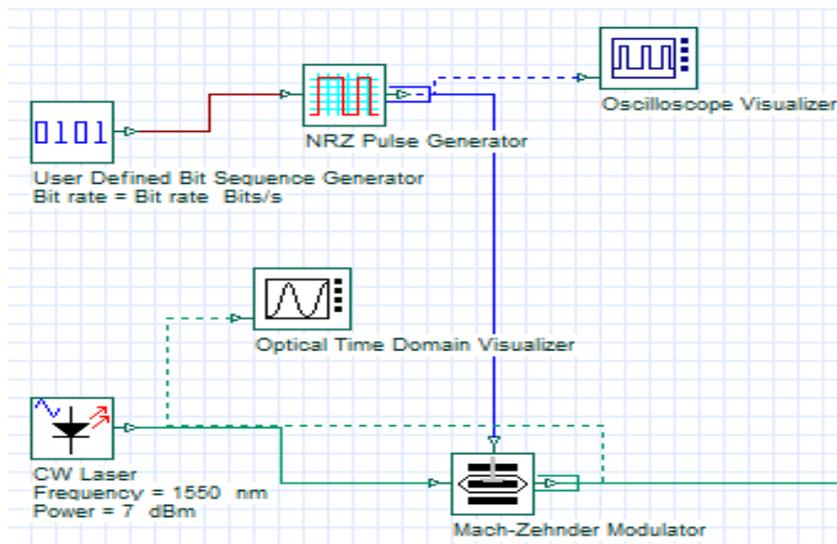


Figure III.4 : Bloc d'émission

Le rôle de ce bloc est d'émettre un signal optique continu et de le moduler en fonction des données binaires et du format choisi. Dans les systèmes que nous allons étudier, l'émetteur est constitué des éléments suivants :

- CW Laser
- User Defined Bit Sequence Generator
- NRZ Pulse Generator
- Mach-Zehnder Modulator

-Bloc canal de transmission :

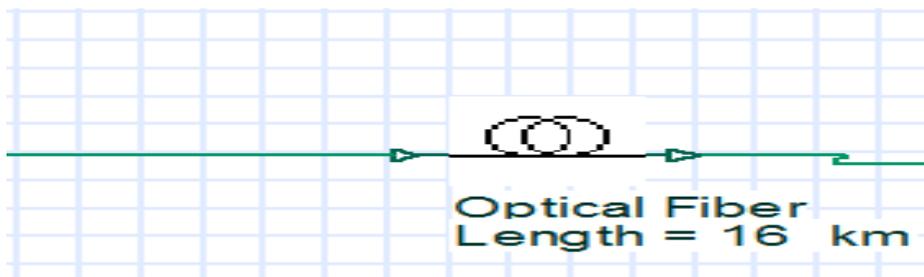


Figure III.5 : Canal de transmission

La transmission de données à très haut débit et sur de grandes distances entre OLT-ONT est réalisée via une fibre optique.

-Bloc de réception :

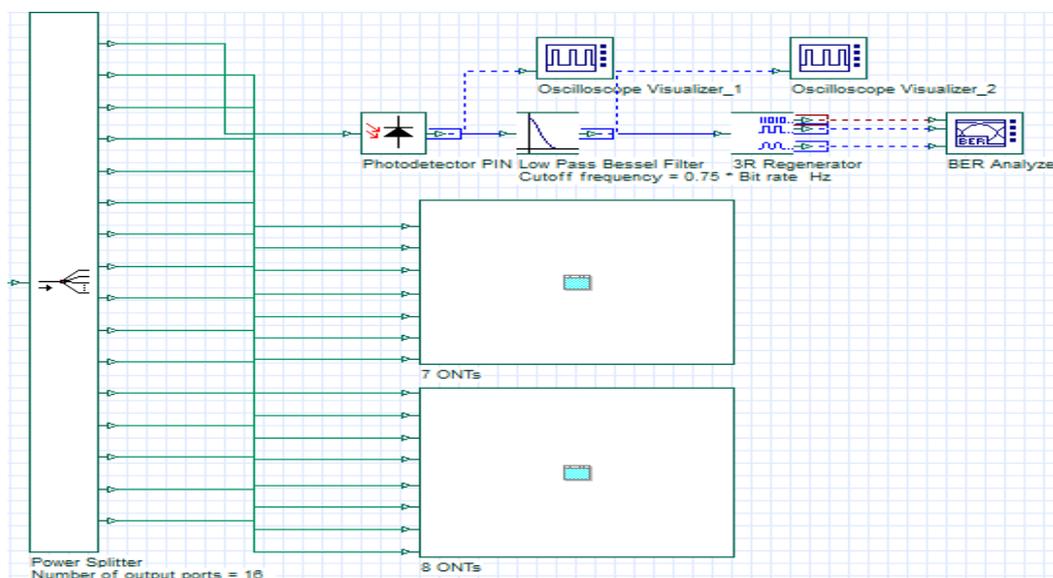


Figure III.6 : Bloc de réception

Le rôle du récepteur est de recevoir le signal efficace souhaité avec le minimum de distorsions, et ceci afin de répondre aux besoins des clients. Il se constitue des éléments suivants :

- Power Splitter
- Photodétecteur PIN
- Low Pass Bessel Filter
- 3R Regenerator
- BER Analyzer

6.1-Impact de la distance

Afin d'étudier l'impact de la distance de la liaison optique sur les performances d'un réseau FTTH-GPON, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER). Une bonne qualité de transmission exige un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

On commence par fixer le débit binaire à $D=2.5$ Gbit/s avec un nombre d'utilisateurs $N=16$ qui communiquent simultanément. La puissance optique du laser est de $P=7$ dBm. La longueur de la fibre optique varie de 5 Km à 25 Km,

Les résultats des mesures de Q, de BER et le diagramme de l'œil sont fournies par l'analyseur BER. Les résultats de simulation sont regroupés dans le tableau Tableau III.2 ci-dessous. On procède ensuite à l'évaluation des performances (Q, BER) pour différentes valeurs de longueurs de fibre optique.

Tableau III.2: Q, BER en fonction de Distance (Km) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA

Distance (km)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
5	12.6656	4.5891e-037
10	9.82894	4.22272e-023
15	7.61715	1.29572e-014
20	5.9002	1.81317e-009
25	4.5681	2.45767e-006

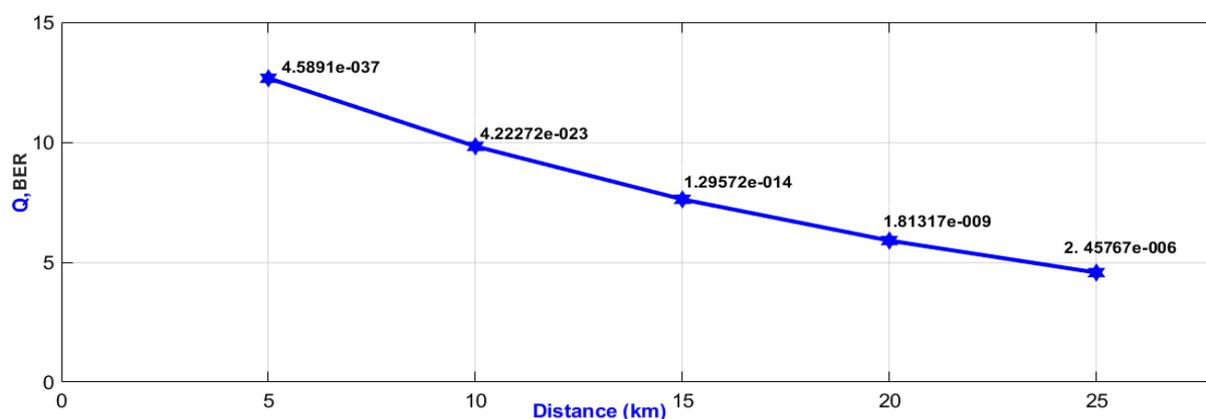


Figure III.7 : Q, BER en fonction de Distance (km) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA

On remarque dans la figure III.7 que il y a une relation négative plus la distance du canal (fibre optique) augmente, plus les performances du système de communication FTTH se diminuer. Ceci s'explique par l'atténuation du signal optique dans son trajectoire de propagation ce qui conduit à des pertes d'information. Par conséquent, plus la distance entre OLT et ONT (canal) augmente, plus l'atténuation du signal augmente, et donc plus les performances du système de communication FTTH se diminuer.

6.2-Impact de la puissance

Etudions maintenant l'impact de la puissance sur les performances du réseau GPON FTTH. Pour cela, on fixe le débit binaire en $D=2.5$ Gbit/s avec un nombre d'utilisateurs $N=16$ qui et un distance de 16 km en faisant varier la puissance de 5 dBm jusqu'à 9 dBm. On visualise les résultats sur l'analyseur de BER qui nous donne les mesures de Q, de BER et le diagramme de l'œil.

Tableau III.3: Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA

Puissance (dBm)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
5	4.54758	2.71006e-006
6	5.73834	4.77501e-009
7	7.23828	2.26945e-013
8	9.12723	3.51121e-020
9	11.5038	6.30782e-031

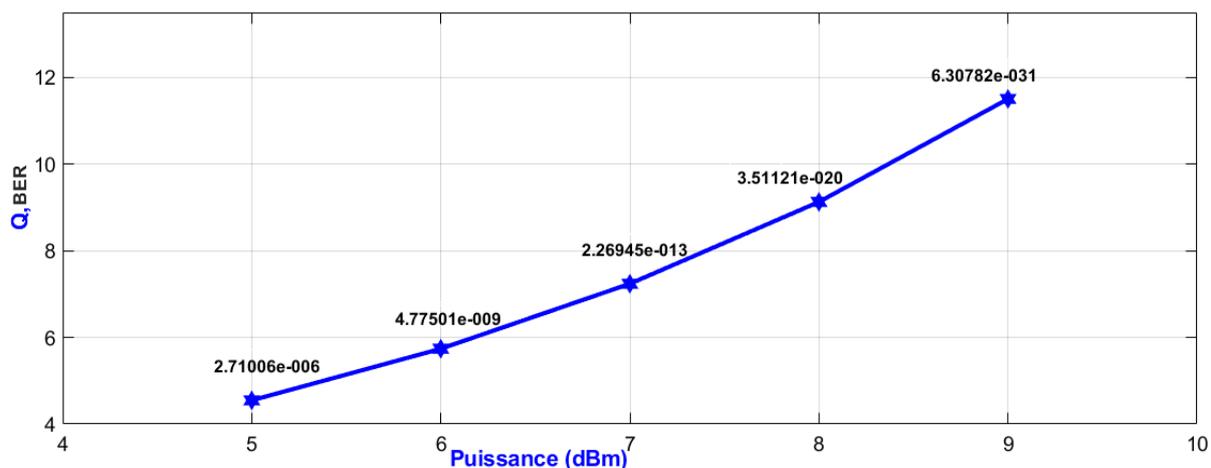


Figure III.8: Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA

Nous remarquons sur la figure III.8 il y a une relation positive plus la puissance augmente, plus les performances du système de communication FTTH augmente. Lorsque la puissance augmentait, le BER et le facteur Q avaient de meilleures valeurs, moins de BER et plus de facteur Q en raison d'un SNR élevé.

6.3-Impact de nombre d'utilisateurs

Afin d'étudier l'influence du nombre d'utilisateurs sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER), pour maintenir la qualité de transmission, un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

On fixe le débit binaire à $D= 2.5$ Gbit/s et une distance de 16 km et une puissance de $P=7$ dBm en faisant varier le nombre d'utilisateur de 8 jusqu'à 128.

Tableau III.4: Q, BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans le réseau FTTH-GPON en TDMA

Nombre d'utilisateurs	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
8	28.7523	4.23635e-182
16	7.23828	2.26945e-013
32	4.7544	9.92616e-007
64	3.79253	3.43776e-005
128	2.95708	0.00154914

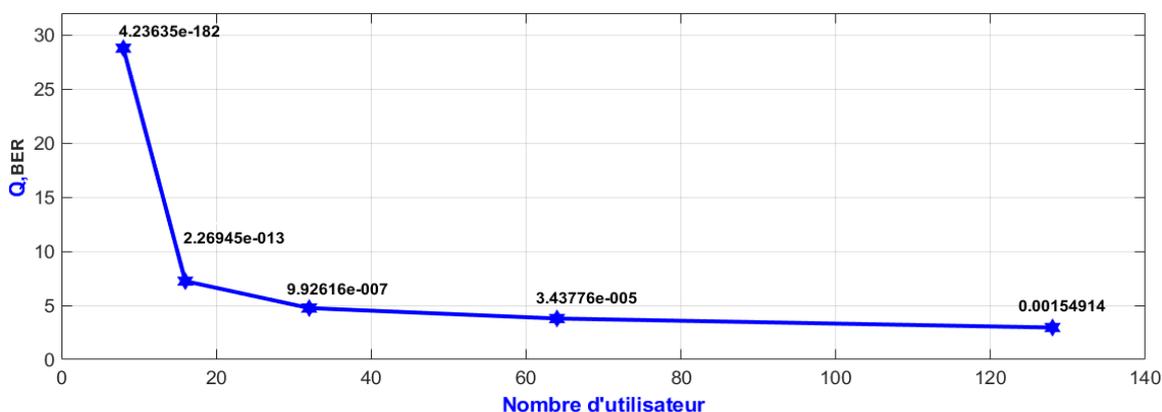


Figure III.9: Q, BER en fonction du nombre d'utilisateurs dans un réseau FTTH-GPON en TDMA

Nous remarquons dans la figure III.9 que plus le nombre d'utilisateurs qui communiquent de manière simultanée augmente, plus les performances du système se dégradent. Cette dégradation de qualité service s'explique par l'augmentation des interférences entre les données de différent utilisateurs qui communiquent simultanément dans le canal de transmission (fibre optique). Cette limitation fait que chaque utilisateur communiquant en même temps que l'utilisateur désiré peut interférer sur la variable décisionnelle de ce dernier.

6.4-Impact de débit binaire

Afin d'étudier l'impact du débit binaire de la liaison optique sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER), pour maintenir la qualité de transmission, un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

Pour cela, on fixe le nombre d'utilisateur à $N=16$ sur une distance de 16 km avec une puissance de $P=7$ dBm. On fait varier le débit binaire de 0.5 jusqu'à 5 Gbit/s.

Tableau III.5: Q, BER en fonction de Débit binaire (Gbit/s) dans le réseau FTTH-GPON en TDMA

Débit (Gbit/s)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
0.5	15.996	6.80646e-058
1	11.3037	6.28184e-030
1.5	9.36421	3.82894e-021
2.5	7.23828	2.26945e-013
5	5.07938	1.88969e-007

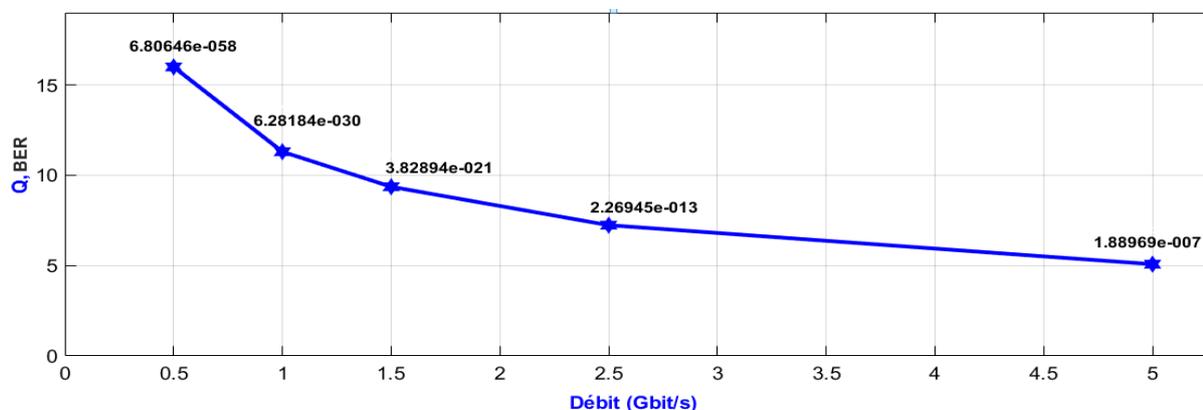


Figure III.10 : Q, BER en fonction de Débit (Gbit/s) dans un réseau FTTH-GPON en TDMA

La figure III.10 nous montre que que les performances du système de transmission se dégradent (c'est-à-dire Q déminé et BER augmente) lorsque la valeur du débit augmente. Cette dégradation de qualité service s'explique par l'augmentation des interférences entre des bits de données envoyés (IES) pendant la transmission optique. Par conséquent, plus le débit du système FTTH augmente, plus les interférences entre symbole (IES) augmentent et donc plus les performances du système de communication FTTH se dégradent.

On a pu proposer différentes configurations de systèmes de communication FTTH-GPON utilisant la technique d'accès multiple TDMA. Ces solutions nous permettent d'économiser le coût d'installation en termes d'équipement et d'énergie avec une capacité de multiplexage importante.

Tableau III.6 : Paramètres optimaux de P, L, D et N pour $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$ dans un réseau FTTH-GPON en TDMA

FTTH-GPON en TDMA			
	P (dBm)	L (Km)	D (Mbps)
16	7	≤ 35	≤ 155
32	10	≤ 30	≤ 80
64	17	≤ 20	≤ 40
128	22	≤ 5	≤ 20

Tableau III.6 résume des propositions et des paramètres optimaux (L, P et N) afin d'installer des systèmes FTTH-GPON en TDMA qui vérifient les exigences des réseaux optique tel que : $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$

7-Système FTTH-GPON en WDM

WDM est un type de technologie d'accès aux réseaux combinant deux ou plusieurs de porteuses optiques (transmettant diverses informations) à l'expéditeur (ONT) par le biais d'un démultiplexeur, et couplées à la même fibre optique (canal). Avec cette technologie, la bande passante est divisée en plusieurs canaux, chaque canal occupant une partie du spectre.

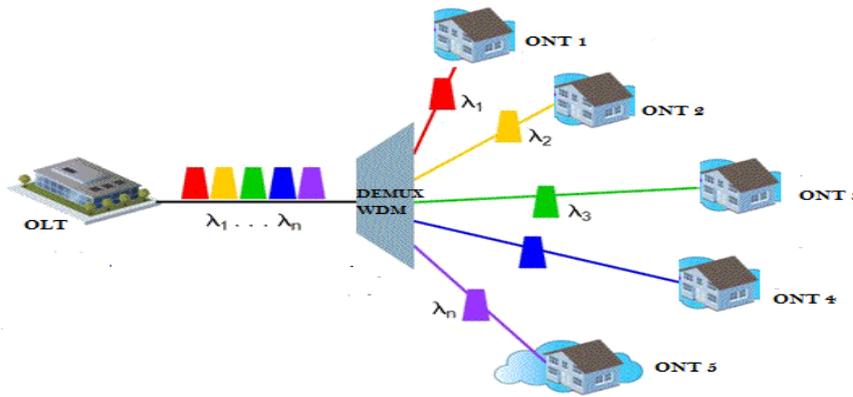


Figure III.11:système FTTH-GPON en WDM

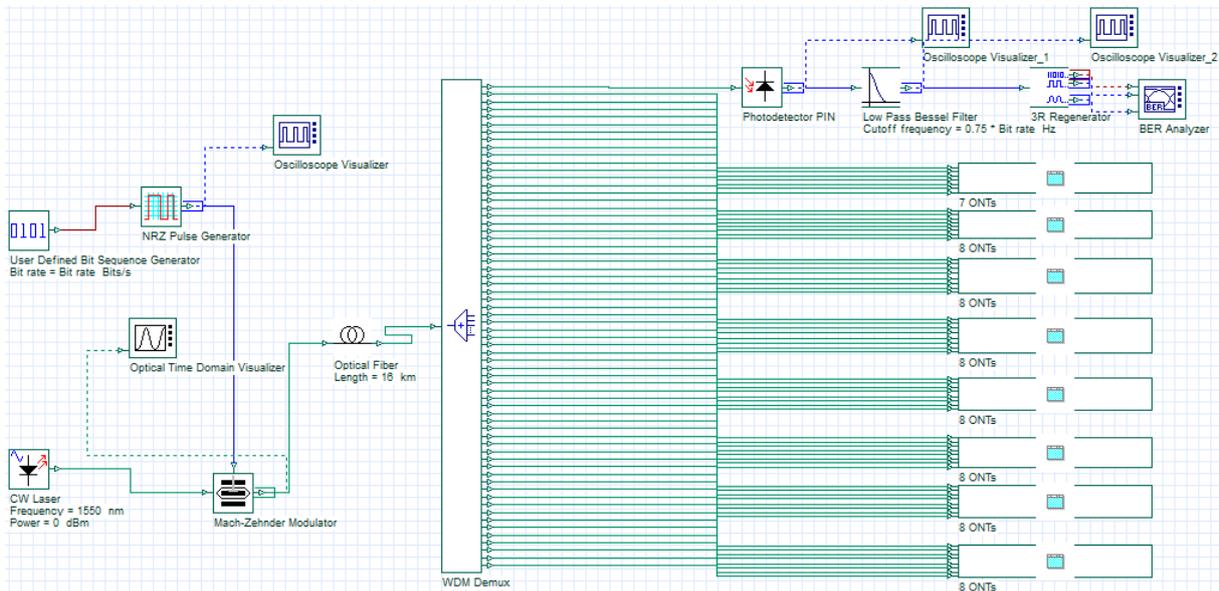


Figure III.12:Architecture d'une chaine de transmission FTTH-GPON en WDM

7.1-Impact de la distance

Afin d'étudier l'impact de la distance de la liaison optique sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER), pour maintenir la qualité de transmission, un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

On maintient le débit binaire à $D=2.5\text{Gbit/s}$, avec un nombre d'utilisateurs $N=64$ qui communiquent simultanément et une puissance de laser $P=0\text{ dBm.}$, et on fait varier la longueur de la fibre de 5 Km jusqu'à 25 Km. Les résultats sont visualisés sur l'analyseur de BER. Les résultats de simulation sont regroupés dans le tableau III.7 ci-dessous.

Tableau III.7: Q, BER en fonction de Distance (Km) dans le réseau FTTH-GPON en WDM

Distance (km)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
5	10.3875	1.41182e-025
10	8.24402	8.32082e-017
15	6.53641	3.14704e-011
20	5.18047	1.10531e-007
25	4.10402	2.02757e-005

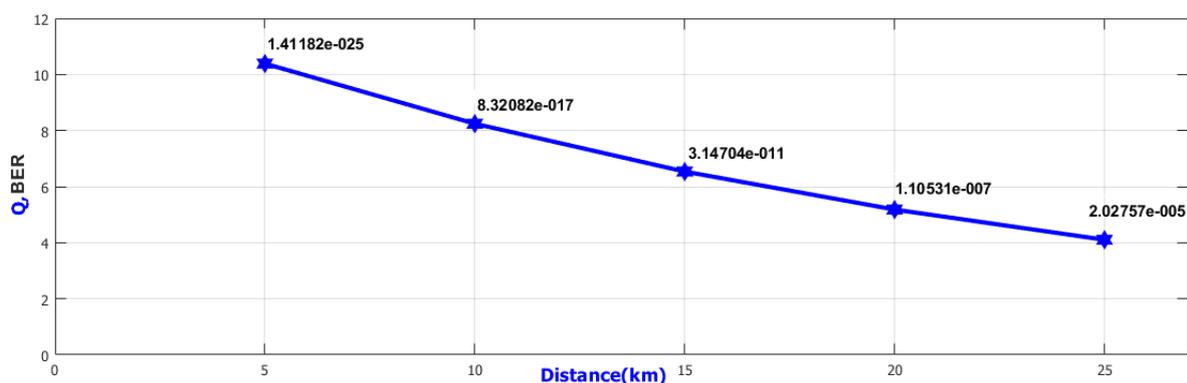


Figure III.13 : Q, BER en fonction de la Distance pour un réseau FTTH-GPON en WDM

On remarque dans la figure III.13 que les performances du système de communication FTTH se dégradent avec l'augmentation de la distance. Ceci s'explique par le fait est du principalement au phénomène d'atténuation.

7.2-Impact de la puissance

Afin d'étudier l'impact de la puissance de la liaison optique sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER), pour maintenir la qualité de transmission, un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

Pour cela, on maintient le débit à $D=2.5$ Gbit/s, et un nombre d'utilisateurs $N=64$, avec une distance de $L=16$ km, .et on fait varier la puissance de la fibre de -3 dBm jusqu'à 3 dBm.

Tableau III.8: Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans le réseau FTTH-GPON en WDM

Puissance (dBm)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
-3	3.10326	0.000955762
-1	4.9458	3.78702e-007
0	6.23981	2.18801e-010
1	7.86952	1.7781e-015
3	12.501	3.68282e-036

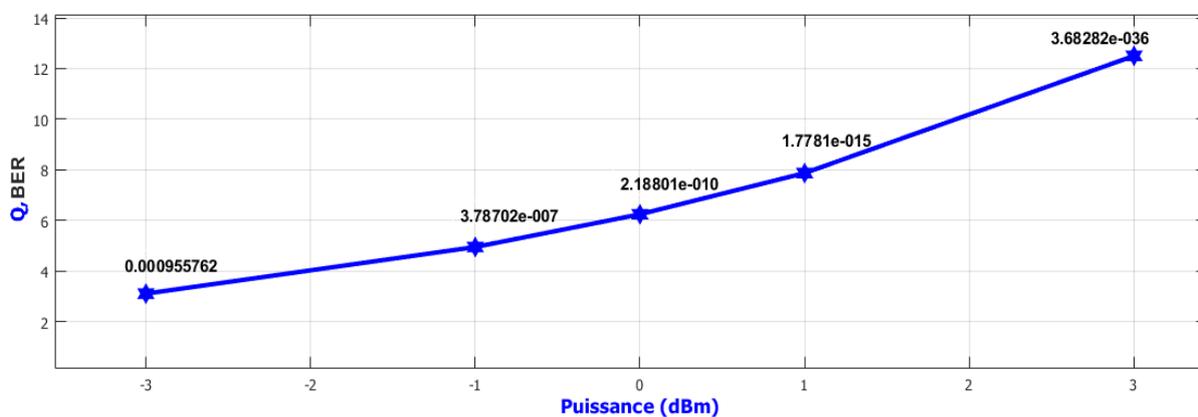


Figure III.14 : Q, BER en fonction de Puissance (dBm) dans un réseau FTTH-GPON en WDM

Nous remarquons sur la figure III.14 que les performances du système de communication FTTH augmentent avec l'augmentation de la puissance optique.

7.3-Impact de nombre d'utilisateurs

Afin d'étudier l'impact du nombre d'utilisateurs sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service pour les deux facteurs (Q, BER).

Le débit binaire est fixé à $D=2.5$ Gbit/s pour une distance de $L=16$ km et une puissance optique de $P=0$ dBm. On fait varier le nombre d'utilisateur de 8 jusqu'à 128.

Les résultats de simulation sont visualisés sur l'analyseur de BER.

Tableau III.9: Q, BER en fonction de Nbr d'utilisateur dans le réseau FTTH-GPON en WDM

Nombre d'utilisateurs	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
8	47.7742	0
16	24.8423	1.56481e-136
32	12.5004	3.7106e-036
64	6.23981	2.18801e-010
128	3.10332	0.000955566

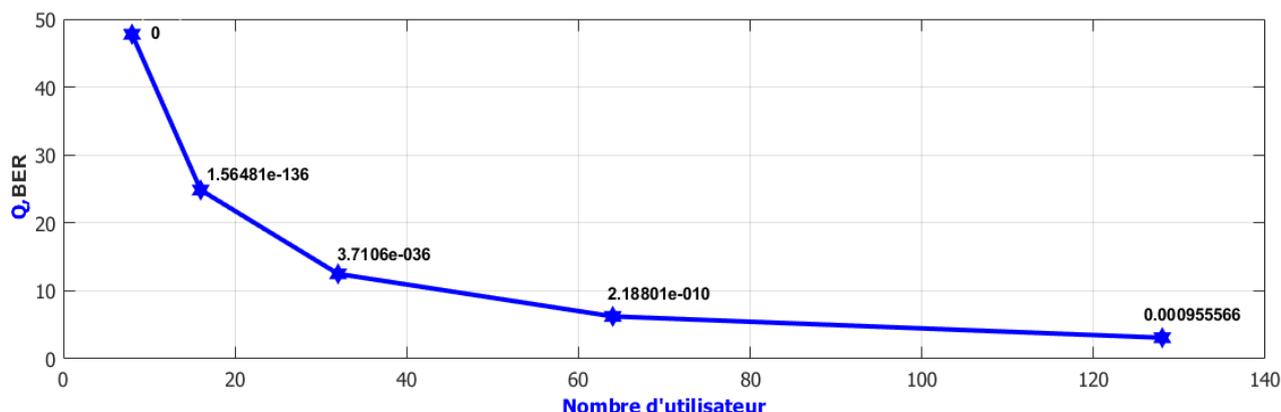


Figure III.15 : Q, BER en fonction du nombre d'utilisateur dans un réseau FTTH-GPON en WDM

Nous remarquons dans la figure III.15 que les performances du système se dégradent avec le nombre des utilisateurs. Cette dégradation de qualité service s'explique par l'augmentation des interférences inter-symboles entre les différents utilisateurs.

7.4-Impact de débit binaire

Afin d'étudier l'impact de débit binaire de la liaison optique sur les performances d'un réseau GPON FTTH, nous avons calculé la qualité de service en terme de deux facteurs (Q, BER), pour maintenir la qualité de transmission, un facteur supérieur à 6 ce qui correspond à un taux d'erreurs binaire BER inférieur à 10^{-9} .

Le nombre d'utilisateur est fixé à $N=64$ sur une distance de $L=16$ km pour une puissance optique injectée de $P=0$ dBm. On effectue une variation sur le débit binaire de 0.5 jusqu'à 5 Gbit/s.

Les résultats de simulation sont obtenus sur l'analyseur de BER.

Tableau III.10: Q, BER en fonction de Débit binaire (Gbit/s) dans le réseau FTTH-GPON en WDM

Débit (Gbit/s)	Facteur de qualité (Q)	Taux d'erreur binaire BER
0.5	13.8066	1.16231e-043
1	9.74769	9.42477e-023
1.5	8.07511	3.36872e-016
2.5	6.23981	2.18801e-010
5	4.38054	5.90735e-006

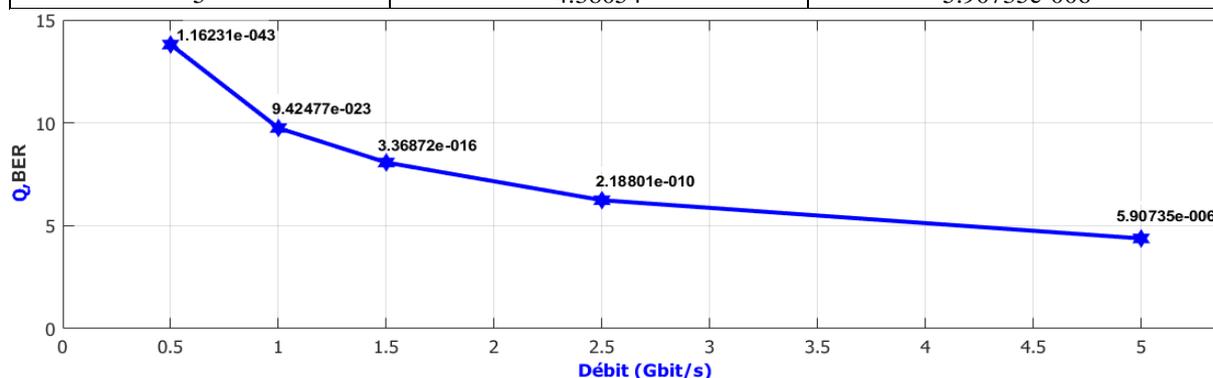


Figure III.16 : Q, BER en fonction de Débit (Gbit/s) dans un réseau FTTH-GPON en WDM

Nous remarquons à travers la figure III.16 que les performances du système de transmission se dégradent (c'est-à-dire Q déminé et BER augmente) avec l'augmentation du débit. Cette dégradation de qualité service s'explique également par les interférences entre des bits de données envoyés (IES) au cours de ces propagations dans le canal de transmission (fibre optique).

Tableau III.11 présente des paramètres optimaux (L, D et N) que nous permettront d'installer des systèmes de communication FTTH-GPON en WDM vérifiant les exigences des réseaux optiques tels que : $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$.

Tableau III.11 : Paramètres optimaux de P, L, D et ONTs pour $Q \geq 6$ et $BER \leq 10^{-9}$ dans un réseau FTTH-GPON en WDM

FTTH-GPON en WDM			
	P (dBm)	L (Km)	D (Mbps)
16	-12	≤ 45	≤ 700
32	-6	≤ 40	≤ 450
64	0	≤ 35	≤ 300
128	6	≤ 20	≤ 155

8-Conception et ingénierie du réseau FTTH-GPON

8.1-Présentation de l'opérateur Algérie Télécoms

Algérie Télécoms est le leader sur le marché Algérien des télécommunications qui connaît une forte croissance. Entrée officiellement en activité à partir du 1er janvier 2003, elle s'engage dans le monde des Technologies de l'Information et de la Communication avec trois objectifs : Rentabilité, Efficacité, Qualité de service, il offrant une gamme complète de services de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels.



Figure III.17 : Logo de l'opérateur Algérie Télécoms

8.2-Equipement de l'opérateur Algérie Télécoms

Huawei Technologies est une entreprise fondée en 1987, dont le siège social se trouve à Shenzhen en Chine. Huawei est un fournisseur de solutions numériques en terminaux, réseaux et Cloud, pour les opérateurs, entreprises et consommateurs.

Le métier historique de Huawei est la fourniture de réseaux de télécommunication aux opérateurs : l'entreprise fournit des matériels, des logiciels et des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises.



Figure III.18 : Logo de la société HUAWEI

9-Services offert dans le réseau FTTH-GPON :

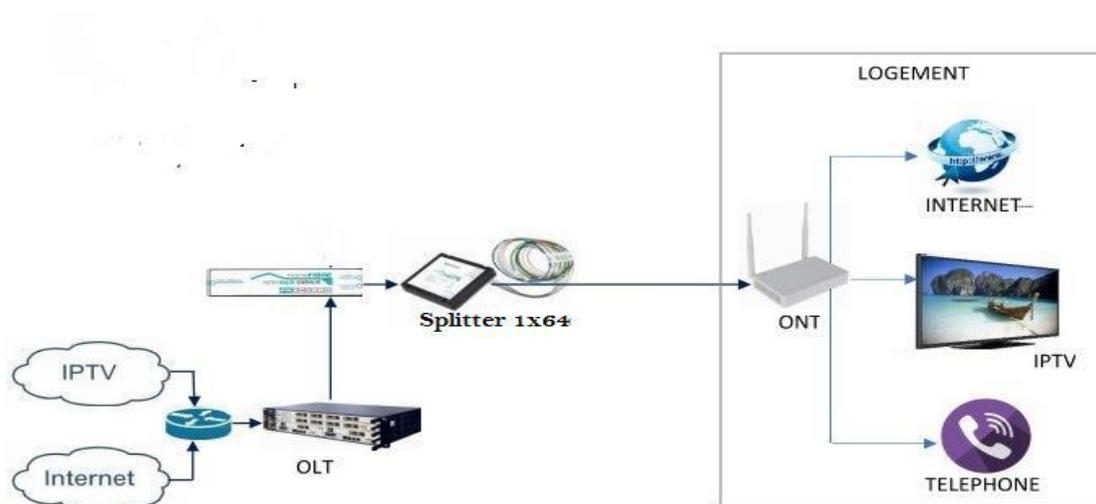


Figure III.19 : Services offerts dans le réseau FTTH-GPON

Le triple play est une offre commerciale dans l'industrie des télécommunications, dans laquelle un opérateur propose à ses abonnés un ensemble de trois services :

- * l'accès à l'Internet à haut débit, est le premier type de service qui a été proposé dans le FTTH ;

- * la téléphonie fixe (de nos jours le plus souvent sous forme de voix sur IP), donc Il faut donc un téléphone capable d'utiliser le protocole IP. Les conversations téléphoniques utilisent des protocoles SIP (Session Initiation Protocol). Ce protocole permet d'intégrer la voix numérisée dans des paquets IP afin de transporter la voix à travers le réseau.

- * la télévision en ligne, ces chaînes transmettent leurs programmes en temps réel. C'est ce que l'on appelle du streaming.

10-Tests d'installation FTTH-GPON

L'objectif principal de tout réseau FTTH-GPON est d'effectuer une transmission de données à haute vitesse et sans erreurs. Des tests adéquats lors de l'installation du réseau garantissent que les produits répondent aux spécifications. De plus, ils minimisent les efforts de dépannage coûteux en localisant les connecteurs endommagés, épissures douteuses et autres composants défectueux avant de perturber le service. Donc, la dernière opération après les tâches de configurations, est de calculer le bilan optique (l'atténuation de la liaison optique jusqu'à le client final) en respectant le seuil d'atténuation qui ne dépasse pas -27dB pour avoir et assurer une bonne qualité service (c'est -à-dire $Q \geq 6$ et $\text{BER} \leq 10^{-9}$).

Les connecteurs sont des composants clés qui interconnectent l'ensemble des éléments du réseau, C'est pourquoi il est essentiel de les maintenir en bon état pour que tous les équipements fonctionnent au maximum de leurs performances, afin d'éviter toute défaillance du réseau. Il est important que tous les connecteurs soient correctement inspectés et nettoyés.

10.1-Tests de la puissance optique

Idéalement, FTTH-GPON devrait être testé après chaque segment installé. Par conséquent, une fois que chaque section du câble à fibres optiques est installée, des tests OTDR doivent être effectués.



Figure III.20 : Kit de nettoyage des connecteurs optiques et Réflectomètre OTDR

10.2-Tests de la qualité service en fonction de nombre de clients ONTs et le débit de transmission

Chaque fois qu'un nouvel ONT est ajouté au FTTH-GPON, la qualité de service Q à la chute doit être mesurée. Ceci, nous permet de déterminer la capacité maximum de multiplexage dans notre

système de communication et permet aussi de calculer le débit maximum chez le client dans le cas où tous les ONTs communiquent simultanément.

L'opérateur Algérie télécoms offre et commercialise un débit maximum 100Mbps avec une capacité de multiplexage 64 abonnés.

A la fin de ce chapitre, on se propose de faire une étude comparative entre les résultats de simulations que nous avons obtenu (chapitre 3) et le travail que nous avons fait avec l'équipe de l'opérateur Algérie Télécoms pour une performance $Q=6$ et $BER=10^{-9}$. On peut résumer cette comparaison dans le tableau suivant :

Tableau III.12: étude comparative entre l'étude théorique et pratique FTTH-GPON pour une performance $Q=6$ et $BER=10^{-9}$

	Simulations (FTTH-GPON en TDMA)	Simulations (FTTH-GPON en WDM)	Pratique (Algérie Télécoms)
Longueur OLT-ONT	≤ 20 Km	≤ 35 Km	≤ 15 Km
Débit de transmission chez ONT	≤ 155 Mbps	≤ 700 Mbps	≤ 100 Mbps
Nombre de clients ONTs	16	16	16

Le Tableau III. 5 montre que les résultats de simulation que nous avons obtenus sont presque les mêmes paramètres de longueur de la liaison optique entre OLT et ONT, Débit de transmission chez le client et la capacité de multiplexage dans le domaine pratique pris par l'opérateur Algérie Télécoms pour une performance et qualité service $Q=6$ et $BER=10^{-9}$. D'autre part, ces résultats de simulation montrent tout leur intérêt afin d'économiser le coût d'installation des réseaux FTTH-GPON en améliorant la qualité de service offert aux clients.

11-Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à l'étude des performances d'un système de transmission FTTH-GPON par des simulations à l'aide de logiciel OPTISYSTEM. En premier lieu, nous avons étudié l'influence des paramètres du réseau (L, D, et ONTs) sur les performances d'un système de transmission FTTH-GPON. Puis, nous avons étudié les systèmes FTTH-GPON en TDMA et FTTH-GPON en WDM. Nous avons donné et proposé des solutions pratiques en calculant les paramètres optimaux de P, L, D et ONTs pour des architectures de type FTTH-GPON. A la fin de ce chapitre nous avons présenté l'aspect pratique de l'opérateur Algérie

Télécoms, leurs équipements et la description détaillée de la topologie du réseau FTTx et à quel point une étude préalable était nécessaire à la réalisation D'un projet d'installation FTTH-GPON.

Conclusion Générale

Dans nos jours, des débits d'informations de plus en plus élevés sont demandés aux supports de transmission et en particulier les fibres optiques. La fibre optique trouve son intérêt dans plusieurs domaines, tels que la téléphonie, vidéo sur IP, réseaux d'entreprises, télémédecine et réseaux internationaux de télécommunications.

Les réseaux optiques passifs (PON) sont adaptés en termes de bande passante. Le réseau PON est un réseau point à multipoint qui améliore également l'efficacité du réseau et réduit les coûts de terminaison du réseau. Les performances de GPON sont mesurées par des variations de deux facteurs tels que le Taux d'Erreur Binaire BER et le facteur de qualité Q. Si le BER du système diminue, le facteur de qualité augmente et vice versa.

Dans le premier chapitre, on a vu une description d'une liaison par fibre optique, les composants d'un émetteur, d'un récepteur et ses caractéristiques, avantages et inconvénients de la fibre optique ainsi que ses applications. Nous avons décrit les réseaux optiques et nous avons donné une brève description des différents types d'accès multiples appliqués aux communications optiques FTTH-GPON.

Dans le deuxième chapitre, on a présenté la technologie FTTH. Dans un premier temps, on a cité les différentes topologies utilisées pour le déploiement de FTTH (Fiber To The Home) : point à point, point à multipoint. On a particulièrement mis l'accent sur les réseaux optiques passifs ainsi que des différentes normes utilisées dans les réseaux FTTH, et enfin on a détaillé la technologie GPON.

Dans le troisième chapitre nous avons étudié la qualité de transmission d'une liaison GPON à l'aide du logiciel OPTISYSTEM. Nous avons en particulier montré les limitations de la longueur de la liaison optique, du débit, sur la capacité de multiplexage. Ces résultats ont permis de déterminer les meilleures configurations qui permettent au réseau de fonctionner avec une bonne qualité de transmission. A travers notre étude, nous constatons que la technologie TDMA améliore les performances du réseau GPON avec un nombre d'utilisateurs réduit. Toutefois, les performances de la technologie WDM améliorent un réseau GPON même si le nombre d'utilisateurs est important.

Conclusion Générale

La dernière partie de ce mémoire était consacré au projet d'installation d'un réseau FTTH-GPON par l'opérateur Algérie Télécoms. Cette étude nous a permis de faire une étude comparative entre les simulations et les paramètres pratiques. Ainsi, nous avons pu développer nos connaissances en termes de réseaux et télécommunications optiques. Nous avons aussi pu nous familiariser avec l'architecture FTTH la technologie GPON.

Les perspectives de ces études portent sur plusieurs points. Le premier point l'application d'un codage correcteur d'erreur au système FTTH-GPON afin d'améliorer les performances en termes de robustesse au bruit et des interférences. Le deuxième point concerne une modélisation des réseaux FTTH-GPON hybrides WDM-TDMA afin d'augmenter la capacité de multiplexage et de bien exploiter le partage les ressources du réseau FTTH-GPON.

Liste des références bibliographiques

- [1] Medjdoub Fadila. Optimisation Par La Simulation Système D'une Chaîne De Transmission Numérique Par Fibre Optique Haut Débit. Mémoire De Magister Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2010.
- [2] Boulila Rachid & Daouche Salim. Etude Des Différents Multiplexages Dans Les Liaisons Par Fibre Optique. Memoire De Master Université Saad Dahlab De Blida.2012.
- [3] Bennat Mohammed. Effet De La Dispersion Et De La Modulation Directe Sur Une Liaison Dwdm. Mémoire De Master Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2018.
- [4] Hamchaoui Massinissa & Amara Serina.Etude D'un Système Ftth (Fiber To The Home).Memoire Master Université A.Mira-Bejaia.2019.
- [5] Tahi Mimouna Merabta & Chadouli Sabra. Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg a fibre : compensation de la dispersion chromatique dans une ligne de Transmission Optique. Mémoire Master Institut d'aéronautique et des Etudes spatiales Iaes blida.2019.
- [6]Boudaoud Radhwane. Contribution A L'étude Des Performances Et limitations D'une Liaison Cdma Optique Haut Débit. Mémoire De Magister Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2010.
- [7] Redjdal Kaci. Etude D'une Chaîne De Télécommunication Optique.Memoire Master Université Abderahmane Mira De Bejaia.2013.
- [8] Nassima Boudrioua. Etude Et Optimisation D'une Chaîne De Transmission Numérique Sur Fibre Optique : Vers Une Compensation Electronique De La Pmd.These De Doctorat Ecole Doctorale Iaem – Lorraine.2007.
- [9] BALJE & KAUR. OFC Networks: PON, GPON and Radio on Fiber. DEPARTMENT OF ECE, GNDEC LUDHIANA.2014.
- [10] Jean-Louis Verneuil. Simulation De Systèmes de Télécommunications Par Fibre Optique à 40 Gbits/S.These De Doctorat Université De Limoges.2003.
- [11] Ronan Kelly. FTTH HANDBOOK. FTTH Council Europe .2018

Références bibliographiques

- [12] Louazani Marwa & Meddane Samira. Etude des Réseaux d'accès Optiques exploitant Le Multiplexage En Longueurs D'onde. Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2017.
- [13] Feroui Sarah. Etude D'un Réseau B-Pon Bidirectionnel. Mémoire De Master Universite Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2013.
- [14] Sami Lallukka & Pertti Raatikainen. Passive Optical Networks. VTT Technical Research Centre of Finland.2006
- [15] Deek Shakocher. Investigation Of FTTH Architectures Based On Passive Optical Networks. Mémoire De Master Universite Thapar.2012.
- [16] Lam, Cédric F. Passive Optical Networks Principles and Practice. United States of America.2007
- [17] Bedadda Ayman & Guediri lazhar. Etude Et Analyse Des Performances D'un Réseau Optique Passif Large Bande Bidirectionnel (BPON). Memoire De Master Universite Echahid Hamma Lakhdar El-Oued .2018.
- [18] Guerch Azeddine Yahia Et Ziane aissa. Déploiement D'un Réseau FTTX. Memoire De Master Université Ziane Achour De Djelfa.2019.
- [19] Payoux Franck. Etude Des Reseaux D'accès Optiques Exploitant Le multiplexage En Longueurs D'onde. Thèse De Doctorat L'école Nationale Supérieure Des Telecommunications de Bretagne.2006.
- [20] T-A. Bouzidi. Effet De L'espace Inter-Canal Et Du Débit Binaire Sur Une Liaison Wdm. Mémoire De Master Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen 2013.
- [21] K. Merzouk, "Etude D'un Système Bas Cout De Transmission Optique Par Multiplexage Temporel", Thèse De Doctorat De L'institut Polytechnique De Grenoble, Avril 2008.
- [22] J. Correale. Analyser Les Signaux Numériques Rapides Avec Le Diagramme De L'œil
- [23] Jean Louis Verneuil. Simulation De Systèmes De Télécommunications Par Fibre Optique A 40 Gbit/S. Université De Limoges 2003.

Références bibliographiques

- [24] Sarah Benameur. La Mise En Ouvre Dans Une Chaîne De Transmission Optique à Haut Débit De Filtres Optiques A Longueur D'onde Centrale Réglable. Thèse De Doctorat Université De Sidi Bel-Abbes.2015.
- [25] Bouregaa Mouweffeq. Etude Et Caractérisation De Composants Tout Optique Pour L'accès Multiple. Thèse De Doctorat Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.2015.
- [26] Hadjeres Ismail & Noura Imad. Etude Et Simulation De La Technique CDMA Appliqué Aux Transmissions Optiques Utilisant Les Réseaux De Bragg. Mémoire De Master. Université Djilali Bounaama Khemismiliana.2016.
- [27] Hiba Altahir Alameen Altahir. Performance Evaluation of Gigabit Passive Optical Network (Gpon) Access Technology. B.Sc. (HONS) Electrical and Electronics Engineering. University Of Khartoum.2017