



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTE : DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science et Technologie

FILIERE : Télécommunication

OPTION : Réseaux et télécommunication

Thème

**Etude des performances des réseaux optiques pour
l'amélioration de la rentabilité de l'infrastructure vers les réseaux
nouvelles génération (FTTH)**

**Réaliser par :
KHALIFA Hanane
BAYAZ Aicha**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BIRANE Mouhoub	MCA	Encadrant
REGUIGUE Mourad	MCB	Président
MASMOUDI Samira	MCB	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Tout d'abord nous remercions notre Dieu puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur

Mr :BIRANE Mouhoub

pour son attention de tout instant sur notre travail, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la réalisation de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.

A nos familles et nos amis qui par leur prière et leur encouragement on a pu surmonter tous les obstacles.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire aux personnes qui me sont chères et qui m'ont soutenu tout au long des épreuves qui ont donné lumière à ce travail.

A mes très chers parents pour leur encouragement et leurs sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères et mes sœurs.

A à mes premiers éducateurs qui ont toujours éclaircis mon chemin à Succès

Mes adorables « Ziad », « ghalia » et « Fatima Zohra » pour leur soutien moral. Attentifs et affectueux, ils me poussent toujours à progresser et à avancer fièrement. Que Dieu les garde !

A mes chers membres de famille, mes amis

A mon Binôme Aicha Bayaz

A toute ma famille de près ou de loin.

-2022A la promotion Master Systèmes de Télécommunications ; A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la 2021 réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

Khalifa Hanane

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail : à Dieu Tout-Puissant, mon
Créateur, ***à*** mes chers parents

pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation et
mon bien-être. Je les remercie pour tout le soutien et l'amour
qu'ils m'ont donné depuis mon enfance.

A mes chers frères et mes sœurs

qui sont la source de ma force et de ma fierté. surtout ma
soeur Khadija, qui sont comme ma mère.

A mon mari, Amin

votre amour et votre soutien constants ont eu le plus grand
impact sur mon voyage. Je vous souhaite tout le bonheur du
monde.

A toute ma famille,

vous trouverez dans ce travail une expression de mon amour.

A mes amis,

en souvenir de notre amitié sincère et profonde et des agréables
moments passés ensemble.

A ma chère partenaire Hanane Khalifa

et à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la
réalisation de ce projet

bayaz aicha

الملخص

شبكة FTTH هي نوع من شبكات الاتصالات المادية التي تسمح بشكل خاص بالوصول إلى الإنترنت بسرعة عالية للغاية والتي تنتهي فيها الألياف الضوئية في منزل المشترك.

في هذه الأطروحة نناقش هذه التقنية (FTTH) أو الألياف إلى المنزل ، ونتحدث عن أنواعها ومزاياها باستخدام معماريات G-pon الجديدة ، وأنواعها ومزاياها في جميع صفات الخدمة والتخفيف من حدتها.

لمحاكاة واختبار الروابط البصرية ، قدمنا أو نقدم حلولاً بديلة عملية للمشغل لتثبيت وتكوين أنظمة اتصالات FTTH-GPON باستخدام تقنية الوصول المتعدد TDMA ، وقد استخدمنا تطبيق Optisystem ، الذي يدرس جودة الإرسال - رابط بصري لتقييم أداء هذه الشبكة من خلال حساب عامل الجودة (Q) ومعدل الخطأ في البتات (BER) والتوهين.

الكلمات المفتاحية: FTTH ، ألياف بصرية ، TDMA ، G-pon ، نظام بصري.

Résumé

Un réseau FTTH est un type de réseau de télécommunications physique qui permet notamment l'accès à internet à très haut débit et dans lequel la fibre optique se termine au domicile de l'abonné.

Dans cette mémoire nous discutons de cette technologie (FTTH) ou fibre jusqu'au domicile, parler de ses types et ses avantages en utilisant le nouvelle architectures G-pon, et de ses types et leurs avantages sur toutes les qualités des services et les atténuations.

Pour la simulation et des tests les liaisons optiques nous avons donné ou propose des solutions variantes pratique à l'opérateur pour installer et configurer des systèmes de communication FTTH-GPON utilisant la technique d'accès multiple TDMA , on à utilisé application Optisystem , qu'étudier la qualité de transmission d'une liaison optique, afin d'évaluer les performances de ce réseau en calculant le facteur de qualité (Q), le taux d'erreur binaire (BER) et l'atténuation.

Mots clés : FTTH, la fibre optique, TDMA, G-pon, optisysteme .

Summary

An FTTH network is a type of physical telecommunications network which notably allows very high-speed internet access and in which the optical fiber ends at the subscriber's home.

In this memory dissertation we discuss this technology (FTTH) or fibre-to-the-home, talk about its types and advantages using the new G-pon architectures, and its types and their advantages on all service qualities and mitigations.

For the simulation and testing of the optical links, we have given or offer practical alternative solutions to the operator to install and configure FTTH-GPON communication systems using the TDMA multiple access technique, we have used the Optisystem application, which study the transmission quality of an optical link, in order to evaluate the performance of this network by calculating the quality factor (Q), the bit error rate (BER) and the attenuation .

Keywords: FTTH, fiber optics, TDMA, G-pon, optisysteme .

Remerciements.....	i
<i>Dédicaces</i>	ii
<i>Dédicaces</i>	iii
Résumé.....	iv
Table des matière	vi
Liste des Acronymes	ix
Liste des symboles	xi
Liste des figures	xii
Liste des tableaux.....	xiv
Introduction générale	1
Chapitre I généralité sur les fibres optique	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique De La Fibre Optique.....	3
I.3. Définition de la fibre optique	4
I.3.1. Description de la fibre optique	5
I.4. Classifications de fibre optique et utilisations.....	5
I.5. Fabrication des fibres optiques	6
I.6. Types de fibre optique.....	7
I.6.1. Fibre monomode	7
I.6.2. Fibre multimode	7
I.6.2.1. multimode à saut d'indice	8
I.6.2.2. Multimode à gradient d'indice	8
I.7. Comparaison des performances des trois types de fibres.....	9
I.8. Les caractéristiques de la fibre optique.....	10
I.8.1. L'ouverture numérique	10
I.8.2. L'atténuation	11
I.8.2.1. Atténuation dans les fibres optique.....	12
I.8.2.2. Les causes de l'atténuation du signal dans les fibres	13
I.8.3. La bande passante	14
I.8.4. La dispersion.....	14
I.8.4.1. Dispersion chromatique	14
I.8.4.2. Dispersion modale (ou intermodale).....	15
I.9. Système de communication par fibre optique.....	16

I.10.	Principe de fonctionnement d'une fibre optique.....	17
I.11.	Eléments de bases d'une liaison optique.....	19
I.11.1.	Sources optiques	19
I.11.2.	Récepteurs optiques	20
I.12.	Avantages et Inconvénients :	21
I.13.	Avantage des fibres optiques	22
I.14.	Inconvénients des fibres optiques	23
I.15.	Intérêt de la fibre optique	24
I.16.	Les Applications de La Fibre	25
I.17.	Conclusion	27
	Chapitre II Etude du réseau FTTH.....	28
II.1.	Introduction.....	28
II.2.	Historique.....	28
II.3.	Débit.....	29
II.4.	Les réseaux optiques	29
II.4.1.	Le réseau d'accès	30
II.4.2.	Le réseau métropolitain (métropolitain area network MAN)	30
II.4.3.	Le réseau cœur	30
II.5.	Réseaux d'accès optiques.....	30
II.5.1.	Les couches du réseau d'accès	31
II.5.1.1.	FTTC (Fiber to the curb).....	31
II.5.1.2.	FTTB (Fiber to the building).....	32
II.5.1.3.	La solution FTTH(Fiber to the home)	32
II.6.	Différents Composants d'un réseau optique	34
II.7.	Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH.....	36
II.8.	Structure du réseau FTTH	36
II.9.	Architecture du réseau d'accès optique FTTH.....	37
II.9.1.	Differentes topologie FTTH.....	37
II.9.1.1.	La technologie P2P	38
II.9.1.2.	L'architecture PON	39
II.9.3.	La sécurité dans les PONs.....	44
II.9.1.3.	Architecture AON	45
II.10.	Comparaison des technologies P2P, AON et PON:.....	45
II.11.	Déploiement.....	47

II.12.	Critères de choix	48
II.13.	Le bilan optique.....	49
II.14.	La performance technologique.....	49
II.15.	Qualité de Service QoS	50
II.16.	Exigences des applications en métrique de la QoS	50
II.17.	Exemple de qualité de service en réseaux FTTH	51
II.18.	L'étude technico-économique d'un réseau FTTH.....	52
II.19.	les avantages et les inconvénients de FTTH	52
II.20.	Conclusion	54
Chapitre III Simulation et discussion des résultats		54
III.1.	Introduction.....	55
III.2.	Présentation du logiciel optisystem.....	55
III.3.	Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem	55
III.4.	Applications du logiciel OptiSystem	56
III.5.	Avantages du logiciel OptiSystem	56
III.6.	Modes de simulation	56
III.7.	Interface du logiciel OptiSystem.....	57
III.7.1.	Principales parties de l'interface graphique.....	57
III.8.	Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission.....	59
III.8.1.	Taux d'erreurs binaires	59
III.8.2.	Le facteur de qualité.....	59
III.8.3.	Diagramme de l'œil.....	60
III.9.	Réseau optique passif à multiplexage par répartition dans le temps (FTTH- GPON en T... 60	
III.9.1.	Accès multiples par répartition de Temps (TDMA)	61
III.9.2.	Sécurité dans GPON	61
III.9.3.	Protection dans GPON	62
III.10.	Conception d'une liaison optique	62
III.11.	Implémentation de la simulation de système FTTH-GPON en TDMA	63
III.11.1.	La simulation de GPON	63
III.11.1.1.	Les composants utilisés dans la simulation.....	64
III.11.2.	La simulation FTTH-Gpon avec le fibre multimode et le fibre monomode	67
III.12.	Conclusion	75
Conclusion générale.....		76
Référence		77

Liste des Acronymes

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (en français ligne d'abonné numérique à débitsymétrique).
AES	Advanced Encryption Standard
AON	Active Optical Network.
APON	Asynchronous Transfer Mode over PON.
ATM	Asynchronous Transfer Mode.
BER	Bit Error Rate.
BT	La bande passant totale.
BPON	Broadband Passive Optical Network..
DEL	Diode électroluminescente
DL	Diode laser.
DSL	Digital Subscriber Line.
3D	Trois Dimensions.
EPON	Ethernet Passive Optical Network
FTTX	Fibre-To-The-X
FTTB	Fiber-To-The-Building (en français Fibre jusqu'au bâtiment).
FTTC	Fiber-To-The-Curb (en français Fibre jusqu'au trottoir).
FTTH	Fiber-To-The-Home (en français Fibre jusqu'au domicile).
FAT	Fiber Access Terminal.
FO	Fibre Optique.
FAI	Fournisseur d'accès à internet (aussi appelé fournisseur de service Internet ou FSI)
GI	Fibre multimode a gradient indice.
Gbps	GigaBit Par Seconde.
GPON	Gigabit Passive Optical Network.
3G	Troisième Générations
HD	High Definition.
IP TV	Internet Protocol Television (en français télévision sur IP).
Kbps	Kilobit par seconde.

LAN	Réseau Local internet (en anglais local area network).
MMF	Multimode fibre.
MAN	Métropoiliton area network.
Mbps	Mégabit par seconde.
NRO	Nœud de Raccordement Optique.
NT	Network Termination.
NA	Nœuds d'accès.
ODF	Optical Distribution Frame.
OLT	Optical Line Terminal.
ONT	Optical Network Terminal.
ONU	Optical Network Unit.
OTDR	Optical Time Domain Réflectomètre (en français Le réflectomètre optique dans le domaine temporel.)
PBO	Point de branchement optique.
PTO	Prise terminal optique.
P2P	Point to Point.
P2MP	Point to multipoint
PON	Passive Optical Network.
QoS	Quality of Service(en français qualité de service).
RN	Route Nationale.
SI	Fibre multimode a saut d'indice.
SMF	Single mode fibre.
SRO	Sous répartiteur optique.
TEB	Taux d'Erreur Binaire.
TDM	Time-division multiplexing (en français multiplexage temporel).
TDMA	Temporal Division Multiple Access (ou accès multiple à répartition dans le temps)
UHD	Ultra-high-definition.
VDSL	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line.
VoD	Video on Demand (en français Vidéo à la demande).
VoIP	Voice over Internet Protocol (en français La voix sur IP).
WAN	Wide area network (en français réseau étendu).
WDM	Wavelength-division multiplexing
WAN	Wide area network

Liste des symboles

I1	l'angle d'incidence
I2	l'angle de refraction
N2	indices de refraction
Q	Le facteur de qualité
I1 ET I2	les tensions moyennes
α1 ET α2	variances des probabilités

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I.1	Structure de la fibre optique	5
Fig. I.2	Fabrication des fibres optiques	6
Fig. I.3	Fibre monomode	7
Fig. I.4	Fibre multimode à saut d'indice	8
Fig. I.5	Fibre multimode à gradient d'indice	9
Fig. I.6	Comparaison entre les trois types de fibres	9
Fig. I.7	L'angle d'ouverture	11
Fig. I.8	Type de perte connectique	11
Fig. I.9	Bilan de perte dans une fibre optique	12
Fig. I.10	Atténuation des fibres multimodes	12
Fig. I.11	Atténuation dans les fibres optiques	13
Fig. I.12	Dispersion chromatique	15
Fig. I.13	Effet de la dispersion chromatique et l'atténuation sur une impulsion gaussienne	15
Fig. I.14	Dispersion modale	16
Fig. I.15	Chaine de communication par fibre optique	17
Fig. I.16	Principe de les fibres monomode et multimode	18
Fig. I.17	Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux	18
Fig. I.18	Schéma simplifié d'une liaison optique	19
Fig. I.19	Photodiode PIN	21
Fig. I.20	Fibre optique Pour le diagnostic	25

Chapitre II

Fig.II.1	Croissance du débit au cours des années	28
Fig.II.2	Architecture globale d'un réseau FTTx	31
Fig.II.3	Structure d'un réseau FTTC	32
Fig.II.4	Structure d'un réseau FTTB	32
Fig.II.5	Structure d'un réseau FTT	33
Fig.II.6	Les différentes architectures FTTx H	33
Fig.II.7	Equipement OLT	34
Fig.II.8	Equipement ONT	35
Fig.II.9	Equipement ONU	35
Fig.II.10	Les différentes parties du réseau FTTH	35
Fig.II.11	Chemin de la fibre	36
Fig.II.12	Différentes topologie FTTH	38
Fig.II.13	Architecture P2P	38
Fig.II.14	Architecture PON	40
Fig.II.15	Différents architecture utilisé en PON	40
Fig.II.16	Architecture G-PON	43

Fig.II.17	Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif	45
Fig.II.18	les 4 niveaux de déploiement d'un réseau FTTH	47
Fig.II.19	Les segments d'un réseau FTTH	48

Chapitre III

Fig III.1	Les fenêtres de l'OptiSystem	55
Fig III.2	Interface graphique du logiciel OptiSystem	57
Fig III.3	Bibliothèque des Composants	58
Fig III.4	Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée	58
Fig III.5	Le diagramme de l'œil	60
Fig III.6	FTTH-GPON en TDMA	61
Fig III.7	Schéma de principe de la technique d'Accès Multiple par Répartition de Temps (TDMA)	61
Fig III.8	Chaîne optique	63
Fig III.9	Montage FTTH –G-pon en TDMA	64
Fig III.10	Montage de FTTH-Gpon avec fibre multimode	68
Fig III.11	Digramme de l'œil pour D=1Gbps dans un système FFTH-GPON enTDMA avec fibre multimode	69
Fig III.12	Signal oscilloscope dans un système FFTH-GPON enTDMA avec fibre multimode	70
Fig III.13	Montage FTTH-Gpon avec fibre monomode	71
Fig III.14	Digramme de l'œil pour D=1 Gbps dans un système FFTH-GPON enTDMA avec fibre monomode	72
Fig III.15	Signal oscilloscope dans un système FFTH-GPON enTDMA avec fibre monomode	73
Fig III.16	Histogramme de effet de l'atténuation sur le facteur de qualité	74

Liste des tableaux

	Chapitre I	
Tableau I.1	Matière de fibre et son usage	6
Tableau I.2	Comparaison de fibre monomode et multimode	10
Tableau I.3	La largeur de bande de trois types de fibres	14
Tableau I.4	Comparaison entre les différents types de fibres optiques	22
Tableau I.5	Évolution de la demande de débit	26
	Chapitre II	
Tableau II.1	Comparaison du débit entre FTTH et ADSL	29
Tableau II.2	Comparaison du entre les deux architecteurs p2p et point à multipoint	41
Tableau II.3	Comparaison entre les catégories de PON	44
Tableau II.4	Caractéristiques comparées des systèmesP2P, AON et PON	46
Tableau II.5	Les exigences de quelques applications en termes de QoS	51
	Chapitre III	
Tableau III.1	Effet de l'atténuation sur le facteur de qualité	74
Tableau III.2	Effet de la distance sur le facteur de qualité	74
Tableau III.3	Effet de le débit sur le facteur de qualité	75

Introduction générale

Introduction générale

Avec le développement scientifique rapide dans le monde d'aujourd'hui, il faut transport d'information avec un haut débit aussi illimité et sur des grandes distances. . Les technologies qui utilisent le cuivre et le faisceau hertzien comme support de transmission n'est pas adapté à cette demande. Tout cela explique la nécessité d'évoluer vers les « très hauts débits » utilisant les fibres optiques comme support (Fibre To The Home).

Les avantages de la fibre optique en tant que support de transmission (grande bande passante, faibles pertes de propagation, immunité aux ondes électromagnétiques) justifient l'important développement des systèmes de transmission optiques durant la dernière décennie[1].

Le problème soulevé dans cette mémoire c'est : **comment améliorer la chaîne de transmission selon les différentes technologies (avec fibre monomode et multimode)**

Afin de trouver des solutions à ce problème, nous nous sommes concentrés sur plusieurs objectifs, notamment amélioration le débit de chaîne de transmission.

Dans ce mémoire nous s'intéresse : Etude des performances des réseaux optiques pour l'amélioration de la rentabilité de l'infrastructure vers les réseaux nouvelles génération (FTTH).

Pour cela cette mémoire subdivisé en trois chapitres:

Dans le premier, nous avons présenté des généralités sur la fibre optique que soit les composants, les types de la fibre, son principe de fonctionnement et ces caractéristiques. Ainsi, nous avons montré la structure de système de communication par la fibre optique et les éléments de base de la chaîne de transmission optique .

Par la suite dans le deuxième chapitre s'intéresse à l'étude en détail le réseau FTTH. Nous avons défini les différents types du réseau FTTx tels que : FFTN, FTTC, FTTB et FTTH destinés au partage local de ressources (matérielles et logicielles), et aussi présenté également l'évolution de l'architecture de réseau FTTH entre actif et passif avec le topologie GPON .

Le troisième chapitre est consacré à présenter les résultats de simulations en étudiant les performances d'un système de transmission optique FTTH-GPON à l'aide de logiciel OPTISYSTEM. Ces études de simulations ont faites la configuration du réseau FTTH-GPON en TDMA en étudiant les performances en termes de facteur de qualité Q et le taux d'erreur binaire (BER) en fonction les paramètres du réseau tels que : la longueur de la liaison optique (canal), débit de transmission des données et la capacité de multiplexage (nombre d'abonnés). L'objectif de cette partie est de permettre l'accès simultané à un nombre d'utilisateurs important, le Taux d'Erreur Binaire (TEB) des données doit être faible et, le débit de transmission le plus élevé possible.

En la fin on terminera ce travail par une conclusion générale et perspective avenir.

Chapitre I

Généralité sur les fibres optique

I.1. Introduction

La fibre optique désigne un guide d'onde permettant notamment d'accéder à internet en très haut débit grâce à la vitesse de la lumière .

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'informations, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. Il s'agit sans aucun doute d'un des domaines dans lequel l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir. Les fibres sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde avec par exemple les câbles transatlantiques.

Dans ce chapitre nous allons nous voir les différents types des fibre optique , et le principe de fonctionnement de ces derniers.

I.2. Historique De La Fibre Optique

En 1840, les physiciens Daniel Collondo et Jacques Badinet virent que la lumière pouvait être guidée dans certain matériau fournissant un haut degré de réflexion .En 1854, le physicien Irlandais John Tyndall, illustra que la lumière pouvait se propager à travers un tube d'eau par de multiples réflexions internes.

En 1880, un chercheur qu'on connaît bien pour son invention du téléphone, Alexander Graham Bell a inventé le « photophone », un système de réseau téléphonique optique qui a largement soutenu l'évolution des fibres optiques. La même année, William Wheeler breveta un système de « tubes de verres » pour déplacer la lumière dans du verre.

En 1895 Henry Saint-Rene utilisa les découvertes précédentes pour guider des images dans des télévisions. D'autre part, un brevet fut appliqué à la découverte de l'américain David Smith : il met au point un bloc d'éclairage dentaire en utilisant une tige en verre incurvée.

En 1926, Hansell a inventé un dispositif pour transmettre des images et des fax grâce à des fibres en verres ou en plastique .Par la suite, Heinrich lamm fut la première personne à transmettre l'image d'un filament d'ampoule dans un faisceau de fibres de quartz en 1930. Son but était de réussir à observer des parties du corps jusqu'à lors inaccessibles [1].

Au début des années 1950, le fibroscope flexible fut breveté par Abraham van Heel et Harold Hopkins. Cet appareil permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre. Il fut utilisé en endoscopie, pour voir l'intérieur du corps humain, et pour inspecter des

soudures dans des réacteurs d'avion. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées. En 1957, le fibroscope (endoscope flexible médical) est inventé par Basil Hirschwitz aux Etats-Unis [2].

En 1961, Elias Snitzer publia une description théorique de la fibre optique de type monomode. En 1970, les scientifiques de Corning Glass Works développèrent la première fibreoptique monomode pouvant être utilisée dans les réseaux de communication.

En 1975, les anglais furent approuvés le premier système de communication optique, ensuite installé peu après aux Etats-Unis.

A la fin des années 1970, les compagnies de téléphones repensèrent leurs infrastructures et installèrent de la fibre optique. Au milieu des années 1980, la société Sprint fut entièrement dotée d'un réseau fibre optique.

En 1991, De survivre et Payne démontrèrent l'amplification optique. Cette découverte permit la création de l'internet haut débit.

Par la suite, les premiers câbles en fibre optique sous-marins furent développés et installés. De nos jours, les secteurs médicaux, informatiques, militaires, de la télécommunication... utilisent les Systèmes de fibre optique pour une large variété d'applications [3].

I.3. Définition de la fibre optique

La fibre optique est une ligne de transmission sous forme d'un guide d'onde cylindrique qui peut transmettre des informations lumineuses, son utilisation prend de l'ampleur de jour en jour grâce à leur débit de plusieurs Bits/s [3].

La structure de la fibre optique est composée d'une partie centrale appelée cœur d'indice de réfraction n_1 , son diamètre est de quelques dizaines de micromètres ; d'indice de réfraction n_2 appelé la gaine qui est de quelques centaines de micromètres qui permet de piéger la lumière qui se propage dans cette dernière, l'ensemble est entouré d'une enveloppe en plastique permettant de protéger la fibre mécaniquement.

Son principe est relativement simple [4] :

- ✓ Transporter de l'information numérique.
- ✓ Utiliser une variation d'intensité lumineuse pour générer un signal binaire.

I.3.1. Description de la 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 $230\mu\text{m}$ [4].

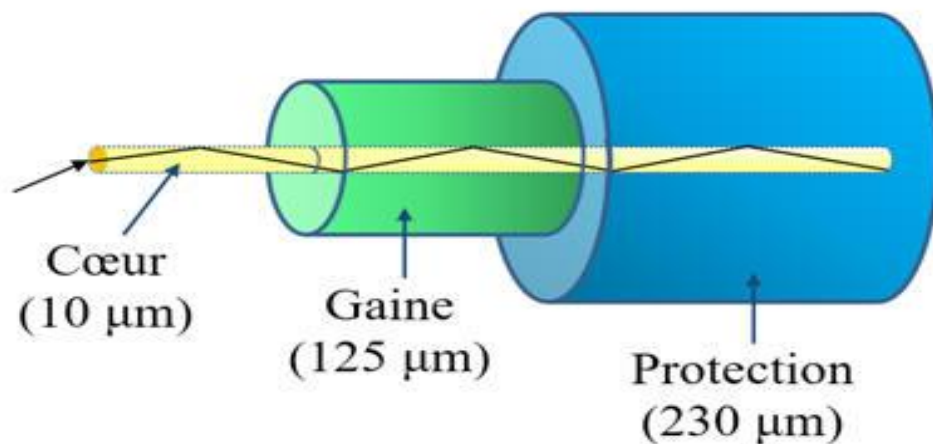


Fig. I.1 : Structure de la fibre optique [4].

I.4 Classifications de fibre optique et utilisations

L'utilisation de la fibre optique est classifiée en fonction de la matière dont elle a été façonnée comme illustré dans le tableau I.1 suivant :

Tableau I.1 : Matière de fibre et son usage [5].

Type	Caractéristique	Utilisation
Fibre plastique	Bon marché Vieillesse mal Supporte mal d'échauffement Atténuation importante	Lampe decorative Commande thyristor sous haute Tension
Fibre de verre	Atténuation importante	Eclairage en milieu explosive Signalisation routière
Fibre de silice	Atténuation faible	Eclairage à grande distance Détection de brouillarde Transmission des données

I.5. Fabrication des fibres optiques

En première approche, on peut dire que les fibres optiques sont fabriquées en deux temps : tout d'abord, la fabrication d'une préforme, c'est-à-dire d'un barreau de verre de silice qui est à l'image de la fibre optique que l'on souhaite obtenir mais dont les dimensions sont beaucoup plus grandes avec un grossissement de 300 à 500 fois environ ; ensuite, l'étirage de cette préforme, à travers un four, afin d'obtenir la fibre optique elle-même [5].

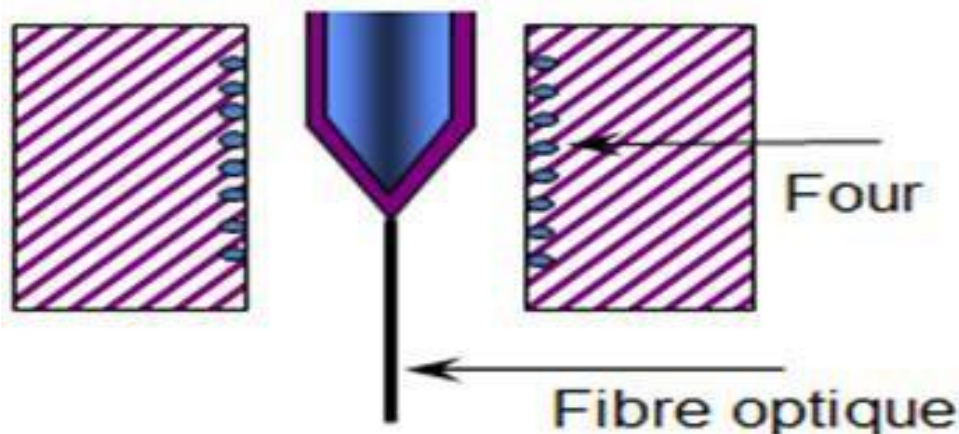


Fig.I.2 : Fabrication des fibres optiques.[5]

I.6. Types de fibre optique

En télécommunications, il y a deux types de fibres optiques utilisées :

- ✓ Les fibres monomodes.
- ✓ Les fibres multimodes.

La différence entre ces deux types de fibres optiques est la dimension du cœur, où il est de $10\mu\text{m}$ pour les fibres monomodes et de $50\mu\text{m}$ pour les fibres multimodes [6].

I.6.1. Fibre monomode

Les fibres monomodes (SMF: Single Mode Fibre), ont un diamètre de gaine de $125\mu\text{m}$ et un cœur de 8 à $10\mu\text{m}$, ce qui permet d'avoir un seul mode de propagation, le chemin de propagation est unique et parallèle à l'axe de la fibre. C'est ce type de fibre que l'on utilise pour des transmissions de données rapides et sur des grandes distances, car il représente les plus grandes performances [7].

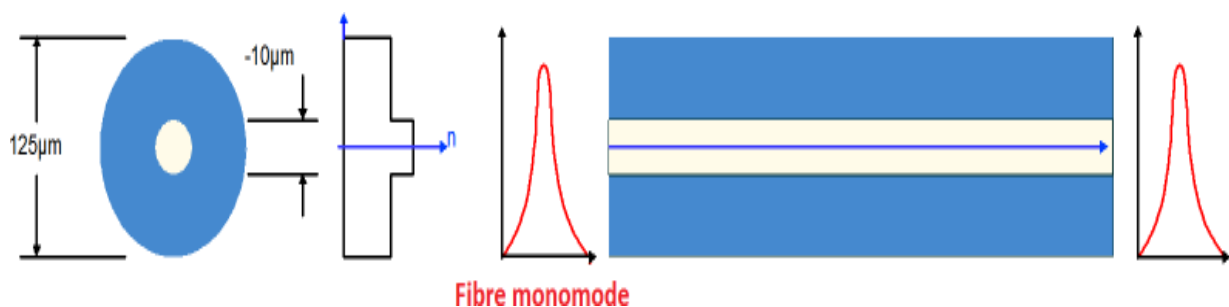


Fig. I.3 :fibre monomode [8].

En utilisant une fibre monomode on peut souligner les avantages suivants :

- ✓ Débit : environ 100 Gbit/s
- ✓ Portée maximale : environ 100 Km
- ✓ Affaiblissement : 0,5 dB/Km [9].

I.6.2. Fibre multimode

La fibre optique multimode (MMF : Multi mode Fibre), a un cœur de 50 à $62,5\mu\text{m}$, elle est principalement utilisée pour la communication à courte distance, telle que dans un bâtiment ou un campus. Il existe deux types d'index multimode [7] :

-la fibre à saut d'indice

-la fibre à gradient d'indice

I.6.2.1. multimode à saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire parce qu'elle possède un cœur très large. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN [7].

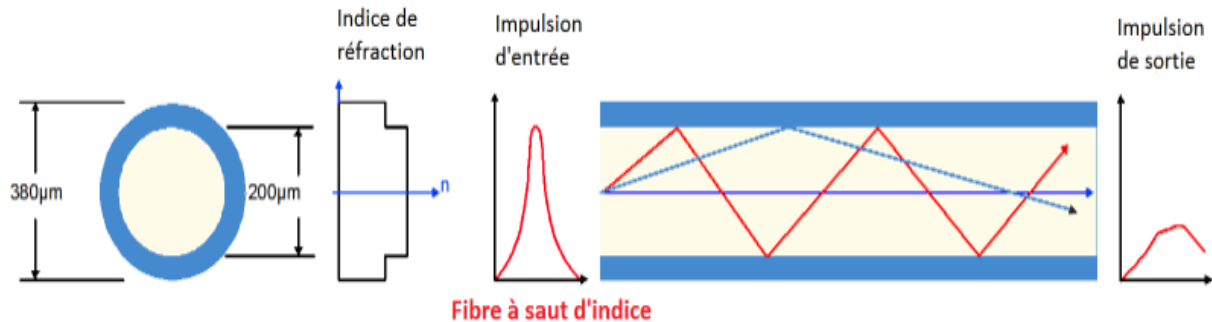


Fig.I.4 :fibre multimode à saut d'indice [8].

Avantage :

Avec une fibre multimode à saut d'indice on peut bénéficier :

- ✓ Faible prix
- ✓ Facilité de mise en œuvre
- ✓ Débit : environ 100 Mbit/
- ✓ Portée maximale : environ 2 Km
- ✓ Affaiblissement : 10 dB/Km [9].
- ✓

I.6.2.2. Multimode à gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, dont plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine. Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique [8].

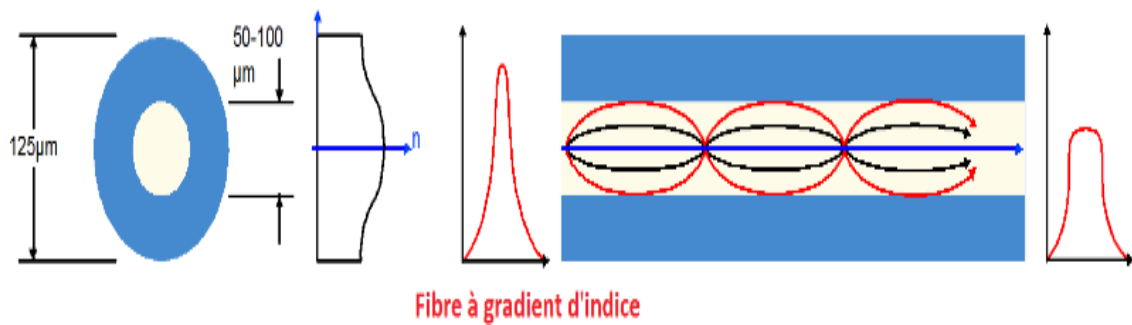


Fig. I.5 : fibre multimode à gradient d'indice [8].

Avantage :

L'avantage d'une Fibre multimode à gradient d'indice est :

- ✓ Bande passante raisonnable
- ✓ Bonne qualité de transmission
- ✓ Débit : environ 1 Gbit/s
- ✓ Portée maximale : environ 2 Km
- ✓ Affaiblissement : 10 dB/Km
- ✓ L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice [9].

I.7. Comparaison des performances des trois types de fibres

La figure suivante montre les performances des trois types de la fibre optique, l'atténuation est constante quelle que soit la fréquence, seule la dispersion lumineuse limite la largeur de la bande passante [10].

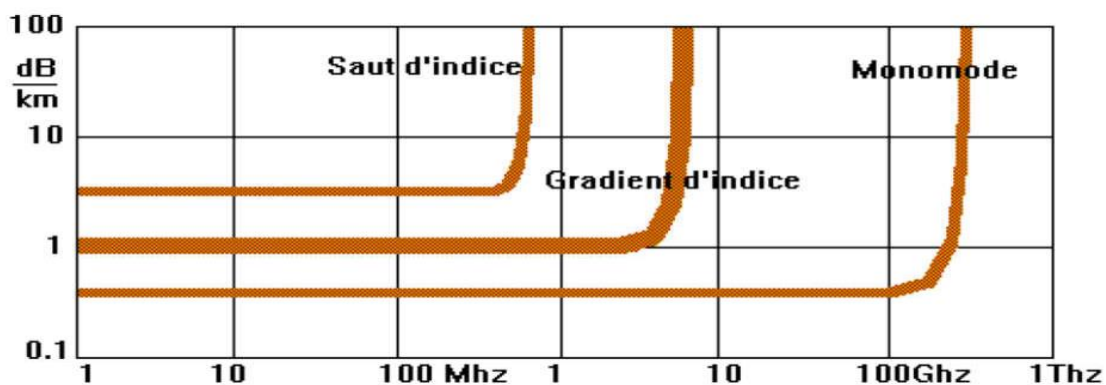


Fig.I.6 : Comparaison entre les trois types de fibres.[10]

Le tableau I.2 suivant résume une comparaison entre la fibre monomode et multimode :

Tableau I.2 : Comparaison de fibre monomode et multimode [10].

Fibre monomode	Fibre multimode
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Haut débit, longue distance	Réseau locaux

I.8. Les caractéristiques de la fibre optique

La fibre optique est caractérisée par certains paramètres qui sont déterminés à partir de ses différents types. Les paramètres les plus remarquables sont [9]:

- ✓ L'ouverture numérique
- ✓ L'atténuation.
- ✓ la bande passante
- ✓ et la dispersion

I.8.1. L'ouverture numérique

L'angle limite d'acceptation de la lumière par le guide exprime la faculté de capter la lumière d'une source à sa section frontale. Elle est directement liée à l'ouverture du cône d'acceptance des rayons lumineux critiques conduisant encore juste à une réflexion total, comme le montre la figure suivante :

Pour les fibres monomodes il est préférable d'utiliser une source laser car l'ouverture numérique est faible. Mais pour les fibres à gradient d'indice, où il varie le long d'un diamètre, l'ouverture numérique est alors maximale sur l'axe de la fibre et s'annule à la périphérie du cœur [9].

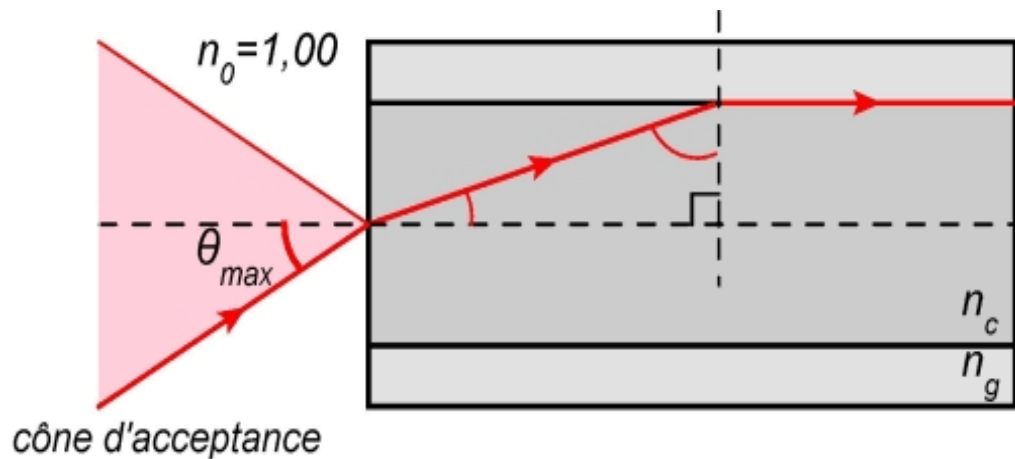


Fig.I.7 : L'angle d'ouverture[9].

I.8.2. L'atténuation

L'atténuation dans une fibre optique est définie comme étant le rapport de la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimée [9][10].

$$A_{[dB]} = 10 \log^{(p_e/p_r)} \dots \dots \dots I.1$$

Avec :

P_e : la puissance lumineuse à l'entrée,

P_r : est la puissance lumineuse à la sortie

L'atténuation du signal à l'intérieur de la fibre peut être due spécialement à :

- Séparation longitudinale.
- Désalignement radial ou angulaire.
- Excentricité ou ellipticité des cœurs .

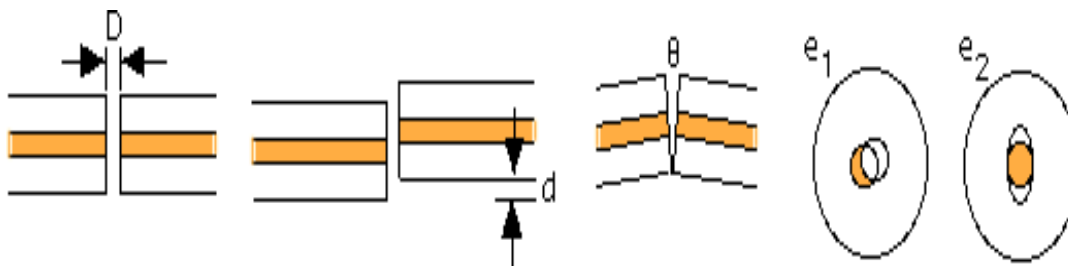


Fig.I.8 : Type de perte connectique[10]

Pour résumer toutes ces pertes et atténuation qui existent au sein d'une fibre optique, voici un schéma récapitulatif :

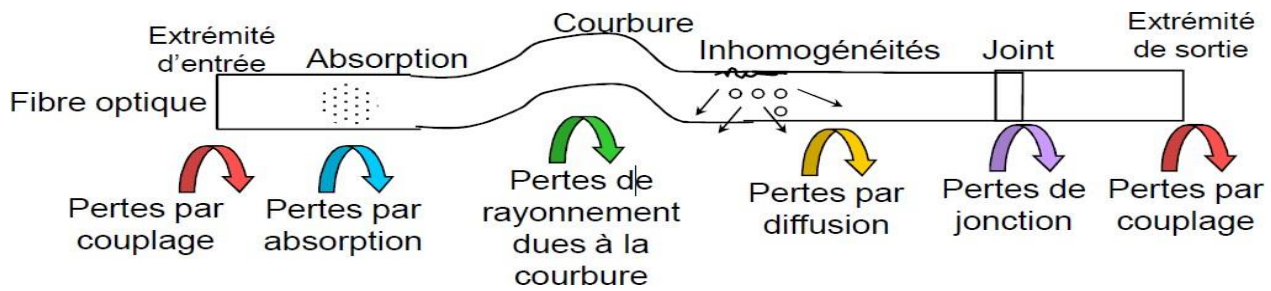


Fig.I.9 : Bilan de perte dans une fibre optique.[10]

I.8.2.1. Atténuation dans les fibres optiques

La valeur de α est appelée le coefficient d'atténuation de la fibre optique, et il est exprimé par la valeur de l'atténuation en fonction de la longueur de la fibre, L'expression de l'atténuation est donnée par [11]:

$$\alpha = -\frac{1}{z} 10 \cdot \log \frac{p(z)}{p(o)} \text{ dB/km} \dots\dots\dots \text{I.2}$$

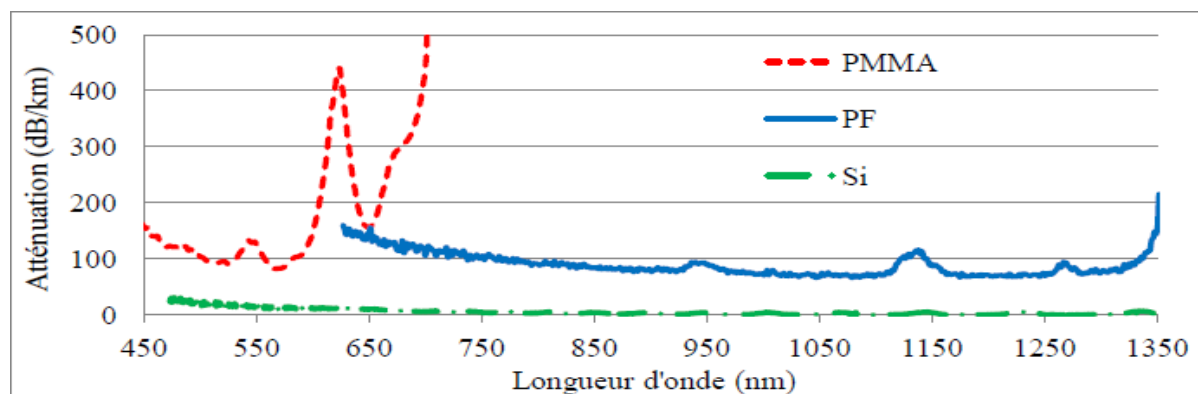


Fig. I.10: Atténuation des fibres multimodes. [11]

D'après la figure (I.10) on observe que la fibre multimode silice a les meilleures performances sur toutes les plages de longueurs d'onde par rapport aux deux autres fibres plastiques. Celles-ci ont néanmoins l'avantage d'être plus facilement manipulables et d'entraîner moins de contraintes sur l'alignement des fibres.

Actuellement, même si l'affaiblissement de la fibre demeure un paramètre important à prendre en compte, la bande passante devient aussi une caractéristique principale limitant et conditionnant le support des nouvelles applications. Sur ces solutions de fibre multimode, proposées pour la simulation de notre étude [11].

I.8.2.2. Les causes de l'atténuation du signal dans les fibres

L'atténuation se présente en fibre optique par la perte d'énergie lumineuse, parmi les principales causes de cette perte on peut citer [11]:

- ✓ L'absorption par les impuretés, les fibres de silice purifiées n'ont pas parfaite, dont l'absorption du photon par un électron de l'atome va avoir plusieurs effets perturbateurs .
- ✓ La diffusion par Rayleigh, qu'elle est la diffusion de la lumière sur les molécules "la silice" appartient a la variation locales de l'indice de réfraction due a les changements de densité, et la diffusion par les impuretés ou par les défauts d'interface cœur-gain.
- ✓ La dispersion chromatique causée par le changement de la vitesse des signaux lumineux de longueur d'onde différents.
- ✓ les défauts géométriques: les procédés de la fabrication de la fibre sont à l'origine de ces mauvaises interfaces, et de ce fait il existe toujours quelques imperfections, par exemple la non régularité géométrique (cœur/gain) de la fabrication de la fibre.
- ✓ phénomène de courbure: il n'y a plus de réflexion totale de tout le signal dans le guide, une partie du signal va être transmise dans la gaine d'où une perte de puissance.

La sensibilité aux courbures est d'autant plus importante que l'on travaille aux longueurs d'ondes élevées .

La figure suivante nous montre atténuation dans les fibres optiques :

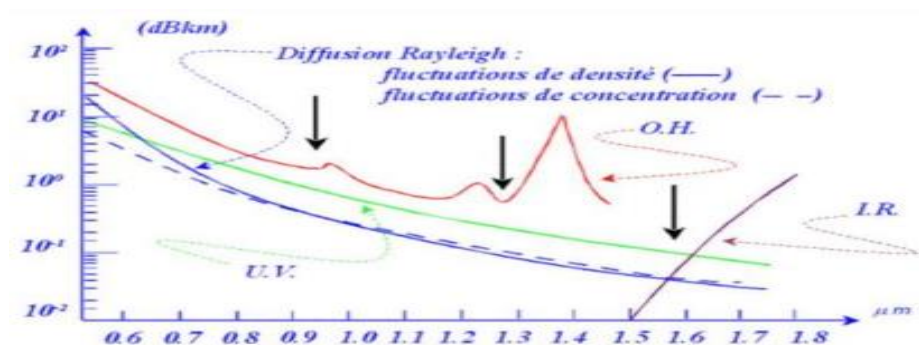


Fig. I.11 : atténuation dans les fibres optiques. [11]

I.8.3. La bande passante

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique. La définition de la bande passante totale (BT) qui dépend de l'effet conjonctif des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique, permettra de stabiliser la fréquence maximale transmissible en ligne [9].

Des valeurs typiques de largeur de bande sont les suivantes :

Tableau I.3 : La largeur de bande de trois types de fibres. [9]

Type de fibre	La largeur de bande
Multimode à saut d'indice	20 à 100 MHz.km
Multimode à gradient d'indice	150 à 2000 MHz.km
Monomode	> 10 GHz.km

I.8.4. La dispersion

La dispersion dans une fibre est répartie en deux types : chromatique et modale [9].

I.8.4.1. Dispersion chromatique

La dispersion chromatique (Fig.I.12) caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion due au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil [12].

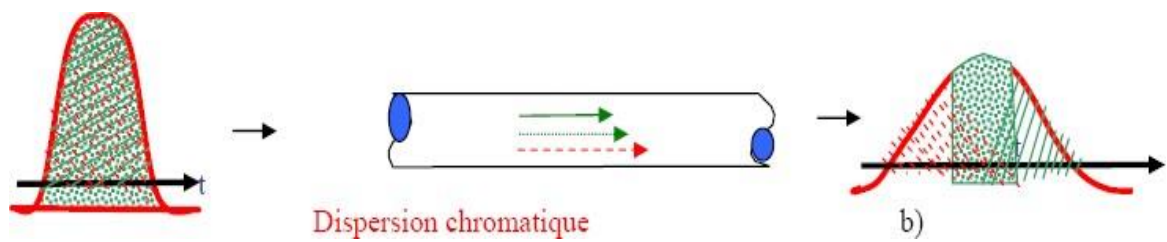


Fig.I.12 : Dispersion chromatique.[12]

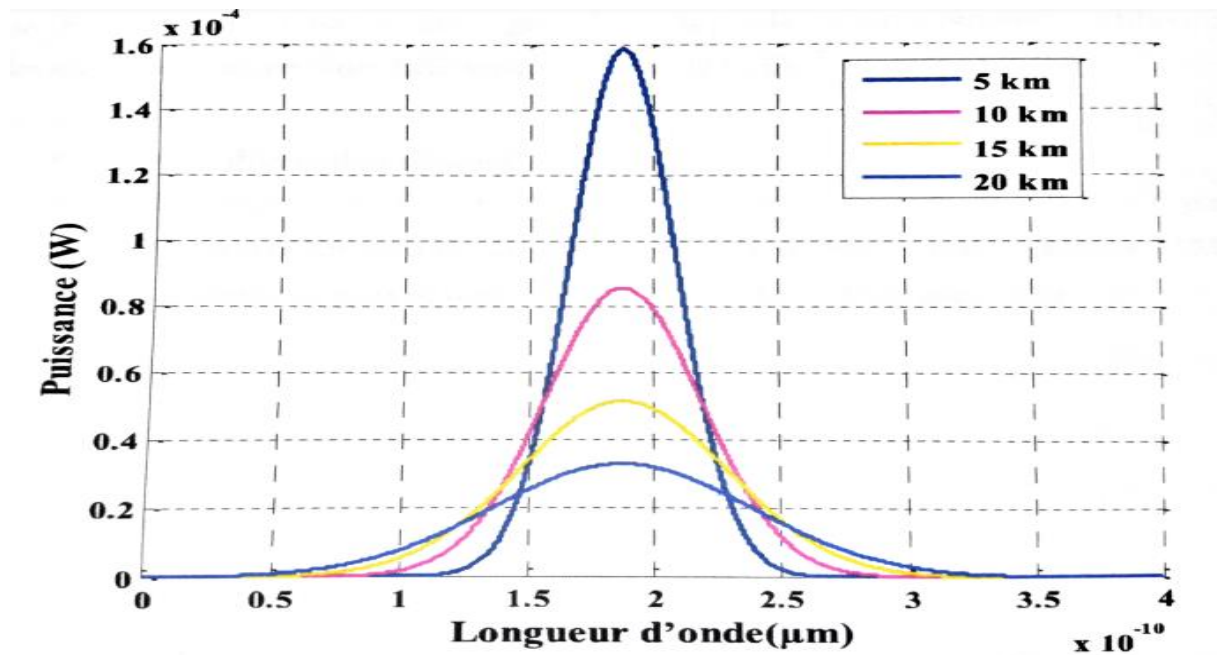


Fig.I.13 : effet de la dispersion chromatique et l'atténuation sur une impulsion gaussienne[12].

I.8.4.2. Dispersion modale (ou intermodale)

Dans une fibre optique multimode, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons, composant le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique - électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale [12].

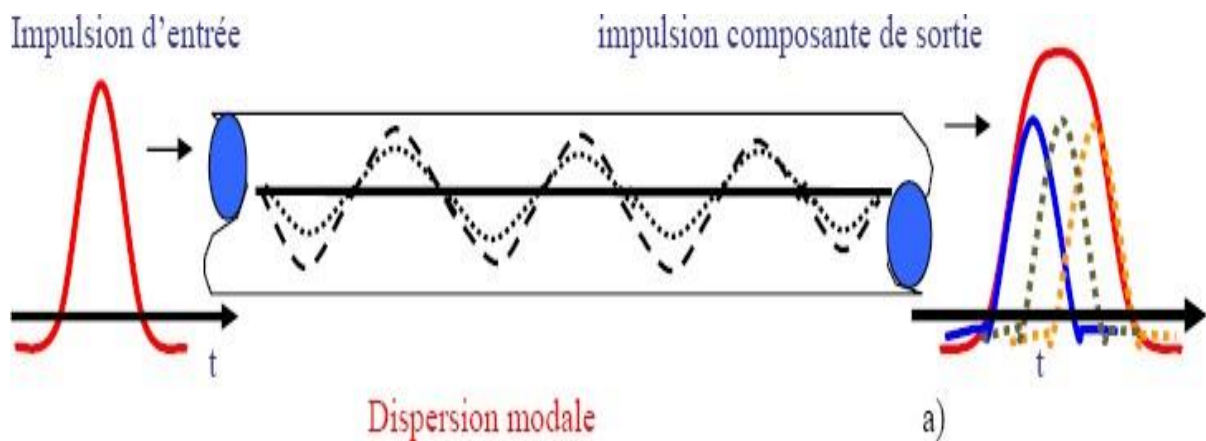


Fig.I.14 : Dispersion modale. [12]

I.9. Système de communication par fibre optique

Comme le montre la figure(Fig.I.15), l'information (données, voix, vidéo,..) venant de la source est transcrite sous forme codée en signal électrique pour que l'émetteur l'envoie, la fibre agit comme une guide d'onde optique afin que les photons puissent traverser le chemin optique vers le récepteur. Arrivée au détecteur, le signal subit une conversion optique-en-électrique, décodé, et envoyé vers sa destination [12].

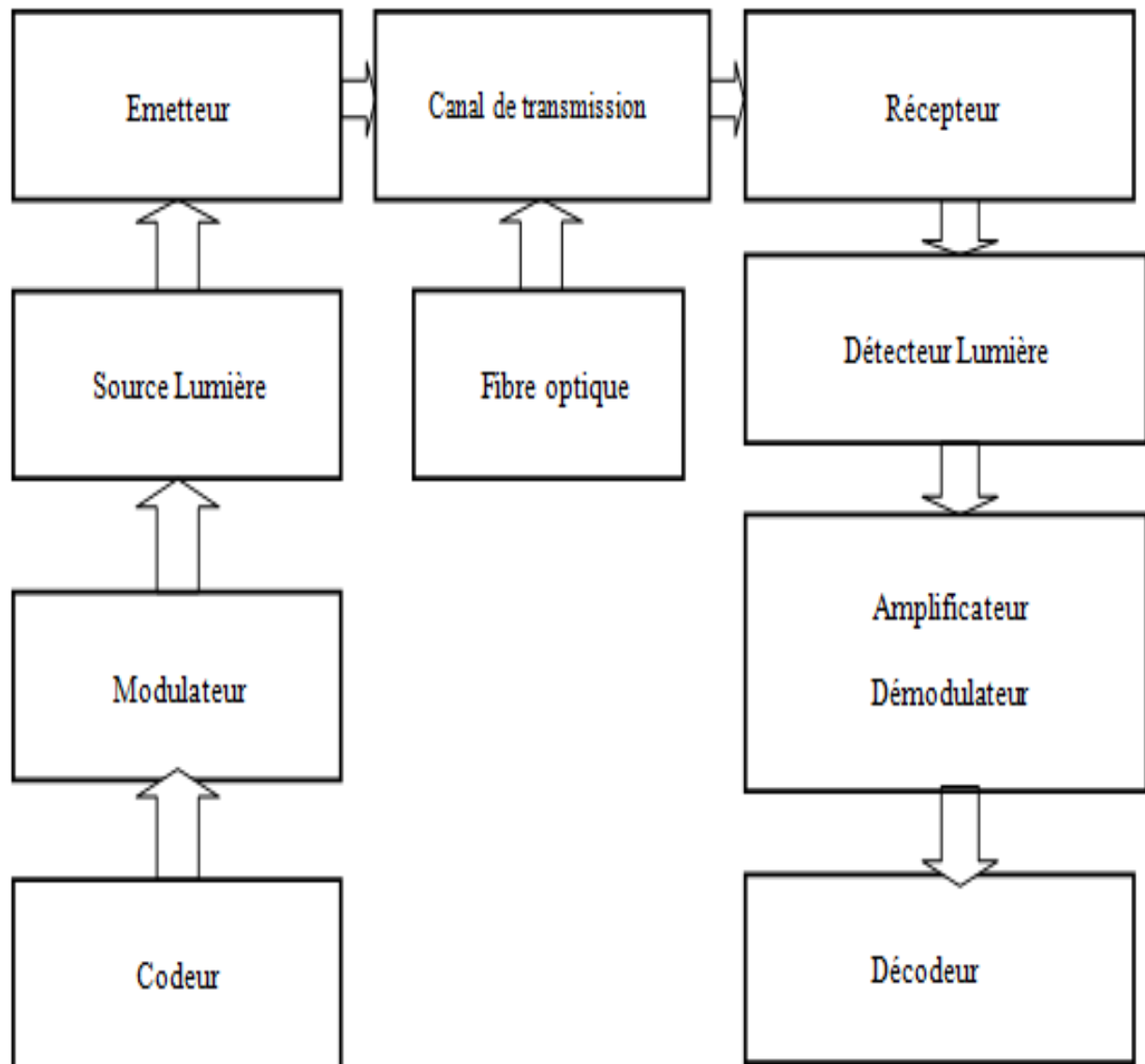


Fig.I.15 : Chaîne de communication par fibre optique .[12]

I.10. Principe de fonctionnement d'une fibre optique

La fibre optique est basée sur le principe de la réfraction de la lumière. C'est un guide d'onde qui se constitue de plusieurs couches de matériaux, ces derniers sont dits diélectrique et peuvent être soit du verre, soit du plastique. Ces matériaux sont transparents et ont des indices de réfraction différents, ce qui permet de confiner la lumière au voisinage du centre. Le phénomène de transmission par fibre optique s'appuie sur un processus de réfraction et de réflexion. C'est une transmission qui dépend ainsi du passage d'une radiation électromagnétique dans un média transparent [13].

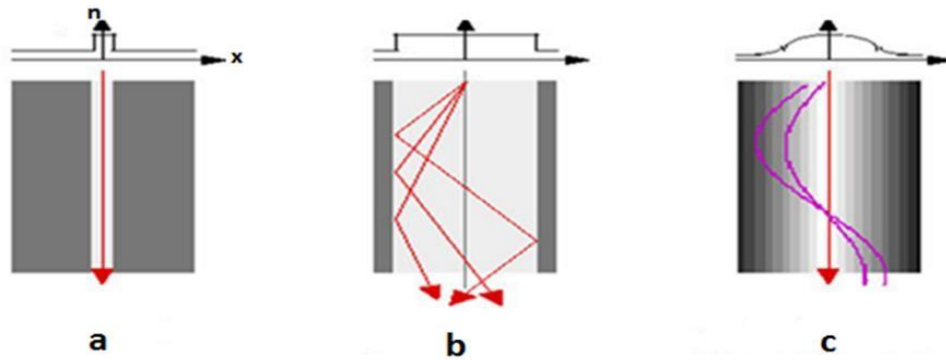


FIG. 1.16 : principe de les fibres monomode et multimode [13].

(a) Fibre monomode.

(b) Fibre multimode à saut d'indice.

(c) Fibre multimode à gradient d'indice.

La « réflexion totale interne » est le principe physique qui a inspiré la technologie de fibre optique. Elle résulte de la loi de réfraction et de réflexion, c'est le principe de la loi de Snell-Descartes qui est la suivante [10] :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \dots\dots\dots \text{I.3}$$

n_1 et n_2 sont les indices de réfraction respectifs des deux milieux que traverse la lumière.

i_1 et i_2 sont respectivement l'angle d'incidence et l'angle de réfraction de la lumière.

La Figure I.17 montre la direction d'un rayon lumineux d'un milieu d'indice de réfraction n_1 , plus dense, vers un milieu d'indice n_2 , moins dense

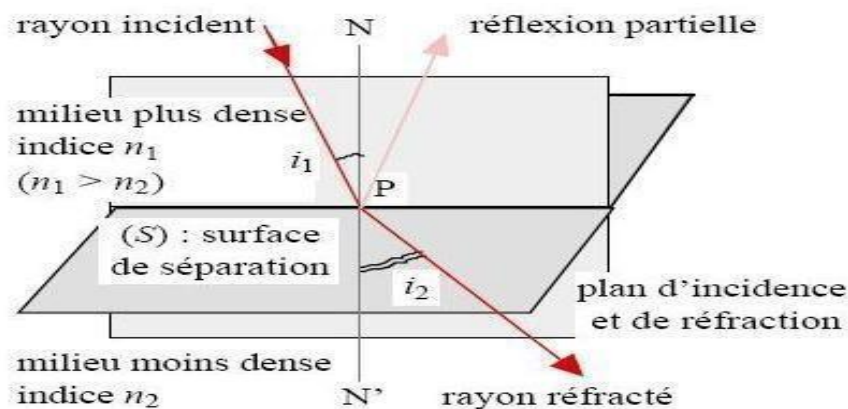


Fig.I.17 : Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux [8] .

Lorsqu'un rayon lumineux entre d'un milieu d'indice n_1 vers un milieu d'indice moins dense n_2 , deux cas peuvent se présenter : une réfraction ou une réflexion. Ces deux cas se réalisent séparément en fonction de la densité des deux milieux et de l'angle d'incidence i_1 auquel le rayon lumineux frappe la surface de séparation (S) [10].

Il s'agit d'une:

-réfraction si : $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$ et sa limite est trouvée si : $\sin(i_{\max}) = \frac{n_2}{n_1}$

-réflexion si : $\cos(i_{\max}) > n_2 / n_1$ et $i_2 > i_{\max}$

Où $i_{\max}$ est l'angle limite.

I.11. Eléments de bases d'une liaison optique

Une Liaison point à point sur fibre optique met en jeu plusieurs sous-ensembles de base comme schématisé par la figure(Fig.I.18) suivante [12] :

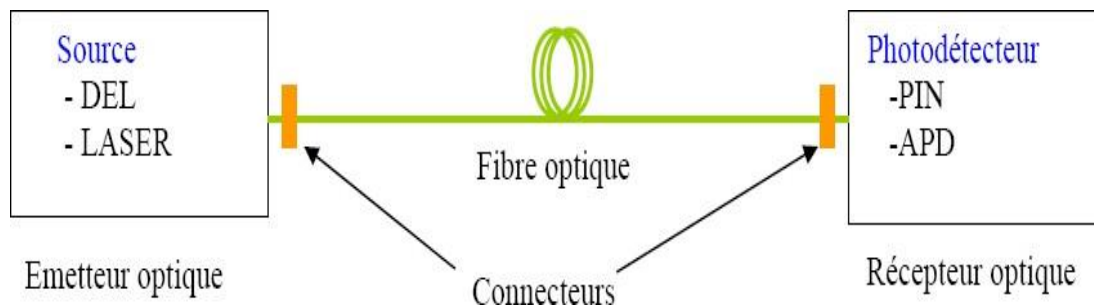


Fig.I.18 : Schéma simplifié d'une liaison optique [12]

I.11.1. Sources optiques

En télécommunication optique, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix de sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL) [13].

Diode Laser (DL)

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

adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [13].

Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et d'une boucle de contre-réaction (CR) [14].

La diode laser représente les caractéristiques suivantes :

- ✓ La source DL est cohérente et monochromatique.
- ✓ Largeur de spectre étroite.
- ✓ Les émissions se font dans la même direction (diagramme de rayonnement directive).
- ✓ Utilisée dans les systèmes de transmission à grande distance[14].

La diode électroluminescente DEL

C'est un composant qui réalise directement l'émission de photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en directe. Les matériaux utilisés sont choisis en fonction de la longueur d'onde d'émission. Les caractéristiques de ce dispositif sont [14][13] :

- La diode DEL est une source polychromatique, et incohérente.
- Le spectre est assez large.
- Le diagramme de rayonnement est moins directif.
- La caractéristique puissance-courant est assez linéaire.

Utilisée dans les systèmes de transmission qui nécessite pas de grande bande passante.

I.11.2. Récepteurs optiques

Le photodétecteur est un composant indispensable dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de traduire le signal optique envoyé par la fibre optique en signal électrique, qui sera traité par des dispositifs électroniques. Les photodétecteurs les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique sont les photodiodes PIN et APD[15].

Dans la transmission optique les détecteurs doivent :

- ✓ Fournir un bon couplage avec la fibre.
- ✓ Avoir une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- ✓ Avoir une bande passante adéquate.
- ✓ Avoir une faible exigence du point de vue tension de source.

- ✓ Pas d'influence des conditions extérieures sur les caractéristiques.
- ✓ Avoir une grande fiabilité (bon rendement quantique).
- ✓ Avoir un temps de réponse très court et un faible bruit additionnel.



Fig.I.19: Photodiode PIN. [15]

I.12. Avantages et Inconvénients :

Le tableau suivant donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure [7] [15] :

Tableau I.4 : Comparaison entre les différents types de fibres optiques [8]

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratiques
Multi mode a saut d'indice (SI)	Grande ouverture numérique, connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre.	Pertes, dispersion et distorsion importante du signal.	Communications courtes distance, réseaux locaux.
Multimode a gradient d'indice (GI)	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission.	Difficile à mettre en œuvre.	Communications courtes et moyennes distances.
Monomode	Très grande bande passante et aucune distorsion.	Prix très élevé.	Communication longues distances.

I.13. Avantage des fibres optiques

- ✓ La perte de signal sur une longue distance est très faible.
- ✓ L'entretien de la fibre est moins coûteux que certains autres types de câblages.
- ✓ La rentabilité de la fibre est un autre avantage : le réseau fibre optique a un cycle de vie de 20 ans. Le seuil de rentabilité moyen est de 2 à 5 ans.
- ✓ Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée. Le câble à fibre optique

prend en charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée ; jusqu'à 10 Gbps. La quantité d'informations qui peut être transmise par unité de câble à fibre optique est son avantage le plus significatif.

- ✓ Une capacité de charge plus élevée. Les fibres optiques étant beaucoup plus minces que les fils de cuivre, davantage de fibres peuvent être regroupées dans un câble d'un même diamètre. Cela permet à plus de lignes téléphoniques de passer par le même câble [7] [12] [14].

Performances de transmission [14] :

- ✓ Très faible atténuation du signal.
- ✓ Bande passante très étendue,
- ✓ Très forts débits numériques (de quelques Mbit/s à quelques dizaines de Gbit/s).
- ✓ Multiplexage possible de plusieurs signaux et de plusieurs utilisateurs.
- ✓ Portée et capacité très supérieures à celles des câbles conducteurs.

Avantages économique [10]:

- ✓ Contrairement à l'idée encore répandue, le coût global d'un système sur fibres optiques est de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

Mise en œuvre :

- ✓ Faible poids
- ✓ Très petite taille
- ✓ Grande souplesse
- ✓ Appréciation aussi bien en télécommunications que pour le câblage en aéronautique, informatique, médecine, et production industrielle.

I.14. Inconvénients des fibres optiques

- ✓ L'utilisation de la fibre optique est limitée.
- ✓ Fragilité : la fibre optique est plutôt fragile et plus vulnérable aux dommages par rapport aux fils de cuivre.
- ✓ La pose de la fibre optique nécessite l'accord de la copropriété et du syndicat de l'immeuble.
- ✓ La fibre est vendue au kilomètre, il arrive souvent, pendant les travaux, le besoin de souder deux fibres entre elles. Pour cela, il faut une soudeuse à fibre optique, un appareil volumineux et qui demande une forte alimentation en électricité. C'est un appareil

nécessaire car si la soudure est mal faite, le risque de perte du signal est de suite amplifié.

- ✓ Pas de transport d'énergie : En fait, les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- ✓ Pertes de connexion et de couplage
- ✓ Danger dû au rayon lumineux : Les densités d'énergie optique émises, par la source de lumière et éventuellement par l'extrémité de la fibre sont suffisantes pour endommager définitivement la rétine [7] [15].

I.15. Intérêt de la fibre optique

✓ Des débits plus élevés :

La fibre optique est capable d'acheminer des débits considérables, environ 100 fois plus élevés que le réseau actuel en cuivre (technologie ADSL) [19].

✓ Des débits de meilleure qualité

Contrairement au réseau actuel, la fibre optique :

Transporte des données sur de très longues distances, quasiment sans atténuation du signal, quelle que soit la localisation du logement ;

Insensible aux perturbations électromagnétiques, ce qui garantit une meilleure qualité.

✓ Des débits symétriques

À la différence du réseau actuel, les flux de données remontants (de l'utilisateur vers le réseau) sur le réseau en fibre optique peuvent être aussi rapides que les flux descendants (du réseau vers l'utilisateur), ce qui permet le développement d'applications nouvelles.

L'introduction des technologies « fibre optique » dans le réseau d'accès découle d'un certain nombre d'éléments convergents :

L'augmentation des besoins des utilisateurs :

Les besoins des entreprises en communications symétriques sont en croissance régulière quelles que soient leurs tailles et leurs activités, pour passer de 1 à 10 puis 100 Mbit/s, voire 1 Gbit/s à terme [20].

I.16. Les Applications de La Fibre

La fibre optique intervient dans plusieurs domaines tels que [16] [17] [18]:

1. Les Télécommunications

Actuellement, il est nécessaire d'augmenter la vitesse de propagation des informations. Pour cette raison, elles sont envoyées par les réseaux qui permettent de mettre en relation un grand nombre de personnes [22].

Les fibres optiques sont utilisées en téléphonie, transmission des images ou des données. Les fibres sont utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission accèdent des débits de l'ordre du gigabit par seconde avec une faible atténuation et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s [21].

2. La Médecine

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

- **Pour le diagnostic**, la lumière est guidée à l'intérieur du corps humain par un câble de fibres optiques. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibres optiques qui conduit cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, il sert à éclairer l'intérieur du corps humain et transmettre les images jusqu'au médecin.



Fig.I.20 : fibre optique Pour le diagnostic.[21]

- **Pour un traitement**, la fibre optique transporte la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur...

3. L'armée [23]

Les fibres optiques sont le premier choix pour les différentes applications militaires, leurs

utilisations dans ce secteur est immense. Elles offrent un meilleur débit et une sécurité supplémentaire pour leurs données.

Ces câbles sont résistants, légers et peuvent être utilisés dans des environnements difficiles.

Après vu les besoins des usagers résidentiels combinent l'accès à plusieurs programmes et plusieurs application de télévision (en haute définition, UHD, TV 3D), la navigation Internet, jeu en ligne, le téléchargement et le transfert de fichiers et les communications téléphoniques et visiophoniques comme montre Tableau I.5.

Tableau I.5 : Évolution de la demande de débit [22] .

Sens	Descendant		Montant
Moteurs de capacité actuelle et future	Demande actuelle	Demande future	Demande future
TV (HD,UHD)	8-10 Mbit/ s	10-20 Mbit/ s	0,5 Mbit/ s
Navigation & Messagerie	0,2-1 Mbit/ s	0,2-5 Mbit/ s	2 Mbit/ s
Contenu personnel/ Partage de données P2P	0,2-1 Mbit/ s	0,2-5 Mbit/ s	2 Mbit/ s
VoIP	<1 Mbit/ s	<1 Mbit/ s	<0,5 Mbit/ s
J eux interactifs	0,2-1 Mbit/ s	2 Mbit/ s	3 Mbit/ s
Messagerie instantanée	< 1 Mbit/ s	<1 Mbit/ s	<1 Mbit/ s
Audio, Webradio, Podcast	<0,5 Mbit/ s	<0,5 Mbit/ s	<0,5 Mbit/ s
Conférence vidéo	0,2-1 Mbit/ s	2 Mbit/ s	3 Mbit/ s
Administration en ligne	0,2-1 Mbit/ s	<5 Mbit/ s	<0,5 Mbit/ s
Demande moyenne par ménage	3- 8 Mbit/ s	<50 Mbit/ s	<8 Mbit/ s

Impliquant un besoin toujours grandissant de bande passante par recâbler la fibre optique, jusque chez les particuliers..

I.17. Conclusion

La fibre possède des qualités non négligeables comme support de transmission de l'information qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications, dans nos jours le défi des compagnies de télécommunications est d'arriver à transmettre un maximum de données en un temps record tout en minimisant les pertes de signal. Nous avons présenté dans ce chapitre la description complète de la structure de fibre optique de télécommunications, et les différents types des fibres optiques (monomode et multimode) et leurs caractéristiques.

Nous allons dans le chapitre suivant faire l'objet d'une étude détaillée aborder un autre domaine de la fibre optique : la nouvelle technologie FTTH pour offrir à l'utilisateur une connexion à très haut débit en adoptant la fibre optique jusqu'à domicile (FTTH, fibre jusqu'à la maison).

Chapitre II

Etude du réseau FTTH

II.1. Introduction

Dans le domaine des télécommunications des nouvelles techniques sont devenues courantes et éprouvées telles que les transmissions optiques par fibre optique, ce support de transmission apportera enfin utilisée via la technologie FTTH pour transmission avec débits élevés sur des distances importantes.

FTTH est l'acronyme de Fiber To The Home qui signifie « fibre optique jusqu'au Domicile » en anglais, est un réseau de télécommunications physique qui permet notamment l'accès à internet à très haut débit et dans lequel la fibre optique se termine au domicile de l'abonné. Ce réseau diffère du réseau basé sur la boucle locale, le réseau des modems ADSL, qui est constitué de câbles de téléphonie en cuivre.

Ce chapitre portera une étude détaillée sur la technologie du réseau d'accès à fibre optique jusqu'à l'abonné (Fiber To The Home ou FTTH) [23].

II.2. Historique

Cette nouvelle technologie Développée dans divers pays au cours des années 2000 puis 2010, ces réseaux terrestres remplacent progressivement ceux ayant historiquement servi à la distribution du téléphone ou encore de la télévision par câble.

En 2006, des réseaux FTTH existent déjà en milieu urbain en Asie du Sud-est et aux États-Unis, ainsi que dans quelques agglomérations européennes. En France, le réseau Pau Broadband Country a fait figure de précurseur ; parmi les déploiements en cours, ceux de Paris et des Hauts-de-Seine sont les plus avancés. Des projets sont aussi en cours dans certains pays d'Afrique du Nord, notamment au Maroc où certains complexes résidentiels sont déjà équipés. En Suisse, le FTTH a été lancée par Sierre Energie avec son Projet Vario qui doit s'étaler sur 5 ans [23]. La figure II.1 ci-dessous indique l'augmentation de débit en fonction des années [24].

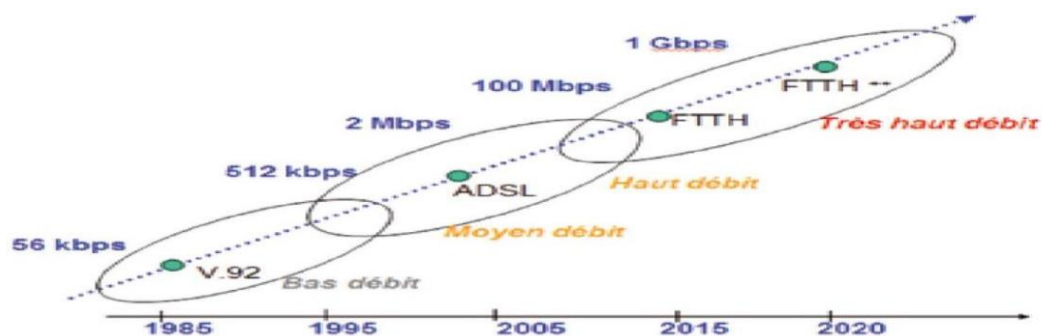


Fig.II.1 : Croissance du débit au cours des années [24]

Cette tableau représente les principaux différence entre FTTH et ADSL :

Tableau II.1 : Comparaison du débit entre FTTH et ADSL[24].

		FTTH		ADSL	
		Débit symétriques (Montant et Descendant 100Mbps)		Débit Descendant 8Mbps	Débit Montant 1Mbps
Type de Fichier	Taille moyenne	Durée Download	Durée upload	Durée Download	Durée upload
Film en HD	30 Go	40min		>8h	>66h
Film DVD	4,8 Go	6 min		1h20min	>10h
Film DivX	800 Mo	1 min		13min	1h40min
20 photos 8Mégapixels non compressé	480 Mo	40s		8min	>1h
10 fichiers Audios MP3	40 Mo	3s		40s	5min

II.3. Débit

En 2015, le débit descendant disponible pour l'abonné varie de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s, et de 50 à 200 Mbit/s dans le sens montant. Cependant, la fibre optique autorise le transport d'un débit bien supérieur, ce qui en fait un support évolutif, c'est-à-dire que les fournisseurs d'accès peuvent segmenter leurs offres afin de pouvoir proposer différentes gammes de débit.

Au Japon, il existe des offres à 1 Gbit/s en FTTH depuis 2006. En France, il existe des offres à 1 Gbit/s en FTTH depuis 2013.

Les débits en FTTH peuvent atteindre 2 Gbit/s dans chaque sens, soit des débits 100 fois supérieurs à ceux accessibles via la boucle locale [25].

II.4. Les réseaux optiques

Généralement, les réseaux de télécommunications par fibre optique peut être décomposé en trois catégories [24] :

II.4.1. Le réseau d'accès

Appelé réseau local (local area network : LAN), ce dernier couvre des dimensions environ quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres.

II.4.2. Le réseau métropolitain (métropolitain area network MAN)

Ce sont des réseaux intermédiaires qui interconnectent les réseaux longue distance et les réseaux d'accès via des nœuds d'accès (NA), qui font environ des centaines de kilomètres.

II.4.3. Le réseau cœur

Ce sont des réseaux WAN avec une structure en maille ou en anneau où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexion varient entre 100 km et plus de 1000 km, couvrant des zones géographiques à l'échelle continentale, Comme exemple les liaisons transatlantiques entre l'Europe et les États-Unis sur des distances de transmission de 6000 km.

II.5. Réseaux d'accès optiques

On définit un réseau d'accès comme l'ensemble des moyens servant à relier des terminaux de télécommunications entre un utilisateur final et un nœud du réseau métropolitain. La distance séparant ces terminaux est souvent de l'ordre de vingt kilomètres (20km). Le réseau d'accès permet aux utilisateurs d'accéder au cœur du réseau afin de bénéficier des services fournis par ce dernier[25].

Dans ce type de réseaux on trouve deux parties, une partie en fibre optique et la deuxième en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

On distingue les techniques FTTx (Fiber to the x) qui consiste à raccorder la fibre la plus proche possible de l'utilisateur pour augmenter la qualité de service et en particulier le débit.

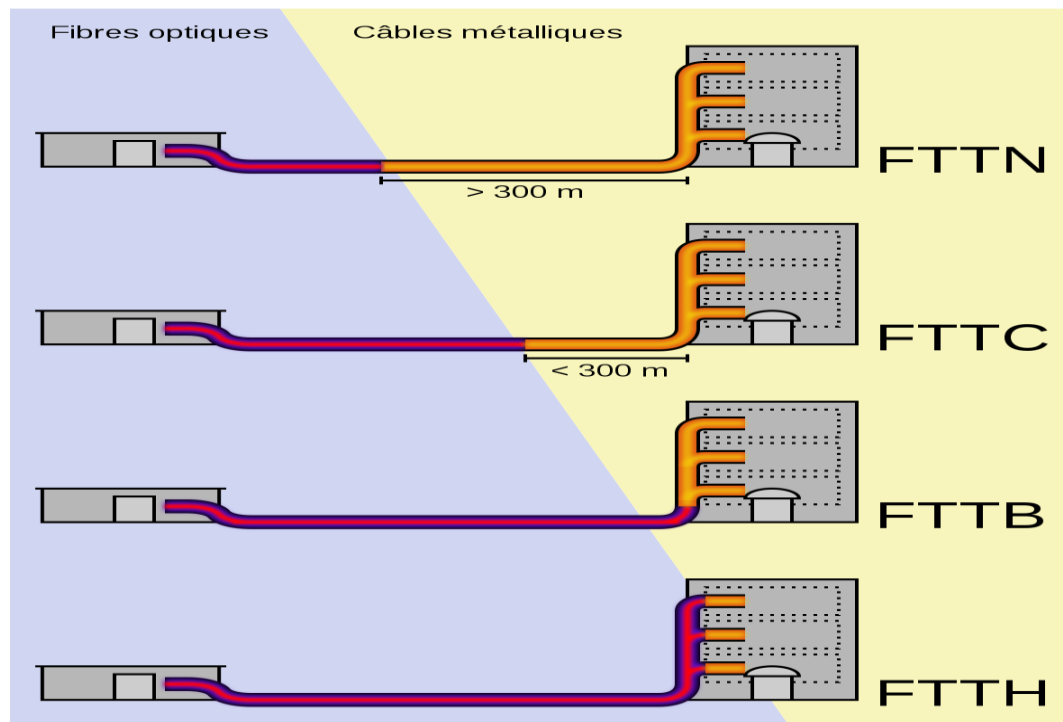


Fig.II.2 : Architecture globale d'un réseau FTTx[25].

II.5.1. Les couches du réseau d'accès

Afin de concevoir et de dimensionner les différents éléments qui constituent un réseau à très haut débit, il convient de structurer les différentes composantes dans une description en trois couches [25]:

- ✓ **La couche d'infrastructure**, composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques,
- ✓ **La couche optique passive**, comprenant notamment les câbles optiques, les boîtiers d'épissurage et les baies de brassage.
- ✓ **La couche optique active** qui transporte les services. Elle est constituée des équipements actifs.

Et parmi les techniques les plus utilisées nous allons les citer [26] :

II.5.1.1. 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 (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous

répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab). Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radio électrique, la figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab[26].

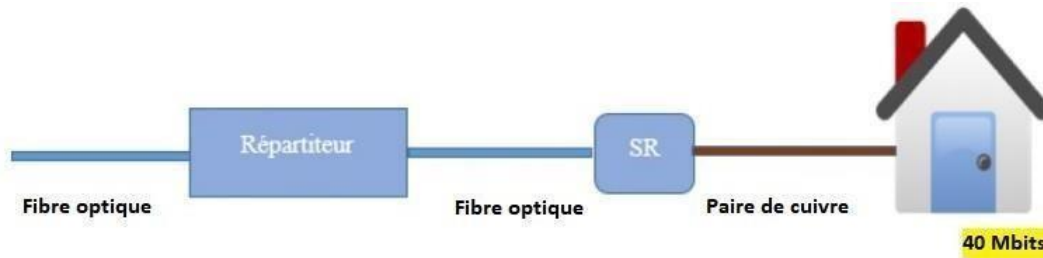


Fig.II.3 : Structure d'un réseau FTTC [24].

II.5.1.2. 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. Cette configuration est appelée aussi FTTB, la figure ci-dessous représente la structure d'un réseau FTTB [26].

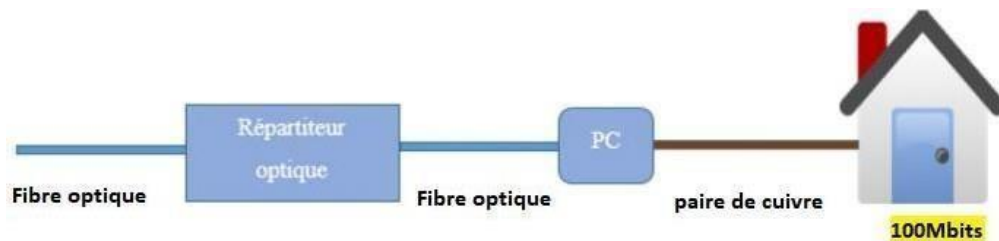


Fig.II.4 : Structure d'un réseau FTTB [24].

II.5.1.3. La solution FTTH(Fiber to the home)

FTTH (Fiber To The Home, Fibre jusqu'au domicile) : l'abonné final est raccordé jusqu'à son domicile par une fibre optique unique qui lui est dédiée. Cette technologie permet l'accès à Internet, à la Télévision, à la Téléphonie avec des débits bien supérieurs à ceux que permet actuellement l'ADSL par exemple. Son autre avantage considérable par rapport aux technologies utilisant la paire de cuivre (ligne téléphonique standard) est de ne pas connaître d'atténuation du signal en fonction de la distance, et donc de garantir des débits optimaux même lorsque l'utilisateur se trouve très éloigné du commutateur. La figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTH [26].



Fig.II.5 : Structure d'un réseau FTTH [24].

Parmi les nouveaux services très hauts débit, on peut citer [25] :

- Le Cloud, qui permet de stocker des données dans le réseau, de les partager et de les consulter à distance comme exemple (Google drive)
- La vidéoconférence qui, grâce au très haut débit, sera plus fluide, de meilleure qualité, et pour le son et pour l'image, ainsi que les nouveaux formats de télévision tels que la télévision 3D ou l'ultra haute définition
- Le développement de la domotique permettant de contrôler à distance l'ensemble des équipements électriques de la maison, et de participer au maintien à domicile des personnes dépendantes, en les rendant plus autonomes, en contrôlant des instruments professionnels.

La figure II.6 nous montre les différentes architectures FTTx qu'on a montré en dessus.

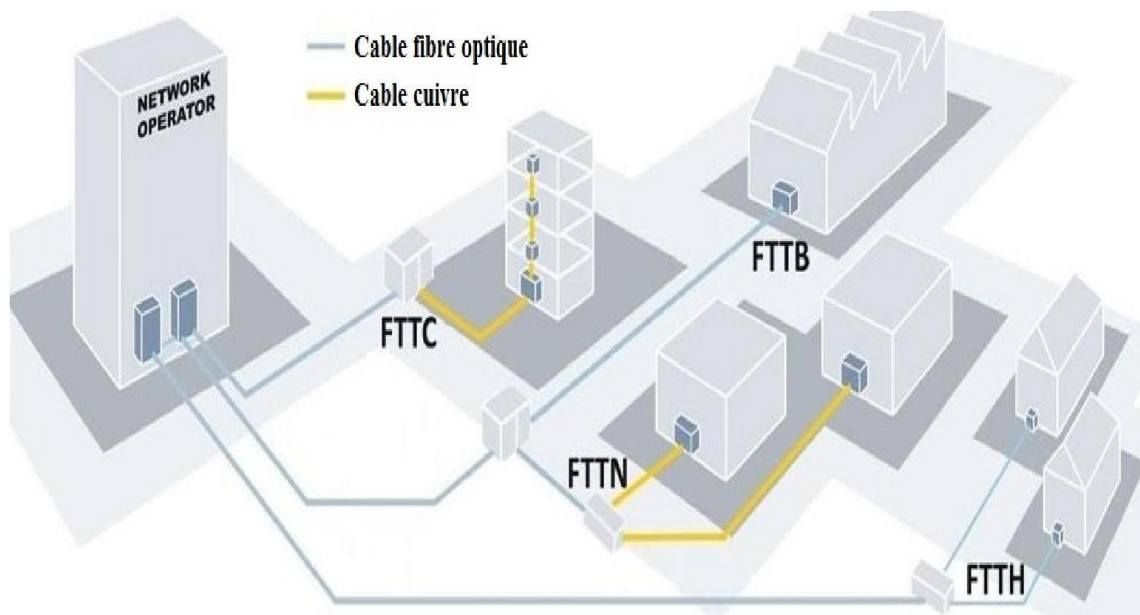


Fig.II.6 Les différentes architectures FTTx [26].

II.6. Différents Composants d'un réseau optique

a- OLT (Optical Line Terminal)

L'équipement réseau situé au central qui gère les flux de trafic vers les abonnés ou provenant des abonnés. Il assure l'interfaçage avec les équipements du réseau de collecte. L'OLT est le gestionnaire de services. C'est sur cet équipement qu'est configurée la ligne du client, Elle est Située dans un **NRO (Nœud de Raccordement optique)**. De l'OLT, la fibre arrive sur un **répartiteur numérique**, point final de l'installation dans les centraux téléphoniques et point de départ vers les immeubles et domiciles des clients [27].

L'image de la figure II.7 désigne l'équipement OLT dans le réseau :

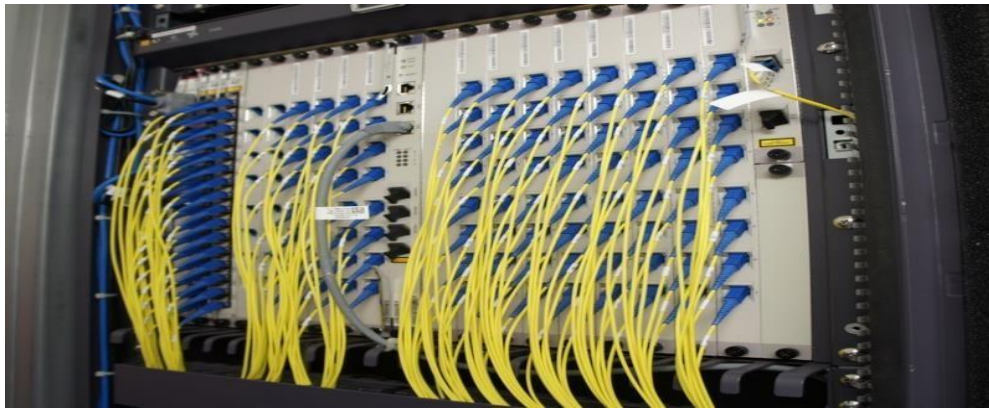


Fig.II.7 : Equipement OLT [27]

b- RN (Remote Node)

Point de répartition qui répartit le signal optique provenant de l'OLT vers plusieurs abonnés et combine les signaux optiques provenant des abonnés à destination de l'OLT.

c- ONT (Optical Network Termination)

C'est un équipement actif, situé chez les abonnés, qui transforme le signal optique de la fibre optique en signal électrique sur le câble RJ45 et vice-versa. Il assure les fonctions d'émission/réception des signaux optiques vers l'OLT ou provenant de l'OLT et la conversion entre les interfaces optiques avec le réseau et les interfaces d'utilisateur. C'est le point d'extrémité en aval du réseau d'accès. L'ONT peut être considéré comme un modem optique auquel le client vient connecter sa passerelle d'accès au haut débit.



Fig.II.8 : Equipement ONT [27]

d- ONU (Optical Network Unit)

L'équipement comme l'ONT mais situé dans le réseau dans le cas où la fibre ne pénètre pas jusqu'à chez les abonnés. La transmission entre les ONU et les abonnés est réalisée sur les



paires de cuivre comme la technologie xDSL.

Fig.II.9: Equipement ONU [27]

e- NT (Network Termination)

Le module chez les abonnés dans le cas où la fibre ne pénètre que jusqu'à l'ONU.

La figure II.10 suivante montre les différentes parties (distribution, terminaison et accès) du réseau FTTH ainsi que les composants.

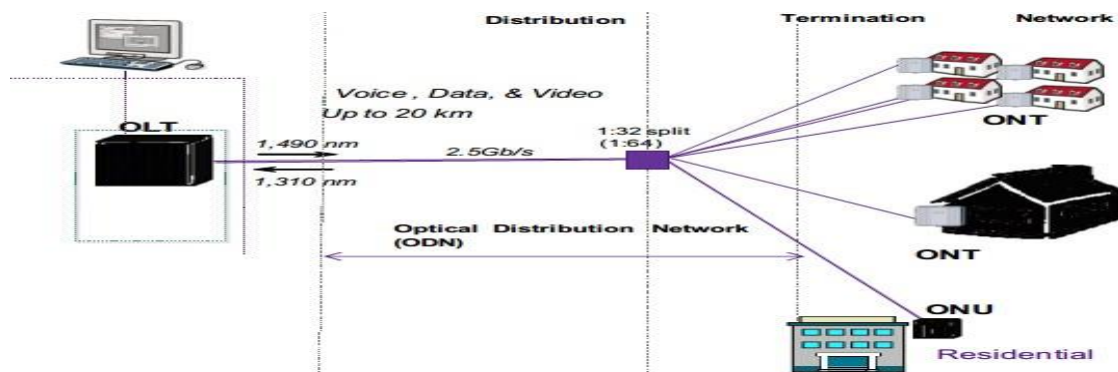


Fig.II.10 : Les différentes parties du réseau FTTH[27].

II.7. Chemin de la fibre dans le réseau d'accès FTTH

Du **NRO** partent donc les milliers de câbles en direction des domiciles des abonnés. Mais avant de parvenir jusqu'à eux, il y a plusieurs étapes comme on peut le voir dans le dessin ci-dessus. Avant le **NRO**, en rouge, c'est le réseau de collecte de l'opérateur. La première partie du réseau d'accès, en violet est appelée "**transport**" et va du **NRO** jusqu'au **SRO** (Sous-Répartiteur Optique). La seconde, en bleue, est nommée "**distribution**" et va de **SRO** au **PTO** (Point de Terminaison Optique situé chez l'abonné). En chemin, la fibre transite par le **PBO** (Point du Branchement Optique) généralement placé sur le palier ou à proximité de la maison [25].



Fig.II.11 : Chemin de la fibre [25]

II.8. Structure du réseau FTTH

L'utilisation de la solution FTTH en câble optique s'effectue autour de plusieurs nœuds et répartiteurs, on va présenter les règles principales d'ingénieries à appliquer lorsqu'on fait le dimensionnement des réseaux d'accès FTTH [23].

1. Nœud de raccordement optique (NRO)

Acronyme de nœud de raccordement optique de l'opérateur, en anglais, on le nomme OLT pour Optical Line Terminal. Les lignes de fibre optique des clients convergent vers le NRO, qui se trouve au bureau central du fournisseur de service ou CO (Central Office en anglais) et c'est d'ici qu'ils prennent leur service. De plus, le NRO distribue les services télé, Internet et de téléphonie sur une seule fibre. Finalement, le NRO est autant présent dans un réseau de fibres optiques de type point à point que dans un réseau de type point à multipoints (par exemple le GPON) [25].

2. Sous répartiteur optique (SRO)

Le sous répartiteur optique SRO est une armoire de rue similaire aux sous répartiteurs utilisés au niveau des réseaux téléphoniques.

Il est défini comme le point à partir duquel l'opérateur a accès au réseau de desserte des bâtiments, il est appelé aussi point de mutualisation.

Les câbles viennent du nœud de raccordement optique via l'infrastructure de génie civil souterrain qui aboutisse vers le sous répartiteur optique appelé aussi armoire de mutualisation[23].

3. Point de Branchement Optique (PBO)

Un PBO, ou Point de Branchement Optique, permet de raccorder la fibre à un client final.

Le PBO (pour Point de Branchement Optique) est un boîtier blanc installé proche des habitations, et permettant de faire transiter la fibre vers plusieurs logements à la fois. Sa fonction première est donc de raccorder un abonné au réseau fibre de son opérateur commercial.

4. Prise Terminal Optique (PTO)

La PTO est une prise terminale pour les réseaux FTTH qui permet le raccordement de 1 à 4 fibres. Elle sert de point d'interface entre le câble d'abonné et le cordon d'abonné[23].

II.9. Architecture du réseau d'accès optique FTTH

On distingue deux principaux types d'architecture FTTH [24]:

- **L'architecture Ethernet point-à-point (P2P)**, pour laquelle une fibre optique par abonné est déployée du NRO jusqu'au foyer de l'utilisateur.
- **L'architecture point-multipoint (P2MP)** ou PON (Passive Optical Network), basée sur différents standards (GPON, EPON) et pour laquelle une fibre optique peut desservir plusieurs abonnés.

II.9.1. Différentes topologie FTTH

La figure II.12 ci-dessous regroupe les différentes topologies utilisées dans les réseaux d'accès FTTH.

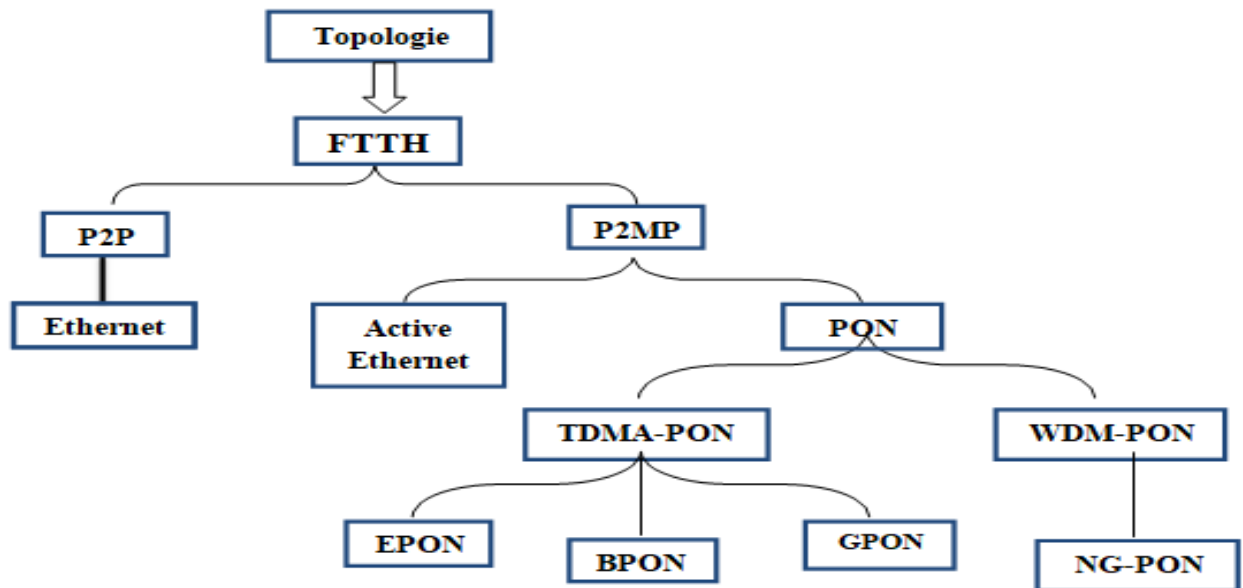


Fig.II.12 :Différentes topologie FTTH [23].

II.9.1.1. La technologie P2P

La topologie P2P aussi appelé l'architecture de type "home run» contient un élément actif, un commutateur entre le Central Optique et l'équipement du client ONU ainsi qu'un convertisseur de fibre optique en câble Ethernet pour permettre de relier le lien au modem.Elle est généralement utilisée pour les grandes entreprises. Dans cette configuration, chaque abonné possède sa propre fibre optique le reliant directement aux équipements de l'opérateur comme l'illustre la figure II.13.

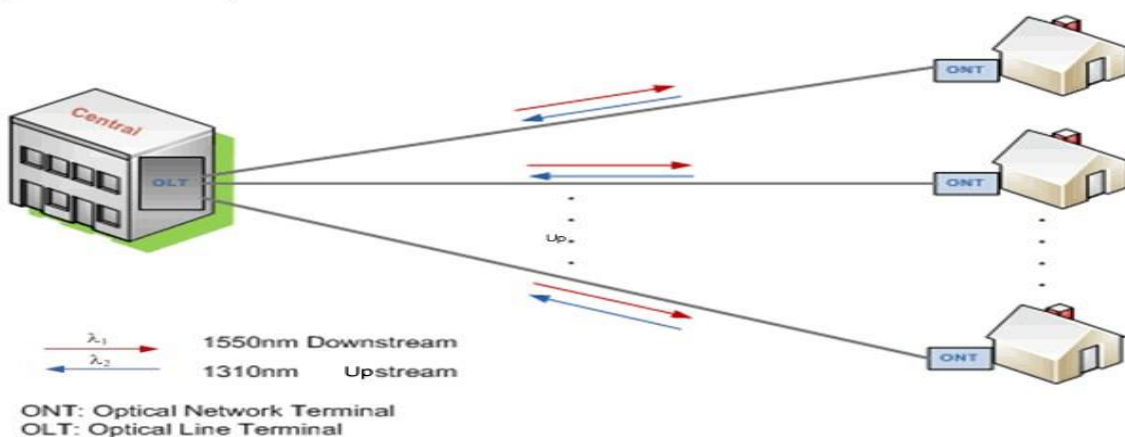


Fig.II.13 : Architecture P2P [23]

Le premier avantage de l'architecture point à point est la possibilité de monter le débit par utilisateur en absence de partage de ressource matérielle en termes de la fibre optique et

de l'émetteur-récepteur optique à l'OLT. La portée peut être augmentée grâce à l'absence de composants optiques atténuants dans le réseau, la sécurité des données d'utilisateur est bien garantie, la communication entre chaque abonné avec l'OLT est indépendante d'un utilisateur à un autre. En termes de performances (débit, portée), l'architecture point à point est considérée comme la meilleure solution. Mais le coût très élevé est un problème majeur pour cette architecture.

Avantages

- ✓ Solution universelle adaptée aux clients résidentiels et aux entreprises.
- ✓ Budget optique optimal puisque pas de composants optique entre l'OLT et l'ONT.
- ✓ La gestion du réseau est très simplifiée.
- ✓ Une plus grande flexibilité de service.
- ✓ Bande passante illimitée.
- ✓ La sécurité des données est garantie puisqu'une ou deux fibre sont dédiées à chaque client.
- ✓ Plus économique dans des secteurs d'abonné de faible densité.

Inconvénient :

- ✓ Pas de partage de l'OLT ou de port optique, beaucoup de fibres à déployer (pas très économique).
- ✓ Gestion de fibre au niveau de la centrale.
- ✓ Encombrement à l'intérieur du central dû au grand nombre de transceivers.
- ✓ Pas de mutualisation de fibre.

II.9.1.2. L'architecture PON

L'acronyme PON (Passive Optical Network) se traduit par « réseau d'accès optique passif ».

L'appellation "Passive" vient du fait que l'on n'utilise que des équipements passifs dans l'infrastructure. Un coupleur optique passif 1 vers N, qui divise la puissance optique vers autant de port de sortie, est l'élément clé de l'architecture. C'est la solution la plus rentable actuellement dans les réseaux d'accès si on veut déployer la fibre à l'abonné [23][26].

L'architecture PON permet de répartir une fibre optique sur une longue portion du réseau, puis de la décomposer en plusieurs fibres sur des distances plus courtes pour desservir

plusieurs abonnés. Dans la pratique, les équipements actifs au niveau du NRO (OLT – Optical Line Terminal) disposent de ports PON permettant d'émettre/recevoir des flux à/de plusieurs équipements terminaux d'abonnés (ou ONT – Optical Network Terminal) sur une unique fibre optique.

Des coupleurs optiques (il s'agit d'équipements passifs de petite taille hébergés dans les boîtiers d'épissurage), déployés le long du parcours, permettent de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant.

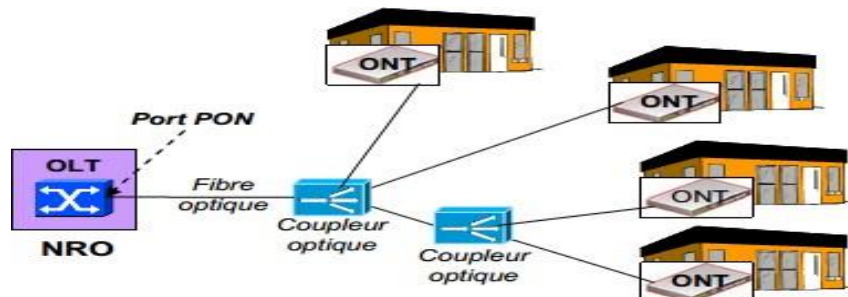


Fig.II.14 : Architecture PON[26].

Les architectures PON peuvent être organisées en :

a-Étoile (un coupleur en sortie de chaque port PON de l'OLT dessert n ONT),

b-Arbre (en cascade des coupleurs, un coupleur pouvant desservir plusieurs sous-branches),

c-Bus (sérialisation des coupleurs).

C'est l'architecture en arbre qui est la plus souvent déployée, avec deux niveaux de coupleurs optiques (par exemple, un coupleur situé au NRO ou dans un sous-répartiteur optique, et un deuxième coupleur situé au plus près des abonnés, (i.e. dans l'immeuble desservi) [26].

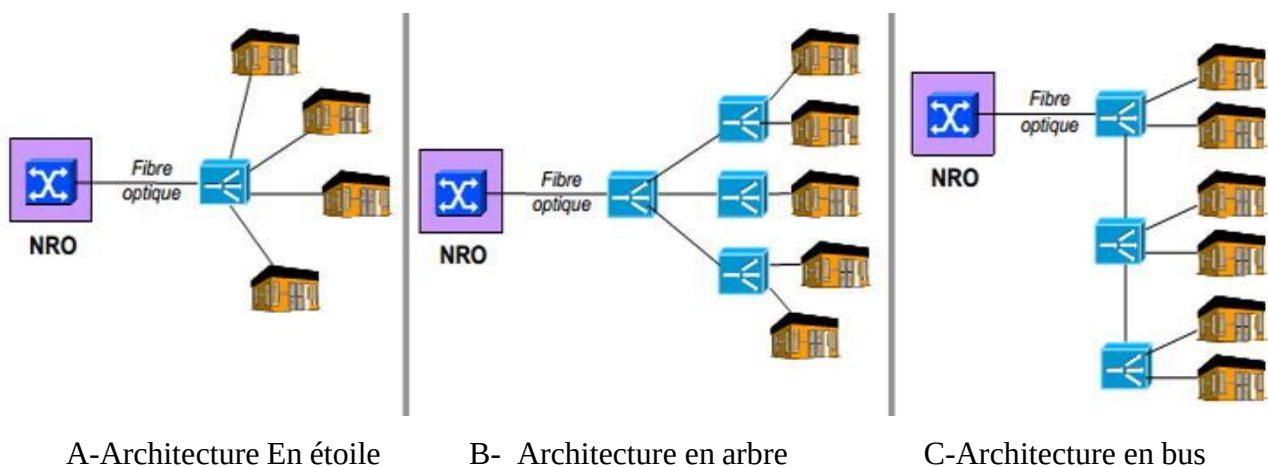


Fig.II.15 : Différents architecture utilisé en PON [26].

Avantages :

- ✓ Aucun élément électronique actif dans le réseau d'accès, c'est la structure passive.
- ✓ Permet des économies sur la quantité de fibres à poser, et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil.
- ✓ Réduit des dépenses capitales et des coûts d'exploitation associés.
- ✓ Les frais bas d'entretien de ces composants optiques passifs réduiront de manière significative du coût de mises à niveau et de dépenses de fonctionnement.
- ✓ Flexibilité dans l'allocation de la bande passante.

Inconvénients :

- ✓ Pas d'interopérabilité avec d'autres réseaux.
- ✓ Bande passante partagée et limitée.
- ✓ Sécurité des données nécessaire.
- ✓ Zone de couverture limitée : au maximum 20 Km en fonction du nombre de divisions.
- ✓ Capacité de planification difficile pour les applications d'entreprise.

Tableau II.2 : Comparaison du entre les deux architecteurs p2p et point à multipoint

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

1. Les catégories du PON

Les architectures passives PON se déclinent ensuite en plusieurs catégories [23] :

a. A-PON (ATM PON)

Il est issu des techniques PON associées à l'ATM. Il offre un débit 155/622 Mbit/s (sens descendant) et 155 Mbit/s (sens montant) pour 32 abonnés. La solution APON est complexe et coûteuse. Elle ne peut pas offrir de services vidéo. Le débit est limité et la récupération d'horloge peut poser des difficultés.

b. B-PON Broadband PON : évolution de la norme APON,

C'est une technologie APON modifiée pour permettre la diffusion de la vidéo. Elle supporte le WDM et possède une allocation de bande passante dynamique. Le BPON transmet sur la même fibre la voix et les données, et réserve des fréquences pour la télévision numérique et analogique (overlay wavelength). Le BPON autorise des débits de 1Gb/s dans le sens descendant et 622Mb/s dans le sens remontant mais son utilisation est usuellement vue pour des débits de 622Mb/s descendant et 155Mb/s remontant.

c. E-PON

Ce standard utilise le protocole Ethernet comme protocole de transport. Il présente un débit symétrique maximal de 1,25 Gb/s par port, partagé pour un maximum de 64 abonnés, et disposant d'une portée d'environ 20 km, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT.

d. G-PON (Gigabit PON)

La technique de ce réseau est basée sur le multiplexage temporel. Une longueur d'onde est utilisée pour le sens montant et une autre pour le sens descendant. GPON se différencie de BPON par sa capacité à transporter des paquets et des trames Ethernet de longueurs variables. Le GPON offre un débit de 1,2-2,4 Gbit/s (débit asymétrique). De plus, GPON permet une plus grande distance de déploiement, jusqu'à 60 km, avec 20 km maximum entre les ONT. Enfin, le GPON permet jusqu'à 64 lignes sortantes d'un coupleur optique (splitter).

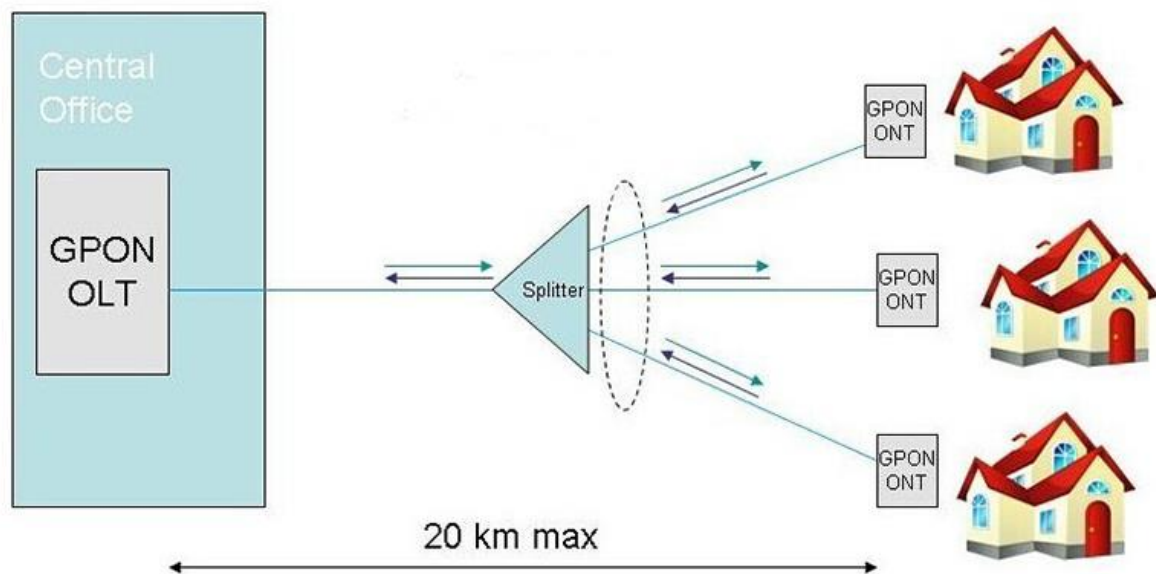


Fig.II.16: Architecture G-PON [24].

Avantages du type G-PON

Voici quelque avantage du G-PON qu'on peut recueillir :

- ✓ La structure est passive car elle est à base de coupleurs optiques
- ✓ Le génie civil est optimisé et le coût réduit
- ✓ Infrastructure partiellement partagée (économie sur la fibre)
- ✓ L'architecture est favorable à la diffusion
- ✓ L'OLT est partagé (un duplexeur au central pour 32 clients)

Inconvénients du type G-PON

Même si le G-PON est une architecture sollicitée mais nous rencontrons parfois quelque compromis tels que :

- ✓ Le budget optique est limité par le coupleur dont les pertes sont proportionnelles au nombre de ports
- ✓ Le débit étant partagé, il est donc limité
- ✓ La synchronisation est complexe pour le sens montant
- ✓ La sécurité des données en réception n'est pas optimale car l'ensemble des utilisateurs reçoit l'ensemble du flux émis par le central. Cependant la confidentialité est assurée par un processus de cryptage (G983/G984). Il reste la sécurité du réseau

qui peut être mise à mal par injection malveillante de signal perturbateur d'un ONT.

- ✓ L'ONU doit fonctionner au débit agrégé (2,5 Gbit/s par exemple), qui est très supérieur au débit utile.

Le tableau II.3 suivant illustre une comparaison de débit entre A-PON , B-PON , E-PON et G-PON.

Tableau II.3: Comparaison entre les catégories de PON

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, TDMA)
Nombre de clients	64 max	64 max	32 max	64 max
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

II.9.3. La sécurité dans les PONs

Un réseau PON offre un mode de fonctionnement sécurisé en ce qui concerne la confidentialité des données.

Il faut préciser que, de par la nature même de la technologie PON, il est extrêmement difficile pour une personne malveillante de parvenir à falsifier un ONT ou encore d'essayer de capter des données qui ne lui seraient pas destinées; Toutefois, pour répondre à tous les cas imaginables de malveillance malgré leur improbabilité, le PON a mis

en place des mécanismes afin qu'un abonné ne puisse lire que les données qui lui sont adressées; Le mécanisme de sécurisation intégré est le suivant [25] :

- ✓ Le trafic descendant est crypté; Il utilise l'algorithme standardisé AES (Advanced Encryption Standard) à 128-bits .
- ✓ Chaque équipement client a sa propre clé de cryptage/décryptage privée.
- ✓ De nouvelles clés sont automatiquement échangées par l'OLT et l'ONU à des intervalles réguliers.

II.9.1.3 Architecture AON : Active Optical Network ou Point MultiplePoint Active

Aussi appelé Double Étoile Active en français, le coupleur passif est remplacé dans cette architecture par un commutateur qui est équipement électronique actif capable d'aiguiller le signal. La fibre optique entre le point de répartition RN et l'OLT est mutualisée entre plusieurs abonnés. Comme illustrer dans la figure II.17 ci-dessous, l'agrégation des trafics provenant de plusieurs abonnés est réalisée à l'aide d'un équipement Ethernet actif situé au RN d'où son nom l'architecture point à multipointactive [23].

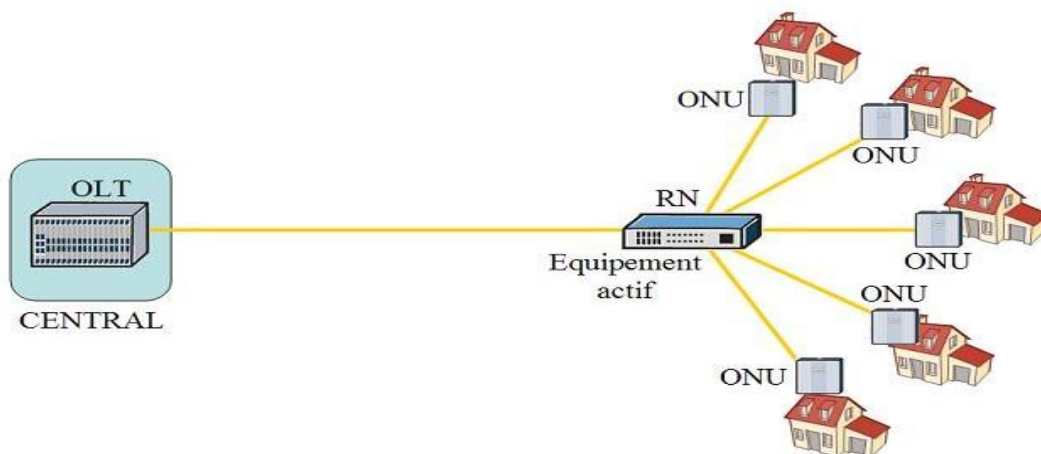


Fig.II.17: Architecture du réseau d'accès optique point à multipoint actif [23].

II.10. Comparaison des technologies P2P, AON et PON: Les données suivantes correspondent aux valeurs typiques obtenues à partir des équipements du marché couramment installés .

Tableau II.4 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON

	Point à point	AON	PON
Distance(km)	15	15 par segment	20
Fibre	1 fibre par abonné de bout en bout	1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport	1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport
Energie	2 watt / abonné Dissipé au NA	Alimentation dans la partie accès 2 watt / abonné - Dissipé au NF	0,6 watt / abonné Dissipé au NA
Débit garanti	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	100Mbit/s symétriques	Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32
Débit maximum	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 2,5Gbit/s en descendant et 1Gbit/s en montant
Dégrouper	Actif et passif au NA	au NA ou au NF	Actif et passif au NF
Equipement Actif dans le réseau de desserte	Non	Oui	Non

II.11. Déploiement

Le déploiement de la fibre se compose du [28]:

- ✓ **fibrage horizontal** : chaque opérateur pose une fibre pour, au maximum 64, voire 128 clients.
- ✓ **fibrage vertical** : il faut poser une fibre par logement dans les étages des immeubles.
- ✓ **une zone de transition** : La transition entre les fibres de l'opérateur résidant (et des FAI concurrents) et les fibres des différents abonnés s'effectue au moyen de passifs coupleur *optique (splitters passifs)*.



Fig.II.18: les 4 niveaux de déploiement d'un réseau FTTH [28].

Voici un schéma d'un réseau FTTH plus détaillé :

Le réseau est organisé en 4 niveaux [28]:

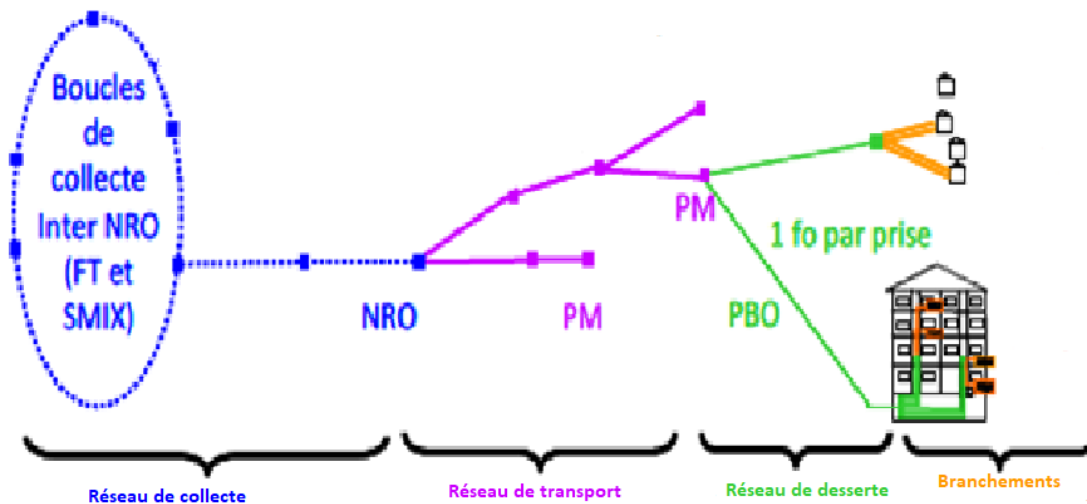


Fig.II.19: Les segments d'un réseau FTTH [23].

1. **Le raccordement (orange)** qui part de la prise terminale optique (PTO) et va jusqu'au point de raccordement au réseau public le plus proche aussi appelé point de branchement optique (PBO).
2. **La distribution (vert)** qui relie tous les points de branchement (PBO) à l'armoire de quartier (SRO sous répartiteur optique ou PM point de mutualisation)
3. **Le transport (violet)** qui relie les armoires de quartier au Central téléphonique (NRO nœud de raccordement optique). C'est dans ces NRO que la fibre est allumée et donc activée.
4. **La collecte (bleu)** qui achemine le trafic depuis les NRO vers le monde Internet. permet l'interconnexion des nœuds principaux de réseaux appelés NRO.

II.12. Critères de choix

Un fournisseur de télécommunications doit considérer beaucoup de facteurs quant à la sélection d'une architecture de fibre [23]:

✓ La densité d'abonnés :

-La densité d'abonné joue un rôle économique principal pour des fournisseurs confrontés à choisir la bonne architecture.

- Dans les zones à forte densité de services d'abonnés, les distances entre les lieux sont plus courtes et une architecture PON peut être plus économique. Cependant, chaque OLT supporte de coût élevé doit être ajouté au service d'un abonné unique, ce qui entraîne un coût très élevé pour que les abonnés supplémentaires soient connectés.

✓ **La bande passante disponible**

Avec les avancées dans le développement de la TVHD, il peut être envisagé que les réseaux d'accès à venir devront fournir entre 70 et 100 Mbit / s par client. Cela permettra au client de regarder 3 à 4 chaînes HDTV, naviguer sur Internet et effectuer un certain nombre d'appels vidéo. Actuellement, tous les types d'architectures FTTH sont capables de fournir un tel débit.

✓ **La portée du réseau**

Dans les réseaux point-to-point, il est précisé que le réseau doit avoir une portée de jusqu'à 10Km. En normes spécifiant les fonctionnalités PON les deux distances 10 et 20 km sont prises en compte.

✓ **Le coût**

Le coût total de l'infrastructure dépend de plusieurs facteurs tels que le prix des matériaux, la Disponibilité des conduits souterrains ou aériens, la topographie du terrain et les taux de main-d'œuvre locale [24].

II.13. Le bilan optique

A la fin d'installation de notre système FTTH, il faut vérifier les performances de la liaison optique jusqu'à la prise terminale optique en calculant l'atténuation générale de cette liaison en utilisant le Bilan optique (méthode utilisée par les techniciens de Algérie télécom). et que chaque composant a une atténuation [25].

II.14. La performance technologique

La FTTH présente la technologie d'accès Très haut débit [29] :

- Cohérence entre collecte et accès: technologie, performance
- Une infrastructure capable de supporter sans restriction l'ensemble des services actuels et à venir.

Algérie Télécom est convaincue qu'il faut « projeter » le réseau d'accès avec une « Vision cible » ou la fibre va jusqu'à l'abonné.

II.15. Qualité de Service QoS

Définition

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme de la qualité de service et se résument principalement comme suit [29]:

La qualité de service (QDS) ou Quality of service (QoS) est définie comme étant la transmission dans de bonnes conditions d'un certain nombre de paquets entre un émetteur et un récepteur et dans cette transmission les points suivants doivent être mis en valeur pour le réseau : la disponibilité, le débit, le délais de transmission, le gigue, le taux de pertes de paquets.

La QoS regroupe un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur les réseaux .

✓ *But de la QoS*

La qualité de service a pour but d'assurer une performance optimisée des applications et d'augmenter la robustesse des ressources du réseau. Dans un réseau, un QoS permet le balancement des débits, des temps de réponses différentes suivant les applications tout en se dépendant des protocoles responsables de l'actuelle communication au niveau de la couche réseau [28] [29].

Au dépend des types de service à évaluer, la qualité de services peut se focaliser sur les critères suivants :

- ✓ Le débit
- ✓ Le délai
- ✓ Le taux de pertes de paquets

II.16. Exigences des applications en métrique de la QoS

La Qualité de service d'une application est définie comme étant l'ensemble des exigences requises par cette application en termes de bande passante, délai, gigue et taux de perte. Ces exigences sont intrinsèques à la nature des applications .Ces dernières peuvent être classées en deux catégories [28]:

-Les applications temps-réel : Ce type d'applications dites temps-réel ont un besoin strict en terme de délai et de faible variation de délai (gigue). Cependant, elles peuvent tolérer quelques pertes de paquets.

-Les applications non-temps-réel : Les applications dites non-temps-réel (ou Best-Effort) sont plus sensibles aux pertes de paquets qu'à des délais élevés. Dans ce cas, la fiabilité de la communication est plus importante que la garantie d'un délai borné.

Le tableau II.5 suivant résume les exigences de quelques applications en termes de QoS.

Tableau II.5: les exigences de quelques applications en termes de QoS [29].

Application	Délai	Gigue	Bande passante	Fiabilité
E-mail	/	/	/	Nécessaire
Transfert fichier	/	/	Suffisamment	Nécessaire
Accès web	Correct	/	Suffisamment	Nécessaire
Audio à la demande	/	Nécessaire	Suffisamment	/
Vidéo à la demande	/	Nécessaire	Nécessaire	/
Téléphonie	Nécessaire	Nécessaire	/	/
Vidéoconférence	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire

II.17. Exemple de qualité de service en réseaux FTTH

Nous pouvons constater à travers ces quelques exemples que les besoins en QoS peuvent être différents et cela, suivant la nature des applications. Comme exemple concret, lors de la diffusion d'une vidéo à la demande, le réseau doit assurer un transfert quasi temps-réel avec une latence très faible et une gigue faible ; par contre, le fait de perdre une image de temps à autre ou pour une qualité d'image un peu dégradée ne représentera pas un grand problème pour la transmission [29].

Suivant l'évolution de la technologie réseau surtout en termes de débit, plusieurs applications bien évoluées ont pu voir le jour : les applications multimédia. Parmi ces applications, on peut compter: la téléphonie sur IP, la diffusion du audio, la vidéo conférence, la vidéo à la demande. Les nouvelles applications multimédia sont gourmandes en ressources, ce qui obligera les réseaux traditionnels à mettre des mécanismes de qualité de service pour ces flux dits continus [30].

II.18. L'étude technico-économique d'un réseau FTTH

L'étude technico-économique du déploiement d'un réseau FTTH sur un territoire comprend 3 étapes principales [30]:

1. Etude de piquetage : Il s'agit de réaliser des relevés sur le terrain sur la structure de l'habitat, la densité de logement, les infrastructures existantes, etc. qui serviront à définir des poches d'habitat cohérentes et caractériser les plaques FTTH.

Dans le cas d'un projet à long terme, une analyse macroscopique s'appuyant sur la connaissance du territoire, complétée si besoin par des données administratives (découpe du territoire ; type d'habitat urbain, périurbain, ou rural, à dominante pavillonnaire ou collectif ; densité de population) et techniques (mode de pose envisagée pour l'adduction en domaine privatif) peut se substituer à la véritable étude terrain.

2. Etude de l'architecture des plaques FTTH : Pour chaque plaque FTTH, sont décrits la localisation du NRO et des points de mutualisation, le mode de pose retenue (souterraine, en façade, en aérien), l'architecture du réseau de desserte (point-à-point, PON), le dimensionnement des câbles optiques,...

3. Evaluation du coût de déploiement : A partir des données précédentes et d'hypothèses sur le coût de réalisation et d'exploitation du réseau, il est possible de dégager le profil de rentabilité de chaque plaque FTTH, en déterminant pour chacune d'elle, le coût moyen de raccordement à la prise. On peut ainsi définir différentes stratégies d'action prenant en considération le périmètre des plaques à desservir et le phasage du déploiement.

II.19. les avantages et les inconvénients de FTTH

✓ **Parmi les avantages de FTTH on cite [31]:**

- Les débits de téléchargement (en émission et réception) proposés sont largement supérieurs à ceux de l'ADSL.

- La latence est considérablement réduite.
- Les possibilités de saturation de la connexion en heures de pointe sont quasiment nulles.

✓ **Parmi les inconvénients de FTTH on cite [31]:**

- Le déploiement du FTTH est extrêmement onéreux et nécessite énormément de travaux de génie civil, surtout dans les zones rurales et à faible densité de population.
- Le déploiement du FTTH est lourd pour les opérateurs car il nécessite de nombreux investissements et d'accords et partenariats avec des communes, régions etc.
- La fibre optique est une matière fragile. Elle exige plus de protection autour du câble dans l'installation par rapport au cuivre.

II.20. Conclusion

Dans cette partie on a vu les différents réseaux optiques, premièrement on a cité les différents types d'un réseau d'accès optiques, ainsi que les différentes topologies utilisées lors du déploiement de FTTH (fibre to the home) .

A travers la qualité de service, on a pu définir et voir tout ce qui concerne les attentes des usagers du réseau .Nous avons mis en évidence pour la QoS, et leurs paramètres , ainsi on a pu présenter et décrire les performances de réseau FTTH.

Dans le chapitre suivant nous allons voir spécifiquement le réseau FTTH en détail et la simulation de ce réseau avec le logiciel OPTISYSTEM .

Chapitre III

Simulation et discussion des résultats

III.1. Introduction

Après l'étude théorique résumée dans les deux chapitres précédents, nous entamons dans ce chapitre la simulation de réseau FTTH (GPON) en TDMA par fibre optique multimode puis fibre optique monomode afin d'évaluer ses performances.

Pour la simulation des systèmes de télécommunication par fibres optiques, plusieurs logiciels se présentent, L'OptiSystem est l'un d'entre eux. C'est un logiciel le plus adapté pour la simulation des réseaux FTTH, ce qui nous a ramené à le choisir.

III.2. Présentation du logiciel optisystem

Le logiciel OptiSystem développé par une société canadienne Optiwave ; Optical Communication System Design Software , il permet aux ingénieurs et aux chercheurs 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 réaliste des systèmes de communications par fibre optiques [23].

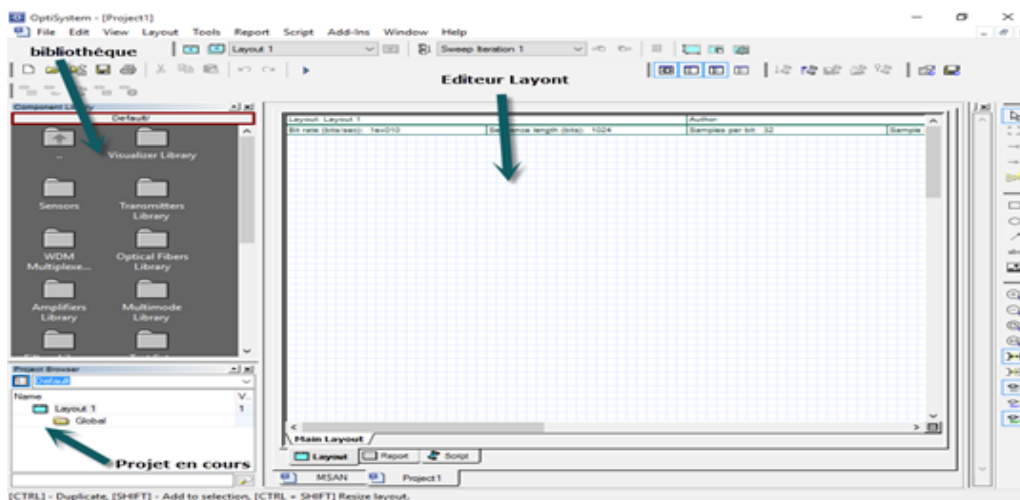


Fig III.1 : Les fenêtres de l'OptiSystem

III.3. Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont [26] :

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 mesurées à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.

Les outils de visualisation avancée produit 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.

III.4. Applications du logiciel OptiSystem

Parmi les diverses applications d'OptiSystem nous allons citer les plus utilisées [32] :

- 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).
- L'espace libre pour les systèmes optique (OSA).
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

III.5. Avantages du logiciel OptiSystem

Les avantages du logiciel OptiSystem sont [33] :

- Obtenir un aperçu de performances du système de fibre optique.
 - Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
- Présentation virtuelle des options de conceptions.

La démarche à suivre pour simuler un système optique se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma boc.
- Analyser le schéma.

III.6. Modes de simulation

Le logiciel Optisystem offre trois différents modes de simulation [30] :

- Le mode normal: où il suffit d'entrer la valeur du paramètre désiré.
- Le mode de balayage (Sweep): Où la valeur du paramètre varie suivant une courbe donnée .

- Le mode scripte: où le paramètre est évalué comme une expression arithmétique.

III.7. Interface du logiciel OptiSystem

Démarrer OptiSystem Pour lancer OptiSystem, nous devons effectuer l'action suivante : Dans le menu Démarrer , sélectionnez **Programs > Optiwave Software > OptiSystem 7 > OptiSystem** se charge et l'interface utilisateur graphique et une fenêtre principale répartit en plusieurs parties apparaît (voir figure III.2) .

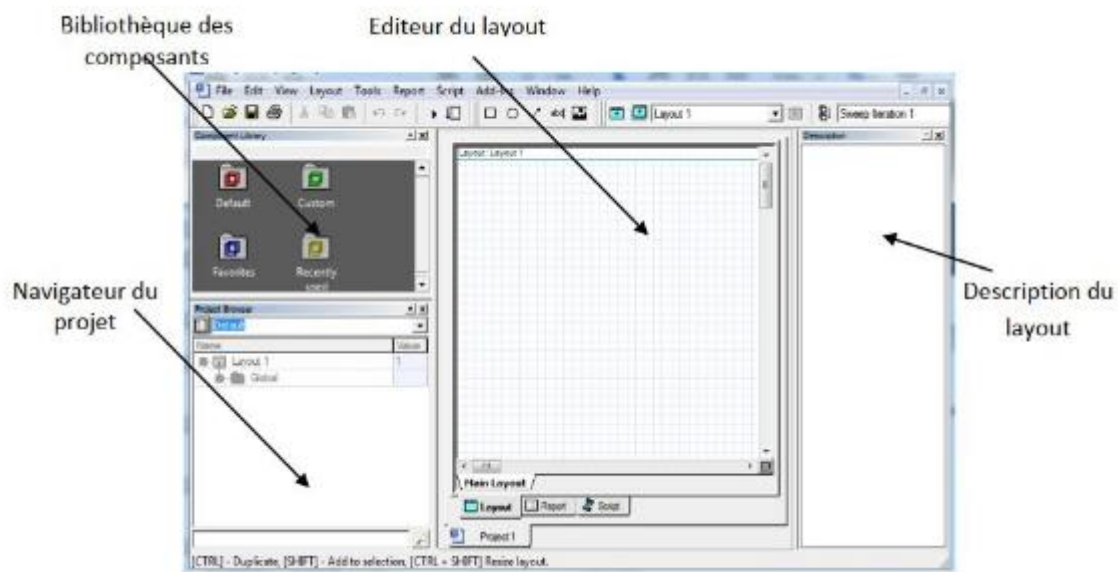


Fig III.2: Interface graphique du logiciel OptiSystem

III.7.1. Principales parties de l'interface graphique

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

. **Bibliothèque des Composants:** La bibliothèque des Composants nous donne accès aux différents composants afin de concevoir et créer le système désiré, elle est apparait comme le montre la figure III.3.

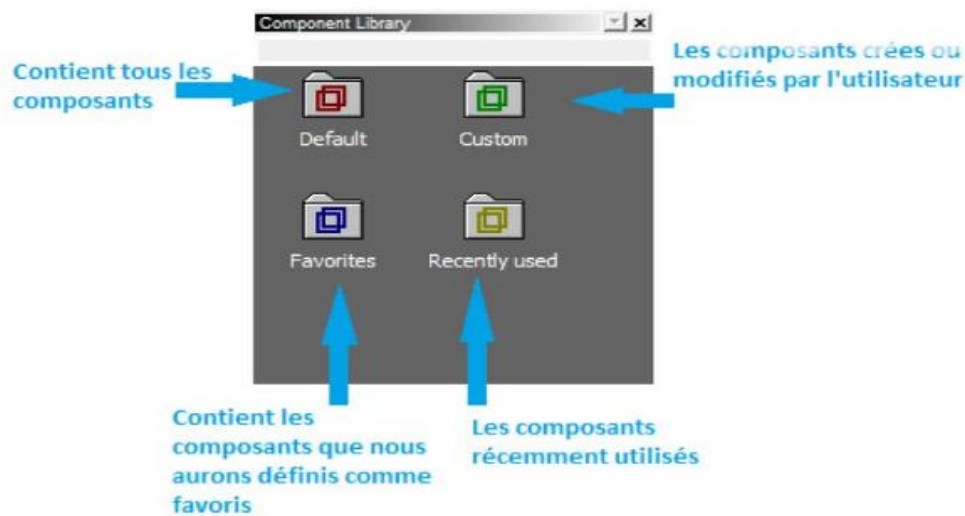


Fig III.3: Bibliothèque des Composants

Lors de la conception, il suffit de glisser le composant de la bibliothèque vers la mise en page. L'OptiSystem permet aussi le paramétrage pour chaque composant définie dans la mise en page. En effet, un double-clic sur le composant, permet l'affichage de ses paramètres comme le montre la Figure III.4.

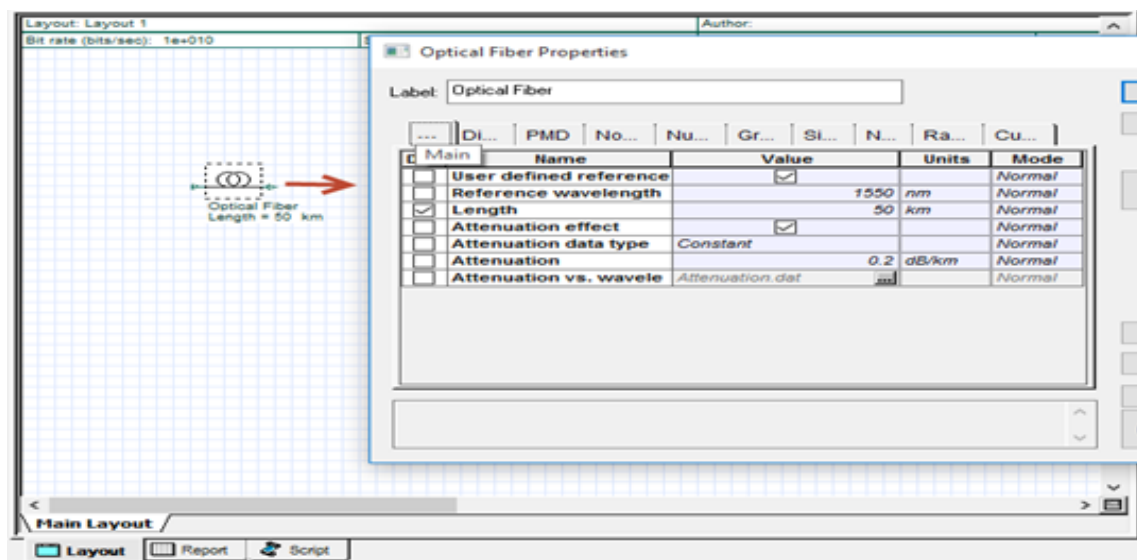


Fig III.4 :Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée

III.8. Critères et méthodes d'évaluation de la qualité de transmission

Pour évaluer la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal sont le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q [34].

III.8.1. Taux d'erreurs binaires

Les données sont transmises sous forme numérique, c'est-à-dire suivant une séquence de données binaires. L'évaluation de la qualité d'une transmission numérique binaire exige la comparaison de la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus grâce au calcul du nombre de bits erronés c'est-à-dire le nombre de « 0 » détectés pour un symbole « 1 » émis ou vice versa.

On définit alors le taux d'erreur binaire TEB ou Bit-Error Rate BER en anglais par le nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis

$$BER = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \dots \dots \dots \text{III.1}$$

Un système est généralement considéré de bonne qualité en télécom optique si son taux d'erreur binaire BER est inférieur à 10^{-9} ou à 10^{-12} suivant les systèmes [33].

III.8.2. Le facteur de qualité

Le facteur de qualité (Q), est un paramètre permettant de quantifier et d'évaluer le signal sans avoir à compter directement les erreurs donnée par [34] :

$$Q = \frac{l_1 - l_2}{\delta_1 - \delta_2} \dots \dots \dots \text{III.2}$$

Où I_1 et I_0 sont respectivement les valeurs moyennes des photo-courants du symbole 1 et 0. δ_0 et δ_1 sont respectivement les racines carrées des variances des densités de probabilité des symboles 1 et 0. La mesure expérimentale du facteur Q d'un signal est difficile car on ne peut pas mesurer I_1 , I_0 , δ_0 et δ_1 directement. Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser la relation du taux d'erreur binaire TEB en fonction du facteur de qualité Q à condition que la distribution de puissance des symboles soit Gaussienne:

$$TEB(BER) = \frac{1}{2} [\text{erf}(\frac{Q}{\sqrt{2}})] \dots \dots \dots \text{III.3}$$

Avec **erf** est la fonction d'erreur complémentaire [3].

III.8.3. Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil est la façon « visuelle » de juger la qualité d'un signal. Il est formé par la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. Plus le signal est de bonne qualité, plus le diagramme de l'œil est ouvert, plus le facteur de qualité est fort et ainsi plus la détection du signal sans erreur est facile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé [53]. (voir figure III.5) .

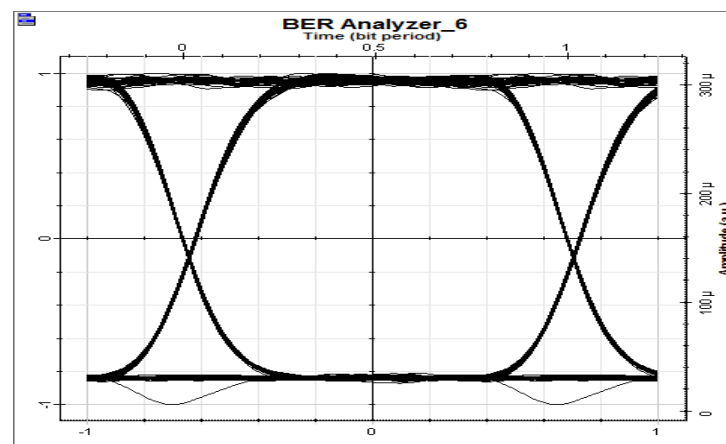


Fig III.5 : Le diagramme de l'œil

Ce diagramme est caractérisé par [35]:

- L'élargissement temporel des impulsions du signal dû à la dispersion chromatique causé par les interférences entre les symboles,
- Gigue temporelle provoqué par la dispersion et couplage entre les impulsions et le bruit d'émission amplifiée,
- Dans la liaison, le bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission amplifiée sur signal tout au long de son parcours.

III.9. Réseau optique passif à multiplexage par répartition dans le temps (FTTH- GPON en TDMA)

Dans le système FTTH-GPON utilisant le multiplexage par répartition dans le temps (TDMA), la capacité totale du canal est divisée en intervalles de temps. Donc, Chaque utilisateur utilise un emplacement intervalle de temps (Time Slot) pour transmettre leurs données [35].

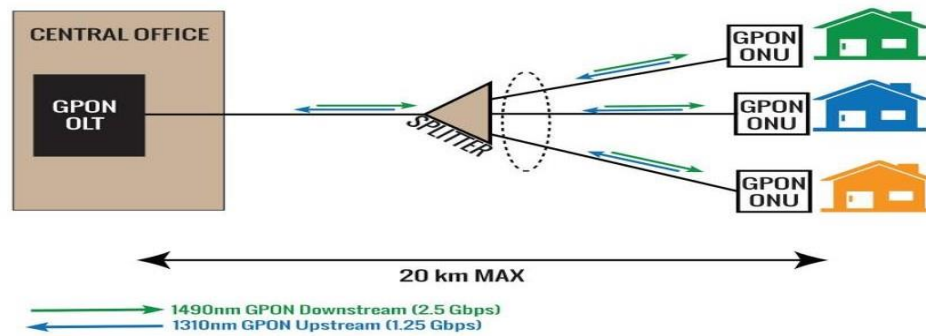


Fig III.6 : FTTH-GPON en TDMA[27].

Structure de réseau optique passive FTTH-GPON en TDMA « point à multipoints » est basé sur un séparateur (Splitter) optique qui répartit uniformément la puissance lumineuse. La principale fonction du séparateur optique est de fournir le chemin transmis du support optique à la terminaison OLT en bout d'utilisateur ONT. Donc, Splitter joue un rôle essentiel pour installer du réseau FTTH-GPON utilise la technique TDMA.

III.9.1. Accès multiples par répartition de Temps (TDMA)

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 [25].

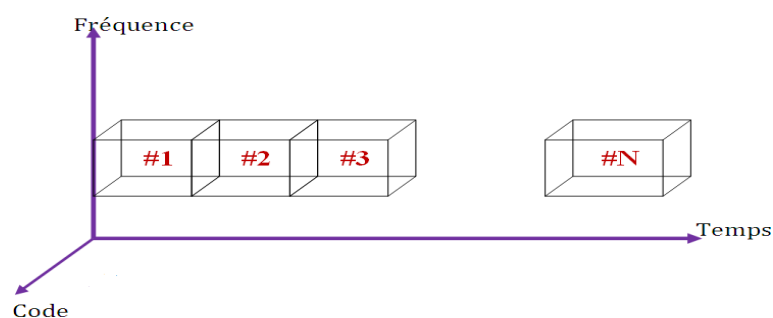


Fig III.7 : Schéma de principe de la technique d'Accès Multiple par Répartition de Temps (TDMA).

III.9.2. Sécurité dans GPON

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 reprogrammersa propre ONU et capturer toutes les données en aval appartenant à toutes les ONU connectées à cette OLT [27].

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 [25].

III.9.3. Protection dans GPON

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 [32].

III.10. Conception d'une liaison optique

Un système de communication optique est constitué d'un :

- émetteur
- canal de communication
- récepteur

➤ *Le montage de chaine optique :*

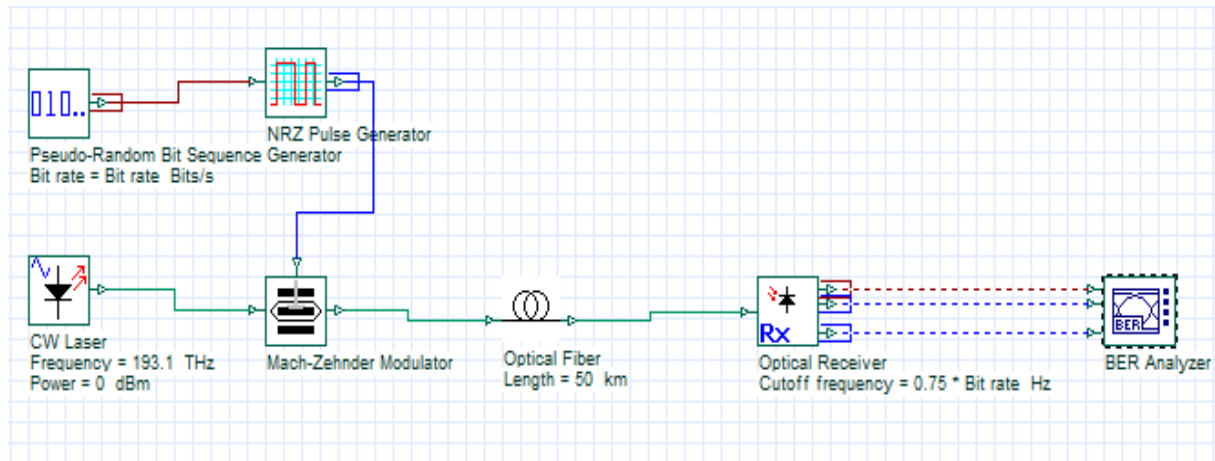


Fig III.8 : chaine optique

III.11. Implémentation de la simulation de système FTTH-GPON en TDMA

A partir du modèle défini dans la figure III.8, nous avons mis au point des simulations simples réalisant le démultiplexage TDMA dans le système FTTH-GPON. Ces simulations sont les phases qui nous permettent de contrôler les performances et la qualité service de tel système afin de partager les ressources (services) de fournisseur OLT entre clients ONT.

Les simulations se déroulent en trois phases :

- ✓ Etude des performances en fonction de la longueur de fibre optique (canal) ou la distance entre OLT et ONT.
- ✓ Etude des performances en fonction du débit de transmission de données entre OLT et ONT.
- ✓ Etude des performances en fonction du nombre des abonnés N dans le système FTTH-GPON.

III.11.1. La simulation de GPON

Le réseau FTTH (GPON) contient 3 éléments essentiels : l'OLT, les ONTs et les Splitters. On a simulé ce réseau avec deux fibres optiques multimode et monomode pour chaque liaison avec la longueur d'onde (1550nm) et un débit (1Gbps).

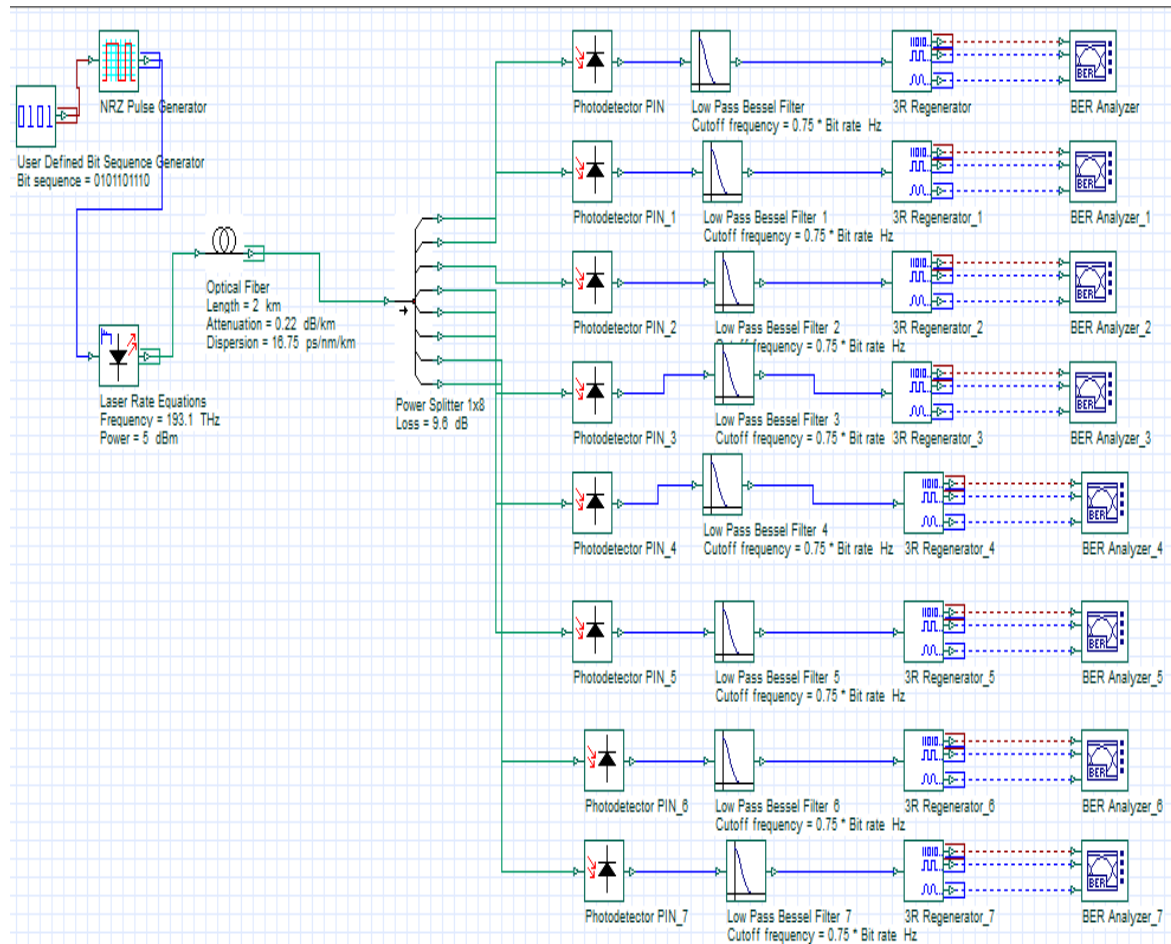
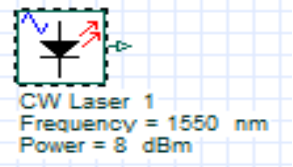
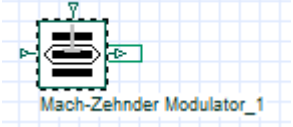
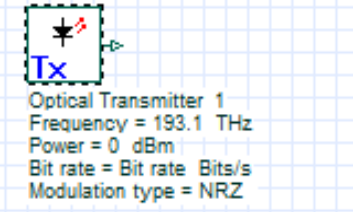


Fig III.9: Montage FTTH –G-pon en TDMA

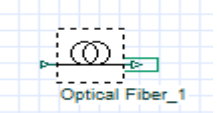
III.11.1.1. Les composants utilisés dans la simulation

1. Les composants d'émission

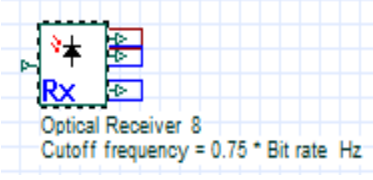
Elements	Symbol	Description
User Defined Bit Sequence Generator		C'est un générateur qui produit une suite de de séquences binaires de « 0 » et de « 1 »logiques
NRZ Pulse Generator		Un générateur NRZ le bit « 1 » est associé à une impulsion optique de durée égale au temps symbole (inverse du débit), le bit « 0 » correspond à l'absence

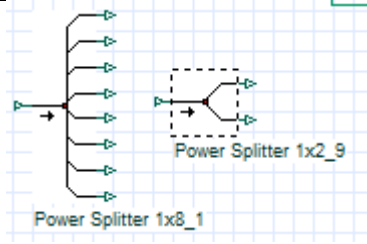
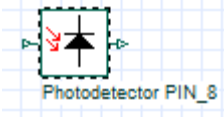
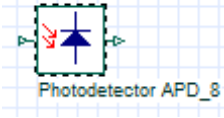
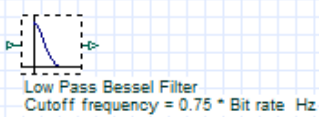
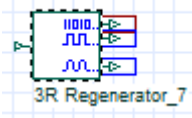
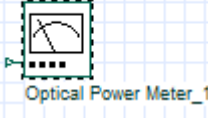
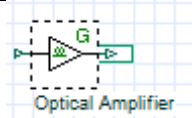
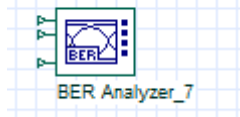
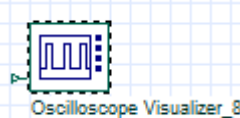
		du signal.
CW Laser	 CW Laser 1 Frequency = 1550 nm Power = 8 dBm	Génère un Signal optique d'onde continue.
MZM	 Mach-Zehnder Modulator_1	Un modulateur Mach-Zehnder est utilisé pour contrôler l'amplitude d'une onde optique.
Un transmetteur optique	 Optical Transmitter 1 Frequency = 193.1 THz Power = 0 dBm Bit rate = Bit rate Bits/s Modulation type = NRZ	est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER .

2. Canal de transmission :

Element	Symbol	Description
Optical Fiber	 Optical Fiber_1	C'est un moyen de transport de signal lumineux.

3. Les composants de réception :

Elements	Symbol	Description
Un récepteur optique	 Optical Receiver 8 Cutoff frequency = 0.75 * Bit rate Hz	Est composé d'un photodiode PIN , transformant le signal optique en électrique , qui permet d'adapter le seuil de décision en fonction des paquets de données reçues

Power Splittrter		Est un composant qui divise également la puissance du signal d'entrée entre ses sorties
Photodetector PIN		Son rôle est deconvertir le signal optique en un signal électrique
Photodetector APD		Son rôle est deconvertir le signal optique en un signal électrique multimode
Low Pass Bessel Filter		Il permet de minimiser la distorsion d'un signal complexe lors d'une opération de filtrage.
3R Regenerator		Affiche le signal optique modulé dans le domaine temporel
Optical power meter		Affiche la valeur de puissance d'émission et réception
Un amplificateur optique		qui amplifie le signal lumineux
BER Analyzer		Mesure les performances du système et affiche les deux valeurs de facteurs de qualité Q et BER et le diagramme de l'œil
Oscilloscope Visualizer		Affiche le signal électrique après le PIN dans le domaine temporel

III.11.2. La simulation FTTH-Gpon avec le fibre multimode et le fibre monomode

Dans le FTTH GPON en TDMA le signal optique se déplace à partir de l'émetteur OLT et traverse une fibre optique Multimode et monomode puis se divise par huit à la sortie de splitter(1 :8) .ceci ramène a une configuration ONT contenant 8 récepteurs ,dans la simulation on a considere 8 ONT(abonnés) .

1. Définition des paramètres

Afin de reproduire le plus fidèlement possible toutes les propriétés du réseau, la simulation devra nécessairement redéfinir certains paramètres du modèle.

Pour l'OLT nous imposerons les paramètres suivants :

- ✓ Débit de transmission: 1Gbps.
- ✓ Atténuation d'OLT : 0.1 dB
- ✓ Longueur d'onde : 1550 nm

Le canal de transmission sera modélisé avec les paramètres suivants :

- ✓ Atténuation de fibre : 0.2 dB/ km
- ✓ Atténuation de connecteur : 0.5 dB
- ✓ Atténuation de splitter : 9 Db

- Le montage de simulation de FTTH-Gpon avec fibre multimode :

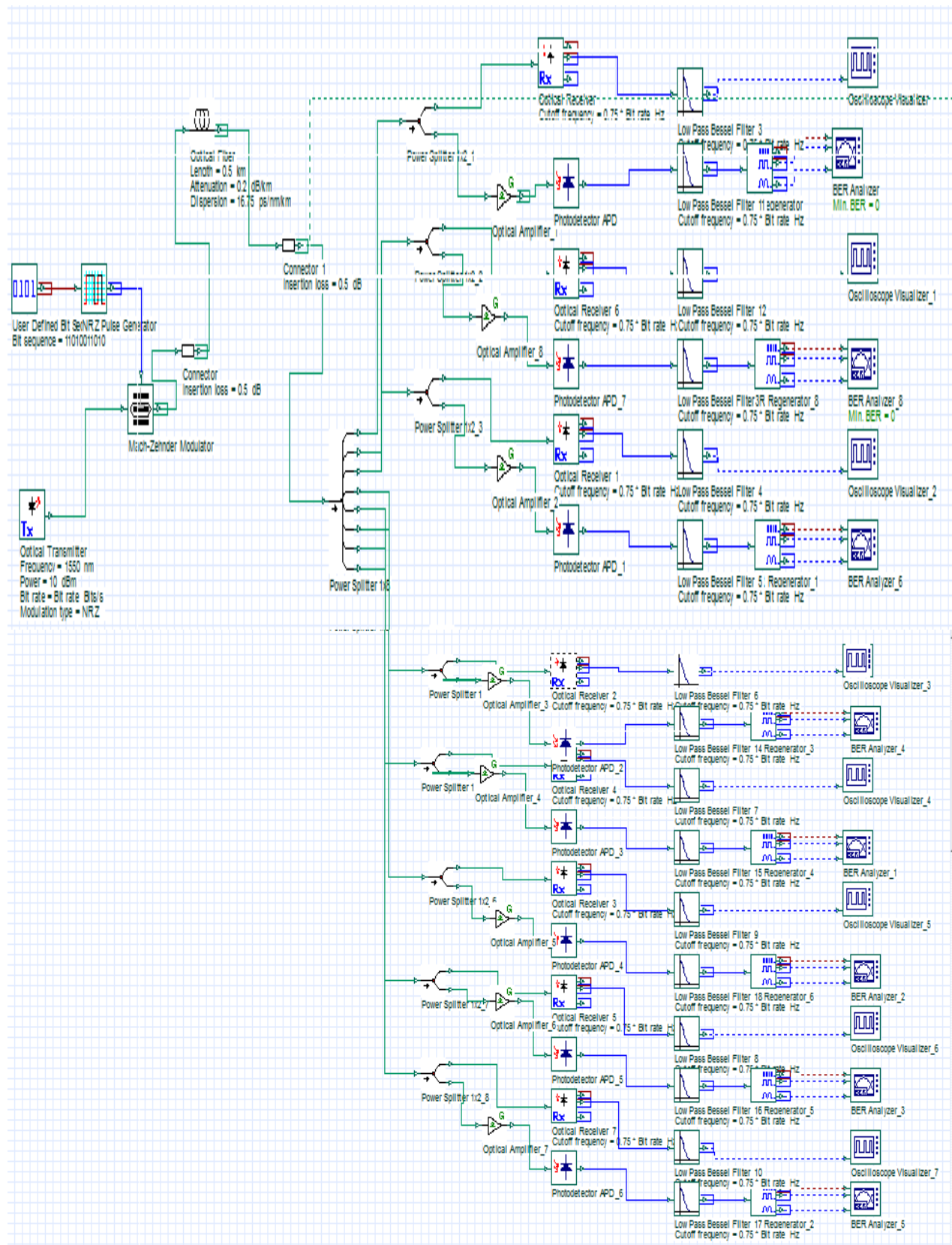
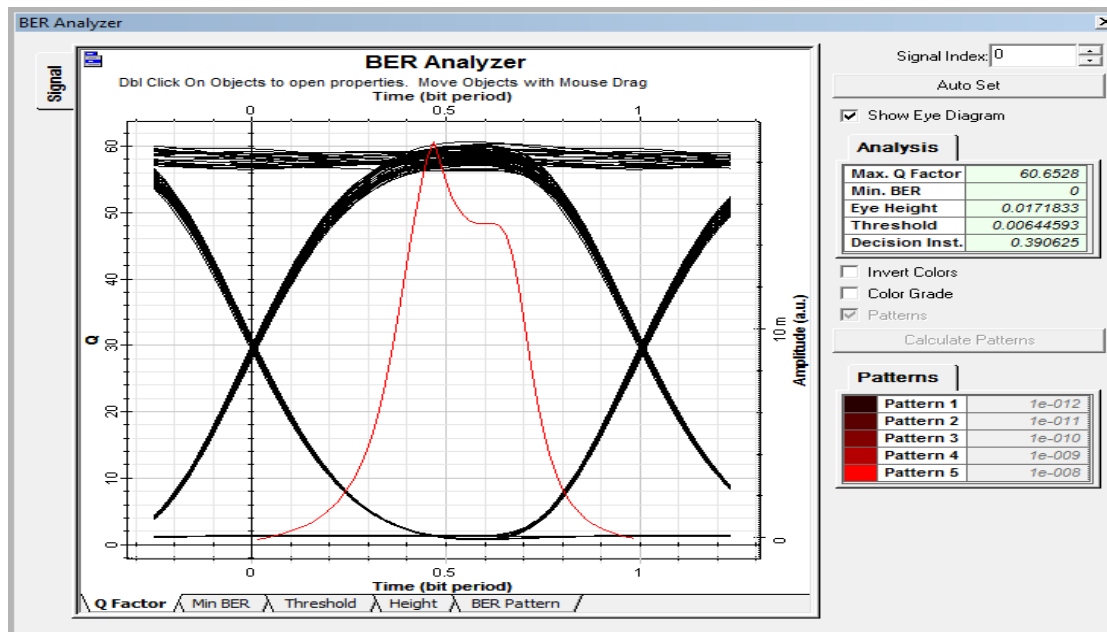
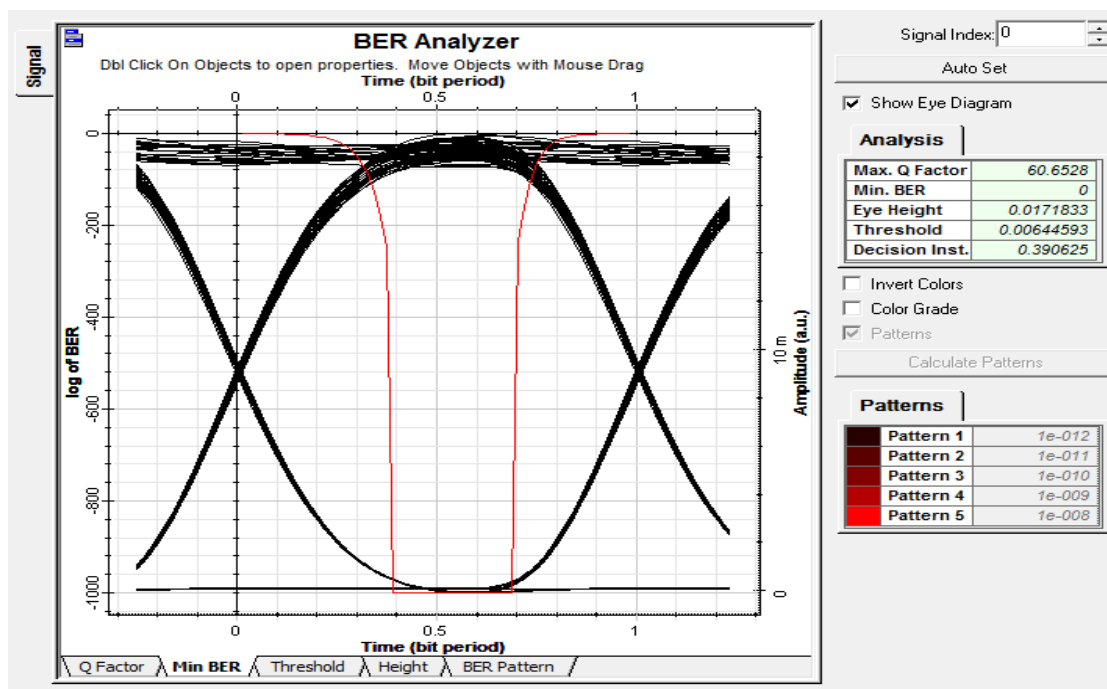


Fig III.10 : montage de FTTH-Gpon avec fibre multimode

Les résultats de simulation :



(a) Diagramme de l'oeil(facteur de Q)



(b) Diagramme de l'oeil(BER minimal)

Fig III.11:(a) et (b) Digramme de l'œil pour $D=1\text{Gbps}$ dans un système FFTH-GPON enTDMA avec fibre multimode

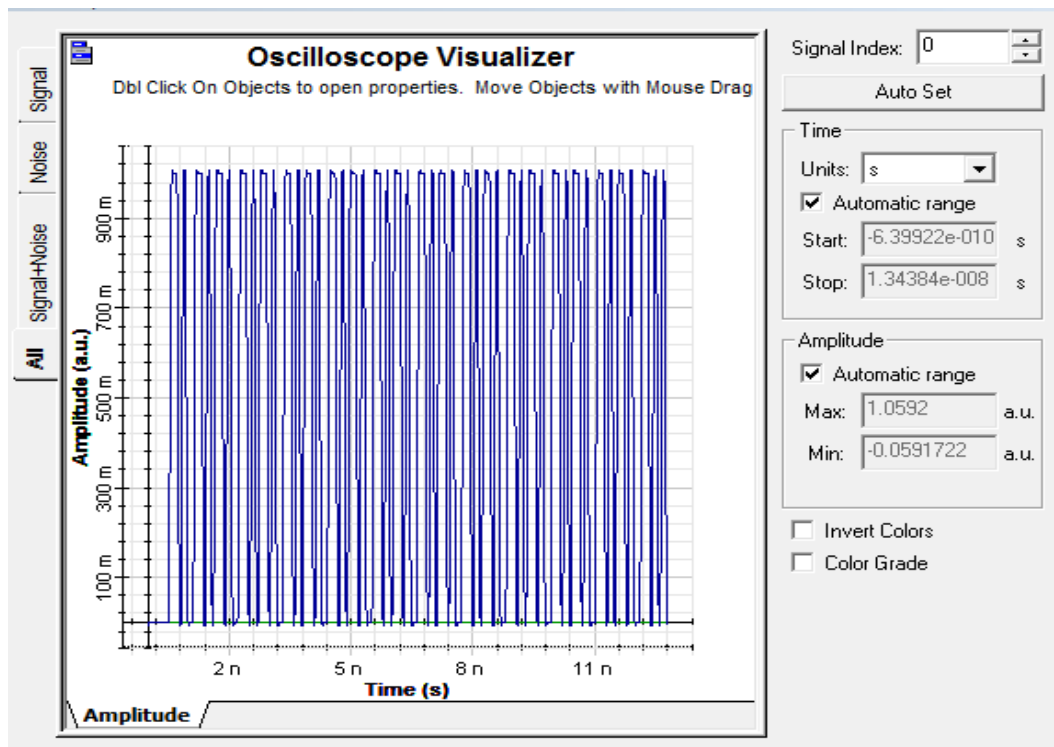


Fig III.12: signal oscilloscope dans un système FFTH-GPON en TDMA avec fibre multimode

Commentaire :

D'après la Figure nous concluons que :

- ✓ La valeur maximale obtenue de BER est de 0.984375 cette valeur est très inférieure à la valeur BER acceptable pour les applications de transmissions numériques qui est 10^9 .
- ✓ La valeur minimale obtenue de facteur de qualité Q est 60.4216 cette valeur est beaucoup plus grande que la valeur de Q acceptable pour ce type de transmissions qui est 6 .
- ✓ L'atténuation maximale obtenue est 20.65 dB cette atténuation est meilleure que celle des réseaux d'accès multiples classiques comme par exemple l'ADSL (25-30 dB) .
- ✓ Nous remarquons sur la figure que la valeur du bruit est presque nulle, nous concluons donc que le signal se propage très bien sur une distance de 0,5 km.

- Le montage de simulation de FTTH-Gpon avec fibre monomode :

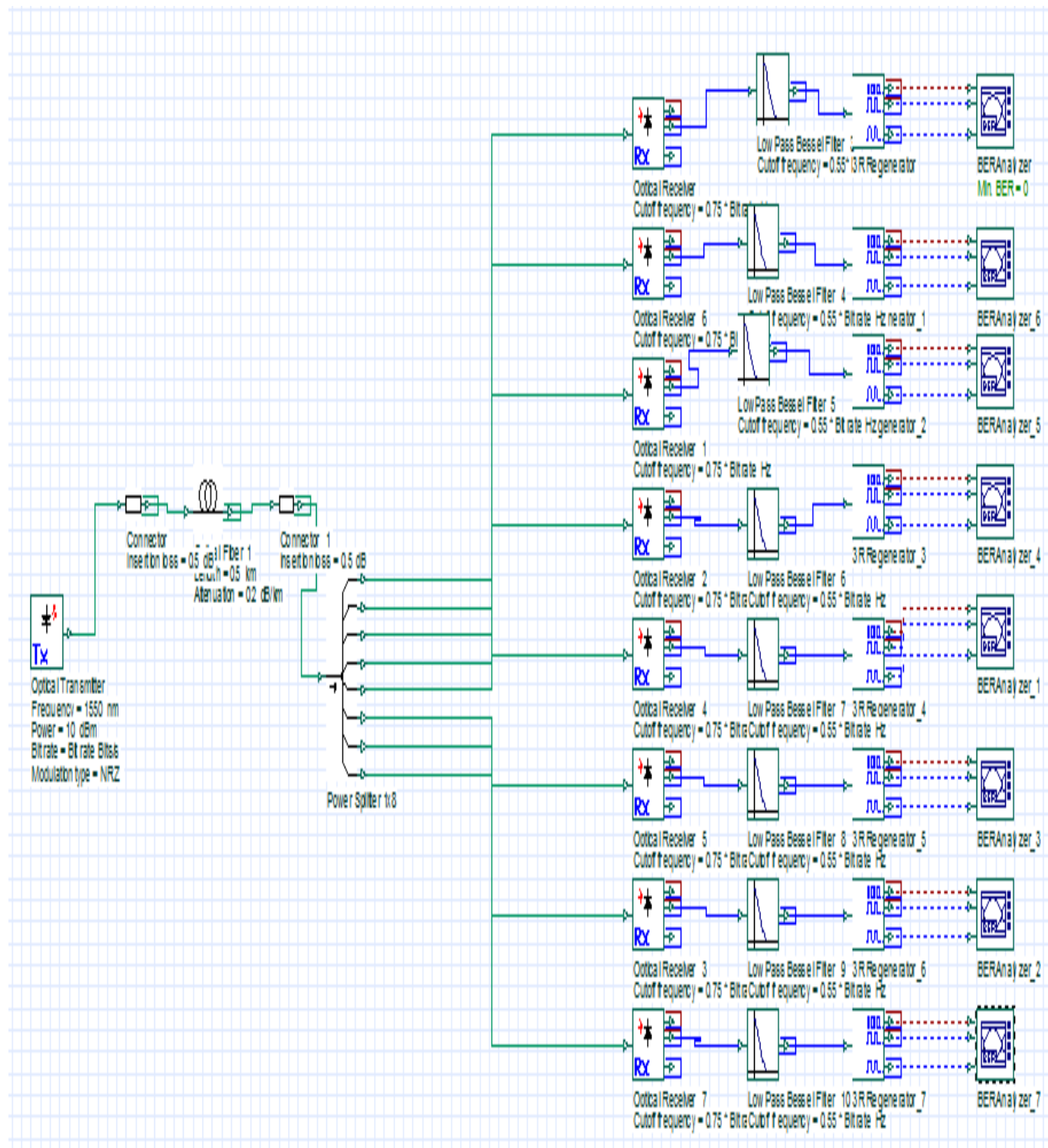
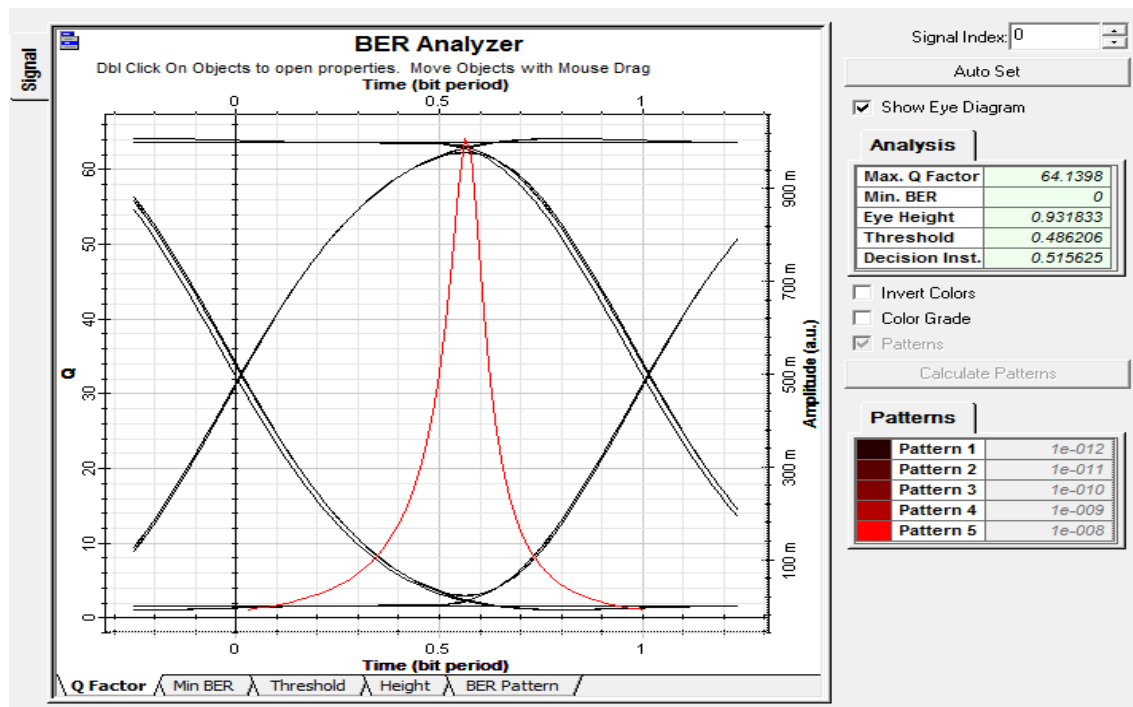
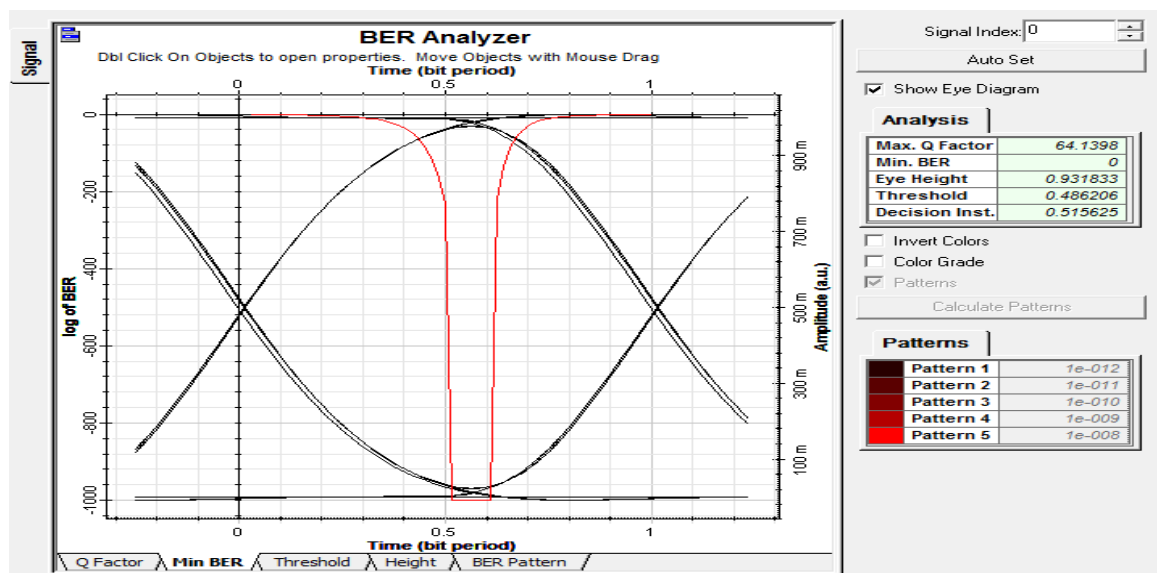


Fig III.13:Montage FTTH-Gpon avec fibre monomode

Les résultats de simulation :



(a) Diagramme de l'oeil(facteur de Q)



(b) Diagramme de l'oeil(BER minimal)

Fig III.14 : (a) et (b) Diagramme de l'œil pour $D=1$ Gbps dans un système FFTH-GPON en TDMA avec fibre monomode

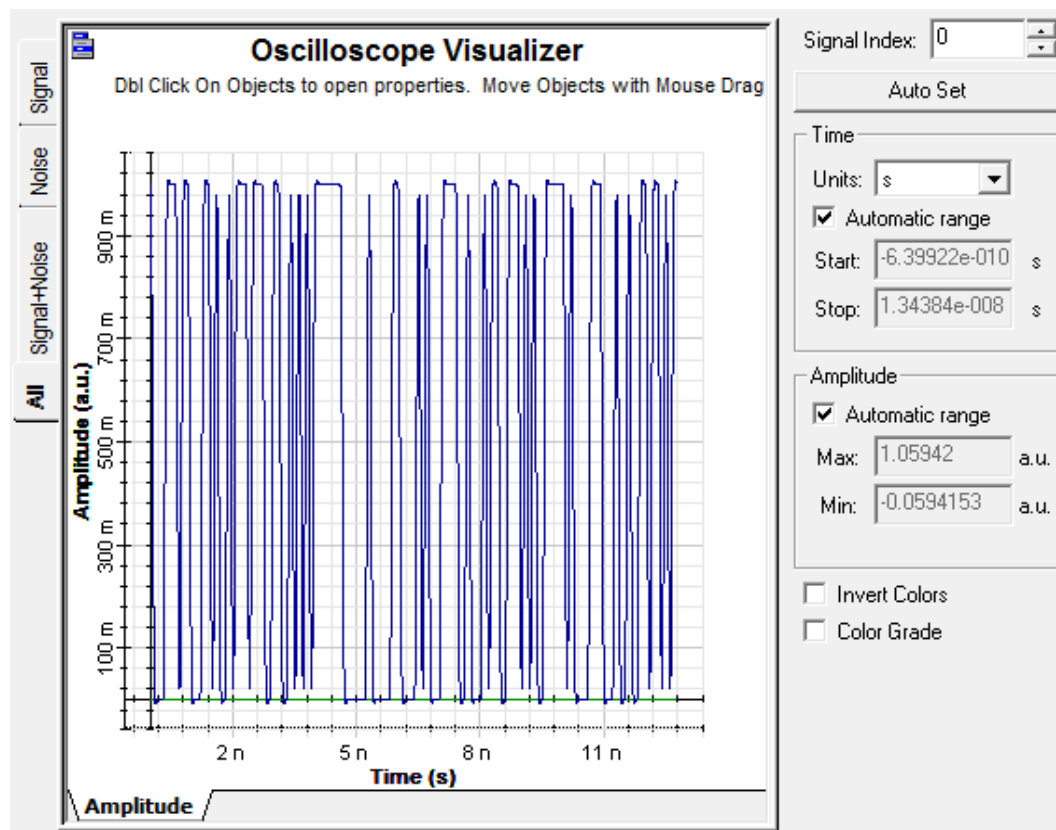


Fig III.15: signal oscilloscope dans un système FFTH-GPON en TDMA avec fibre monomode

Commentaire :

D'après la Figure nous concluons que :

- ✓ La valeur maximale obtenue de BER est de 1 cette valeur est très inférieure à la valeur BER acceptable pour les applications de transmissions numériques qui est 10^9 .
- ✓ La valeur minimale obtenue de facteur de qualité Q est 64.1398 cette valeur est beaucoup plus grande que la valeur de Q acceptable pour ce type de transmissions qui est 6 .
- ✓ L'atténuation maximale obtenue est 20.19dB cette atténuation est meilleure que celle des réseaux d'accès multiples classiques comme par exemple l'ADSL (25-30 dB) .
- ✓ Nous remarquons sur la figure que la valeur du bruit est presque nulle, nous concluons donc que le signal se propage très bien sur une distance de 0,5 km.

commantaire générale :

Les tableaux suivants montre le changement du facteur de qualité lorsqu'on fait varier les paramètres entre l'émetteur et le récepteur (l'atténuation , le débit ,la distance) :

Tableau (III.1) : effet de l'atténuation sur le facteur de qualité .

Attenuation(db/km)	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
Facteur Q multimode	60.4216	40.7175	38.0665	32.2165	29.448
Facteur Q monomode	64.0523	53.709	44.97182	33.4032	28.9479

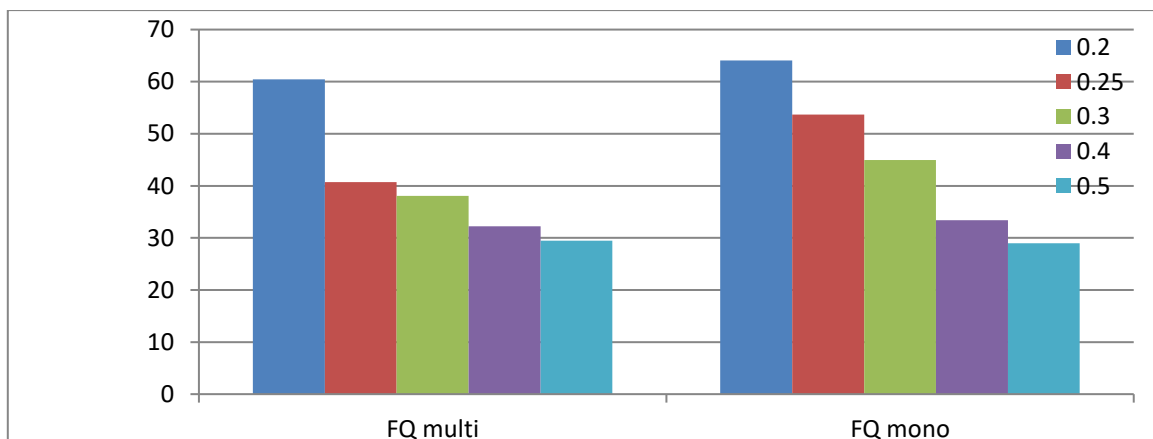


Fig .III.16 :Histogramme de effet de l'atténuation sur le facteur de qualité .

Tableau (III.2) : effet de la distance sur le facteur de qualité .

Distance(km)	0.5	1	3	5	10
Facteur Q multimode	60.4216	59.2552	57.1877	48.9158	36,0004

Facteur Q monomode	64.0523	61.9553	58.7213	53.709	38.5948
-------------------------------	---------	---------	---------	--------	---------

Tableau (III.3) : effet de le débit sur le facteur de qualité .

Débit(G/ps)	1	1.5	2	2.5	3
Facteur de Q multimode	60.4216	54. 5092	54.4501	47.8016	37.8137
Facteur de Q monomode	64.0523	54.8376	54.5954	53.9191	45.2514

A travers les figures III (11.12.13.14.15) et les tableaux III(1.2.3) on remarque que plus les paramètres(l'atténuation,la distance,le débit) Sont élevés plus la facteur de qualité diminuer ou bien l'inverse .

III.12. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à l'étude des performances du système de transmission FTTH GPON par simulation à l'aide du programme OPTISYSTEM. Dans un premier temps, nous avons réalisé le montage de FTTH-GPON au travers d'une fibre optique multimode, puis au tr avers d'une fibre optique monomode et nous avons mesuré les performances de chaque montage au travers des valeurs de facteur de qualité et le BER. avec respect des valeurs utilisées dans les communications optiques, telles que la longueur d'onde, la distance, etc..

En fin de compte, nous concluons que des paramètres tels que l'atténuation , la distance le débit sont ceux qui déterminent qui est le meilleur performance et efficacité de transmission par le choix de fibre .

Conclusion Générale

Conclusion générale

Actuellement , la fibre optique représente la connexion internet la plus rapide et la plus performante . Elle dépasse largement les débits proposés par les technologies ADSL et VDSL la principale technologie apportées par la fibre optique est (la fibre FTTH) parce qu'elle est la solution la plus fiable pour la transmission des données à très haut débit .

Dans ce mémoire nous nous sommes concentrés sur l'amélioration des performances de FTTH-GPON en TDMA par la fibre optique multimode et fibre optique monomode .

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de la fibre optique, de ses types, tels que monomode et multi mode, de son fonctionnement et de ses dernières technologies, telles que FTTH , FTTB ,FTTC....etc .

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé d'FTTH et de sa architecture, en particulier GPON, et de ses applications les plus importantes.

Dans le dernier chapitre, nous nous sommes familiarisés avec le programme OptiSystem pour les applications Fibre Optique et ses fonctionnalités, et nous avons fait un montage FTTH-GPON en TDMA à travers Fibre Optique multimode et fibre optique monomode, puis nous avons produit les paramètres les plus importants qui affectent les performances de FTTH comme la distance et l'atténuation et le débit.....etc.

à la fin de cette partie, l'objectif de ces études consiste à proposer et donner des solutions qui peuvent être aidé la fibre optique peut s'avérer plus utile que le sans-fil, les appareils électroniques étant de plus en plus sophistiquée et Il est probable que l'avenir de la fibre optique survivra même à la prochaine génération d'appareils et aux exigences industrielles.

selon certaines études de marché, le taux de croissance annuel du marché de la fibre optique pourrait atteindre 8,5% d'ici 2025, ce qui signifie que de plus en plus d'industries se tourneront vers les solutions introduites par cette technologie.

l'idée perspective d'avenir pour le développement de cette mémoire c'est :

une peu ajouter des techniques intelligent pour améliorer le performance des paramètres de chaine de transmission .

Référence bibliographique

Référence

- [1] : <https://blog.ariase.com/box/faq/diff%C3%A9rences-fibre-optique-ads>
- [2] : **G. BARUE** , « Télécommunications et Infrastructure : Liaisons Hertzienne-Spatiales Optique».
- [3] : **S. UNGAR** : « Fibres optiques, Théorie et applications » : Dunod: Paris, 1989.
- [4] : **SAIDI Riadh** Mémoire de Master, Thème « Etude d'une Structure de Liaison Fibre Optique :caractéristique de la propagation et bilan énergétique », Université de Biskra , année 2009.
- [5] : White Paper Mars 2010 « Réseaux Optique Classification des fibres optiques suivant l'ISO »
- [6] :**DJAAFARI Abdellah** ; « Etude de la propagation des super-impulsions dans les fibres optiques non linéaires et de la dispersion» ; 2011/2012 ; faculté des science département de physique ; Magister en physique théorique ;Université de Tlemcen.
- [7] : **H.ITGARETS, N.REZKELLAH**, « Optimisation des Paramètres d'une Liaison à Fibre Optique » Mémoire de Master, Université A.MIRA , Bejaïa, 2015.
- [8] : J.M.MUR, '' Les fibres optiques Notions Fondamentales (câbles, connectique, composants, protocoles, réseaux...)'' , Edition : ENI, 2012, France.
- [9] : **GUERCH Azeddine Yahia Et ZIANE Aissa**. Déploiement D'un Réseau FTTX. Memoire De Master Université Ziane Achour De Djelfa.2019.
- [10] : www.worl-telecommunication.blogspot.com; www.reseau-telecom10.over-blog.com
- [11] : <https://www.viavisolutions.com/fr-fr/reseau-optique-passif-pon>
- [12] : **Pierre LECOY** « Communications sur fibres optiques » 4e édition année 2015
- [13] : **D. REVUZ, E. DURIS**, Transmission sur Fibre Optique, consulté le : 20 MARS 2022.URL : <http://igm.univ->
- [14] : **BELHADI Mohammed Benabdellah, BOUCHENAK Talet Abdelhak**, Theme « «Techniques instrumentales dédiées aux communications optiques » Mémoire de Master université de Tlemcen, année 2019.

- [15] : **M.TAHI , S.CHADOULI**, « Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg A Fibre : Compensation De La Dispersion Chromatique Dans Une Ligne De Transmission Optique », Mémoire de Master, Université de Blida 1 Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales IAES, 2019.
- [16] : Câble Organizer France, consulté le : 29 MARS 2022.URL:
<http://cableorganizer.fr/learning-center/categ-articles/1-fibre-optique.html>
- [17] : MINOU prof, Apprendre et comprendre, 12 juin 2016, consulté le : 02 AVERIL 2022
 URL : <https://emrecmic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-des-fibres-optiques/>
- [18] : **W. BIANC, L.LABONTE**, La fibre optique et le guidage de la lumière, consulté le : 14 AVERIL 2022.URL:
<http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Telecom/index.html>
- [19] : Fibre Optique, consulté le : 19 AVERIL 2022.URL:
https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique
- [20] : <http://www.fibreoptique.org/>
- [21] : www.lafibrelyonnaise.fr
- [22] : **Melle BILLAMI Hanane et Melle BENDAHMANE Raouida** Mémoire thème « Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s » année 2013 université de Tlemcen.
- [23] : **HAMCHAOUI Massinissa et AMARA Serina**. "Etude d'un système FTTH(Fiber To The Home)". Master's thesis, Université de A.MIRA Bejaia 2019.
- [24] : **Tel. LOUAZANI et MEDDANE**. "Etude Des Reseaux D'accès Optique Exploitant Le Multiplexage En Longueurs D'onde". Master's thesis, Université de ABOU-BEKR BELKAID-Tlemcen, 2017.
- [25] : **MAATALLA Meriem et OUZANI Siham**. "Étude et simulation d'un réseau de transmission à très haut débit FTTH.", Institut National des Télécommunications, des Technologies de l'Information et de la Communication Abdelhafid BOUSSOU, Juin 2019.

[26] : **Laurent GUILLO , Naveena GENAY & Philippe CHANCLOU**, Recherche & Développement, RESA/ANA ,Septembre 2009, FTTx et systèmes GPON.

[27] : **Denis PAPIN**,« Fibre Optique Solution De Câblage Opérateur & Inter-Bâtiment », ACTN, Paris.

[28] : **BOUZIDI Kheireddine, NEGADI Abdelhakim, NEGADI Oussama**,

«Fibre Optique», Technicien Supérieur En Télécommunication, Institut National Spécialisé de la formation professionnelle Mansourah –Tlemcen, 2017.

[29] : Cours Solutions sur mesure pour tous les réseaux FTTx. Muriel Mansier . FTTH Forum 2015 .

[30] :**J-A.BALLA MEKONGO**, « Conception et Réalisation d'une Plate-Forme de Dimensionnement du Réseau FTTH de Matrix Telecoms.A », Université de MarouaEcole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, République du Cameroun, 2018.

[31] : Guide To Fiber Optiques & Premises Carling, consulté le : 21 MAI 2022.URL : <https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTH-PON.html>

[32] : **Jean Louis VERNEUIL**. Simulation De Systèmes De Télécommunications Par Fibre Optique A 40 Gbit/S. Université De Limoges 2003.

[33] : **J.CORREALE**. Analyser Les Signaux Numériques Rapides Avec Le Diagramme De L'œil

[34] : **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 Universite De Sidi Bel-Abbes.2015.

[35] : **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