



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GE/2018

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Electronique

Spécialité : Système des Télécommunications

Thème

Etude pratique d'installation et mesure de qualité de service (QoS) d'un réseau fibre jusqu'à l'abonné (FTTH) : Application sur terrain à la résidence « La Perle de la Méditerranée » sis Kharouba

Présenté par : HIBA Abderrahmane
MATALLAH Amine
ADOUL Mohammed Amin

Soutenu le 28/06/2018 devant le jury composé de :

Présidente : Mme. BECHIRI Fatiha
Examineur : Mr. MERAH Mostefa
Examineur : Mr. SOLTANE BENALLOU Abdelkader
Encadreur : Mr. BOUKORTT Abdelkader
Co-encadreur: Mr. ABED Mansour

Année Universitaire : 2017/2018

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.

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention consciente d'un grand nombre de personnes.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : Boukortt Abdel Kader Et notre Co-encadreur Mr : ABBE Mansour, pour leur patience, leur précieuses conseils qui ont constitué un rapport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à haute personnalité.

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 travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

Ma chère mère, pour son affectation, sa patience, et ses prières ;

A ma très chère famille ;

A mon binôme que j'ai passé avec lui des inoubliables moments ;

A toutes les personnes chères à mon cœur, pour leur aide, leur temps, leur encouragement, leur assistance et soutien ;

A la promotion Master Systèmes de Télécommunications 2017-2018 ;

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

A DJOUR Mohammed Amin

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

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

A mes frères et ma sœur.

Aux chers amis qui m'intéressent et tous mes amis.

A toute ma famille de près ou de loin.

A la promotion Master Systèmes des Télécommunications 2017-2018

A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Hiba abderrahmane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

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

A mes frères et ma sœur.

Aux chers amis qui m'intéressent et tous mes amis.

A toute ma famille de près ou de loin.

A la promotion Master Systèmes des Télécommunications 2017-2018

A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

MATALLAH Amin

Liste des symboles

I_1	l'angle d'incidence.
I_2	l'angle de réfraction.
N_1	indices de réfraction.
N_2	indices de réfraction.
Q	Le facteur de qualité.
I_1 ET I_2	les tensions moyennes.
α_1 ET α_2	variances des probabilités.

Liste des abréviations

3D	Trois Dimensions.
3G	Troisième Générations.
4G	Quatrième Générations.
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (en français ligne d'abonné numérique à débit asymétrique).
AON	Active Optical Network.
APON	Asynchronous Transfer Mode over PON.
ATB	Appareil de ligne optique terminale.
ATM	Asynchronous Transfer Mode.
BER	Bit Error Rate.
BPON	Broadband Passive Optical Network..
CSMA	Carrier Sense Multiple Access (en français Écoute d'un Support à Accès Multiple).
CMP	Centre de Maintenance et Production
DEL	Diode électroluminescente.
DL	Diode laser.
DSCP	Differentiated services code point.

DSL	Digital Subscriber Line.
EPON	Ethernet Passive Optical Network .
FAT	Fiber Access Terminal.
FDT	Fiber Distribution Terminal.
FO	Fibre Optique.
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).
Gbps	GigaBit Par Seconde.
GFP	Generic Framing Protocol.
GPON	Gigabit Passive Optical Network.
HD	High Definition.
HDSL	High-Bit-Rate Digital Subscriber Line.
Kbps	Kilobit par seconde.
LAN	Réseau Local internet (en anglais local area network).
LTE	Long Term Evolution.
Mbps	Mégabit par seconde.
NRO	Nœud de Raccordement Optique.
NT	Network Termination.
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.)
P2P	Point to Point.
PON	Passive Optical Network.
QoS	Quality of Service(en français qualité de service).
RADSL	Rate-adaptive digital subscriber line).
RN	La Route Nationale.
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service.
SDSL	Single Pair Digital Subscriber Line.
STB	Step-to-box .
TB	Téra Bit.

TEB	Taux d'Erreur Binaire.
TDM	Time-division multiplexing (en français multiplexage temporel).
UHD	Ultra-high-definition.
UMTS	L'Universal Mobile Télécommunications System.
VDSL	Very-high-bit-rate digital subscriber line (en français Raccordement numérique à très haut débit).
VoD	Video on Demand (en français Vidéo à la demande).
VLAN	Virtual Local Area Network
IP TV	Internet Protocol Television (en français télévision sur IP).
VoIP	Voice over Internet Protocol (en français La voix sur IP).
WAN	Wide area network (en français réseau étendu).
WDM	Wavelength-division multiplexing (en français multiplexage en longueur d'onde).
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Liste des Figures

Chapitre I

Figure 1.1	La Fibre optique	4
Figure 1.2	Structure de la fibre optique	6
Figure 1.3	Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux	7
Figure 1.4	Fibre multimode a gradient d'indice	8
Figure 1.5	Fibre multimode à saut d'indice	8
Figure 1.6	Fibre optique monomode	9
Figure 1.7	Différentes structures de fibre optique.	9
Figure 1.8	Synoptique de la modulation directe.	11
Figure 1.9	Synoptique de la modulation externe.	11
Figure 1.10	La soudeuse.	12
Figure 1.11	Clivage des deux fibres avant de les placer sur le support.	12
Figure 1.12	Mise en contact des deux fibres.	13
Figure 1.13	La fusion réalisée avec l'aide d'un arc électrique	13
Figure 1.14	Épissure mécanique	13
Figure 1.15	Connecteur optique.	14
Figure 1.16	Connecteurs ST.	14
Figure 1.17	Connecteurs FC.	14
Figure 1.18	Connecteurs SC.	15
Figure 1.19	Connecteur VF-45	15
Figure 1.20	Connecteur MTRJ.	15
Figure 1.21	Interférence inter-symbole..	17
Figure 1.22	Schéma explicatif de perte liée à la excentrement des fibres.	18
Figure 1.23	Schéma explicatif la perte liée à l'écartement des fibres.	19
Figure 1.24	Schéma explicatif la perte liée à l'écart angulaire des fibres.	19
Figure 1.25	Schéma explicatif la perte liée à la connectique.	19

Chapitre II

Figure 2.1	Architecture simple de réseau FTTC.	24
Figure 2.2	Architecture simple de réseau FTTB	25
Figure 2.3	Comparaison entre FTTH et autres technologies.	26
Figure 2.4	L'architecture P2P	27
Figure 2.5	L'architecture PON.	28
Figure 2.6	Multiplexage en longueur d'onde	30
Figure 2.7	Exemple d'OLT industriel.	32
Figure 2.8	Exemple de coupleurs industriels	33
Figure 2.9	Exemple d'ONT industriel.	33
Figure 2.10	Schéma global d'un réseau FTTH.	33
Figure 2.11	Résidence La Perle De La Méditerranée.	34

Chapitre III

Figure 3.1	Architecture de l'offre triple Play.	41
Figure 3.2	Schéma simplifié de la connexion internet sur l'GPON.	42
Figure 3.3	Schéma explicatif du système IPTV	43

Chapitre IV

Figure 4.1	Les fenêtres de l' OptiSystem	46
Figure 4.2	La bibliothèque de l'OptiSystem	46
Figure 4.3	Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée.	47
Figure 4.4	Les composantes d'un système de communication optique.	47
Figure 4.5	Diagramme de l'œil	48
Figure 4.6	Simulation de GPON (sens descendant).	50
Figure 4.7	Diagramme de l'œil de liaisons descendantes.	51
Figure 4.8	Simulation de GPON (sens montant).	52
Figure 4.9	Diagramme de l'œil de liaison montant.	53
Figure 4.10	Signalisation et sécurisation du chantier.	54
Figure 4.11	Tranchage.	55
Figure 4.12	La multitubulaire.	56
Figure 4.13	La pose de fourreaux en PEHD.	56
Figure 4.14	Pose de grillage avertisseur.	56
Figure 4.15	Remblaiement de la tranchée	57

Figure 4.16	Chambre A2.	57
Figure 4.17	Chambre A3.	57
Figure 4.18	Hand hole.	57
Figure 4.19	Pose de chambres préfabriquées.	58
Figure 4.20	Pose des câbles de F.O.	58
Figure 4.21	Structure du réseau FTTH.	59
Figure 4.22	MA5800-X7 installé avec une seule carte de service.	60
Figure 4.23	Modules redresseurs avec ces batteries.	62
Figure 4.24	L'ODF.	63
Figure 4.25	Connecteur SC/APC.	63
Figure 4.26	Câbles de 72FO.	64
Figure 4.27	L'FDT (Intérieur et extérieur).	65
Figure 4.28	Une carte de FDT.	66
Figure 4.29	Closure verticale.	66
Figure 4.30	Ouvrez la boîte et insérez les câbles.	67
Figure 4.31	Soudage à la fibre.	67
Figure 4.32	Enroulement les fibres optiques.	68
Figure 4.33	Fermez le closure.	68
Figure 4.34	Placer le closure dans la chambre A3.	68
Figure 4.35	Le tirage de câble.	69
Figure 4.36	Le FAT 24	70
Figure 4.37	Placer le FDT dans la place réservée.	71
Figure 4.38	L'ATB.	71
Figure 4.39	L'ONT connectée via le connecteur SC.	72
Figure 4.40	Splitter SPL2605.	72
Figure 4.41	Le code FOTAG.	73
Figure 4.42	Enlever la gaine autour de la fibre	73
Figure 4.43	Nettoyage de la fibre.	74
Figure 4.44	Clivage de la fibre.	74
Figure 4.45	Paramétrage de la soudeuse.	75
Figure 4.46	Placement des fibres préparées dans la soudeuse.	75
Figure 4.47	Fusion des fibres.	76
Figure 4.48	Placement de la gaine sur les fibres soudées.	76
Figure 4.49	Teste de l'atténuation dans l'équipement.	78
Figure 4.50	Résultats de mesure par l'OTDR.	78

Figure 4.51	Montage pour mesurer les pertes de puissance avec un power-mètre.	89
Figure 4.52	Le logiciel TeraTerm.	80
Figure 4.53	Topologie logique de réseau.	81
Figure 4.54 :	Résultats de mesure des critères de QoS.	86

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau 1.1	Caractéristiques connecteurs ST	14
Tableau 1.2	Caractéristiques Connecteurs FC.	14
Tableau 1.3	Caractéristiques Connecteur VF-45.	15
Tableau 1.4	Caractéristiques Connecteur MT-RJ.	16
Tableau 1.5	Exemple d'un code non-préfix uniquement décodable.	23

Chapitre II

Tableau2.1	Evolution de la demande de débit	25
Tableau2.2	Caractéristiques type d'un OLT PON industriel.	32

Chapitre III

Tableau3.1	les exigences de quelques applications en termes de QoS	38
------------	---	----

Chapitre IV

Tableau 4.1	Résultats de simulation.	51
Tableau 4.2	Les caractéristiques de MA5800-X7	60
Tableau 4.3	Les caractéristiques de câbles.	64
Tableau 4.4	Les caractéristiques de FATs.	70
Tableau 4.5	Les caractéristiques de splitter.	72
Tableau 4.6	Les résultats de mesure de 16 FATs par le billet d'un power-mètre.	79
Tableau 4.7	Comparaison entre les critères de QoS de l'ADSL, le 3G, le 4G et le FTTH.	85
Tableau 4.8	Délai et gigue recommandés par l'ITU-T	85

Sommaire

Liste des symboles	i
liste des abréviations	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	viii
Introduction générale	1
<u>Chapitre I: Généralités sur les transmissions à fibres optiques</u>	
I.1 Introduction	4
I.1.1 Présentation	4
I.1.2 Historique	4
I.1.3 Domaine de l'utilisation de la fibre optique	2
I.1.3.1 Dans les systèmes de télécommunications	5
I.1.3.2 Dans le domaine militaire	5
I.1.3.3 Applications diverses	5
I.2 Description des systèmes de communications à base des F.O	6
I.2.1 Principes de fonctionnement	6
I.2.2 Différents types de la fibre optique	7
I.2.2.1 Fibre multimode	8
I.2.2.2 Fibre monomode	9
I.2.3 Structure des câbles de la fibre optique	9
I.2.4 Interfaces d'une liaison par F.O	10
I.2.4.1 Interface optique d'émission	10
I.2.4.2 Interface optique de réception	11
I.2.5 Raccordement des fibres optiques	12
I.2.5.1 Épissures par fusion	12
I.2.5.2 Epissure mécanique	13
I.2.5.2.1 connecteurs optiques	13
I. 3 Avantages des liaisons à fibres optiques	16
I.3.1 Large bande passante	16
I.3.2 Débit d'information élevée	16

I.3.3	Faible taux d'atténuation	16
I.4	Problèmes de la transmission par F.O	
I.4.1	Différentes dispersions Chromatique présentes dans la transmission par F.O	17
I.4.1.1	Dispersion Chromatique	17
I.4.1.2	Dispersion polarisation modale	17
I.4.1.3	Dispersion Intermodale	18
I.4.2	Différentes atténuations de la fibre optique	18
I.4.2.1	Perte par diffusion	18
I.4.2.2	Perte par excentrement des fibres	18
I.4.2.3	Perte par l'écartement de faces	18
I.4.2.4	Perte par l'écart angulaire	19
I.4.2.5	Perte par défauts de la connexion	19
I.5	Conclusion	19
<u>Chapitre II : Réseaux FTTH</u>		
II.1	Introduction	21
II.2	Principales technologies	21
II.2.1	Réseaux xDSL	22
II.2.1.1	HDSL (High Bit Rate DSL)	22
II.2.1.2	SDSL (Single Pair DSL)	22
II.2.1.3	ADSL (Asymmetric DSL)	22
II.2.1.4	RADSL (Rate Adaptive DSL)	23
II.2.1.5	VDSL (Very high bit rate DSL)	23
II.2.2	Réseaux cellulaire	23
II.2.2.1	Troisième génération 3G	23
II.2.2.2	Quatrième génération 4G	23
II.2.3	Réseaux par Satellites	24
II.2.4	Réseaux par fibre optique	24
II.2.4.1	FTTC (Fiber to the Curb)	24
II.2.4.2	FTTB (Fiber to the Building)	25
II.3	Solution FTTH	26

II.3.1 Architecture	26
II.3.1.1 Architecture Ethernet point-à-point (P2P)	27
II.3.1.2 Architecture point-multipoint (P2M) ou PON (Passive Optical Network)	27
a. APON (ATM Over PON)	28
b. BPON (Broadband PON)	29
c. EPON (Ethernet Passive Optical Network)	29
d. GPON	30
II.3.2 Technologie d'accès multiple associés	30
II.3.3 Composants du réseau FTTH	31
➤ OLT (Optical Line Terminal)	31
➤ Coupleurs optique	32
➤ ONT (Optical Network Terminaison)	33
II.4 Cas du projet de la Résidence La Perle De La Méditerranée	34
II.5 Conclusion	35
<u>Chapitre III : Qualité de Service (QoS)</u>	
III.1 Introduction	36
III.2 Généralité sur la qualité de service	36
III.2.1 Définition	36
III.2.2 But de la QoS	36
III.2.3 Critères de la qualité de service	37
III.2.4 Exigences des applications en métrique de la QoS	38
III.2.5 Gestion de la qualité de service	39
III.2.5.1 Le modèle IntServ (Integrated services)	39
III.2.5.2 Le modèle DiffServ (Differenciated Services)	39
III.3 FTTH et la qualité de service	40
III.4 Exemple de qualité de service	40
III.4.1 Présentation du triple Play	40
III.4.1.1 Internet	42
III.4.1.2 VOIP	42
III.4.1.3 Télévision sur IP (TVIP)	42

III.4.2 Evolution du service triple Play : vers le quad-Play	43
III.5 Conclusion	44
<u>Chapitre IV: Simulation, mise en service et test du QoS du réseau FTTH installé à</u>	
<u>kharouba</u>	
IV.1 Introduction	45
IV.2 Simulation de réseau FTTH (GPON)	45
IV.2.1 Présentation du logiciel OptiSystem	45
IV.2.1.1 Conception d'une liaison optique	47
IV.2.1.2 Avantages du logiciel OptiSystem	47
IV.2.2 Critères de qualité d'une transmission	48
IV.2.2.1 Le taux d'erreur binaire	48
IV.2.2.2 Diagramme de l'œil	48
IV.2.2.3 Facteur de qualité	49
IV.2.3 La simulation de GPON	49
IV.2.3.1 Sens descendant	49
IV.2.3.1.1 Définition des paramètres	49
➤ Le montage	50
IV.2.3.1.2 Les résultats de simulation	51
IV.2.3.1.3 Interprétation des résultats	52
IV.2.3.2 Sens montant	52
➤ Le montage	52
IV.2.3.2.1 Interprétation les résultats	53
IV.2.4 Conclusions sur la simulation	53
IV.3 Infrastructure	54
➤ Signalisation et sécurisation du chantier	54
➤ Tranchage	55
➤ La multitubulaire	55
➤ Pose de fourreaux en PEHD	56
➤ Pose de grillage avertisseur	56

➤ Remblaiement de la tranchée	57
➤ Pose de chambres préfabriquées	57
➤ Pose les câbles de F.O	58
➤ Accès au bâtiment	58
IV.4 Les équipements et leurs installations	59
IV.4.1 OLT (Optical Line Termination):	59
IV.4.1.1 Système d'alimentation d'OLT	61
IV.4.2 Répartiteur optique (ODF)	62
IV.4.3 FDT (Fiber Distribution Terminal)	64
IV.4.4 Point de raccordement (closure)	65
IV.4.5 FAT (Fiber Access Terminal)	68
IV.4.6 Splitter	72
IV.4.7 Le raccordement	73
IV.4.8 Tests et mesures	76
IV.4.8.1 Mesures par OTDR	77
IV.4.8.2 Mesure par power-mètre	79
IV.5 Mise en service et configuration	80
IV.5.1 Configuration hardware	81
IV.5.2 Configuration des VLAN	81
IV.5.3 Configuration des services	82
IV.6 Mesures des Critères de la Qualité de Service et Comparaisons avec d'autres Technologies	83
IV.7 Conclusion	86
Conclusions et Recommandations pour les Projets Futurs	87
Références bibliographiques	89
Annexe A	
Annexe B	
Annexe C	
Annexe D	

Introduction générale

Introduction générale

Compte tenu des limites physiques des réseaux filaires existants du téléphone et du câble, le développement croissant de « triple-Play » qui comprend des services de vidéo, gourmands en bande passante, de téléphonie et d'accès à l'Internet et les débits de la navigation sur Internet avec les données et contenus devenus de plus en plus riches, appellent la mise en place de nouveaux réseaux à très haut débit. La fibre optique apparaît comme le support le plus pérenne de ces réseaux à l'horizon des prochaines décennies.

Depuis vingt ans, la fibre optique est la technologie préférée pour l'interconnexion des nœuds de télécommunication. Sa suprématie dans le domaine du transport est particulièrement évidente dans le cœur des réseaux de télécommunication. La technologie optique reste inégalée pour le transport économique et fiable de données sur de longues distances, Il n'existe actuellement aucune autre technologie qui puisse menacer sa suprématie.

Le réseau optique (GPON) et le réseau optique (EPON) ont beaucoup contribué au succès de la technologie des réseaux optiques et se sont fait une solide réputation comme technologies de référence pour les réseaux résistant aux défaillances.

La qualité de service (QoS) est d'une importance capitale pour les fournisseurs d'accès à Internet car dans un domaine aussi compétitif que celui des télécommunications, la QoS peut être le critère déterminant pour les utilisateurs professionnels et particuliers, dans la sélection du fournisseur de service téléphonique ou Internet.

Pour garantir une QoS acceptable, il y a plusieurs critères à ajuster mais tout commence par une observation permanente du réseau à travers ce qu'on appelle « les indicateurs clés de performance ». Par conséquent, l'utilisation d'outils d'ingénierie et d'optimisation sont nécessaires. Chaque fournisseur dispose des solutions de supervisions qui permettent de visualiser l'état des indicateurs de performances au niveau de chaque terminal de son réseau.

L'objectif de notre travail consiste à étudier les aspects d'optimisation de qualité de service relative au réseau FTTH (l'abréviation anglaise du Fiber To The Home). Pour réaliser cet objectif, on a sollicité l'entreprise Algérie Télécom de Mostaganem pour qu'elle soit notre cas pratique à étudier durant la mise en œuvre de son réseau FTTH tout récent à la wilaya de Mostaganem.

On a effectué un stage pratique de quatre mois successifs (du 25 janvier au 25 mai 2018) au sein de CMP (Centre de Maintenance et Production) chez Algérie Télécom à la wilaya de Mostaganem. Durant cette période, on a acquis de précieuses compétences en ce qui concerne les différentes étapes de réalisation du premier réseau FTTH à Mostaganem Ce projet de la

Résidence appelée « La Perle De La Méditerranée » est un projet d'Algérie Télécom qui consiste à la mise en place d'une connexion très haut débit et d'approvisionner en fibre optique chaque abonné. Il se situe à KHARROUBA à cinq minutes du centre-ville de Mostaganem et trois minutes de la plage du Sidi-Mejdoub en empruntant la route nationale RN 11 armenante à Alger par le littoral.

L'installation du réseau à fibres optiques à base de FTTH dans cette résidence inclue:

- 1) la partie « infrastructure » qui comprend les génies civils, chambres, locaux techniques, armoires de rue, installation, mise à disposition du réseau optique (Dénudage, Découpage, Soudure...) et les financements associés. On a été accompagné par monsieur Tohami Farid ingénieur chez Algérie Télécom et monsieur **Issam** ingénieur chez Huawei,
- 2) la partie « mise en place des équipements (OLT,ODF, FDT, FAT..) de Huawei » et tout ce qui concerne les tests et les mesures par le réflectomètre (l'affaiblissement de la fibre optique, la valeur maximale d'atténuation des épissures, des points de connexion et des connecteurs,..) et
- 3) la partie « mise en service, configuration d'OLT MA5800-X7 et mesure les débits » supervisée par monsieur Tayeb Ahmed.

La mise en place de ce projet est de très grande importance et influera sur plusieurs secteurs de la vie quotidienne des résidents. D'une part, elle facilitera l'accès à internet à très haut débit pour les habitants de ce quartier. D'autre part, l'opérateur Algérie Télécom pourra fournir des services d'IP-TV en qualité UHD et cela entrainera une diminution des antennes paraboliques à la façade des bâtiments.

Après avoir acquis le savoir-faire nécessaire pour la compréhension et l'analyse de performance de la technique de transmission par fibres optiques étudiée dans ce travail, on a rédigé ce manuscrit afin de présenter un résumé les connaissances acquises et les facteurs d'optimisation des réseaux à base de FTTH. Mise à part l'introduction générale et la conclusion, ce document présente une étude théorique et pratique organisée en quatre chapitres selon la chronologie suivante :

I- La partie théorique se compose de :

- Chapitre I, intitulé *Généralités sur les transmissions à fibres optiques*, présente un rappel sur les notions et concepts de base sur les fibres optiques en général, et en particulier leur usage en transmission.
- Chapitre II, intitulé *Réseaux FTTH*, décrit en premier des généralités sur les principales technologies adoptés avant les réseaux FTTH, et en second lieu la solution FTTH et ses architectures associées. On finira par présenter le projet de la Résidence La Perle De La Méditerranée qui mise en œuvre le réseau FTTH dans le cadre de partenariat entre Algérie Télécom et l'opérateur chinois Huawei.

- Chapitre III, intitulé *Qualité de Service (QoS) dans les réseaux FTTH*, introduit la notion fondamentale de qualité de service, ses critères et ses modèles de gestion. On enchaînera par la présentation des services qui offrent le FTTH.

II- La partie pratique est composée de :

- Chapitre IV, intitulé *Simulation, Mise en service et test du QoS du réseau FTTH installé à Kharouba*. Dans ce chapitre, on abordera en plus des résultats de simulation à base du logiciel Optisystem, les étapes de l'installation et de la configuration du réseau FTTH ainsi que les différents tests reliés à l'inspection de sa qualité de service conformément aux exigences techniques imposées par Algérie Télécom.

Enfin, nous clôturons le travail par des conclusions et suggestions pour les projets ultérieurs. Quatre annexes sont fournies à la fin de ce document et concernent : La description de l'entreprise Algérie Télécom et HEWAWI (Annexe A), l'outillage nécessaire pour le raccordement des fibres optiques (Annexe B), l'étude technico-économique approximative du projet réellement installé au site de Kharouba (Annexe C) et enfin les attestations de stage de 04 mois effectué sur terrain sous la supervision des cadres d'Algérie Télécom (Annexe D).

Etude théorique

Chapitre I

Généralités sur les transmissions à fibres optiques

I.1 Introduction

Avant l'invention du téléphone par Graham Bell en 1876, les télécommunications utilisaient déjà le télégraphe. Puis, grâce à la recherche de Maxwell et Hertz, l'information a emprunté la voie des airs. Finalement, au début des années 1970 est apparu le principe de transmission optique à l'aide de la fibre optique : transmettre des signaux lumineux à travers cœur de verre ou plastique [1].

La fibre optique a connu de nombreux développements depuis ses débuts et on annonce de bien plus prometteuses encore : la multiplicité des paramètres, qui jouent sur l'efficacité de la fibre, fait que l'on peut sans cesse améliorer les performances de celle-ci.

I.1.1 Présentation

La fibre optique la plus utilisée en système de transmission optique est faite à base de silice. Fine comme l'épaisseur d'un cheveu comme montre la Figure 1.1, elle est à la fois souple et résistante.

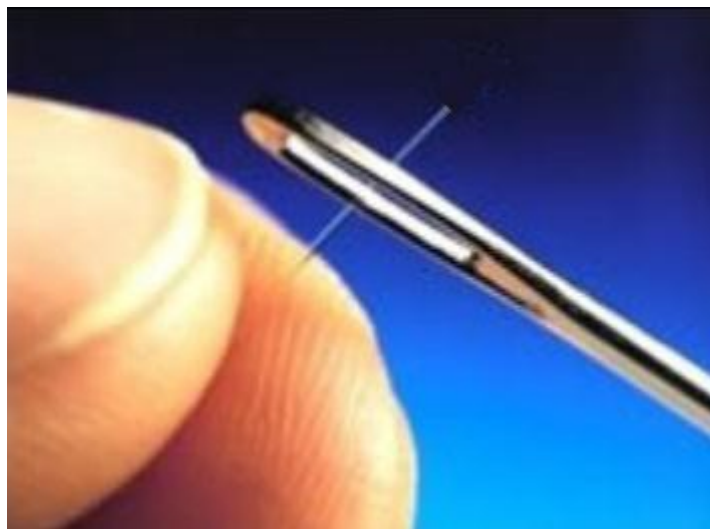


Figure 1.1 : La Fibre optique

I.1.2 Historique

Au début des années 1950 c'était les premières années d'applications fructueuses de la fibre optique, lorsque le fibroscope flexible fut inventé par Van Heel et Hopkins. Cette technologie permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées [2].

Après l'invention du laser en 1960, les télécommunications par la fibre optique étaient possibles. Le laser offrit l'occasion de transmettre un signal sur une grande distance. Dans sa

publication en 1964, Charles Kao, des Standard Télécommunication Laboratoire, décrit un système de communication à longue distance et à faible atténuation en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Cette technique est souvent considérée comme la première transmission des données par la fibre optique [3].

Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. Aujourd'hui on estime que plus de 79% de communication à très longue distance est transportée le long de plus de 25 millions de kilomètres des câbles à fibres optiques partout dans le monde [2].

I.1.3 Domaine de l'utilisation de la fibre optique

L'utilisation des fibres optiques paraît dans plusieurs domaines qu'on énumèrera ci-après.

I.1.3.1 Dans les systèmes de télécommunications

La fibre optique offre un débit de transfert des données supérieur à celui des câbles de cuivre par laquelle peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone et l'internet. De plus, elle présente une très faible atténuation parce qu'elle n'est pas sensible aux perturbations électromagnétiques, ainsi qu'une sécurité fiable. C'est une meilleure remplaçante des câbles cuivrés ou coaxiaux et être utilisée sur une longue ou courte distance. Avec le boum de l'internet et la transmission numérique, son utilisation se généralise petit à petit jusqu'à venir chez l'abonné et du fait de leur besoin, les opérateurs et les entreprises ont été les premiers acquéreurs des fibres optiques [1].

I.1.3.2 Dans le domaine militaire

Elle est particulièrement très appréciée pour son insensibilité aux IME ou Impulsion électromagnétique comme le brouillage et la détection.

Le Polyphème est un missile à fibre optique qui vient d'être inventée. Ce missile peut aller à une vitesse de 500Km/h, possède derrière lui une bobine de fibre optique qui le relie au poste de tir et qui permet de le guider jusqu'à sa cible via un opérateur agissant grâce à une caméra embarquée. Vu la difficulté de guidage de missile par faisceau hertzien à cause des dispositifs de brouillage et radiation électromagnétique ainsi qu'au relief environnant, il a fallu inventer un autre moyen pour le piloter et ce fut la fibre optique. La seule difficulté avec ce missile est la maîtrise de la déviation à grande vitesse.

I.1.3.3 Applications diverses

a) les navires, les sous-marins, les avions ou les satellites pour donner la vitesse angulaire tous contiennent des capteurs comme le gyromètre à fibre optique. Il contient des fibres à maintien de polarisation.

b) l'utilisation la plus sensible de la fibre optique est dans la médecine pour filmer les endroits sensibles ou inaccessibles du corps humain par l'intermédiaire d'une caméra. Un type d'endoscope, appelé fibroscope, véhiculer par la fibre optique la photo de la zone à explorer jusqu'à l'œil du médecin réalisant l'examen exploratoire.

c) Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs que ce soit température, pression ou autre, dans l'imagerie, dans l'éclairage et même dans les décorations. Grâce à ces capteurs, on peut calculer la distance d'un objet par rapport à un autre, la vitesse de rotation, les vibrations.

I.2 Description des systèmes de communications à base des F.O

Une FO est un guide d'onde optique à symétrie circulaire schématisé sur la Figure 1.2. Cette onde optique codée a été préalablement modulée à partir d'un signal électrique [2][4-7].

La fibre optique est composée de 3 parties :

- Le cœur dans lequel se propage l'onde optique. Il peut être fabriqué à base de silice, de quartz ou de plastique et son diamètre est variable selon le type de fibre à concevoir.
- La gaine optique ou cladding : en général, fait de même matériaux que le cœur mais avec des additifs, qui isole l'onde optique dans le cœur.
- Le revêtement de protection ou coating : généralement en plastique, qui assure la protection mécanique de la fibre.

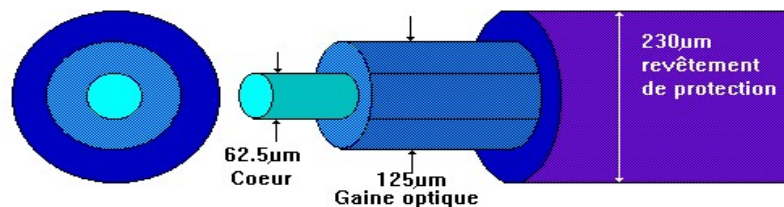


Figure 1.2 : Structure de la fibre optique [8].

I.2.1 Principes de fonctionnement

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 [4] :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (1.1)$$

Où:

- 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 1.3 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.

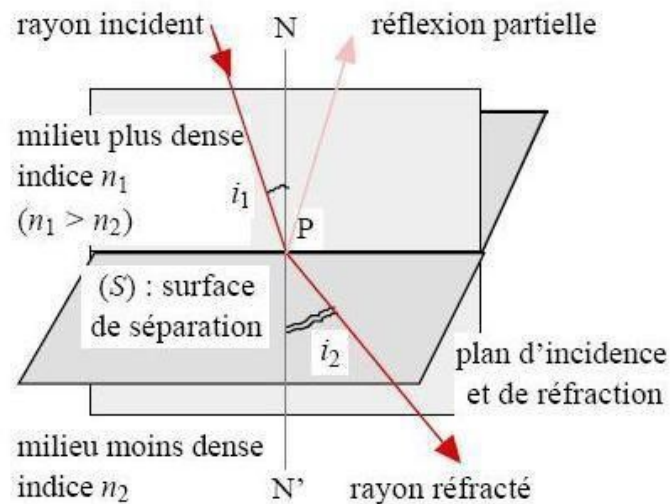


Figure 1.3 : Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux [4].

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) [4].

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.2.2 Différents types de la fibre optique

Aujourd'hui les industriels commercialisent deux types de fibres optiques : fibre monomode et multimode. Leurs principales différences résident essentiellement dans la longueur d'onde utilisée et le diamètre du cœur.

1.2.2.1 Fibre multimode

Les premiers types de fibres optiques qui ont été fabriquées sont les fibres multimodes. Le cœur a une taille importante par rapport au reste de la fibre.

Les inconvénients qui présentent ce type de fibre c'est l'atténuation des signaux plus marquée ou encore une vitesse de propagation des signaux plus faible. Elle est aujourd'hui utilisée sur de courtes distances ou dans les décorations.

Il existe deux types de fibres multimodes :

a. La fibre multimode à gradients d'indice

Dans ce type de fibre l'indice du cœur diminue progressivement du centre vers sa périphérie, ce qui compense les différences de trajet (Figure 1.4). L'étalement des impulsions est nettement plus faible. C'est la plus utilisée pour les liaisons informatiques (réseaux LAN)[9].

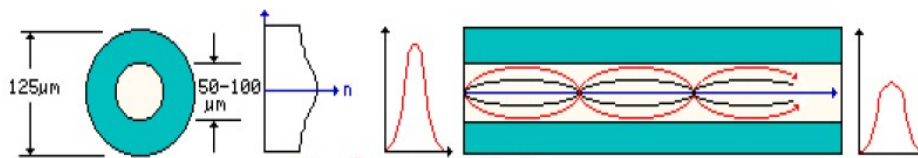


Figure 1.4 : Fibre multimode a gradient d'indice [5].

b. La fibre multimode à saut d'indice

Les fibres à saut d'indice sont les premières fibres qui ont été inventés. Le diamètre de son cœur est responsable d'une très grande atténuation des données, la propagation se fait par réflexions successives.

Comme montre la Figure 1.5, les rayons ne se propagent pas tous selon le même chemin, ce qui entraîne un étalement des impulsions. Celles-ci risquent de se chevaucher en sortie de liaison. C'est la fibre la plus ordinaire on la retrouve dans les réseaux locaux.

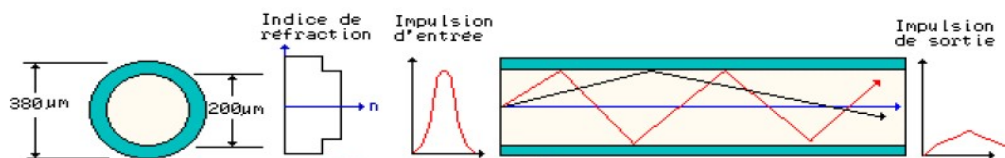


Figure 1.5 : Fibre multimode à saut d'indice [5].

Leur différence réside principalement dans la différence du diamètre du cœur. La fibre à saut d'indice présente un diamètre de cœur deux à quatre fois plus grand que celui des fibres à gradient d'indice.

I.2.2.2 Fibre monomode

Fibre de faible diamètre de cœur (Figure 1.6), évitant la dispersion des rayons, ceux-ci se propagent donc dans l'axe de la fibre. Elle est généralement utilisée dans les réseaux longues distances. La fibre est dite « monomode » car, en raison de la très petite taille du cœur ($9\ \mu\text{m}$), il n'y a qu'un seul mode de propagation de la lumière.

Actuellement les fibres monomodes présentent la bande passante la plus large et le niveau d'atténuation le plus bas. C'est pourquoi elles sont universellement utilisées pour transmettre des signaux à très haut débit et sur longues distances [10].

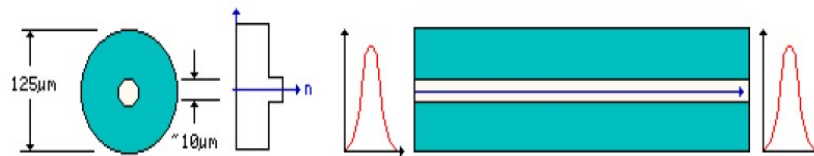


Figure 1.6 : Fibre optique monomode [5].

I.2.3 Structure des câbles de la fibre optique

Il existe différentes structures du câbles de fibre optique (Figure 1.7) qui sont à choisir selon leurs utilisations comme [11-12] :

- le câble à structure libre tubée qui comporte n fibres dans m tubes de protections libres en hélice autour d'un porteur central et sa capacité type est de 2 à 432 fibres.
- le câble à tube central : n fibres libres dans un tube central.
- le câble ruban à tube central : n fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans 1 tube central. La capacité type est de 12 fibres par 18 rubans, soit 216 fibres. L'avantage de ce type de câble est de pouvoir souder simultanément la totalité des fibres d'un même ruban.



Figure 1.7 : Différentes structures de fibre optique.

- le câble ruban à tubes libres : n fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans p tubes libres en hélice autour d'un porteur central.

I.2.4 Interfaces d'une liaison par F.O

I.2.4.1 Interface optique d'émission

Le rôle d'un émetteur optique est de transformer une énergie électrique en énergie lumineuse pour l'envoyer dans la fibre optique qui sert de support de transmission. Dans les systèmes de transmission par fibre optique, on utilise comme source optique des composants semi-conducteurs. Les émetteurs peuvent être de deux types :

- Les diodes électroluminescentes (DEL) ;
- Les diodes laser (DL).

- **Les diodes DEL**

La possibilité d'émettre dans le rouge des DEL en font des sources bien adaptées à l'interconnexion optique courte distance sur fibre plastique, où le débit mis en jeu reste faible. Malgré la forte divergence du faisceau de sortie, l'utilisation couplée de DEL et de fibre plastique permet de réaliser des systèmes très bas coût, et cela grâce à la structure verticale de DEL et au gros diamètre de fibre plastique qui permet de réduire le coût d'alignement et de positionnement.

- **Les diodes laser**

Les diodes laser à semi-conducteur ont l'avantage de disposer d'une très large bande passante et d'une puissance optique d'émission bien supérieure au DEL. Par contre, elles sont caractérisées par une consommation plus grande. Elle est dont la longueur d'onde de 1300 ou 1550 nm et elle est possible d'émettre dans le rouge. Cependant, malgré leurs performances intrinsèques, la divergence elliptique du faisceau et la structure horizontale des diodes laser rendent leur mise en œuvre et leur coût de fabrication incompatibles avec les besoins en interconnexion par la fibre optique.

Pour convertir un signal électrique à un signal optique il faut utiliser la modulation optique. On note le suivant :

❖ **Techniques de modulation**

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Il existe principalement deux techniques : la modulation directe et la modulation externe [13].

➤ **La modulation directe**

Un des principaux avantages de l'utilisation des lasers à semi-conducteur pour les systèmes de télécommunications par fibres optiques réside dans le fait qu'il est possible de les moduler facilement (Figure 1.8) : la modulation du courant qui les traverse entraîne directement

la modulation en intensité de la lumière émise. Cette technique est appelée modulation directe. Ainsi, il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser.

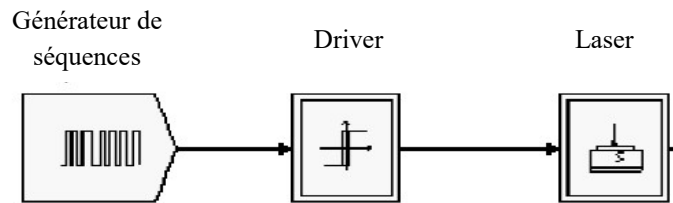


Figure 1.8 : Synoptique de la modulation directe.

Il y a beaucoup d'avantages de la modulation directe, en particulier le faible coût de mise en œuvre. Cependant elle comporte aussi des limites. Le laser en est souvent la cause. Son temps de réaction, les oscillations, le bruit créé font que la modulation directe engendre, pour les hauts et très hauts débits, certaines dégradations sur le signal optique modulé. A cela, la modulation externe constitue une solution plus pratique.

➤ La modulation externe

La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue par la modulation directe du faisceau lumineux en sortie du laser (Figure 1.9) et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser. Ainsi les défauts de la modulation directe qui incombent au laser ne seront plus présents sur le signal optique.

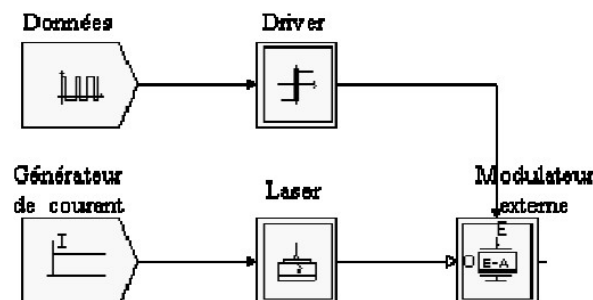


Figure 1.9 : Synoptique de la modulation externe.

I.2.4.2 Interface optique de réception

A la réception, le signal optique est converti en signal électrique grâce à un détecteur optique.

Il y a plusieurs types de détecteurs optiques comme :

- la photodiode PIN qui est la plus utilisée car elle est peu coûteuse et simple à utiliser avec une performance satisfaisante ;

- la photodiode à avalanche est plus performante que la photodiode PIN mais plus coûteuse et difficile à utiliser ;
- le phototransistor : généralement, il n'est pas utilisé dans les communications à base de fibre optique en raison de son lenteur.

Ces diodes sont utilisées en polarisation inverse. La lumière incidente provoque l'apparition d'un courant inverse. Cependant, en l'absence d'excitation optique, il y a un petit courant parasite appelé courant d'obscurité.

I.2.5 Raccordement des fibres optiques

Lors d'un déploiement d'un réseau optique, la distance limite la longueur de la fibre optique. Il est nécessaire alors de raccorder une autre fibre pour arriver jusqu'à destination.

Pour raccorder entre elles deux fibres optiques, Il existe deux manières :

- ❖ par la méthode de la soudure
- ❖ par l'épissure mécanique

I.2.5.1 Épissures par fusion

Cette opération consiste à raccorder directement les deux fibres par soudure au moyen d'un appareil appelé soudeuse (Figure 1.10) [14].



Figure 1.10 : La soudeuse.

La procédure sera montrée par les Figures 1.11, 1.12 et 1.13 ci-dessous.

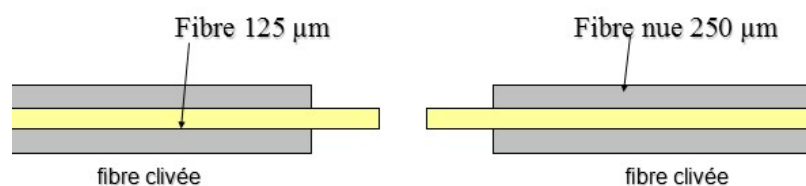


Figure 1.11 : Clivage des deux fibres avant de les placer sur le support.

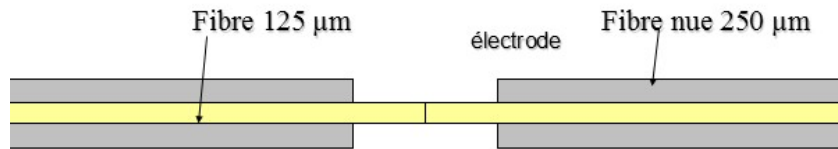


Figure 1.12 : Mise en contact des deux fibres.

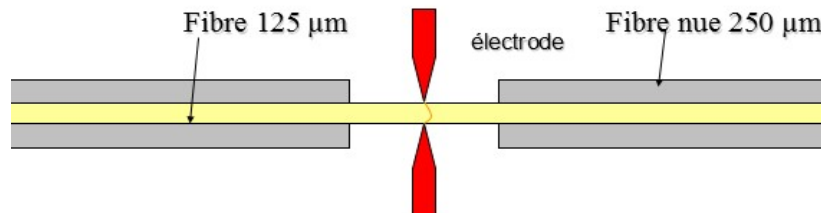


Figure 1.13 : La fusion réalisée avec l'aide d'un arc électrique

I.2.5.2 Épissure mécanique

Le procédé d'épissure est montré par la Figure 1.14 :

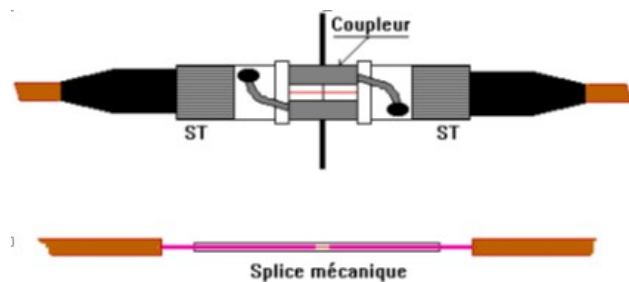


Figure 1.14 : Épissure mécanique

a. Connecteurs optiques

Une connexion optique est composée de deux fiches et d'un raccord (Figure 1.15).



Figure 1.15 : Connecteur optique.

La fiche termine la fibre, la protège, la positionne et la rend manipulable.

Le raccord réalise le guidage et le verrouillage des deux fiches pour assurer d'une part la continuité du signal optique d'une fibre à l'autre, et d'autre part l'attachement mécanique de l'ensemble [15].

Parmi les connecteurs les plus utilisés, on cite :

- **Connecteur ST (Straight Tip)** [15]



Figure 1.16 : Connecteurs ST.

Tableau 1.1 : Caractéristiques connecteurs ST.

DENOMINATION	BFOC 2.5
Norme	CEI 61754-2
Type de fibre	Monomode/Multimode
Concept	Simplex
Pertes	< 0,5 dB
Raccord	Métallique ou céramique
Diamètre	2,5 mm

- **Connecteur FC (Face Contact)** [15]



Figure 1.17 : Connecteurs FC.

Tableau 1.2 : Caractéristiques Connecteurs FC.

DENOMINATION	FC/APC
Norme	FC
Type de fibre	Monomode/Multimode
Concept	Simplex
Pertes	< 0,3 dB
Raccord	Férule céramique ajustable
Diamètre	2,0 mm

• **Connecteur SC [15]**

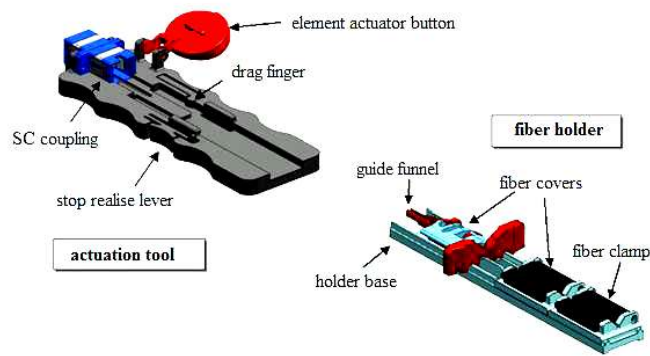


Figure 1.18 : Connecteurs SC.

• **Connecteur VF45 [15]**

Conçus au format RJ45, pour les postes de travail

Deux fibres par connecteur (duplex)

Nécessite un mâle et un femelle

Très facile à mettre en œuvre

Protection de l'optique

VF45 mâle

VF45 femelle



Figure 1.19 : Connecteur VF-45.

Tableau 1.3 : Caractéristiques Connecteur VF-45

DENOMINATION	VF 45
Norme	Connector -1394b
Type de fibre	Monomode/Multimode
Concept	Duplex
Pertes	< 0,75 dB
Caractéristiques	Bas cout
Diamètre	2,0 mm

• **Connecteur MTRJ [15]**



Figure 1.20 : Connecteur MTRJ.

Tableau 1.4 : Caractéristiques Connecteur MT-RJ.

DENOMINATION	MTRJ
Norme	Standard 61754-8
Type de fibre	Monomode/Multimode
Concept	Duplex
Pertes	< 0,2 dB
Caractéristiques	Bas cout
Diamètre	1,6 mm

I.3 Avantages des liaisons à fibres optiques

I.3.1 Large bande passante

L'un des avantages essentiels des communications par voie optique est la largeur de la bande passante qu'elle peut offrir. En effet, la théorie de la communication suppose que le nombre d'informations transmises par seconde ne peut excéder la fréquence de l'onde porteuse (soit au plus un bit par période de l'onde). Cette propriété montre l'intérêt d'utiliser des signaux optiques, dont les fréquences vont de 10^{14} à 10^{15} Hz, plutôt que les ondes radio de fréquences plus faibles (de l'ordre de 10^5 à 10^{11} Hz). Il est donc possible pour les communications optiques d'atteindre en théorie la centaine ou le millier de Térabits par seconde ($1\text{Tb} = 10^{12}$ bits) [16].

I.3.2 Débit d'information élevée

L'avènement de la fibre optique dans nos réseaux de transmission a permis l'accroissement des débits d'informations échangés. La conservation de ce débit sur une longue distance sans aucune intervention externe est l'une des propriétés essentielle de la fibre. Cet argument a d'ailleurs limité l'installation du DSL (Digital Subscriber *Line*) pour des lignes de quelques kilomètres, d'un particulier à son lieu de travail par exemple. Les câbles coaxiaux permettent de passer la barre des 100 Mbps , mais le signal se détériore rapidement quand la distance de transmission augmente. Les photons peuvent en théorie, être utilisés pour atteindre des débits de 50 Tbps . Ce constat a donc fait émerger la lumière comme porteur d'informations pour des applications à large bande passante sur des grandes distances [17].

I.3.3 Faible taux d'atténuation

Une autre propriété primordiale de la fibre est que les pertes sont minimales. En comparaison avec d'autres supports bien connus, les pertes dans les fibres optiques sont négligeables. De plus, les ondes lumineuses qu'elles véhiculent ne sont pas sujet à des interférences avec le milieu externe favorisant ainsi la sécurité des transmissions [18].

I.4 Problèmes de la transmission par F.O

Comme tout canal de transmission, la fibre optique a aussi ses problèmes qu'on énumèrera ci-après.

I.4.1 Différentes dispersions chromatique présentes dans la transmission par O.F

L'onde transmise n'est pas un signal continu monochromatique. Elle présente une certaine densité spectrale qui a plusieurs origines [8] [19] :

- le signal est entrecoupé de façon aléatoire par une modulation d'amplitude ou d'intensité pour constituer le train d'impulsions au débit binaire requis,
- comme tout oscillateur, le laser est affecté par des fluctuations de puissance et de phase qui se traduisent par des fluctuations de fréquence et, par conséquent, un étalement de l'énergie émise.

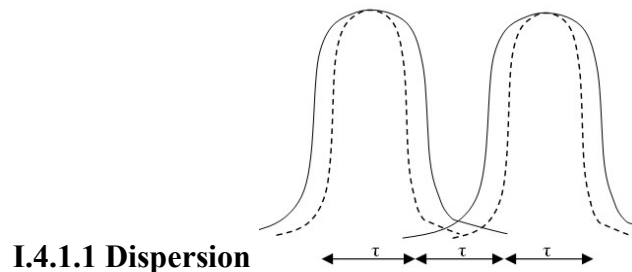


Figure 1.21 : Interférence inter-symbole.

Une interférence inter-symbole est créée par l'élargissement temporel de l'impulsion comme la Figure 1.21 nous la montre. Celle-ci se traduit par une dégradation de la probabilité d'erreur à la réception. La limite acceptable de cette interférence τ_E est définie par le rapport entre la dispersion chromatique totale D et de la durée de l'impulsion τ :

$$\tau_E = \frac{D}{\tau} \quad (1.2)$$

avec $\tau = \frac{1}{D_b}$ où D_b est le débit binaire

I.4.1.2 Dispersion polarisation modale

La fibre peut se comporter comme une succession de petits tronçons biréfringents à cause de ses imperfections. En excitant la fibre avec une onde de polarisation quelconque, celle-ci se propage selon deux polarisations orthogonales, ce qui entraîne une dispersion temporelle du signal [16].

Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre [19] [20].

I.4.1.3 Dispersion intermodale

La dispersion intermodale est l'une des causes de l'élargissement d'une impulsion. Elle est très importante pour les fibres multimodes car l'énergie lumineuse injectée à l'entrée de la fibre est répartie entre les différents modes. Cette dispersion peut être définie comme l'écart entre les différents temps de propagation de groupe des différents rayons présents dans l'ouverture numérique et a pour effet d'élargir les impulsions véhiculées dans la fibre. Quand la différence de temps entre deux modes est très petite, c'est-à-dire plus faible que le temps de réponse du récepteur, ce dernier ne reproduira que l'enveloppe des impulsions reçues, et par conséquent un élargissement de l'impulsion initiale [19].

I.4.2 Différentes atténuations de la fibre optique

La fibre optique présente différentes sortes de pertes mais leurs sommes sont très faibles si on les compare à celle des autres supports de transmission [18].

I.4.2.1 Perte par diffusion

Avec les molécules de verre, les photons interagissent faiblement et de manière aléatoire. Un photon pourrait être dévié de sa trajectoire pour sortir du cœur de la fibre et est alors perdu pendant une transmission. Plus la longueur d'onde du photon est grande, moins il y aura d'interaction et de perte par diffusion.

I.4.2.2 Perte par excentrement des fibres

Le désalignement radial est illustré dans la Figure 1.22. Celui-ci est dû à un désalignement des cœurs et des gaines optiques des fibres à connecter et sa gravité se déduit en fonction du rapport de l'excentrement par le diamètre des fibres.

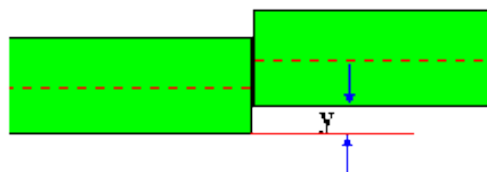


Figure 1.22 : Schéma explicatif de perte liée à l'excentrement des fibres.

I.4.2.3 Perte par l'écartement de faces

La séparation longitudinale comme le montre la Figure 1.23 qui se traduit par un écartement des deux fibres qui devraient être connectées. Il existe une variation d'indice dans la partie vide qui sépare les deux fibres, donc le rayon lumineux peut être réfracté ou réfléchi selon le cas.

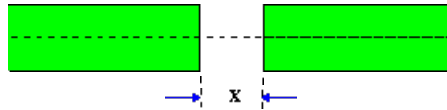


Figure 1.23 : Schéma explicatif la perte liée à l'écartement des fibres.

I.4.2.4 Perte par l'écart angulaire

Le désalignement angulaire est montré dans la Figure 1.2. Dans ce cas, il y a une présence d'un angle dans le raccord entre les deux fibres. Les rayons lumineux qui passent par ce point subissent une déviation qui se traduit par une perte. Cette dernière n'est pas critique mais dépend seulement de l'angle que font les deux fibres à raccorder.

L'ordre de grandeur à retenir est qu'un écart angulaire de 1 degré peut produire une atténuation de 0.5 dB.

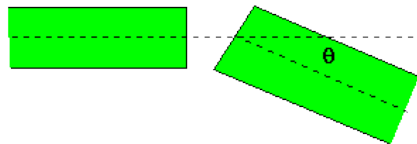


Figure 1.24 : Schéma explicatif la perte liée à l'écart angulaire des fibres.

I.4.2.5 Perte par défauts de la connexion

La non-perpendicularité des faces (Figure 1.25) (écart de 2 à 3 degrés) provoque une atténuation de 0.3 dB; la rugosité des faces ($r = 5 \mu\text{m}$) donne également 0.3 dB de perte.

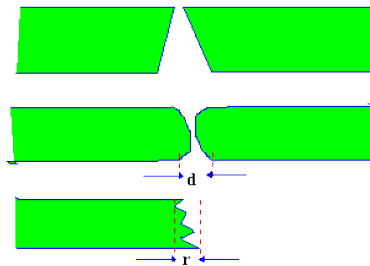


Figure 1.25 : Schéma explicatif la perte liée à la connectique

Il faut que les deux faces optiques en contact de la connexion soient parfaitement sciées et polies.

I.5 Conclusion

La fibre optique se présente comme étant la meilleure façon d'utiliser la lumière comme support de transmission pour les systèmes de télécommunications. A l'intérieure de la fibre, la lumière se propage tout en étant guidée vers le récepteur. Bien que la présence de pertes et d'atténuation due à ses caractères physiques rend la fibre optique imparfaite, il n'en reste que c'est un excellent support de transmission.

L'utilisation de fibre optique dans les réseaux n'est donc pas à exclure. C'est justement le sujet du chapitre suivant.

Chapitre II

Réseau FTTH

II.1 Introduction

Les réseaux d'accès nommés familièrement les derniers kilomètres sont les liens qui assurent depuis toujours la liaison entre les clients et les opérateurs. Différents types de réseaux existent à opérateurs multiples qui commencent aujourd'hui à adopter la solution optique non seulement à cause de la demande croissante en bande passante mais aussi pour pérenniser leurs infrastructures. Certains opérateurs s'accordent même à dire que la fibre optique c'est le futur. Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement au réseau FTTH (Fibre To The Home) et ses caractéristiques techniques.

II.2 Principales Technologies

II.2.1 Réseaux xDSL

Le mot DSL (Data Subscriber Line) indique une ligne d'abonné pour les données. Le 'x' devant DSL précise le type de modem. Les technologies xDSL permettent d'utiliser les paires de cuivre du réseau public de téléphonie afin d'offrir des services de données à haut débit. Différents types de technologies xDSL, offrant des débits symétriques ou non, ont été développés ou sont en cours de spécification pour offrir l'adéquation entre les technologies utilisées et les services souhaités, ainsi qu'une augmentation des débits utilisables.

Le modem le plus classique est précisé par un A (Asymmetric) devant le signe ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), qui donne un débit asymétrique, quatre fois plus important dans le sens descendant que dans le sens montant.

Les technologies xDSL sont divisées en deux groupes selon l'utilisation de la transmission symétrique ou asymétrique. On parle de liaison symétrique quand le débit utilisé par le lien montant est identique à celui utilisé par le lien descendant. On parle de liaison asymétrique quand le débit utilisé par le lien montant est inférieur à celui utilisé par le lien descendant.

La liaison xDSL est une liaison point à point établie via une ligne téléphonique entre le « NT » (Network Termination) chez l'utilisateur et le « LT » (Line Termination) installé chez le fournisseur de service. Il existe plusieurs technologies xDSL correspondant à une utilisation et à des caractéristiques techniques différentes.

II.2.1.1 HDSL (High Bit Rate DSL)

Cette technologie symétrique est à la base de toutes les autres technologies DSL. Elle a vu le jour au début des années 90 (aujourd'hui sa standardisation n'est pas encore achevée). Basée sur trois paires (de câbles) torsadées, HDSL permet d'offrir un débit de 2 Mbps dans les deux sens.

Comme toutes les technologies DSL, cette dernière est très sensible à la qualité du câble sur le dernier tronçon entre le «LT » et le client final. La norme définit que la longueur du dernier tronçon devra être incluse entre 3 et 7 km suivant le diamètre du file, et le débit pourra varier entre 380 kbps et 2 Mbps. HDSL permet de conserver la ligne ouverte en permanence mais n'offre pas la possibilité simultanée d'utilisation d'un canal de téléphonie [20][21].

II.2.1.2 SDSL (Single Pair DSL)

Cette technologie est également une technologie symétrique. La majorité des maisons étant aujourd'hui connectées par une seule paire torsadée (câble), une technologie a été mise au point afin d'offrir du haut débit sur une paire torsadée unique. Toutefois, cela s'est fait au détriment de la distance maximale du dernier tronçon. Le débit maximal SDSL, pour un dernier tronçon de 7 km, est de 128 kbps (kilobits par seconde). Cette technologie a servi de base au développement de la norme HDSL2, laquelle offre le même confort que la norme HDSL mais sur une seule paire torsadée. A terme, SDSL pourrait disparaître au profit de HDSL [20][21].

II.2.1.3 ADSL (Asymmetric DSL)

Cette technologie existe également depuis le début des années 90. Elle fût initialement mise au point pour supporter l'image télévisée sur réseau téléphonique. Dans ce cadre, le débit du canal montant était réduit par rapport au canal descendant qui supportait le transport de l'image (technologie asymétrique). Le développement d'Internet dont la majorité du trafic répond aux mêmes besoins, c'est-à-dire peu de trafic en provenance de l'utilisateur pour un retour d'information important, a détourné cette technologie de son but premier [21].

Le standard finalisé au milieu des années 90 est basé sur :

- Un canal montant offrant un débit maximal de 800 kbps.
- Un canal descendant offrant un débit maximal de 8192 kbps.
- Un canal téléphonique analogique ou RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service).

II.2.1.4 RADSL (Rate Adaptive DSL)

Cette technologie asymétrique basée sur ADSL n'est pas encore standardisée. Le débit de transmission est géré durant toute la communication afin d'offrir dynamiquement la vitesse optimale sur la ligne de raccordement. RADSL promet des débits descendants de 600 kbps à 7 Mbps et des débits montants de 128 kbps à 1 Mbps pour un tronçon final de 5,4 km maximum [21][22].

II.2.1.5 VDSL (Very high bit rate DSL)

En cours de standardisation, cette technologie «hybride», est utilisable en mode symétrique ou asymétrique et peut nécessiter l'utilisation de fibres optiques pour le transport des données. Initialement prévue pour le transport de l'ATM (Asynchronous Transfer Mode), cette technologie est la plus performante puisque capable de supporter des débits montants allant jusqu'à plus de 55 Mbps pour un dernier tronçon de 1 km [21][22].

II.2.2 Réseaux cellulaires

II.2.2.1 Troisième génération 3G

La troisième génération de la téléphonie mobile (3G) connue sous le nom d'UMTS a été créée pour que des applications vidéo puissent être accessibles et utilisables sur le terminal mobile; pour que la qualité de service (QoS : Quality of Service) du multimédia dont offre le réseau soient améliorée. Les applications vidéo dont on parle ici sont par exemple la vidéo à la demande (cas de YouTube), la visiophonie (cas de Skype), ... Et comme pour le cas de chaque génération de téléphonie la question d'augmentation de débit a été prise en compte surtout pour le but qui a été fixé c'est-à-dire la manipulation de données vidéo sur le réseau qui requiert beaucoup de ressources. L'UMTS promet des débits de 144 Kbit/s dans le cas d'un utilisateur mobile à 2 Mbit/s depuis un point fixe [23].

II.2.2.2 Quatrième génération 4G

La quatrième génération (4G) des systèmes cellulaires sans fil a été un sujet d'intérêt pour un temps assez long, depuis que la définition formelle de la troisième génération (3G) des systèmes mobiles a été officiellement achevée par l'Union Internationale des Télécommunications-Secteur des Radiocommunications. Actuellement, il existe deux principales technologies de 4G : le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) de la norme 802.16m et LTE (Long Term Evolution) [23-25] .

La quatrième génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir de débit descendant de 100 Mbit/s et débit montant de 50 Mbit/s [23-25].

II.2.3 Réseaux par Satellites

Les liaisons satellites ont longtemps été considérées uniquement comme un complément des liaisons terrestres pour les longues distances et la diffusion des chaînes de télévision. Depuis plusieurs années, les communications par satellites ont progressivement conquis des marchés spécifiques en exploitant au mieux les caractéristiques des satellites : diffusion naturelle (broadcasting), couverture de vastes zones géographiques, déploiement rapide des services et disponibilité d'une large bande passante. Une évolution importante du marché s'est produite avec la fourniture directe de services aux utilisateurs finaux : réception à domicile de chaînes de télévision diffusées par satellites, téléphonie mobile, Internet par satellites et Les débits proposés commercialement par les fournisseurs sont de 1 à 4 Mbps et atteindront en 2011 10 Mbps [26] [27].

Comme dans la plupart des technologies, notamment l'ADSL, les débits sont asymétriques, par exemple 3.6 Mbps en descente (réception) pour le téléchargement et 512 Kbps en montée (émission) pour l'envoi de données [26] [27].

II.2.4 Réseaux par fibres optiques

II.2.4.1 FTTC (Fiber to the Curb)

La terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, sous-répartiteur, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau de terminal en cuivre (Figure 2.1) existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique [28] [29].

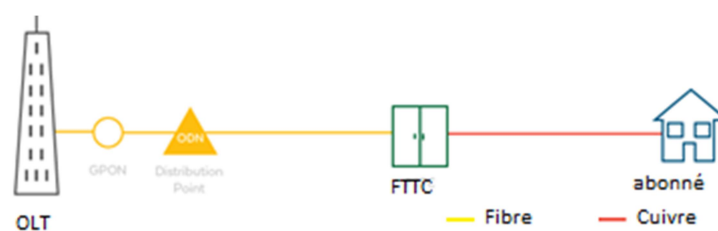


Figure 2.1: Architecture simple de réseau FTTC.

II.2.4.2 FTTB (Fiber to the Building)

La terminaison de réseau optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou une conduite de palier. Elle est partagée entre plusieurs abonnés comme montre la Figure 2.2 [28-29].

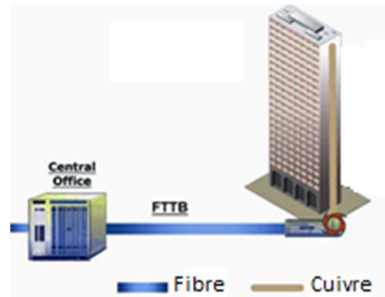


Figure 2.2: Architecture simple de réseau FTTB.

Puis, devant les limitations de ces technologies et l'augmentation rapide des besoins des usagers résidentiels combinant l'accès à plusieurs programmes 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 1.1.

Tableau 2.1: Évolution de la demande de débit [30].

Sens	Descendant		Montant
	Demande actuelle	Demande future	Demande future
Moteurs de capacité actuelle et 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
Jeux 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 video	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.

II.3 La Solution FTTH

FTTH est l'acronyme anglais de « Fiber To The Home » ce qui peut se traduire en français par « fibre jusqu'à domicile ». En 2010 des réseaux FTTH existent déjà en milieu urbain en Asie du Sud-Est et aux États-Unis, ainsi que dans quelques agglomérations européennes. En Algérie le FTTH est lancé officiellement 01 janvier 2018 par l'entreprise Algérie Télécom.

Cette technologie est un réseau physique qui permet l'accès à internet à très haut débit et consiste à raccorder un abonné par une fibre, qui est tirée à partir du nœud de raccordement optique NRO jusqu'à l'abonné [28] [29]. La Figure 2.3 compare les trois technologies ADSL, FTTC, FTTB et FTTH de point de vue pourcentage de cuivre utilisé.

L'architecture du réseau d'accès qui amène le câble de fibre optique directement vers l'emplacement du client à large bande passante offre le triple Play (voix, vidéo et données).

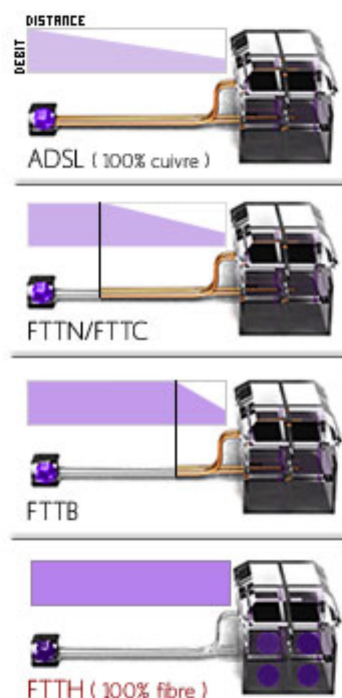


Figure 2.3: Comparaison entre FTTH et autres technologies [31].

II.3.1 Architectures

L'architecture de ce réseau se propose de déployer la fibre de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile même de l'utilisateur final. Elle ne fait appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné (pas de partage) et de sécurité de transfert (les données des différents utilisateurs sont séparées), mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur. Dans ce cas de figure, deux options sont principalement utilisées qui ne diffèrent que par l'architecture de la liaison terminale en fibre optique. Ci-après, on présentera ces options ainsi que les divers acronymes qui recouvrent parfois des notions identiques.

II.3.1.1 Architecture Ethernet point-à-point (P2P)

Ethernet (aussi connu sous le nom de *norme IEEE 802.3*) est une technologie de réseau local basé sur le principe que tous les utilisateurs d'un réseau Ethernet sont reliés à une même ligne de transmission. La fibre optique est véritablement déployée de bout en bout depuis les locaux de l'opérateur (OLT Optical Line Termination) ou depuis un nœud de son réseau (NRO nœud de raccordement optique) jusqu'au domicile de chacun des abonnés (Figure 2.4). Inconvénient pour les opérateurs, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant des fibres que d'abonnés, un handicap lorsqu'il y a peu de place dans les fourreaux ou dans les NRO déjà existants. Un NRO peut en effet recevoir plus de 10 000 lignes. Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés mais le plus souvent c'est Ethernet qui est choisi. Il permet des débits de 10 Gb/s avec le standard IEEE.802.3ah. Commercialement, les débits sont limités à des valeurs moindres, par exemple 100 Mb/s symétriques [20] [29].

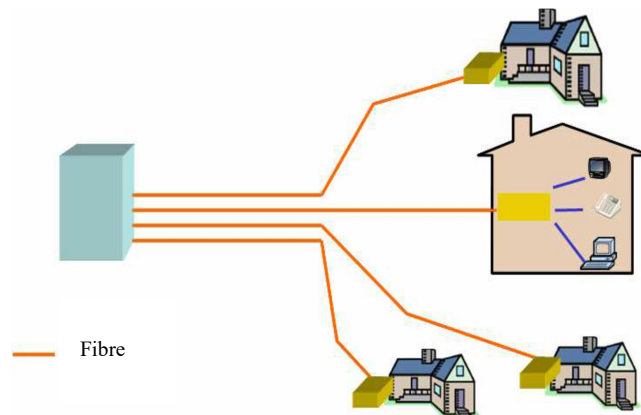


Figure 2.4 : L'architecture P2P [29].

II.3.1.2 Architecture point-multipoint (P2M) ou PON (Passive Optical Network)

Les inconvénients cités précédemment, ont favorisé le développement d'une seconde option, de type point à multipoint. Ce schéma consiste à globaliser la partie la plus importante du réseau (on utilise une même fibre optique commune d'une portée d'environ 20 km pour N abonnés), puis sur la partie terminale, à partir d'un coupleur optique à créer des dérives en fibre optique en direction de chacun des usagers finaux (ce qui revient alors sur cette partie terminale, à déployer une fibre par usager) comme montré à la Figure 2.5. Le flux lumineux dans la fibre optique principale est simplement rediffusé et « éclaire » simultanément chacune des fibres terminales : les données transmises sur la partie commune du réseau sont donc diffusées vers la totalité des équipements optiques terminaux chacun d'entre eux n'exploitant que les données qui concernent l'utilisateur qui y est raccordé [20-29].

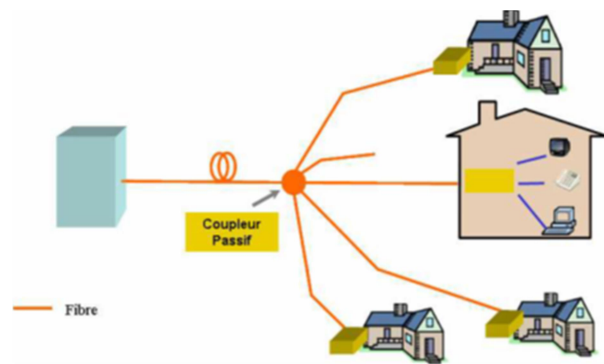


Figure 2.5 : L'architecture PON [29].

Ces coupleurs optiques sont des composants passifs de faible coût et d'encombrement réduit. Ce type de réseau est souvent désigné sous le terme de PON, le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique (par opposition à des réseaux ayant une architecture semblable mais qui seraient actifs (AON = Active Optical Network), car comportant des commutateurs électroniques qui nécessitent donc une alimentation électrique) [20] [29]. Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés : APON, BPON...mais les deux principaux sont : le GPON et le EPON.

a. APON (ATM Over PON)

L'ATM (.....) est un protocole de transport, apparu au début des années 1990, gérant le transport de la voix, de la vidéo aussi bien que celle des données en garantissant une bonne qualité de service. La technologie est aujourd'hui bien utilisée comme infrastructure de transport de données.

Dans le tronçon FTTH, la méthode de prédilection de nombreux opérateurs est le réseau optique passif ATM (APON) qu'ils ont normalisé. C'est simplement un système point à multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'ITU-T : G.983.1 et G.983.2. Cette normalisation s'effectue dans deux organismes, le premier est le FSAN et le deuxième est l'IEEE [28-30].

Avec l'APON, les données à très haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre. Cette capacité permet aux opérateurs d'offrir d'emblée de nouveaux services et met à leur disposition une infrastructure permettant d'ajouter de nouveaux services à mesure qu'ils apparaissent.

Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbit/s dans le sens descendant, 155 Mbit/s dans le sens montant)[28-30].

b. BPON (Broadband PON)

Le BPON est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (broadcast vidéo). C'est un réseau de distribution en fibre optique à large bande. En effet, les améliorations de l'APON incluent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde WDM (...) et une meilleure sécurité de données. Pour traduire cette évolution, ITU-T a officiellement changé le nom du système en PON à large bande, ou BPON.

Les BPON actuellement déployés opèrent en un des 3 modes downstream/upstream: 155Mb/s/155Mb/s, 622Mb/s/155 Mb/s ou 622Mb/s/622Mb/s [28][29][32].

c. EPON (Ethernet Passive Optical Network)

La communication en réseaux Ethernet se fait à l'aide d'un protocole appelé *CSMA/CD* (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ce qui signifie qu'il s'agit d'un protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse (Carrier Sense) et détection de collision. Lorsque les trames qui sont émises sur le PON sont de type Ethernet, on parle d'EPON. Les caractéristiques de ce réseau sont identiques à celles des autres PON : diffusion sur l'ensemble du réseau, où seule la station indiquée dans la trame Ethernet peut récupérer l'information véhiculée [20] [28] [29] [32].

Dans la technologie EPON, la trame provenant de l'OLT est diffusée vers l'ensemble des ONT (64 au maximum). L'ONT (...) qui reconnaît son adresse récupère la trame Ethernet, dont la taille peut atteindre une longueur de 1 518 octets. Dans le sens montant, les trames Ethernet sont émises suivant une technologie TDM (Time Division Multiplexing) la solution classique utilisée dans Ethernet, CSMA/CD, étant inadaptée aux vitesses des EPON. Le multiplexage dans le sens descendant s'exerce sur des slots de longueur constante de telle sorte que les trames Ethernet doivent être divisées en segments de longueur constante, à l'exception de la dernière partie, qui peut être inférieure à la longueur du slot. Une synchronisation est indispensable pour qu'il n'y ait pas de collision entre les slots. Cette synchronisation s'effectue toutes les 2 ms, correspondant à la longueur de la trame physique qui comporte l'ensemble des slots des ONUs [20] [28] [29] [32].

Le niveau physique utilise deux ou trois longueurs d'onde. Avec deux longueurs d'onde, il est possible d'utiliser les canaux montants et descendants. La longueur du réseau dans ce cas atteint une vingtaine de kilomètres avec 32 étoiles passives. Avec trois longueurs d'onde, il est possible d'ajouter une voie descendante pour diffuser des canaux de télévision [20] [28] [29] [32].

d. GPON

Le GPON, ou gigabit PON, est un protocole de 2^{ème} génération des PON édité par ITU-T comme norme de recommandation G.984. Le protocole soutient plusieurs vitesses descendantes et ascendantes, et une vitesse typique de 2,5 Gbit/s en aval et 1.2 Mbit/s en amont [28-29].

Le GPON est basé sur un protocole appelé (GFP Generic Framing Protocol). Le but est d'éliminer ou réduire de manière significative les issues autour de l'ATM. Là où l'ATM a présenté des inefficacités en segmentant tout dans des cellules de 48/53 octets, GFP envoie des trames de longueur variable avec jusqu'à 65.535 octets dans une trame. Ceci lui permet de porter des trames d'Ethernet beaucoup plus efficacement que APON/BPON et aussi efficace que EPON. La distance de déploiement est de 60 km avec 20 km maximum entre les ONTs, ce qui correspond à trois fois plus que le déploiement possible avec EPON et BPON [20] [28] [29] [32].

II.3.2 Technologies d'accès multiple associés

Dans le sens descendant (de l'OLT à l'ONT), l'OLT possède la totalité de la bande passante disponible à tout moment. Dans le sens montant les données provenant de multiples ONT convergent tous vers le même OLT et les propriétés des coupleurs (ou combineurs) passifs sont telles que les ONU ne peuvent se découvrir les uns les autres. De ce fait les flux de données transmis simultanément de ces derniers peuvent se heurter. Ainsi, dans le sens montant, le réseau doit user d'un certain mécanisme pour éviter la collision des données et partager la capacité et les ressources du canal de la fibre de distribution.

Un moyen de se faire est d'utiliser la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexe Figure 2.6), dans lequel chaque ONT opère d'une longueur d'onde différente. L'idée est d'injecter plusieurs trains de signaux numériques de manière simultanée et dans une même fibre. Chaque signal se comporte donc comme s'il était véhiculé par une seule fibre et de ce fait peut être de format ou de débits différents. C'est d'ailleurs pour cela que ce type de multiplexage est une technologie de transport indépendante des protocoles utilisés [28].

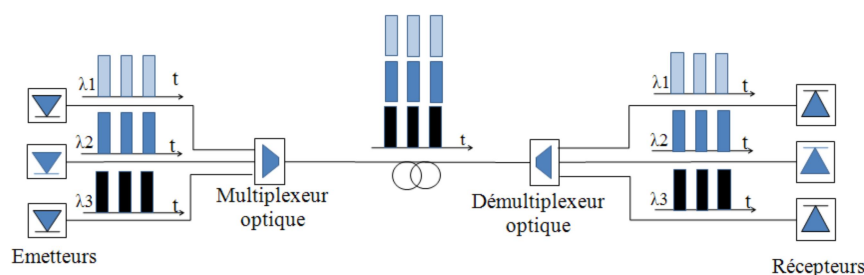


Figure 2.6 : Multiplexage en longueur d'onde [28].

Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller de 10 à 200 Gbits/s. En effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal. Bien que cette technique reste une solution simple avec un coût assez prohibitif pour un réseau d'accès, elle se heurte cependant à de sérieux inconvénients comme la nécessité d'avoir des récepteurs ajustable (pour éviter une multitude de récepteur opérant chacun à une longueur d'onde spécifique) [28] [32].

Une autre approche plus modeste est d'utiliser le TDM (Time Division Multiplexe) où chaque ONT transmet dans un intervalle de temps nommé time slot. Le principe est de diviser le temps de transmission en petites intervalles pendant lequel chaque ONT transfère ses données vers l'OLT. A la différence de la technologie WDM où les trames sont transmises simultanément sur le même média, dans cette approche les trames sont placés les unes après les autres un peu à la manière d'un train suivi de plusieurs wagons [28].

II.3.3 Composants du réseau FTTH

Tous les réseaux FTTH considérés comportent deux composants actifs [10]:

- l'OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », localisé au NA (Nœud d'Accès) qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un Switch ou un routeur,
- l'ONT « Optical Network Terminaison » ou « Terminaison de Réseau Optique » (également appelée ONT « Optical Network Terminaison » dans le cas d'une terminaison multi-utilisateurs dans une architecture **PON**), situé chez l'abonné et qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un simple convertisseur de media.

Le PON intègre un troisième composant qui est passif : le « splitter » ou coupleur/découpleur, situé au NA et/ou au nœud de flexibilité, qui permet d'effectuer le partage entre les abonnés.

➤ OLT (Optical Line Terminal) :

L'OLT est installé dans le NA (Nœud d'Accès). C'est un équipement actif qui transforme le signal électrique venant du réseau de l'opérateur, en signal optique en direction des ONT usagers. Il inclut :

- la gestion du protocole point à multipoint,
- les fonctions d'authentification des ONTs et des usagers du PON,
- la gestion de la qualité par l'allocation dynamique de la bande passante disponible.

Un OLT est généralement un châssis rackable dans lequel sont insérées des cartes d'interfaces permettant de connecter (Figure 2.7), d'une part le réseau cœur de l'opérateur côté amont, d'autre part le réseau d'accès fibres en direction des abonnés, côté aval. Ce châssis est généralement redondé afin de se prémunir d'éventuelles pannes électriques [28].



Figure 2.7 : exemple d'OLT industriel [33].

Il permet généralement d'intégrer des cartes d'accès qui peuvent être insérées au fur et à mesure des besoins. Chacune d'entre elles permet de connecter une ou plusieurs grappes d'utilisateurs (point à point ou PON), à partir d'un débit de 1 ou 2 Gbit/s selon la technologie.

Certains châssis possèdent une fonction de commutation (Switch) interne qui permet d'exécuter une première agrégation du débit (pour les châssis existants cette fonction suppose généralement un niveau de contention non nul).

Tableau 1.1: Caractéristiques type d'un OLT PON industriel [33].

Nombre de cartes	Nombre de PON par Carte	Nombre de Clients par PON	Nombre d'abonnés Potentiels
16	1	32	512
Longueur	Largeur	Hauteur	Poids
505 mm	482 mm	177 mm	20 Kg

➤ Coupleurs optiques ou splitter (Spécifiques au PON)

Les coupleurs sont des éléments passifs qui permettent de partager le signal optique vers N ONT dans le sens descendant et d'agréger N signaux optiques en un seul signal dans le sens montant (Figure 2.8). N peut varier de 2 à 64 dans un réseau PON. Une configuration classique est d'utiliser deux niveaux de coupleurs 1 vers 4 ou 1 vers 8 ; c'est-à dire que le signal est divisé deux fois en 4 ou 8 branches [28].

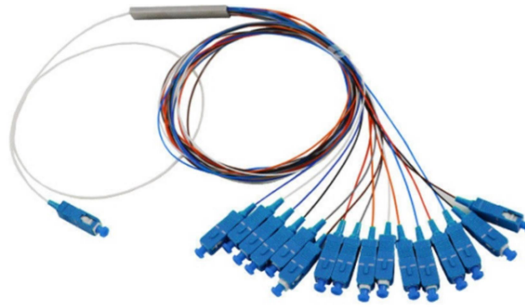


Figure 2.8 : Exemple de coupleurs industriels [34].

➤ **ONT (Optical Network Terminaison)**

L'ONT est l'équipement actif installé chez l'abonné qui permet de transformer le signal optique venant de l'OLT en signal électrique. Une « box » pourra lui être connectée pour la livraison des services triple Play. Il réalise les fonctions relatives à Qualité de Service, en liaison avec l'OLT. Dans le cas où ce boîtier doit servir une fonction vitale (alarme, numéro d'urgence), son alimentation électrique doit être secourue [28].



Figure 2.9 : exemple d'ONT industriel [33].

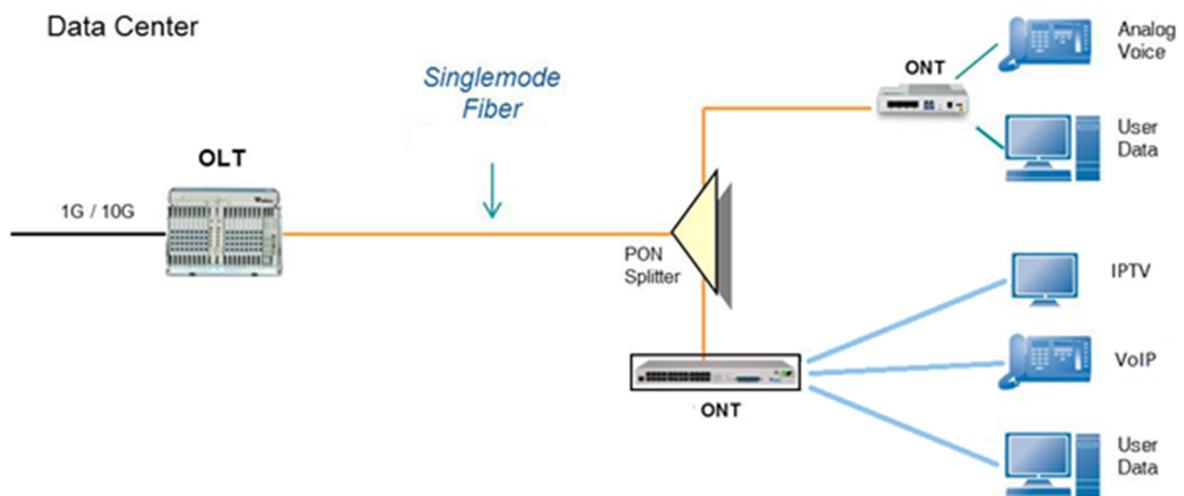


Figure 2.10 : Schéma global d'un réseau FTTH.

II.4 Cas du projet de la Résidence La Perle De La Méditerranée

Une vue de dessus du projet de la Résidence La Perle De La Méditerranée est présentée sur la Figure 2.11.

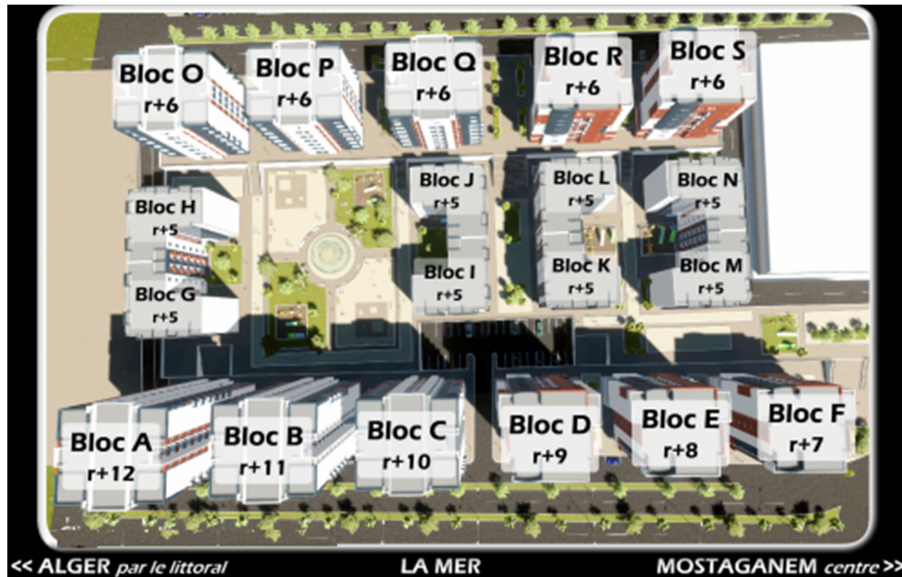


Figure 2.11 : Résidence La Perle De La Méditerranée [35].

Pour ce projet, on utilise l'architecture point-multipoint avec GPON de norme G.984. Chaque bloc est approvisionné par un câble de 12 fibres ou 24 fibres de type G.657 et chaque fibre peut supporter 8 utilisateurs. Les conduites des fibres sont toutes souterraines. Les chambres sont nécessaires pour le tirage et la distribution des fibres.

Suite à la multiplication des utilisations simultanées en un même lieu et à l'augmentation du nombre d'équipements connectés (objets multimédia et autres machines intelligentes : appareils ménagers, capteurs, télévisions connectées, etc.), le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné apportera, pour ce projet, de manière pérenne le très haut débit nécessaire aux nouveaux usages.

Le FTTH de la Résidence La Perle De La Méditerranée permet d'obtenir un débit binaire commercialisé pouvant atteindre les 100 Mbit/s en «downlink » avec 508 abonnés, sachant que la longévité du réseau est estimée à plus de 20 ans.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a introduit quelques notions fondamentales sur les réseaux d'accès multiples. En premier lieu, on a abordé les principales technologies avant le FTTH (ADSL, 4G, 3G, etc.), puis, en deuxième lieu, on s'intéressait au réseau FTTH qui constitue la dernière partie du système par fibre optique chez l'utilisateur ainsi que les technologies utilisées pour ce déploiement. Concernant les topologies, on distingue alors le Point-à-Point du Point-à-Multipoint ou encore différentes techniques de multiplexage : temporel (TDM) ou en longueur d'onde (WDM). Enfin, on a abordé les critères de la mise en place du réseau FTTH à la Résidence La Perle De La Méditerranée ; le site sujet de notre stage pratique.

Le chapitre suivant introduit les critères de la qualité de service permettant d'inspecter les performances du réseau FTTH en relation avec le cahier de charge exigé pour ce type de réseaux.

Chapitre III

Qualité de service (QoS)

III.1 Introduction

La transmission d'information élémentaire entre deux équipements fait intervenir de plusieurs autres équipements et provoquer la transmission de signaux de nature diverse sur des supports également divers. Le grand succès des télécoms est la transparence : L'utilisateur final ne connaît pas la nature du support transmis utilisé, il n'est soucie seulement de la *qualité du service* qui lui est offert et exprime des exigences dans ce domaine. La qualité de service est souvent appelée QoS (Quality of Service).

Un réseau mal exploité engendre une perte irréfutable au niveau d'un opérateur de réseau de télécommunication. Les buts pour un opérateur de télécommunication seraient donc d'avoir le maximum d'abonnés possible dans le but de faire monter le chiffre d'affaires de l'entreprise. Face à ces buts, il faut donc se focaliser sur les demandes des clients et pour cela, il faut s'attendre à l'amélioration du réseau comme par exemple l'utilisation de nouvelles technologies. En outre, il faut aussi tenir compte de la Qualité de Service à savoir la latence, le débit, ... [36].

Nous allons, dans ce chapitre, présenter des généralités sur la qualité de service, en décrivant les domaines et les modèles qui lui ont associés.

III.2 Généralité sur la qualité de service

IV.2.1 Définition

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

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, ...[36-38].

La QoS regroupe un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur les réseaux [38].

III.2.2 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.

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

III.2.3 Critères de la qualité de service

Comme les abonnés du réseau sont de plus en plus intéressés aux applications multimédia, tel que les services utilisant les voix-IP ou la vidéo à la demande, le réseau se doit être capable de les leur offrir. A part les applications multimédia, il y a les applications classiques à assurer. Les applications multimédia nécessitent un niveau minimal de qualité de service qui pousse les opérateurs de réseau à assurer une bonne partie de son réseau sur les paramètres suivantes : bande passante, délai, gigue ou le taux de pertes de paquets [39] [40].

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

- **Débit** : parfois appelé bande passante, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps (b/s). Les solutions de QoS permettent de gérer la bande passante optimale disponible en fonction des besoins des applications.
- **Le délai de transport** : Le délai de transit connu aussi sous le nom de «La latence» est le délai de traversé du réseau, d'un bout à l'autre par un paquet. Suivant la nature des applications qui transitent dans le réseau, le degré d'exigences sont différentes pour les latences : La latence est faible pour les messageries électroniques, ou pour les fichiers échangés. Elle est forte quand il s'agit de faire transiter de données « voix » sur le réseau. A part cela elle est fonction :
 1. Moyen de transmission (temps de propagation) : la fibre optique est plus rapide qu'un autre support de transmission.
 2. Nombre d'équipements réseau traverse (temps de traitement) : chaque équipement traversé applique un traitement au paquet reçue nécessite augmentation du délai.
 3. La taille des paquets : correspond au temps nécessaire pour écouler les paquets sur le réseau bit par bit.
- **Gigue** : Différence de temps de transfert pour des communications successives entre l'émetteur et le destinataire

Souvent dans le cas de la mesure de la gigue, on se réfère à la variation instantanée du délai de transmission des paquets successifs. Par exemples si l'on suppose que les paquets sont émis toutes les 25 ms, et que le second paquet est reçu 30 ms après le premier paquet, la gigue instantané vaut -5 ms :

c'est la dispersion, mais si le second paquet est reçu 10 ms après le premier, la gigue instantané vaut +15 ms et on parle par-là d'agglutination.

Pour les applications multimédia utilisant la voix sur IP, l'influence de la gigue sur les transmissions peut être supprimée en mettant en place une mémoire tampon du côté du récepteur dont le rôle serait de détecter au début de la restitution des flux de données. Dans le cas général, la mise en œuvre de cette solution s'applique pour la conversation téléphonique ou vidéophonique.

- **Taux de perte :** c'est le rapport entre le nombre de bits dont la valeur est modifiée par rapport au nombre total de bits d'information émis.

III.2.4 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 :

- 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 3.1 suivant résume les exigences de quelques applications en termes de QoS.

Tableau 3.1 : les exigences de quelques applications en termes de QoS [41].

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

III.2.5 Gestion de la qualité de service

Quand on parle de réseau de communication de nos jours, la tendance à la migration vers le tout-IP est partout. On peut prendre comme exemple le cas des réseaux locaux dans les entreprises, les réseaux des opérateurs télécoms, les réseaux cœurs des fournisseurs d'accès sans parler de l'internet qui était le réseau de communication et de partage ayant vue la première application du protocole IP et maintenant presque tous les réseaux l'envie [36-44].

Vers la fin des années 1980, l'IETF ou Internet Engineering Task Force (c'est une organisation travaillant spécialement sur tout ce qui concerne le domaine du réseau et assurant tout particulièrement les standards d'Internet) a lancé un projet pour pallier cette faiblesse de priorité de paquet du protocole IP. Dans le projet en question, il y a eu deux groupes de travail qui ont mis au point deux modèles de gestion de la qualité de service dont :

- Le modèle INTSERV.
- Le modèle DIFFSERV.

III.2.5.1 Le modèle IntServ (Integrated services)

Cette méthode consiste à réserver toutes les ressources nécessaires au niveau de tous les nœuds du réseau avant de faire transiter les flux. Cette approche requiert l'utilisation du protocole RSVP (ressource reservation protocol), cela induit la nécessité d'une couche de contrôle d'admission supplémentaire afin d'assurer que la bande passante requise soit bien disponible à l'instant T où l'on souhaiterait faire transiter les flux d'information jugé pertinent. Pour le modèle IntServ, les routeurs ont un rôle particulier et bien important pour que l'acheminement des informations se passe bien. Ce rôle particulier est que chaque routeur doit maintenir des tables de routage dans le but de mémoriser l'état de chaque flux et des allocations de ressource [36-44].

III.2.5.2 Le modèle DiffServ (Differentiated Services)

Ce modèle se diffère vis-à-vis du premier c'est-à-dire l'IntServ par le fait que celui-ci opère au niveau du paquet à transmettre alors que le premier agit au niveau des ressources du réseau. Le DiffServ est donc un modèle actionnant sur l'information à transmettre. Il consiste pour cela à affecter des priorités au niveau d'un champ de l'entête IP appelé DSCP pour DiffServ Control Protocol. L'identification et le marquage du paquet se fait en entrée du réseau. Ensuite, quand le paquet ayant reçu les commandes de priorité en son sein traverse le réseau, les nœuds et le cœur même du réseau se contentent d'appliquer et suivre les instructions ou politiques de gestion de flux contenus dans le paquet en fonction des priorités. Cette approche offre un déploiement et une exploitation simplifiée du

réseau. Le Differentiated Services est un processus permettant la gestion de la qualité de services sur un réseau IP [36-44].

III.3 FTTH et la qualité de service

Dans les réseaux par fibre optique spécifiquement PON, la QoS est gérée de façon différente entre le sens montant et descendant. Dans le sens descendant, comme chaque carte G-PON est reliée au Switch de périphérie par une interface Gigabit et que le débit partagé sur le PON est de 2.5 Gb/s, aucun mécanisme de Qualité de Service n'est nécessaire sur l'OLT. Ce sont les ONT qui mettent en œuvre la qualité de service en affectant aux différents flux entrant une des quatre files d'attente dont elles disposent. Cette affectation se fait en fonction de la valeur du champ TOS/DSCP. La répartition des flux dans les différentes files d'attente se fait en fonction d'une table de correspondance TOS/DSCP-File d'attente. Tout flux qui entre dans une file d'attente passe obligatoirement par un module paramétrable de limitation du débit de type Token Bucket (*TB*). Un algorithme de vidage des queues qui consiste à vider une queue prioritaire avant de procéder au vidage de la queue suivante permet d'avoir la garantie qu'un flux/service sera strictement prioritaire sur un autre. Dans le sens montant, le mécanisme de gestion des flux dans les ONT est identique au sens descendant. Au niveau de l'OLT, la gestion de la qualité de service est réalisée par le mécanisme de DBA. La prise en compte de la qualité de service dans les réseaux PON nécessite que les flux qui y entrent soient taggés avec des valeurs adéquates (TOS/DSCP) [37].

III.4 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.

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 vidéoconférence, 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.

III.4.1 Présentation du triple Play

Le triple Play est une offre combinant à la fois voix, vidéo et data. L'expression triple play n'est qu'un terme marketing qui désigne la prestation sur les trois services : transfert de données haut

débit, télévisions (Vidéo à la demande VOD ou broadcaste régulier) et la téléphonie, tout ceci sur une seule connexion à large bande. L'architecture générale de cette offre est représentée par la Figure 3.1.

Un système triple Play basique se compose des fournisseurs de services (vidéo, liaison vers RTC ou réseau téléphonique commuté et un fournisseur d'accès internet), d'un réseau cœur, du réseau d'accès et les équipements au niveau de l'utilisateur (ONT, step-to-box...). Chaque élément de cette architecture joue un rôle important dans l'approvisionnement de ces services à travers le réseau.

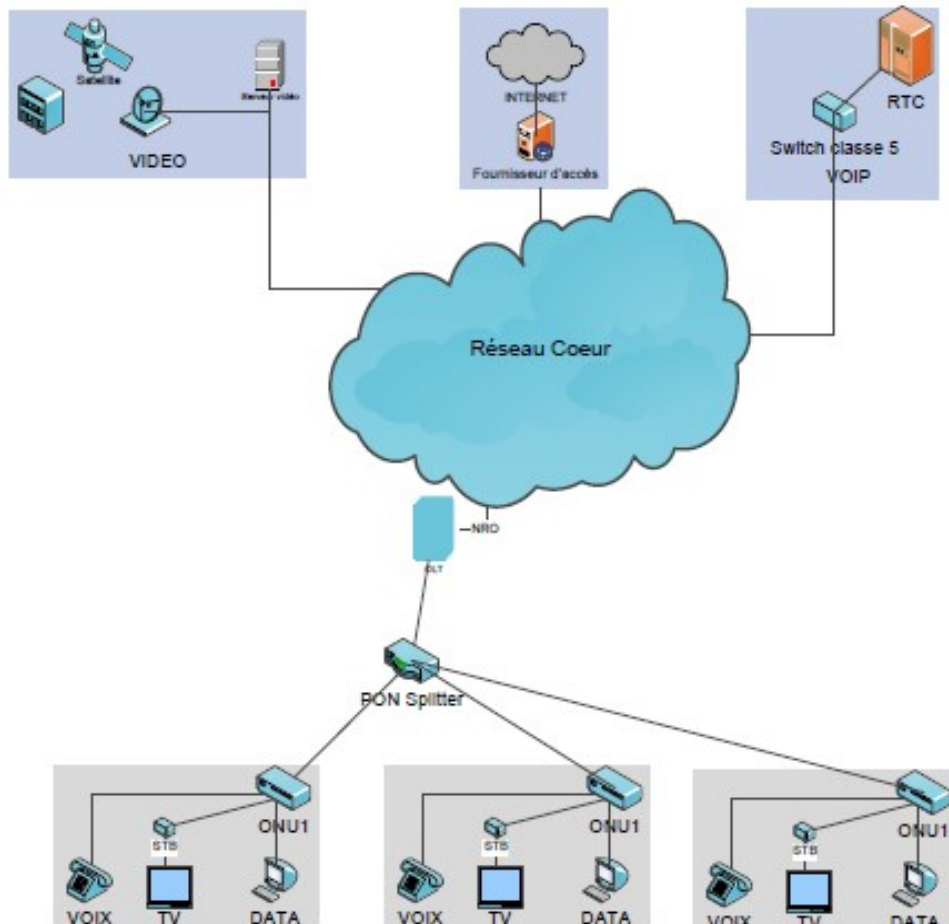


Figure 3.1 : Architecture de l'offre triple Play

Pour la vidéo, le *Head-end* est l'équipement placé au niveau des fournisseurs de ce service utilisé en tant que source des contenus vidéo. Il renferme tous les flux provenant des stations d'émission TV, des serveurs VOD (Vidéo on Demande) et plusieurs autres. Puis ces flux sont encapsulés dans des paquets IP.

Outres les équipements réseaux (ONTs), un appareil nommé step-to-box (STB) est implanté chez l'utilisateur pour lui permettre de visualiser les flux vidéos sur son téléviseur. La principale mission de cet outil est tout d'abord de débrouiller le signal, ensuite il est chargé de désencapsuler le paquet IP pour en extraire le flux MPEG et de le délivrer au décodeur qui décompresse le signal et l'envoi vers le poste TV. Lorsque l'utilisateur sollicite un programme IPTV en particulier une des deux

choses suivante se présente : si le programme est en multicast (c'est-à-dire envoyé à plusieurs abonnés simultanément), le STB effectue une requête pour avoir une copie du flux multicast qui doit se trouver dans le réseau, si le signal est en unicast, la requête doit parvenir directement jusqu'au Head-end.

Le IP phone figure également comme un équipement spécifique du service, ces postes téléphoniques spécialisés ressemblent à des postes ordinaires, cependant à la place d'un connecteur RJ-11 ils ont des prises Ethernet RJ-45.

III.4.1.1 Internet

- **Architecture**

L'internet est assurément le service le plus simple à réaliser. Dans le cas de l'GPON, aucun équipement intermédiaire n'est interposé. Dans sa forme la plus simple, l'architecture du système délivrant ce type de service est schématisée dans la Figure 3.3.

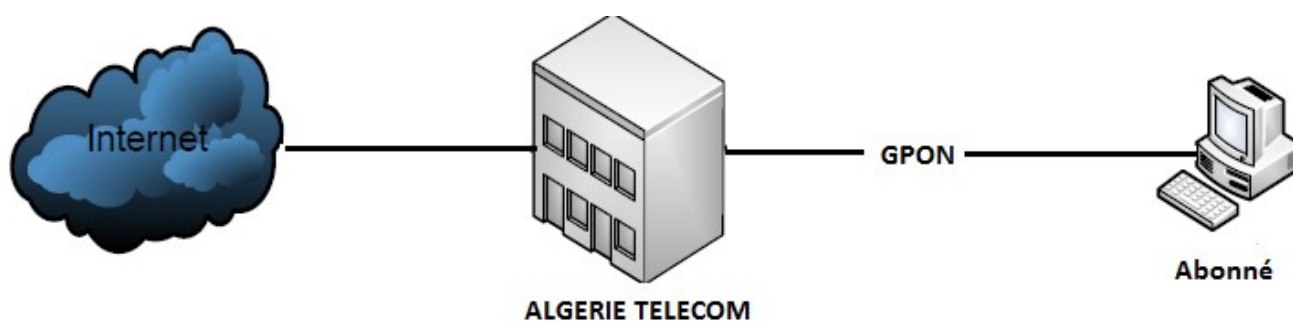


Figure 3.2 : Schéma simplifié de la connexion internet sur l'GPON

III.4.1.2 VOIP

- **Architecture et principe**

De l'anglais Voice over Internet Protocol (VoIP), la voix sur IP est une technique de communication qui offre la possibilité de transmettre des appels vocaux via Internet et des réseaux de données basés sur IP. Elle permet d'intégrer la voix aux données transmises par paquets sur n'importe quel réseau utilisant le protocole IP.

- **Avantages du VOIP**

La VoIP offre de nombreuses nouvelles possibilités aux opérateurs et utilisateurs qui bénéficient d'un réseau basé sur IP. Les avantages sont diverses mais la plus marquée reste la réduction des coûts : en déplaçant le trafic voix RTC vers le réseau privé WAN/IP, les entreprises peuvent réduire sensiblement certains coûts de communications. Réductions importantes mises en évidence

pour des communications internationales, ces réductions deviennent encore plus intéressantes dans la mutualisation voix/données du réseau IP inter-sites (WAN).

III.4.1.3 Télévision sur IP (TVIP)

La transmission de vidéo est assurément un des points les plus importants dans la mise en œuvre d'un réseau GPON. Ce service, bien qu'il ne soit pas aussi exigeant que le service voix en termes de gigue et de latence, est assez gourmand en bande passante.

- **Architecture et principe**

L'IPTV est un système qui permet de délivrer des contenus vidéo aux abonnés à travers des infrastructures IP. Au départ du fournisseur de ce service la vidéo est d'abord acquise, traitée et enfin sécurisée avant de passer dans le réseau. Un schéma du système IPTV simple est représenté par la Figure 3.4.

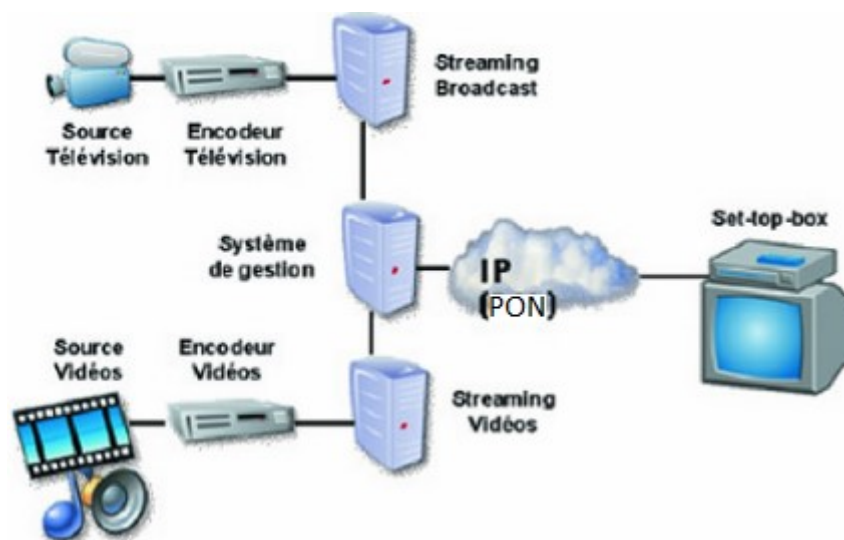


Figure 3.3 : Schéma explicatif du système IPTV

- **Les avantages du TVIP**

Les avantages de disposer d'un TVIP sont nombreuses. En comparaison avec la télévision classique, la TVIP est entièrement numérique et peut de ce fait transiter sur n'importe quel réseau IP existant. En outre, les programmes peuvent être stockés ce qui fournit plus de confort pour les utilisateurs qui privilégient les moments télé.

III.4.2 Evolution du service triple Play : vers le quad-Play

La fibre est un support évolutif c'est-à-dire qu'il peut s'adapter aux changements initiés par le progrès. La structure des réseaux de type GPON et ses ressources sont telles que d'autres applications beaucoup plus gourmandes en bande passante peut y être implémenté. Outre les trois services de l'offre triple Play, un quatrième service qui est l'audio haute définition pouvant être intégré ce qui

constitue l'offre quad-play. D'autres services comme le TV 3D à la maison sont encore en phases expérimentales sur le réseau GPON

III.5 Conclusion

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

Pour d'améliorer la qualité de service et d'évolution des usages résidentiels Algérie Telecom installer le réseau FTTH (GPON) dans la résidence « La Perle De La Méditerranée » au début d'année 2018, Ce nouveau réseau permet de transmettre et de recevoir des volumes de données très importants, déport de volume important de données en ligne, transfert de fichiers haute définition ou la possibilité d'accéder à plusieurs types d'applications depuis un même point d'accès.

Dans le chapitre qui suit, nous présentons la simulation de ce réseau, l'installation de leur équipement, les résultats de test les critères de la qualité de service et la comparaison de ces résultats avec les autres technologies.

Etude pratique

Chapitre IV

**Simulation, mise en service et test du QoS du réseau FTTH
installé à Kharouba**

IV.1 Introduction

Après l'étude théorique résumée dans les trois chapitres précédents, nous entamons dans ce chapitre la partie pratique de notre travail. Pour se faire, nous commençons par la simulation de réseau FTTH (GPON) afin d'évaluer ses performances, puis, en second lieu, nous consacrons une description détaillée de l'installation et la mise en service de ce réseau dans la résidence « La Perle De La Méditerranée » par Algérie Télécom. Enfin, nous introduisons les résultats de mesure des paramètres de la qualité de service de ce réseau et nous les comparons avec les autres technologies commercialisées dans le marché algérien à savoir ADSL, 3G et 4G. Ces travaux étaient effectués, pour rappel, dans le cadre de projet de fin d'études en but d'obtention de master académique en systèmes de télécommunications mais aussi de stage pratique de durée de 04 mois dans l'entreprise Algérie Télécom.

IV.2 Simulation de réseau FTTH (GPON)

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.

Cette partie sera divisée en trois phases. La première phase portera sur le simulateur OptiSystem et les critères déterminant la qualité d'une transmission. La deuxième phase concerne la simulation du réseau FTTH (GPON) contenant 16 abonnés dans le sens descendant et la dernière phase s'occupe de la simulation de ce réseau dans le sens montant.

IV.2.1 Présentation du logiciel OptiSystem

L'OptiSystem est une application complète pour établir des simulations et des tests de montages optiques. En effet, il comprend une bibliothèque riche de composants, tels que les fibres, des appareillages de mesures paramétrables et une interface d'utilisateur graphique complète. Il contient une fenêtre principale répartie en plusieurs parties (Figure 4.1) :

Bibliothèque: Une base de données de divers composants.

Editeur du layout: Permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.

Projet en cours: Permet la visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

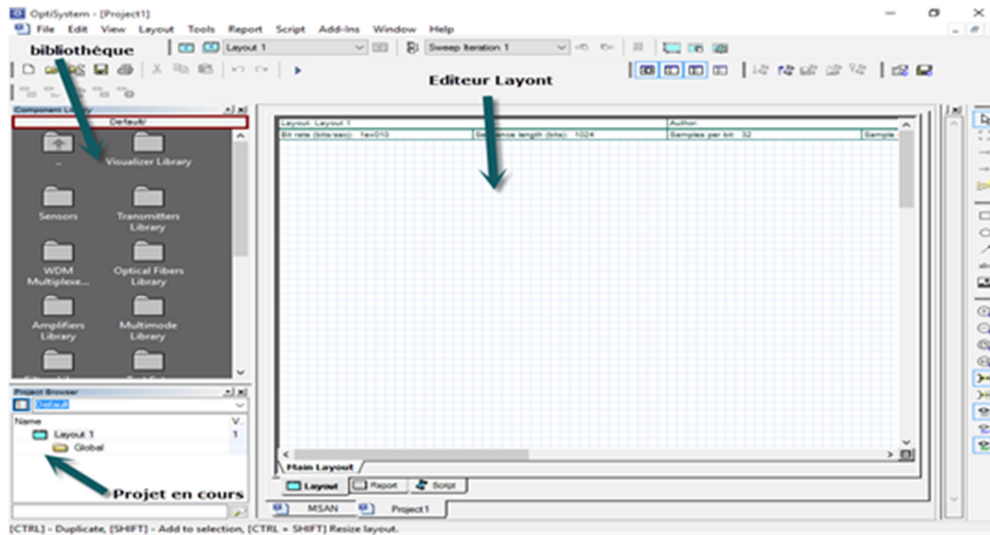


Figure 4.1 : Les fenêtres de l’OptiSystem

La bibliothèque (Figure 4.2) contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs: entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres,..

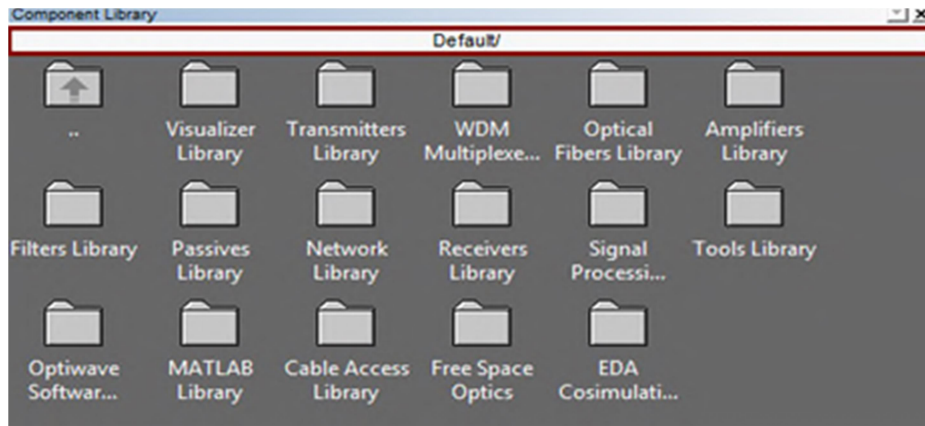


Figure 4.2 : La bibliothèque de l’OptiSystem

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 4.3.

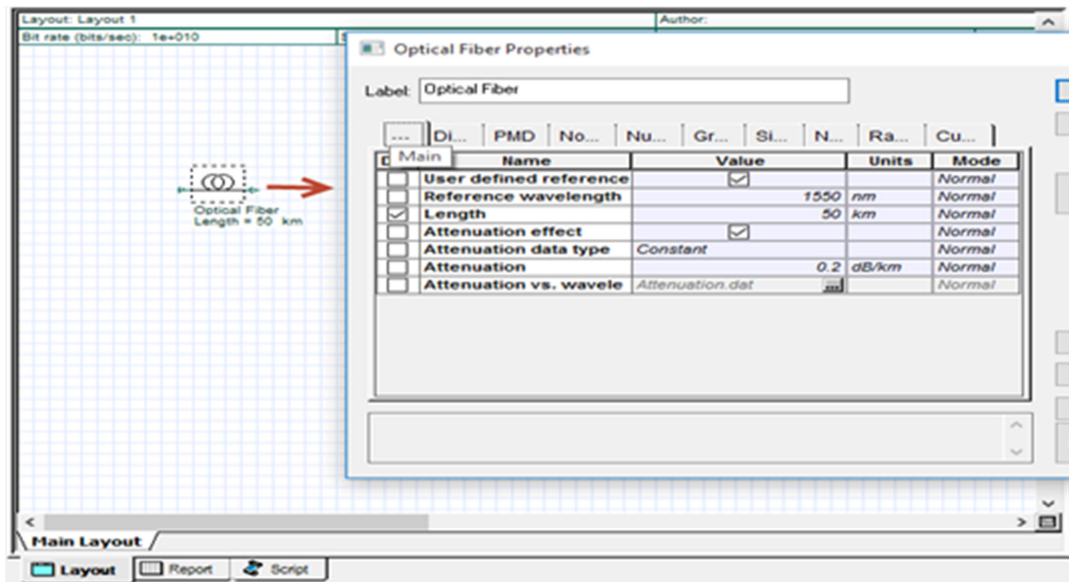
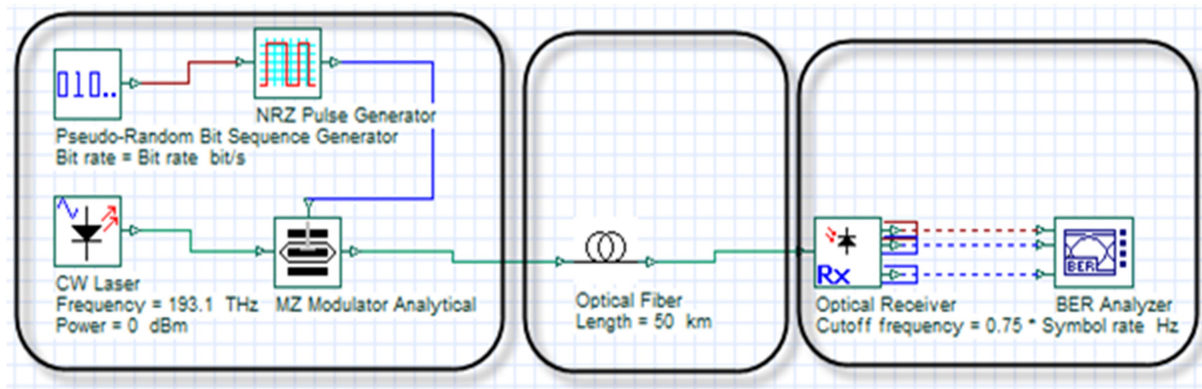


Figure 4.3: Les paramètres de la fibre bidirectionnelle utilisée.

IV.2.1.1 Conception d'une liaison optique

Un système de communication optique est constitué d'un (Figure 4.4):

- émetteur
- canal de communication
- récepteur



Émetteur Canal de communication Récepteur

Figure 4.4 : Les composantes d'un système de communication optique.

IV.2.1.2 Avantages du logiciel OptiSystem

Les avantages du logiciel OptiSystem sont:

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

IV.2.2 Critères de qualité d'une transmission

Pour définir la qualité d'une transmission optique, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité d'un signal transmis : le taux d'erreur binaire, le facteur de qualité et le diagramme de l'œil. Ces trois critères sont décrits dans la suite [45].

IV.2.2.1 Le taux d'erreur binaire

Le taux d'erreur binaire (TEB) ou en anglais bit error rate (BER) est le pourcentage de bits qui ont des erreurs par rapport au nombre total de bits reçus dans une transmission. Par exemple, un BER de 10^{-6} signifie qu'un bit était erroné sur un million de bits transmis.

$$\text{TEB} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombres de bits transmis}} \quad (4.1)$$

Les facteurs affectant le BER comprennent le bruit, les interférences, la distorsion, la synchronisation des bits, l'atténuation, etc. Dans les applications de télécommunication le minimum BER acceptable est 10^{-9} [46].

IV.2.2.2 Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil montre la superposition de tous les bits. Il permet de vérifier expérimentalement l'effet d'une limitation de la bande passante, mais il permet aussi de mesurer plus généralement la qualité du signal reçu. Plus l'aire centrale de ce diagramme est plus grande, plus la qualité du signal reçu est meilleure. La Figure 4.5 donne un exemple d'un diagramme de l'œil.

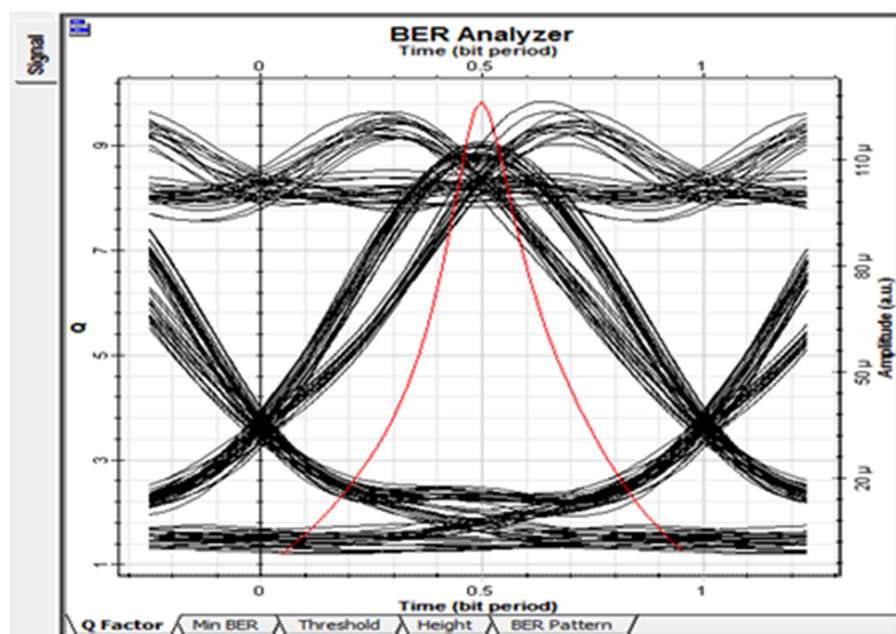


Figure 4.5: Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil permet d'avoir une idée de la qualité du signal en termes de bruit, d'amplitude, d'interférences entre symboles, de gigue temporelle [45].

IV.2.2.3 Facteur de qualité

Le facteur de qualité représente la perte d'énergie du signal. Ce facteur devrait être maximisé pour avoir la moindre perte d'énergie. Plus le facteur est élevé, plus la bande passante est petite. Il est défini par [46]:

$$Q = \frac{(I_1 - I_0)}{(\alpha_1 + \alpha_0)} \quad (4.2)$$

Où I_1 et I_2 sont les tensions moyennes des symboles «1» et «0» à l'instant de décision, et α_1 et α_2 les variances des probabilités de puissance des symboles «1» et «0». Dans les systèmes de télécommunication, le facteur de qualité Q acceptable est supérieur ou égale à 6 [45].

IV.2.3 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 une seule fibre optique pour chaque liaison avec les longueurs d'onde (1490 nm) pour le sens descendant (l'OLT vers les ONTs) et 1310 nm pour le sens montant (les ONT vers l'OLT).

IV.2.3.1 Sens descendant

Dans le sens descendant, le signal optique se déplace à partir de l'émetteur OLT et traverse une fibre optique, puis se divise par huit à la sortie de splitter (1:8) de niveau un et chaque sous signal est divisé une deuxième fois par le splitter (1:8) de niveau deux. Ceci ramène à une configuration contenant 64 récepteurs ONT. Dans la simulation, on a considéré 16 ONT (abonnés).

IV.2.3.1.1 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: 2500 Mbps,
 - Atténuation d'OLT : 3 dB
 - Longueur d'onde : 1490 nm

- Le canal de transmission sera modélisé avec les paramètres suivants :
 - Atténuation de fibre : 0.28 dB/km
 - Atténuation de connecteur : 0.2 dB
 - Atténuation de splitter : 9.3 dB

➤ **Le montage**

La Figure 4.6 résume les différents composants utilisés dans la simulation de réseau FTTH type GPON en sens descendant.

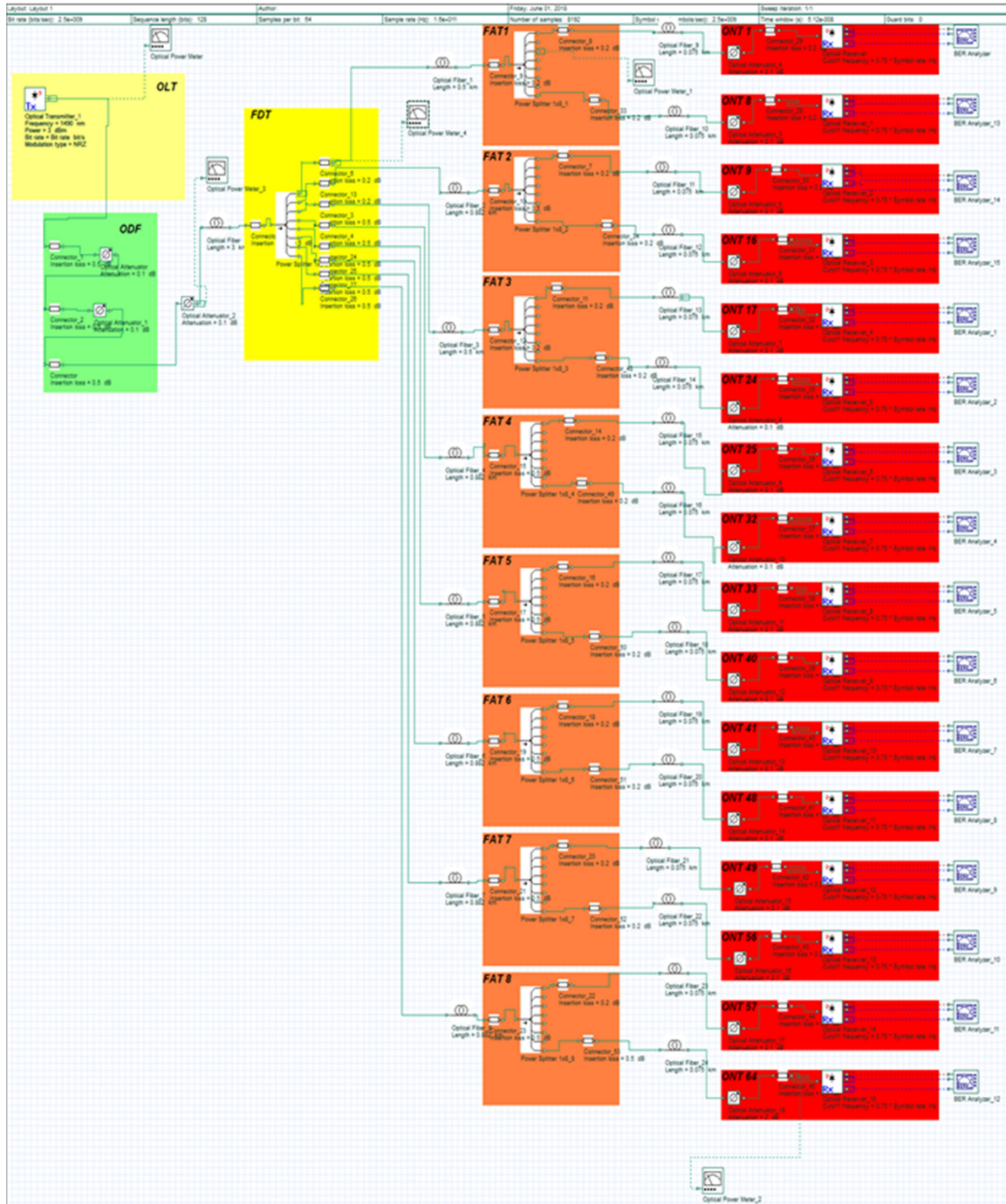


Figure 4.6: Simulation de GPON (sens descendant).

IV.2.3.1.2 Les résultats de simulation

Pour étudier la qualité de transmission d'une liaison, plusieurs paramètres sont importants à savoir : le facteur de qualité (Q), le taux d'erreur binaire (BER) et l'atténuation. Le bloc 'BER Analyzer' nous permet de calculer le seuil de décision, évaluer le BER et le facteur de qualité Q. En plus, il nous permet de visualiser le digramme de l'œil comme affiché à la Figure 4.7. Les résultats obtenus de la simulation sont récapitulés dans le Tableau 4.1.

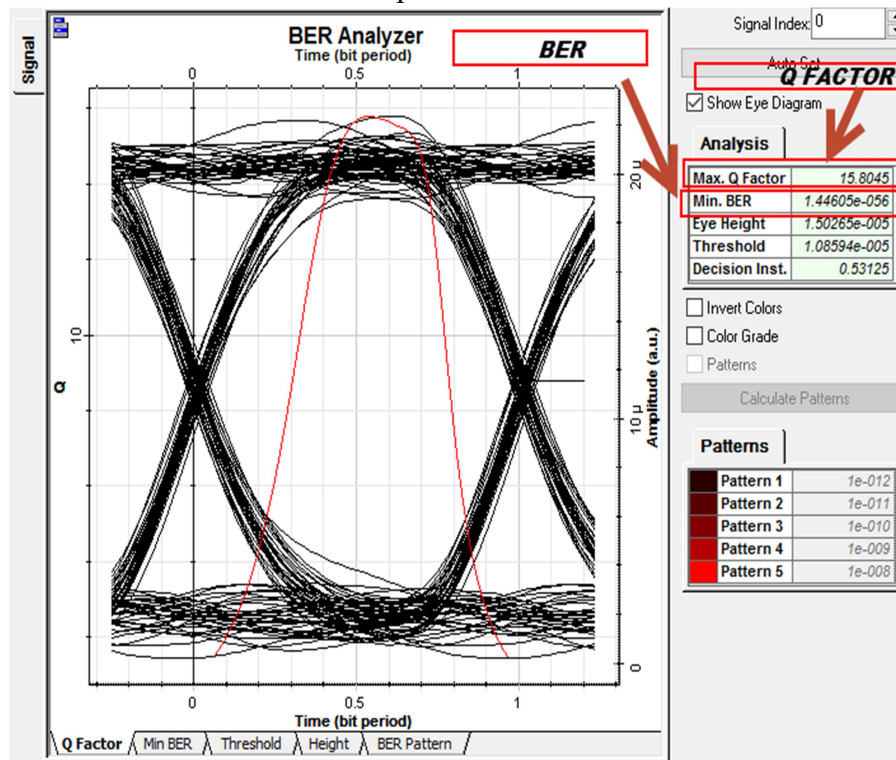


Figure 4.7 : Diagramme de l'œil de liaisons descendantes.

Tableau 4.1 : Résultats de simulation.

N d'abonné	Puissance à la réception (dBm)	Atténuation (dB)	TEB	Facteur de qualité Q
1 en FAT 1	-19.527	22.527	1.446×10^{-56}	15.804
8 en FAT 1	-19.524	22.524	8.25×10^{-52}	15.096
9 en FAT 2	-19.549	22.549	4.244×10^{-51}	15.640
16 en FAT 2	-19.547	22.547	2.606×10^{-48}	14.557
17 en FAT 3	-19.582	22.582	2.482×10^{-48}	15.025
24 en FAT 3	-19.579	22.579	5.949×10^{-47}	14.341
25 en FAT 4	-19.611	22.611	3.01×10^{-52}	15.165
32 en FAT 4	-19.608	22.608	8.859×10^{-50}	14.787
33 en FAT 5	-19.639	22.639	8.86×10^{-47}	14.315
40 en FAT 5	-19.636	22.636	1.638×10^{-50}	14.900
41 en FAT 6	-19.667	22.667	6.395×10^{-46}	14.176
48 en FAT 6	-19.664	22.664	1.707×10^{-51}	15.050
49 en FAT 7	-19.695	22.695	1.076×10^{-46}	14.301
56 en FAT 7	-19.692	22.692	1.509×10^{-42}	13.620
57 en FAT 8	-19.723	22.723	6.512×10^{-43}	13.681
64 en FAT 8	-19.720	22.720	2.124×10^{-46}	14.253

IV.2.3.1.3 Interprétation des résultats

D'après le Tableau 4.1 et la Figure 4.7, nous concluons que

- La valeur maximale obtenue de BER est de 1.509×10^{-42} . 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 13.620. Cette valeur est plus que le double de la valeur de Q acceptable pour ce type de transmissions qui est 6.
- L'atténuation maximale obtenue est 22.720 dB. Cette atténuation est meilleure que celle des réseaux d'accès multiples classiques comme par exemple l'ADSL (25-30 dB) [47].
- Nous distinguons de manière claire et nette l'ouverture verticale du diagramme dans le diagramme de l'œil de la Figure 4.7. En effet, l'œil indique une bonne résistivité du système étudié au bruit et l'ouverture horizontale indique la sensibilité à un décalage de l'instant d'échantillonnage. Cependant, plus l'œil est ouvert, plus il est facile de différencier entre les 1 et les 0 dans le signal.

Nous pouvons conclure alors, que le system simulé atteint facilement par son minimum un BER moins que 10^{-40} et Q-Factor de $13 < 6$ sans utiliser aucun amplificateur. Ceci indique un comportement très adéquat à cette transmission par le réseau GPON dans le sens descendant.

IV.2.3.2 Sens montant

Pour la simulation, le logiciel OptiSystem n'offre pas de solution satisfaisante pour la considération de plusieurs transmissions d'abonnés en même temps. De ce fait, on simulera seulement une transmission unique de l'ONT vers l'OLT. Dans le sens montant, le signal optique issu de l'ONT traversé la fibre optique et les deux niveaux de splitter pour arriver à l'OLT ; le récepteur. Pour cette simulation, on a défini les paramètres avec un débit nominal de 1.2 Gbps et une sensibilité de -29 dBm. La Figure 4.8 montre la simulation en sens montant.

➤ Le montage

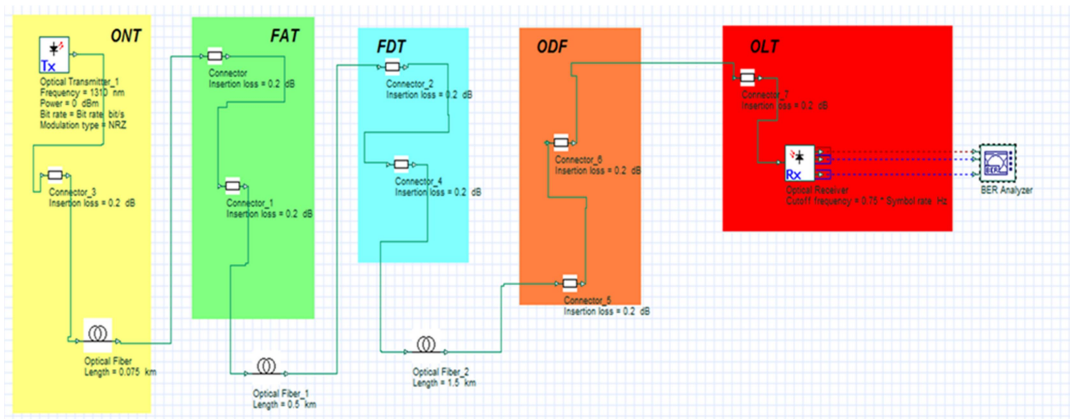


Figure 4.8 : Simulation de GPON (sens montant).

IV.2.3.2.1 Interprétation les résultats

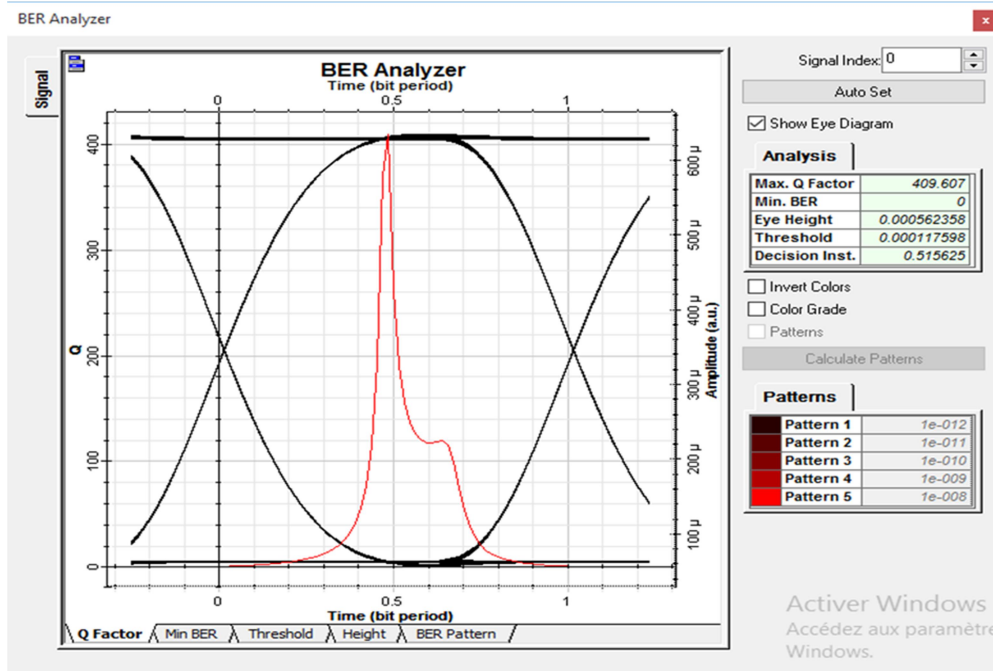


Figure 4.9 :Diagramme de l'œil de liaison montant.

Les résultats de simulation indiquent que :

- La valeur du TEB est égale à la valeur idéale 0.
- La valeur maximale du facteur de qualité est égal 409.607. Cette valeur est très supérieure à la valeur acceptable 6.
- Le diagramme de l'œil est ouvert comme montre la Figure 4.9.

D'après ces caractéristiques suscitées, on déduit que la qualité du signal reçu en sens montant est beaucoup meilleure que celle du signal reçu en sens descendant.

IV.2.4 Conclusions sur la simulation

Basé sur la simulation du système conçu par le logiciel Optisystem, on déduit que le réseau GPON élaboré est très fiable (valeurs très faibles de BER). Nous constatons aussi que les facteurs de qualité obtenus que ce soit en sens montant ou sens descendant sont très importants. Ceci dit, il est très facile au récepteur de détecter le signal sans erreur ce qui est traduit par des diagrammes de l'œil nettement ouverts, comme montrés par les Figures 4.7 et 4.9. En outre, l'atténuation de bout en bout est beaucoup plus petite par rapport aux autres réseaux classiques comme l'ADSL.

D'après cette simulation qui a tenu compte de trois critères d'évaluation à savoir : le BER achevé, le Q-Facteur et l'atténuation, il est évident que le réseau GPON est extrêmement fiable et performant.

IV.3 Infrastructure (*)

Les travaux de génie civil nécessaires à la pose d'un câble à fibres optiques sont similaires à ceux nécessaires pour la pose de tout autre type de câble de transmission. Ces travaux consistent en l'ouverture de la tranchée, pour la pose en pleine terre, et en la réalisation de conduites pour les traversées de rue, oued, voie ferrée ainsi que pour le passage du câble sur les ouvrages d'art.

Huawei dessine le plan de réseau FTTH dans la résidence « La Perle De La Méditerranée ».

L'équipe de génie civil déterminera les spécifications des conditions de réalisation de l'infrastructure d'accueil destinée à accueillir les câbles à fibres optiques. Cette infrastructure sera composée d'une conduite multitubulaire posée en tranchées, ainsi que de chambres de tirage ou de raccordement. Les chambres de tirage et celles de raccordement seront des chambres préfabriquées ou exceptionnellement construites sur place sur approbation d'Algérie Telecom.

L'infrastructure souterraine est ensuite réalisée conformément aux nouvelles techniques de pose de câbles à fibres optiques, Opérationnellement, ce qui suit :

➤ Signalisation et sécurisation du chantier

Placez des bannières (Figure 4.10) montrant que cet endroit est occupé et que seuls les travailleurs peuvent approcher.



Figure 4.10 : Signalisation et sécurisation du chantier.

(*) : Les données relatives à cette section sont exclusivement fournies par le responsable de travaux de génie civil, ingénieur en Algérie Télécom.

➤ Tranchage

C'est une fouille longitudinale dont les dimensions sont déterminées suivant la nature du sol et l'importance des ouvrages de canalisations et des ouvrages à établir. Le tracé doit être fait de manière à assurer la sauvegarde des diverses canalisations se trouvant dans le sous-sol.



Figure 4.11 :Tranchage.

Le choix du matériel à employer se fera en fonction du terrain rencontré (chaussée, terre...), des contraintes d'exploitation (circulation), de l'occupation du sous-sol (densité des réseaux existants). En dehors des agglomérations, pour la pose dite en pleine terre, la profondeur de la tranchée devra être de cent (100) cm. Dans la traversée des terrains privés, la profondeur de la tranchée sera de cent vingt (120) cm. Une fois posé dans la tranchée, le câble sera recouvert de vingt (20) cm de terre fine au-dessus de laquelle un grillage avertisseur de couleur verte sera déroulé. La largeur de la tranchée ne devra pas être supérieure à trente 30 cm.

➤ La multitubulaire

La multitubulaire est un assemblage de n fourreaux (Figure 4.12), La fonction de cette multitubulaire est de relier les N chambres de télécommunications privatives. Entre chaque chambre, la multitubulaire est protégée par une charge minimale h définie dans les coupes types des tranchées. Sur le linéaire, le rayon de courbure minimum de la multitubulaire doit permettre la mise en œuvre sans difficulté des futurs câbles optiques. Les fourreaux doivent être installés en nappe dans la tranchée. Entre deux chambres, la disposition des fourreaux doit rester constante (sans croisement). Toute multitubulaire doit aboutir dans une chambre.



Figure 4.12 :La multitubulaire.

➤ Pose de fourreaux en PEHD

La pose de fourreaux en PEHD (Figure 4.13) est tributaire du type, de la nature et des conditions environnementales du site. Les fourreaux sont mis en place dans l'axe de la tranchée sur un lit de béton ou de sable compacté de 5 (cinq) cm.



Figure 4.13 : La pose de fourreaux en PEHD.

Les fourreaux sont interrompus dans les chambres et dépassent à l'intérieur d'environ 30 cm, pour faciliter les opérations de soufflage. L'entreprise fait une canalisation en PEHD. Les spécifications de la canalisation PEHD utilisé dans ce projet est normalement 40/32.6 mm, PN16.

➤ Pose de grillage avertisseur

Un grillage avertisseur (Figure 4.14) est un matériau à mailles larges généralement en plastique et dont la couleur indique ce qui a été enterré à l'aplomb de ce grillage.

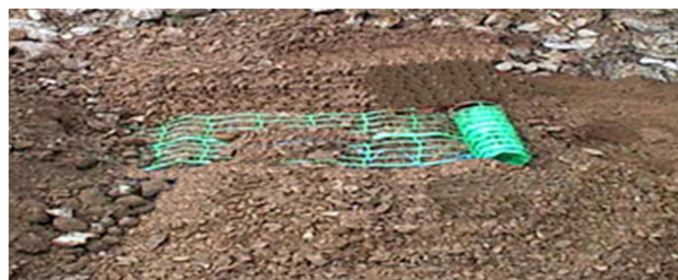


Figure 4.14 : Pose de grillage avertisseur.

➤ Remblaiement de la tranchée

Utilisez l'asphalte pour remplir le tranché, Il doit être au même niveau que la route.



Figure 4.15 :Remblaiement de la tranchée

➤ Pose de chambres préfabriquées

Trois types de chambres sont utilisés dans ce projet :

- Dans le cote de « trottoir » chambre A2 (Figure 4.16) est utilisée pour le tirage de câble.
- Dans le cote de « trottoir » chambre A3 (Figure 4.17) est utilisée pour l'installation de la closure.
- Hand hole (Figure 4.18) de 50x50 est utilisée pour l'entrée des bâtiments.



Figure 4.16 : Chambre A2.**Figure 4.17** : Chambre A3.**Figure 4.18** : Hand hole.

Les chambres préfabriquées de tous types sont posées sur lit de sable, et devra avoir le même niveau que la chaussée, le trottoir ou l'accotement ou elle est posée (Figure 4.19). Aucun écart de niveau qui pourrait être ressenti par les usagers (véhicules et piétons) ne sera toléré.



Figure 4.19 :Pose de chambres préfabriquées.

Les critères ci-dessous doivent être pris en compte pour l'implantation des chambres de tirage :

- Le stationnement à proximité immédiate des chambres doit être possible avec un véhicule léger,
 - Les chaussées ou passages routiers doivent être évités autant que possible,
 - Le raccordement de points stratégiques (école, administration, zone industrielle,...).
- Pose les câbles de F.O

Tirez les câbles de fibre optique à l'intérieur du câble PEHD à travers les chambres (Figure 4.20).



Figure 4.20 : Pose des câbles de F.O.

- Accès au bâtiment

Pour l'accès au bâtiment, le travail doit être effectué selon les critères optionnels suivants:

- Priorité ou choix de route de câble de fibre en face de bâtiment dans le cas de non disponibilité de canalisation réservée,
- Installer un regard « hand hole » à cote du mur d'entrée du bâtiment,

- Montée de câble à partir du hand hole vers la façade du bâtiment,
- Après la montée de câble vers une hauteur suffisante, installer le câble en façade et le faire entrer en bâtiment jusqu'à le FAT,
- Perçage de trous pour le routage de câble si c'est nécessaire, et faire des joint après l'installation du câble,
- A l'intérieur des buildings, utilisez des canalisations de type « corrugated duct » pour les coins.

IV.4 Les équipements et leurs installations

L'installation d'équipements de réseau FTTH se fait comme nous voyons dans la Figure 4.21.

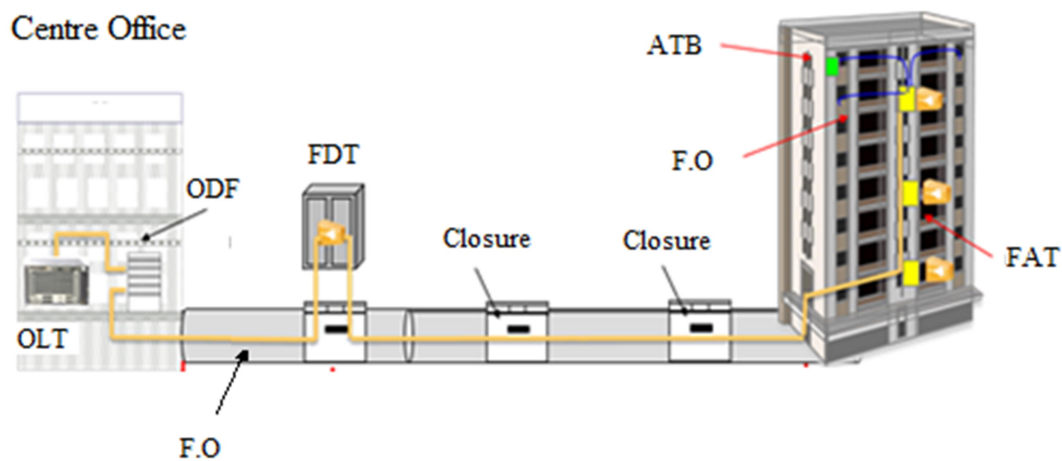


Figure 4.21 : Structure du réseau FTTH.

IV.4.1 OLT (Optical Line Termination):

Afin de satisfaire la demande du marché Algérien et l'innovation technique que connaît le monde des télécommunications, Algérie Télécom a choisi d'équiper les réseaux de nouvelles générations par les équipements de FTTH OLTs (MA5800-X7 et MA5800-X17) fournis par Huawei pour couvrir la zone de l'Ouest d'Algérie et les équipements de ZTE pour couvrir la zone de l'Est d'Algérie.

Dans le cadre de notre projet, Algérie télécom utilise OLT de type MA5800-X7 (Tableau 4.1, Figure 4.22) de HUAWE

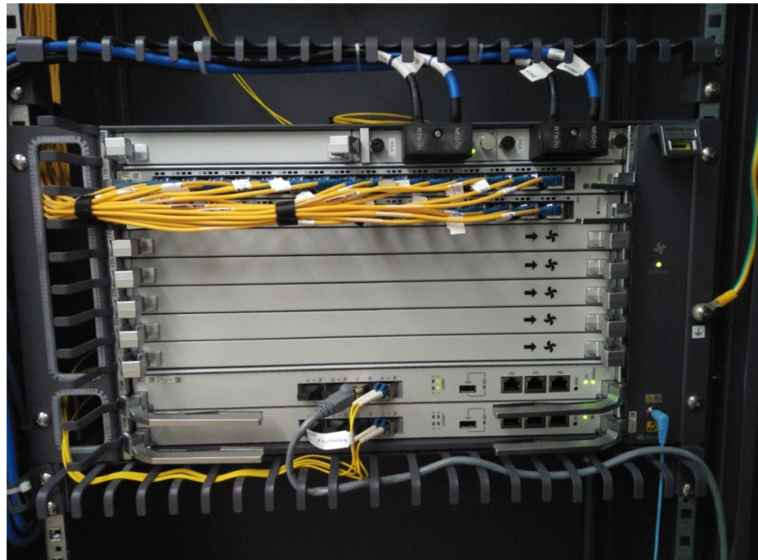


Figure 4.22 : MA5800-X7 installé avec une seule carte de service.

Tableau 4.2 : Les caractéristiques de MA5800-X7 [48].

Modèle	MA5800-X7
Capacité de commutation	7 Tbit/s
Ports GPON	112
Débit descendant de GPON	2.5 Gbit/s
Débit montant de GPON	1.2 Gbit/s
Ports XG-PON	56
Dimensions (H x l x P)	264 x 442 x 242 mm
Alimentation C.C.	-38,4 V to -72 V
Puissance optique minimale (class B+)	1.5 dBm
Puissance optique maximale (class B+)	5 dBm
Sensibilité maximale du récepteur	-28 dBm
Carte GPON	16 ports
Port Ethernet	3 ports
Carte XG-PON	8 ports
Carte Ethernet 10 GE	8 ports 10 GE
MAC Adresses	262,143
Prix	250000 DA

Cet OLT peut supporter neuf cartes avec deux types de cartes :

- Cartes de control.
- Cartes de service.

Il y a deux cartes de control qui sont responsables de contrôler le fonctionnement de l'ensemble des cartes de services et de gérer plusieurs fonctions de control. Elles assurent les fonctions suivantes :

- Collecter, traiter et contrôler les services,
- Gérer et contrôler les fonctions du module de l'acheminement des paquets VoIP, IPTV,
- Chaque carte contient quatre ports de 10 GE et 3 ports Ethernet.

Afin de garantir le bon fonctionnement des différentes cartes de l'équipement OLT, les cartes de control sont toujours redondées dans le sous rack des services, une à l'état actif et l'autre reste en veille.

Le MA5800-X7 supporte jusqu'à 7 cartes de service et chaque carte contient 16 portes de GPON. Avec 64 abonnés pour chaque porte GPON, cet OLT peut supporter au maximum 7168 abonnés, Dans le projet de la résidence « La Perle De La Méditerranée » d'Algérie Télécom, une seule carte installée comme nous le voyons sur la Figure 4.22. Ceci est dû au fait que le nombre maximale des abonnés dans ce site contenant 508 logements ne dépasse pas 1024 abonnés.

Le MA5800-X7 utilise le multiplexage en longueurs d'ondes (1490 nm pour le sens descendant et 1310 nm pour le sens montant) et une troisième longueur d'onde (1550 nm) peut être aussi utilisée pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant.

IV.4.1.1 Système d'alimentation d'OLT

Le système d'alimentation d'OLT MA5800-X7 (Figure 4.23) est équipé d'une armoire indoor de redressement composé par un disjoncteur, un parafoudre et un ensemble des redresseurs qui permettent de redresser une tension alternatif (AC) de 220 V à une tension continue (DC) de - 48 V. Cette armoire est raccordé avec 16 batteries de 13 V chacun.



Figure 4.23 : Modules redresseurs avec ces batteries.

Un module de distribution de l'énergie PDU est connecté avec l'armoire de redressement et les batteries via des câbles d'alimentation : deux câbles noirs pour le pôle positif, deux câbles bleus pour le pôle négatif et un câble jaune pour la mise à la terre. Ce module est responsable à l'alimentation des châssis de l'OLT MA5800-X7 et on trouve aussi une carte d'alimentation PRTG dans le châssis des services pour gérer et contrôler l'alimentation des cartes de services de ce sous rack.

IV.4.2 Répartiteur optique (ODF)

L'ODF (Optical distribution frame) est un équipement utilisé pour fournir des interconnexions des câbles de fibres optiques entre l'OLT et l'équipement qui suit. Cet équipement peut intégrer l'épissage et la terminaison de fibre, les adaptateurs et connecteurs de fibre optique et les connexions de câble dans une seule unité. Il peut également fonctionner comme un dispositif de protection pour protéger les points de connexions de fibres optiques contre les dommages.

Le répartiteur optique est un équipement très important dans le réseau FTTH dite généralement ODF. Cette entité permet d'assurer la correspondance entre les lignes des abonnés et l'équipement OLT. Cet ODF est composé de deux parties (Figure 4.24) :

- Une partie prend en charge l'ensemble de fibres optiques qui sont connectés avec le FDT,
- Une deuxième partie dite tête raccordée avec la première partie et connectée avec les portes de GPON par des connecteurs SC/APC (Figure 4.25).



Figure 4.24 : L'ODF.



Figure 4.25 : Connecteur SC/APC.

L'OLT et L'ODF sont installés par une équipe d'Algérie télécom et une équipe de HUAWEI dans le CO (Centre Office). La fonction principale de ce centre est d'héberger l'OLT, l'ODF et le système d'alimentation. L'emplacement du CO est proposé par Algérie Telecom, qui pourrait être une salle d'équipement existante, une nouvelle salle fournie ou louée à un propriétaire foncier, ou une nouvelle pièce à construire. Après l'installation d'OLT et l'ODF, les équipes soudent les brins du câble de fibres optiques avec la première partie de l'ODF. Le câble utilisé est un câble de la recommandation G652.D de 72 fibres optiques monomodes et il est fabriqué spécialement pour l'entreprise Algérie Telecom (Figure 4.26, Tableau 4.3). Grâce à son faible affaiblissement linéique et à sa bande passante large, il permet la réalisation de liaisons de longues distances à très hauts débits. Ce câble souterrain permet de relier l'ODF avec le FDT.

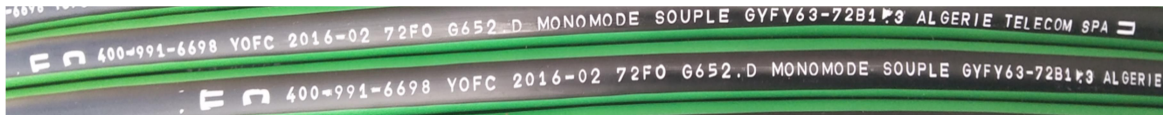


Figure 4.26 : Câbles de 72FO.

Tableau 4.3 : Les caractéristiques de câbles.

La recommandation		G652.D
Type de FO		Monomode
Fibre (Matière)	Cœur	Silice (SiO ₂) dopée avec dioxyde de germanium (GeO ₂)
	Gaine	Silice (SiO ₂) pure
Nombre de FO		12, 24, 72
Atténuation (dB/km)	1310 nm	≤ 0.35
	1490 nm	≤ 0.31
	1550 nm	≤ 0.21
Coloration		Bleu, Orange, Vert, Marron, Gris, Blanc, Rouge, Noir, Jaune Violet, Rose, Aqua

IV.4.3 FDT (Fiber Distribution Terminal)

Le FDT est un équipement passif qui permet aux opérateurs télécoms et aux fournisseurs de services de maintenir et de gérer la distribution des communications de manière organisée pour les réseaux FTTH. Ces armoires sont spécialement conçues et fabriquées pour les processus extérieurs pour résister aux conditions météorologiques difficiles et assurer une distribution bien organisée des fibres optiques comme le montre la Figure 4.27. Il permettra la transition souple sans nécessité de modifier l'ensemble (Figure 4.27).



Figure 4.27 : L'FDT (Intérieur et extérieur).

Dans ce projet, on a installé le FDT2102D-480 avec certains critères de base qui doivent être respectés, à savoir:

- Délimiter d'abord la zone de l'OLT en fonction de la sélection de sous-zone, par exemple Zone A/B/C/ etc,
- Divisez la zone en sous-zones de FDT, par exemple FDT A01/A02/ ..etc. Lorsqu'on divise une zone, on doit tenir compte de la densité et de la répartition des logements, de l'infrastructure existante et de l'aménagement des infrastructures locales.

La fonction principale de la FDT2102D-480 est d'héberger les splitters de niveau un et les cartes d'interconnexion. Cette FDT supporte au maximum 36 splitters (1:8) et 24 cartes. Avec les splitters (1:8) de niveau deux installés en FAT, cette FDT peut supporter 2304 abonnés.

Dans notre projet on n'a besoin que de dix splitter (1:8) et dix cartes seulement (Figure 4.27). Chaque carte d'interconnexion contient 12 ports de connecteur SC/APC comme montré à la Figure 4.28. A l'intérieure de ces cartes, il y a des fibres optiques qui sont soudés avec les autres fibres de câble qu'on a tiré au conter office et les autres câbles qui vont vers les points de raccordements au closure.



Figure 4.28 : Une carte de FDT.

Après la soudure, on a placé les connecteurs des splitters aux ports de chaque carte. Les fiches d'entrée de splitter doivent être placées avec les ports qu'on a soudés avec le câble de l'ODF tandis que les fiches de sortie doivent être connectées avec les ports qu'on a soudés avec les câbles qui vont vers les points de raccordements.

IV.4.4 Point de raccordement (closure)

Après le tirage de câbles du FDT, nous tirons les câbles vers les chambres A3. Chaque câble est placé dans une boîte appelée closure (point de raccordements) pour le raccorder avec les câbles de distributions vers les logements. Le closure est utilisée pour raccorder les fibres optiques des différents câbles dans les points de branchement. Il existe deux principaux types de closure : Horizontale et verticale.

Huawei utilise le type vertical dans les projets FTTH algériens. Ce type de closure ressemble à un dôme (Figure 4.29),



Figure 4.29 : Closure verticale.

Le rôle de cet équipement dans notre projet est de faciliter l'affectation des fibres de câbles vers les FATs (les distributeurs d'appartement). La connexion entre les closures et les FATs est réalisée via des câbles (les câbles de distributions) à 12 ou 24 fibres optiques selon le nombre de FAT dans chaque bloque. Si le bloc contient une seule FAT, on utilise un câble qui contient seulement 12 fibres optiques. Si le bloc contient deux FATs, on utilise un câble qui contient 24 fibres optiques.

Il y a cinq étapes pour utiliser le closure :

- 1) Retirez le couvercle et ouvrez la boîte existante et insérez les câbles que nous voulons raccorder à l'intérieur de la closure (Figure 4.30) :



Figure 4.30 : Ouvrez la boîte et insérez les câbles.

- 2) Soudage de fibres optiques :

Nous soudons les fibres optiques en suivant les étapes de soudure (Figure 4.31) :



Figure 4.31 : Soudage à la fibre.

- 3) Enroulez les fibres optiques à l'intérieur de la closure (Figure 4.32) :

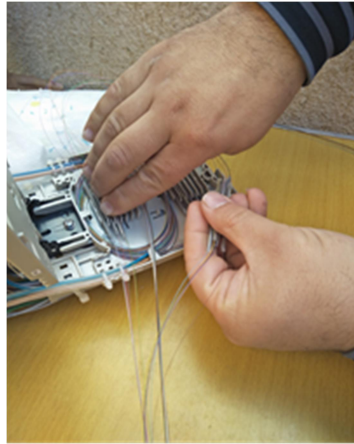


Figure 4.32 : Enroulement des fibres optiques.

- 4) Fermez la closure (Figure 4.33)



Figure 4.33 : Fermez la closure.

- 5) Placer la closure dans la chambre A3 (Figure 4.34) :



Figure 4.34 : Placer la closure dans la chambre A3.

Après le tirage des câbles de la chambre A3 vers la chambre A2 (cette chambre est utilisée pour la distribution des câbles) comme affichée à la Figure 4.35, on tire les câbles vers les FATs.



Figure 4.35 : Le tirage de câble.

IV.4.5 FAT (Fiber Access Terminal)

Le FAT est un nœud d'accès de l'utilisateur sur le réseau FTTH. Il se connecte aux câbles de distribution en amont et les câbles de dérivation qui se cheminent vers l'abonné dans son logement. Il fournit des fonctions d'épissage, de distribution de câbles et prend en charge la séparation de l'épissage.

Le FAT avec la fonction de division est utilisée dans le point de division secondaire par les splitter 1:8 de niveau 2. Il se compose de deux parties:

- Une partie prend en charge l'organisation et la protection des fibres optiques, de connecteurs soudés aux fibres, des câbles ramenés de la chambre A2 et des fibres allant vers l'ATB (Access Terminal Box) chez l'abonné.
- Une deuxième partie dite tête qui est un ensemble de fiches APC de séparateurs optiques connectés avec les splitters. Ces fiches sont utilisées pour connecter les sorties de la première partie via le connecteur SC.

Dans ce projet, nous avons utilisé deux types de FAT : le FAT 12 et FAT 24 (Tableau 4.4). La différence entre les deux est le nombre de fibres optiques et le nombre de splitters (1:8) supporté : le FAT 12 supporte un seul splitter tandis que le FAT 24 supporte deux splitters.

Tableau 4.4 : Les caractéristiques de FATs.

Type de FAT	Capacité	Dimension	Principe de Déploiement
FAT3201-24	16	320* 120* 300mm	Installé avec 2 splitter 1:8, ce qui peut supporter un max de 16 utilisateurs
FAT3201-12	8	320* 100* 300mm	Installé avec 1 splitter 1:8, ce qui peut supporter un max de 8 utilisateurs

Le FAT 24 est présenté dans la Figure 4.36. Un exemple de l'emplacement de la FDT est reporté à la Figure 4.37.



Figure 4.36 : Le FAT24

Il est à noter que la sélection du type du FAT et de la configuration sera basée sur le nombre total des appartements dans chaque bloc.



Figure 4.37 : Placer le FDT dans la place réservée.

Le FAT de 8 ou 16 fibres de sortie desservant tout l'immeuble avec un départ direct des câbles de fibres optiques de tous les abonnés.

Les câbles de fibres optiques vont directement vers l'ATB (Figure 4.38) chez l'abonné. L'ATB ou Access Terminal Box est une boîte à bornes d'accès, installée à l'intérieur de l'appartement sur le mur et offrant une ou plusieurs prises de fibres optiques SC/APC utilisés pour l'épissure du câble de dérivation de FAT. Ceci permet l'insertion du cordon de raccordement à l'ONT via le connecteur SC (voir la Figure 4.40).



Figure 4.38 : L'ATB.

L'ONT a pour fonction est de convertir les signaux optiques transmis à travers la fibre en signaux électriques. L'ONT assure les fonctions de modulation et de la démodulation.



Figure 4.39 :L'ONT connectée via le connecteur SC.

IV.4.6 Splitter

Les splitters sont des éléments passifs qui permettent de partager le signal optique de OLT vers n ONT dans le sens descendant et d'agréger n signaux optiques en un seul signal dans le sens montant. Le nombre n peut varier de 2 à 128 dans un réseau FTTH. Dans le projet actuel, on a utilisé deux niveaux de splitter (1:8) (Figure 4.40) de Huawei avec les caractéristiques mentionnées dans le Tableau 4.5.



Figure 4.40 :SplitterSPL2605.

Tableau 4.5 : Les caractéristiques de splitter.

La recommandation	SPL2605
Type de fibre	G.657A1
Fractionnement	1:8
Plage de température de fonctionnement	-40-85 °C
Longueur d'onde de fonctionnement	1310, 1490, 1550 nm
Perte avec connecteur	≤ 10.5 dB

IV.4.7 Le raccordement

Tous les raccordements par « soudure » dans l'ODF, le FDT, le closure et le FAT sont faits en respectant les trois étapes suivantes:

Étape 1 : Repérage par couleurs.

Les fibres optiques sont colorées pour faciliter leur repérage dans le câble optique lors des phases de raccordement. Nous utilisons le code couleur FOTAG (fibres optiques et tube/modules) (Figure 4.41) pour repérer les couleurs.

N° de fibre optique ou de tube	Code FOTAG IEEE 802.8
1	Bleu
2	Orange
3	Vert
4	Marron
5	Gris
6	Blanc
7	Rouge
8	Noir
9	Jaune
10	Violet
11	Rose
12	Turquoise

Figure 4.41 : Le code FOTAG.

Etape 2 : Préparer la F.O

Nous dégainons la gaine extérieure du câble optique : il est nécessaire d'enlever toute la gaine autour de la fibre par une pince à dénuder (Figure 4.42).

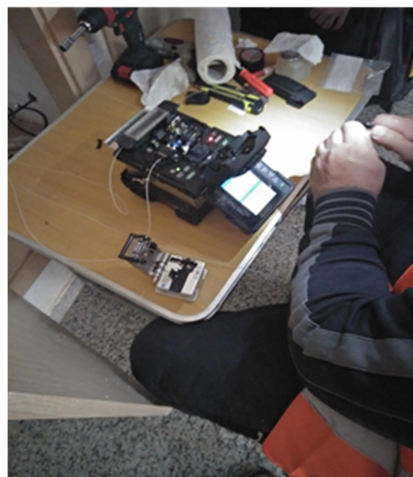


Figure 4.42 : Enlever la gaine autour de la fibre

Ensuite, nous procédons au nettoyage des fibres optiques. Les techniciens utilisent des tissus non pelucheux ou des lingettes nettoyantes (Figure 4.43).



Figure 4.43 : Nettoyage de la fibre.

Enfin, nous passons au clivage des fibres : C'est une coupure contrôlée, destinée à créer une face de fibre parfaitement plate perpendiculaire à l'axe longitudinal de la fibre. Le matériel utilisé est une cliveuse optique.



Figure 4.44 : Clivage de la fibre.

Étape 3 : Soudure des fibres optiques

La soudeuse optique vient aligner au mieux les deux cœurs de fibres à souder, ensuite le raccordement des deux fibres se fait par fusion au moyen de l'arc électrique. On distingue quatre étapes :

1. Paramétrage :

Nous procédons au paramétrage de la soudeuse optique sur le mode voulu en fonction de la taille de la protection d'épissure.



Figure 4.45 : Paramétrage de la soudeuse.

2. Mise en place des deux fibres optiques :

Ensuite, nous mettons en place les fibres préparées préalablement dénudées, nettoyées et clivées, dans la soudeuse optique.

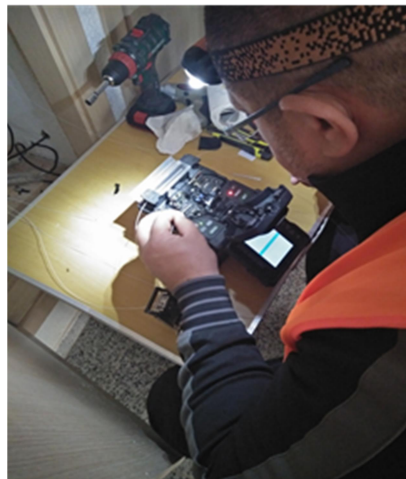


Figure 4.46 : Placement des fibres préparées dans la soudeuse.

3. Lancement de la fusion :

Une fois les fibres installées, nous pouvons lancer le cycle de fusion qui va permettre la fusion des fibres entre elles au moyen de l'arc électrique (voir Figure 4.47).



Figure 4.47 : Fusion des fibres.

4. Thermo rétractation des gaines sur la fibre :

Enfin, nous plaçons la gaine sur les fibres soudées. Le four de la soudeuse optique permet la rétractation de la gaine afin d'obtenir une épissure parfaitement protégée (Figure 4.48).



Figure 4.48 : Placement de la gaine sur les fibres soudées.

IV.4.8 Tests et mesures

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission, lors de l'installation, les liens optiques sont validés par des mesures et les prestations sont contrôlées. Après l'installation des équipements et l'accomplissement des raccordements des fibres optiques, la phase la plus importante est bien évidemment les tests d'atténuation de chaque raccordement (ODF, FDT, Closure, FAT) ainsi que l'atténuation totale entre l'OLT et ONT. Cette dernière permet d'évaluer la qualité de la soudure et de tester la continuité du signal optique grâce à nos outils de test pour assurer une bonne qualité de transmission.

Dans cette phase, on va expliquer le principe de mesure de puissance, d'atténuation et de pertes par différents appareils utilisées dans la pratique. En outre, on procède à l'étude de chaque raccordement optique en utilisant le réflectomètre (OTDR) et la mesure d'atténuation totale entre les deux liaisons (OLT, ONT) qui se fait par power-mètre.

IV.4.8.1 Mesures par OTDR :

L'OTDR (Le réflectomètre optique dans le domaine temporel) envoie des impulsions lumineuses courtes dans une fibre, La lumière est dispersée dans la fibre en raison des discontinuités (par exemple, connecteurs, épissures, défauts, etc.). L'OTDR détecte et analyse ensuite les signaux rétrodiffusés. L'intensité des signaux est mesurée à des intervalles de temps spécifiques et permet de caractériser les événements.

Nous connectons l'OTDR par le connecteur SC à chaque port (comme montré à la Figure 4.49) dans tous les équipements. L'objectif est de tester l'atténuation et les pertes de tous les connecteurs, les épissures, splitters et les fibres optiques. On note que les pertes acceptables sont établies dans le Tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Les atténuations acceptables.

Nom	Type	Atténuation
Câble optique G.652D	1310 nm	0.35 dB/km
	1490 nm	0.22 dB/km
	1550 nm	0.2 dB/km
Type de connecteur	Connecteur	0.3 Db
	Fusion	0.1 dB
Splitter type	1 :8	10.6 dB

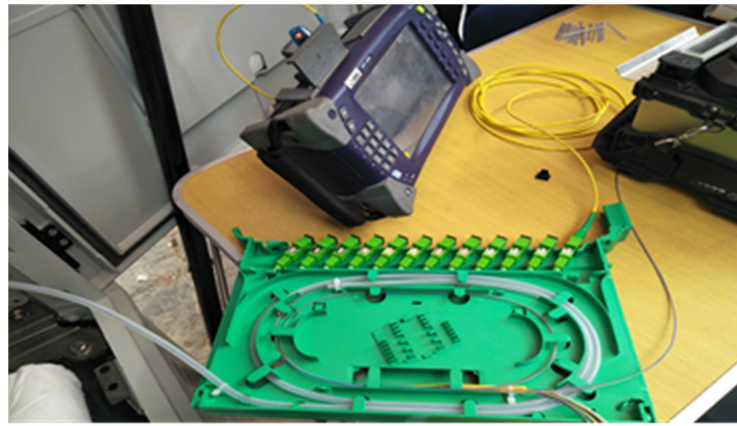


Figure 4.49 : Teste de l'atténuation dans l'équipement.

Ensuite, nous démarrons l'OTDR et nous constatons les résultats de mesure sur l'écran sous forme graphique. L'axe vertical correspond à la puissance et l'axe horizontal à la distance. Un exemple est montré sur la Figure 4.50.

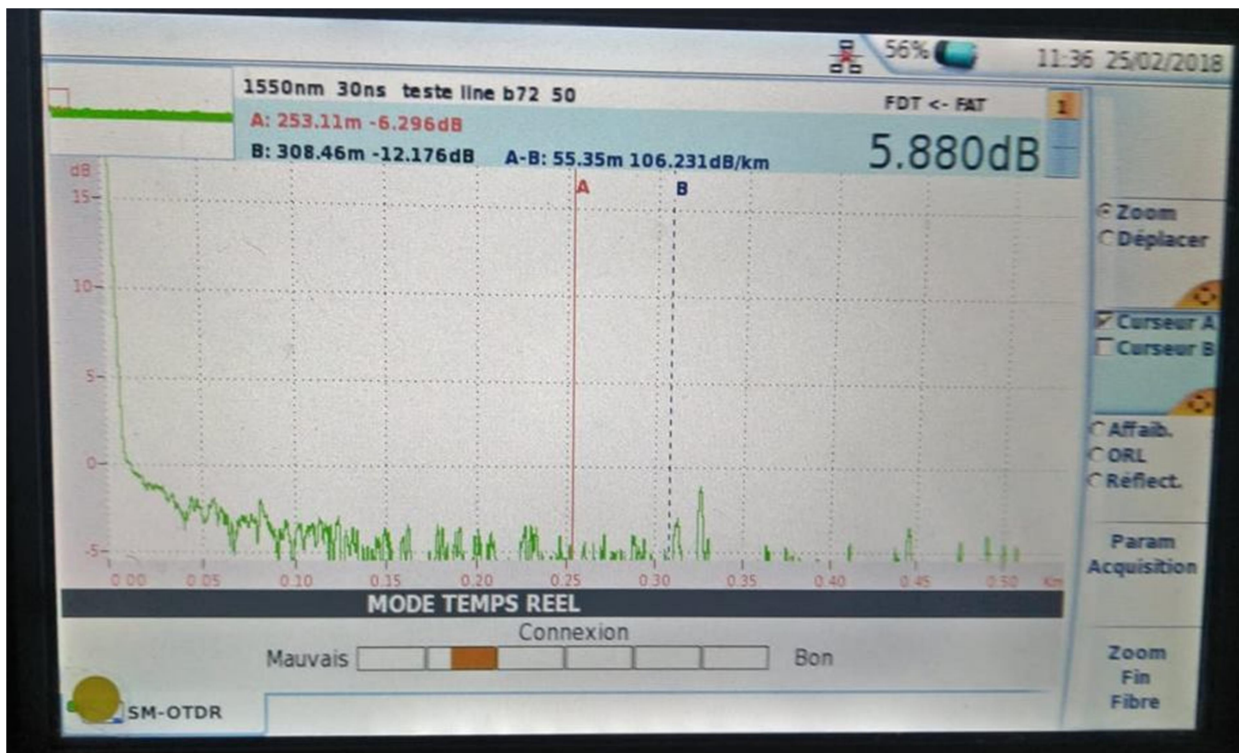


Figure 4.50 : Résultats de mesure par l'OTDR.

Dans cette figure, l'OTDR nous montre que la connexion est mauvaise entre les deux points A et B à une distance de 55.35 m avec un affaiblissement 5.880 dB qui est très grand à cette petite distance. Ce défaut est généralement causé par une erreur de soudure ou réfraction d'un brin optique. Le lecteur est sollicité à consulter l'annexe B pour d'autres exemples de mesure par l'OTDR. Après la correction des erreurs, on passe aux tests par power-mètre.

IV.4.8.2 Mesure par power-mètre :

La mesure consiste à injecter une puissance connue de lumière (3 dBm) au port de GPON (remplaçant la puissance d'OLT), et à mesurer la quantité de lumière sortante de la fibre à extrémité de l'abonné (Figure 4.51). La différence entre la valeur injectée et la valeur mesurée donne l'atténuation du canal optique. C'est la manière la plus précise pour mesurer l'affaiblissement d'un canal.



Figure 4.51 : Montage pour mesurer les pertes de puissance avec un power-mètre.

Dans notre cas, il s'agit de tester la liaison de 508 abonnés. On a pris seulement les résultats de mesure de 7 abonnés qui sont présentés dans le Tableau 4.6. Le budget optique total accepté entre l'OLT et l'ONT est 28 dB.

Tableau 4.6 : Les résultats de mesure de 16 FATs par le billet d'un power-mètre.

N d'abonné	Puissance à la réception (dBm)	Atténuation (dB)
1 en FAT 1	-19.143	22.143
8 en FAT 1	-19.450	22.450
9 en FAT 2	-19.620	22.620
16 en FAT 2	-19.751	22.751
17 en FAT 3	-19.933	22.933
24 en FAT 3	-19.983	22.983
25 en FAT 4	-20.011	23.011
32 en FAT 4	-20.098	23.098
33 en FAT 5	-20.122	23.122
40 en FAT 5	-20.156	23.156
41 en FAT 6	-20.343	23.343
48 en FAT 6	-20.511	23.511
49 en FAT 7	-20.698	23.698
56 en FAT 7	-20.716	23.716
57 en FAT 8	-20.841	23.841
64 en FAT 8	-20.917	23.917

- **Commentaire :**

D'après les résultats que nous avons obtenus dans le Tableau 4.6, nous y observons que l'atténuation totale croît en fonction de la distance entre le FAT et l'OLT, bien qu'elle soit très petite. En outre, l'atténuation totale maximale est inférieure à 24 dB, qui est bien inférieure à la valeur acceptable par les normes internationales qui est de 28 dB.

IV.5 Mise en service et configuration :

Après l'installation hardware et le câblage d'alimentation d'OLT MA5800-X7, l'étape suivante consiste à la mise en service et la configuration des différents services inclus dans le cahier de charge.

Après assurer la connexion entre le terminal et le MA5800-X7 via le port Ethernet par le connecteur RJ45, il est nécessaire d'utiliser un émulateur terminal sur lequel on introduit les commandes de configuration. Il en existe plusieurs pour cette fonction (ex : Console, TeraTerm, etc.); il suffit juste de configurer l'adresse IP ETH de MA5800-X7, le port et le mode d'accès comme le montre la Figure 4.52.

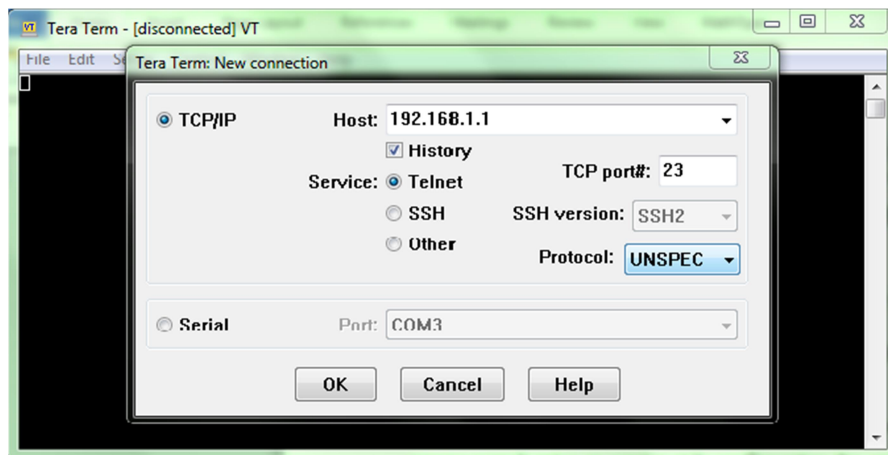


Figure 4.52 : Le logiciel TeraTerm.

La mise en service de l'équipement MA5800-X7 est composée de trois parties de configuration :

- Configuration Hardware,
- Configuration des VLAN,
- Configuration des services.

IV.5.1 Configuration hardware

Cette partie inclut la configuration des châssis et des différentes cartes d'OLT MA5800-X7. Dans notre cas, cette partie se fait automatiquement : les châssis sont détectés sans configuration aussi bien que le type de cartes insérées.

IV.5.2 Configuration des VLAN

VLAN (pour Virtual Local Area Network) est un réseau local virtuel utilisé pour séparer logiquement les machines. Cette notion est très utilisée dans la configuration des OLT, MSAN et DSLAM. Ceci à bout but de séparer entres les différents flux de données comme présenté sur la Figure 4.53.

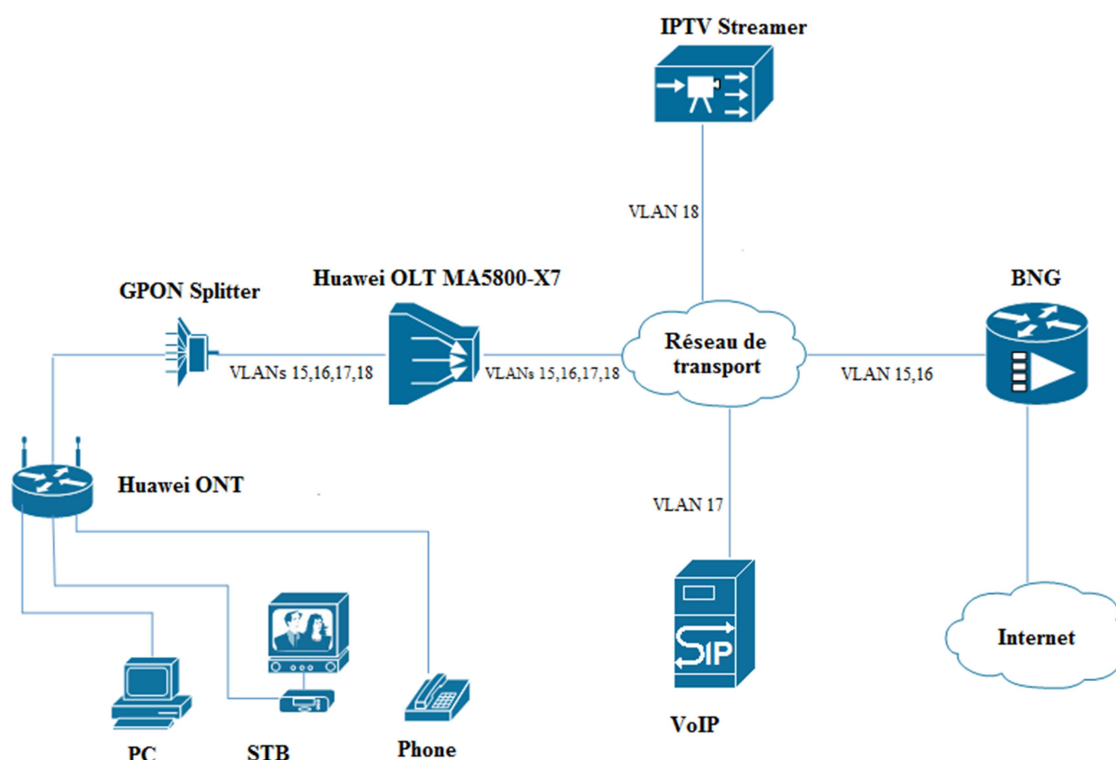


Figure 4.53 : Topologie logique de réseau.

1. Nous devons d'abord créer nos VLANs :

```
>>Huawei-OLT(config)#vlan 15 to 18 smart
```

2. Ajouter les descriptions à nos VLANs :

```
>>Huawei-OLT(config)#vlan desc 15 description MANAGEMENT
```

```
>>Huawei-OLT(config)#vlan desc 16 description INTERNET
```

```
>>Huawei-OLT(config)#vlan desc 17 description VOIP
```

```
>>Huawei-OLT(config)#vlan desc 18 description IPTV
```

3. Ajouter des VLAN au Uplink port (10GE)

```
>>Huawei-OLT(config)#port vlan 15 to 18 0/9 0
```

IV.5.3 Configuration des services

1. Ajouter la table de trafic pour chaque service

Créer une table de trafic pour le service Internet avec le nom Internet, la limite de débit 10 mbps et la priorité 0 selon plan de QoS (la propriété est pondérée selon le critère de QoS relatif à un service donné):

```
>>Huawei-OLT(config)#traffic table ip name Internet cir 10240 priority 0 priority-policy local-Setting
```

Créer une table de trafic pour le service VoIP avec le nom VOICE et la priorité 5 selon de plan QoS :

```
>>Huawei-OLT(config)#traffic table ip name VOICE cir off priority 5 priority-policy local-Setting
```

Créer une table de trafic pour le service IPTV avec le nom IPTV et la priorité 4 selon de plan QoS :

```
>>Huawei-OLT(config)#traffic table ip name IPTV cir off priority 4 priority-policy local-Setting
```

2. Ajouter l'ONT à l'OLT.

L'ONT est connecté au port GPON de l'OLT via une fibre optique. Nous ne pouvons effectuer la configuration de service qu'après avoir ajouté un ONT avec succès à l'OLT. Avant d'ajouter l'ONT, nous devons activer la fonctionnalité ont-auto-find pour garantir que l'OLT a correctement détecté l'ONT.

- Pour activer ont-auto-find sur le port 0 de la carte GPON 0, on utilise l'instruction suivante :

```
>>Huawei-OLT(config)#interface gpon 0/0
```

```
>>Huawei-OLT(config-if-gpon-0/0)#port 0 ont-auto-find enable
```

- Pour ajouter l'ONT, il faut introduire les instructions ci-dessous :

```
>>Huawei-OLT(config)#interface gpon 0/0
```

```
>>Huawei-OLT(config-if-gpon-0/0)#ont add sn-auth 4857544326A5EB34 omci ont-lineprofile-name ftth ont-srvprofile-name ftth desc Huawei-OLT
```

3. Ajout les ports de service ONT pour chaque service :

- Port de service Internet :

```
>>Huawei-OLT(config)#service-port 1000 vlan 16 gpon 0/0/0 ont 7 gemport 14 multi-service user-vlan 16 inbound traffic-table name Internet outbound traffic-table name Internet
```

- Port de service VOIP :

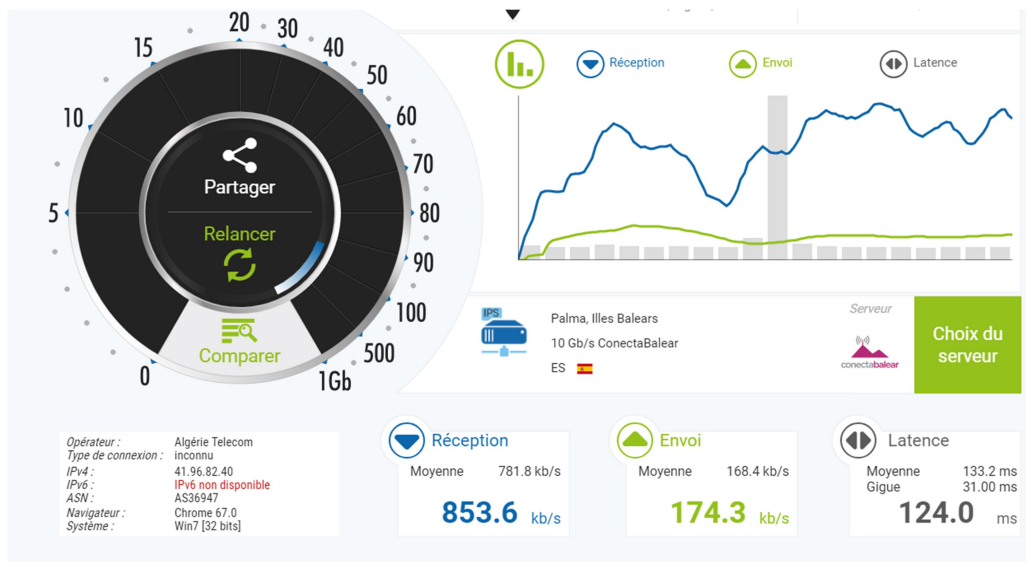
```
>>Huawei-OLT(config)#service-port 2000 vlan 17 gpon 0/0/0 ont 7 gemport 12 multi-service user-vlan 17 inbound traffic-table name VOICE outbound traffic-table name VOICE
```

- Port de service IPTV :

```
>>Huawei-OLT(config)#service-port 3000 vlan 18 gpon 0/0/0 ont 7 gemport 13 multi-service user-vlan 18 inbound traffic-table name IPTV outbound traffic-table name IPTV
```

IV.6 Mesures des Critères de la Qualité de Service et Comparaisons avec d'autres Technologies

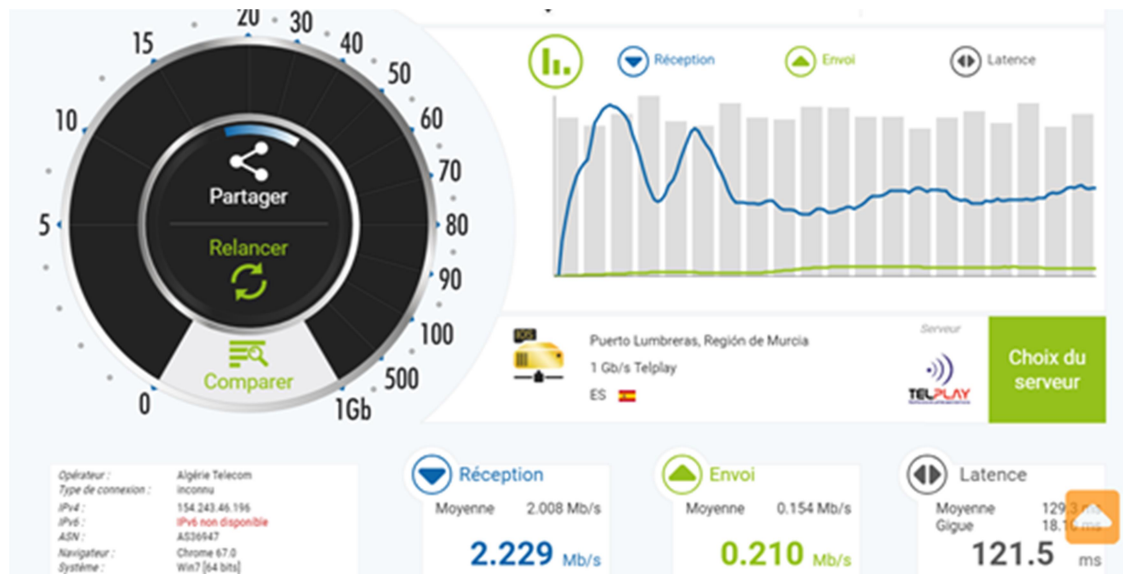
Pour définir la QoS, différents critères existent. Les trois principaux critères de qualité de service sont le débit, latence et la gigue. Pour évaluer ces critères, nous avons utilisé le site <https://www.nperf.com/fr/>, c'est un site web permettant la mesure de différentes variables d'une connexion réseau IP. Il est important de noter que cette solution était notre dernier remède par manque de disponibilité de l'Analyseur GPON Telnet D8000 qui permet d'analyser tous les critères de qualité de service y compris le BER. De plus, nous étions obligés d'effectuer nos tests à Oran parce que le projet FTTH à Mostaganem n'est pas encore activé. Les résultats de mesure des critères de QoS sont présentés dans les Figures 4.5 (a)-(d) et les Tableaux 4.7-4.8.



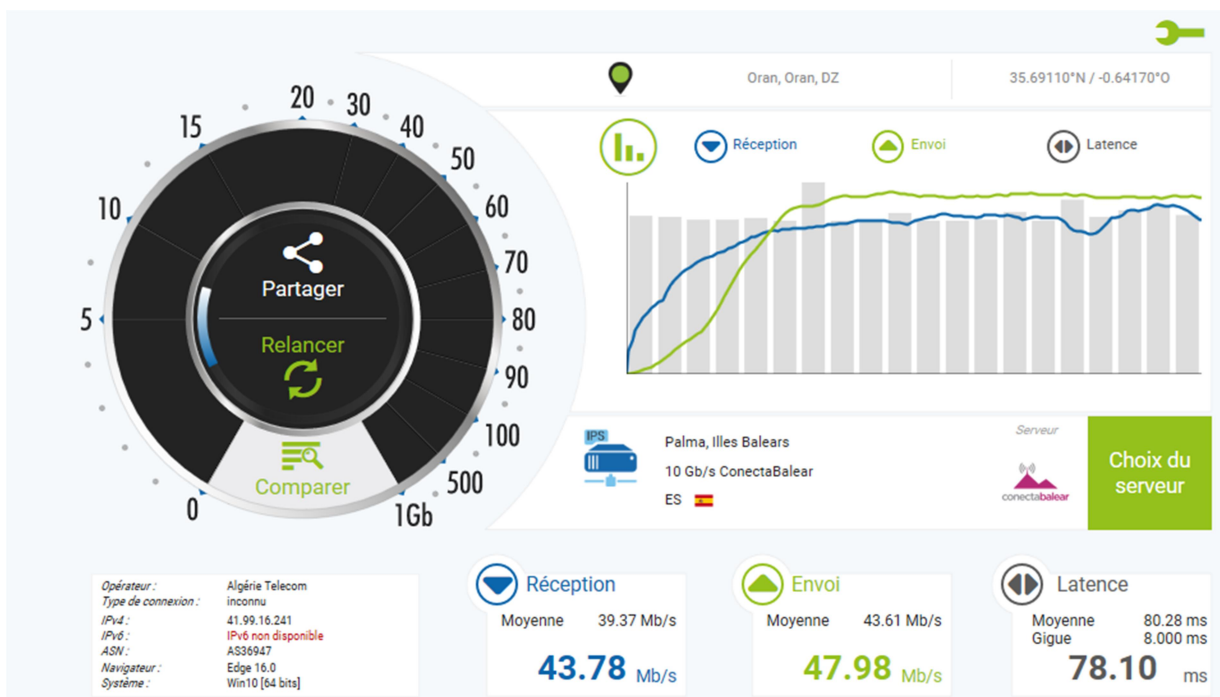
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4.54 : Résultats de mesure des critères de QoS : (a) ADSL, (b) 3G, (c) 4G et (d) FTTH.

Tableau 4.7 : Comparaison entre les valeurs moyennes de critères de QoS de l'ADSL, le 3G, le 4G et le FTTH.

	Débit		Latance(ms)	Gigue(ms)
	Montant Mb/s	Descendant Mb/s		
ADSL	168.4	781.8	133.2	31.00
3G	0.934	0.655	168.2	154.9
4G	0.210	2.229	121.5	18.70
FTTH	47.34	43.81	80.28	8

Tableau 4.8: Délai et gigue recommandés par l'ITU-T [49].

Métrique	Valeurs acceptables
Latence	Inférieure à 150 ms Maximum 250 ms
Gigue	0 ms : Excellent 75 ms : Bon 125 ms : Acceptable 225 ms : Mauvais

Interprétation des résultats:

D'après le Tableau 4.7 et la Figure 4.7, nous concluons que :

- Le débit dans le sens descendant de notre réseau FTTH est meilleur par rapport aux autres réseaux, par ce que la variation de débit par rapport au temps est négligeable. et ce réseau atteint un débit pratique de 100 Mbps très stable.
- Le débit dans le sens montant est stable et beaucoup plus proche au débit dans le sens descendant, contrairement aux autres technologies.
- On voit une moyenne en temps de latence de 80.28 ms et le minimale est de 78.10 ms, nous pouvons en déduire que ces latences sont plus petits de 150 ms recommandé par l'ITU-T (le Tableau 4.8) et les latences des autres réseaux.
- la gigue mesure 8 ms est meilleur gigue par rapport l'ADSL, 3G, 4G, et assez proche de gigue excellente 0 ms recommandé par l'ITU-T (le Tableau 4.7).

Ces valeurs obtenis sont très satisfisantes surtout dans les applications en temps réelles pour des utilisateurs humains comme par exemple la voie/vidéo, la téléphonie/vidéo conférence et les jeux en temps réels.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté en premier lieu le logiciel de simulation utilisé (L'OptiSystem) en détaillant ses fonctionnalités, et les critères de performance disponibles. Dans cette partie nous étions intéressés par l'évaluation de performance de transmission en termes de TEB, facteur de qualité, etc. Ceci est appliqué sur un réseau FTTH (GPON) dans les deux sens de communications : montant et descendant. On second lieu, on a décrit les étapes de réalisation réelle du réseau FTTH dans la résidence «la », commençant par l'infrastructure qui contient les travaux de génie civil , puis l'installation des équipements , la configuration et la mise en service, et enfin les déférentes mesures et tests.

L'étude conduite a montré de façon objective que le réseau FTTH (GPON) supplante totalement les autres types de réseaux d'accès. En bref, le GPON répond très positivement aux contraintes de qualité de services pour les applications gourmandes en ressources, à savoir la télévision ultra HD (UHD TV).

Conclusion générale

Conclusions et Recommandations pour les Projets Futurs

Dans ce travail, nous avons confirmé que la fibre optique jusqu'à l'abonné est le meilleur moyen actuel pour transporter de très hauts débits d'informations numériques, et le meilleur support parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux très hauts débits et supporter les montées en capacités exigées par les clients de ces réseaux. D'autre part, une seule fibre optique suffit pour transmettre plusieurs signaux de "couleurs" différentes (ou canaux) en même temps par l'utilisation de multiplexage optique dans les réseaux FTTH (PON), ce qui permet d'éviter tous les coûts de génie civil de la pose de la fibre optique. L'évolution est donc possible par le biais de nouvelles implémentations matérielles et logicielles sans aucune modification du support de transmission.

En outre, du point de vue débit, distance de transmission et qualité de signal, il était confirmé par simulation et par tests réels que les réseaux FTTH (GPON) surpassent totalement les autres type de réseaux d'accès actuellement commercialisés à savoir l'ADSL, le 3G et le 4G.

Les résultats de la simulation montrent la fiabilité de la fibre optique comme support de transmission et la facilité de transmission des données à travers le réseau GPON. La présence du splitter, même s'il introduit d'une atténuation supplémentaire, ceci n'affecte pas trop les conditions conformes à la transmission comme imposées par le cahier de charge. D'autre part, les résultats obtenus de BER, facteur de qualité, et l'atténuation avec une distance de transmission de 1.5 km dépassent largement les valeurs produites par les autres techniques existantes dans le domaine.

Les avancées technologiques apportés par le réseau FTTH (GPON) a permis d'ouvrir la voie du multimédia vers un nouvel horizon offrant des services bien plus meilleurs que ceux offerts par les réseaux de télécommunications d'avant. Le développement et la mise en place de ce réseau à l'échelle national est une bonne base pour garantir une qualité de service meilleure avec un temps de latence et gigue satisfaisants pour les applications en temps réels tout en assurant un débit élevé. La fourniture de ces nouveaux services multimédia à très haut débit et excellente qualité des signaux reçus aux utilisateurs algériens constitue un enjeu économique

majeur pour la compétitivité des entreprises, l'attractivité des territoires et la position concurrentielle de l'Algérie.

L'étude théorique et pratique conduite durant et après le stage que nous avons effectué à l'entreprise Algérie télécom à Mostaganem et à Oran, nous a permis d'acquérir les compétences suivantes :

- Tout d'abord, le stage nous a servi à concrétiser les connaissances théoriques que nous avons apprises tout au long de nos études universitaires,
- De plus, il nous a donné le privilège de profiter des conseils pratiques que nous avons eu lors de notre contact de tous les ingénieurs et les techniciens d'Algérie Telecom et Huawei,
- Nous avons aussi acquis une expérience considérable dans les réseaux FTTX en général et le FTTH en particulier : Nous avons appris les techniques d'installation d'équipements de réseau FTTH, les techniques de raccordement de fibres optiques, et les mesures par L'OTDR,
- Ensuite, le fait d'avoir rédigé un mémoire à l'issue du stage a aidé à développer notre sens de l'observation ainsi qu'à avoir davantage de sens de responsabilités suscitant l'esprit d'initiative. En outre, nous avons dû déployer beaucoup d'efforts tout au long de l'étude et notre capacité d'analyse n'en est que renforcée.
- Enfin, ce stage nous a bien préparé à occuper un poste de responsabilité plus tard car c'était pour nous une occasion de voir le fonctionnement de réseaux des télécommunications d'Algérie Télécom et donc s'habituer autant que futurs cadres à prendre des décisions et superviser les chantiers dans un vrai milieu professionnel.

Cependant, comme tout projet, présent travail nous a aussi révélé quelques problèmes, à savoir :

- Manque de références dans le domaine,
- Limitations des connaissances autant qu'étudiants suite au manque de stages pratiques et sorties sur terrain durant le cursus,
- Manque de ressources matérielles et humaines dans cette nouvelle technologie très récente,
- Manque de coordination entre l'université et l'entreprise, et enfin
- Monopole des entreprises étrangères très remarquable sur les nouvelles technologies

Pour conclure, notre expérience de l'étude et l'installation sur terrain de cette nouvelle technique de communication par F.O été en tous points bénéfiques sur le plan professionnel et personnel. Ceci nous a fait confronté à l'expérimental et aux conditions réelles mais aussi au problème d'intégration au milieu de travail et l'art d'accéder à l'information voulue même si elle est difficilement accessible.

Les recommandations pour les projets futurs sont assez nombreuses, parmi lesquelles nous citons :

- ✓ Ajout d'une étape de mesure par l'Analyseur GPON Telnet D8000, ce qui permet d'analyser tous les critères de qualité de service avec une meilleure précision,
- ✓ Remplacez les splitters (1:8) par des splitters (1:4) ou (1:2) pour partager le débit de port GPON 2.5 Gbps par 16 ou 4 abonnés au lieu de partager entre 64. Ceci permet d'obtenir des débits de 156 Mbps dans le premier cas et 625 Mbps dans le second,
- ✓ Remplacez les splitters passifs par des splitters actifs pour déminer l'atténuation au maximum sur tout dans les grandes distances,
- ✓ Ajout des cartes NGPON pour permettre d'apporter un débit symétrique de 10 Gbps,
- ✓ Utiliser les techniques de multiplexage en longueurs d'ondes (CWDM, DWDM, UDWDM) au lieu de WDM de base.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] http://www.unice.fr/DeptPhys/sem6/PagesWeb/Telecom/fibre_optique.html
- [2] G. Barue, « Télécommunications et Infrastructure : Liaisons Hertziennes-Spatiales Optique»
- [3] S. Ungar : « *Fibres optiques, Théorie et applications* » : Dunod : Paris, 1989
- [4] http://phychi33.free.fr/Seconde/PHYSIQUE2/CP5/chapitre_p5.htm
- [5] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fibra_optica.svg
- [6] http://www.fibre_optique.org/fibre_optique_8.html
- [7] <http://www.actutem.com/indexb59c.html>
- [8] <http://www.quieroapuntes.com/modelisation-des-transmissions-optiques-wdm.html>
- [9] G. Rimal, « Transmissions des télécommunications » Cours B11 – Partie 2
- [10] T.H. Maiman, « Stimulated optical radiation in ruby ». pages 493-494, 1987
- [11] http://www.nexans.fr/eservice/Francefr_FR/navigate_185012/Cables_a_fibres_optiques
- [12] <https://www.swisscom.ch/fr/clients-privés/produits/accessoires/accessoires-internet-et-tv/cable-de-raccordement-fibre-optique-10m>
- [13] I. Joindot , M. Joindot , « Les Télécommunications par Fibre Optique », Collection Technique et Scientifique des Télécommunication, Dunod, Paris, 1996
- [14] F. Gerdou, « La fibre optique », Février 2016
- [15] <http://www.thefoa.org/tech/connID.htm>
- [16] <https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2016/03/photon201682p35.pdf>
- [17] <http://www.guill.net/index.php?cat=5&arc=2&struct=9>
- [18] https://www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/29000-db-29000.html

- [19] « Chromatic Dispersion and Polarization Mode Dispersion, Electrical Engineering and Computer Science »
- [20] B. Frank, « Impact of First and Second Order PMD in Optical Digital Transmission Systems », Optical Fiber Technology, 199, vol.2, pp 29-280
- [20] G.Pujolle, « Les Réseaux » : Eyrolles
- [21] http://www.ybet.be/hardware2_ch6/Liaisons_haut_debit.php
- [22] <ftp://ftp-developpez.com/kadionik/reseau/xdsl.pdf>
- [23] T. Ali-Yahiya, “Understanding LTE and its Performance”, Paris, January 2011
- [24] N. DEFEZ, F. GABILLOUX, M. GARCIA, « le WIMAX », Université Montpellier II, 2006.
- [25] S. Sesia, I.Toufik, Matthew Baker “ LTE The UMTS Long Term Evolution”, John Wiley, United Kingdom, 2009
- [26] J.Chartier : Télécommunications spatiales : Attribution et partage des fréquences, Formation E.N.S.T : Paris, 2001
- [27] M.Bousquet : Télécommunications spatiales : Introduction aux systèmes de télécommunications par satellite, Formation E.N.S.T : Paris, 2001
- [28] JosepPrat, JosepPrat-Next-Generation FTTH Passive Optical Networks - Research Towards Unlimited Bandwidth Access-Springer (2008)
- [29] <http://www.cercle-credo.com/docs/developpement-des-reseaux-a-tres-haut-debit-ftth.pdf>
- [30] Arthur D. Little Réseaux de nouvelle génération en Europe
- [31] http://ftth.free.fr/contexte_technique.html
- [32] <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx>
- [33] <http://support.huawei.com/online/toolsweb/ptmngsys/Web/ftth/en/index.html>
- [34] <http://french.ttifiber.com/sale-8289819-1-32-and-2-32-optical-fiber-couplers-with-0-9mm-2-0mm-3-0mm-cable-multimode-fiber-splitter.html>
- [35] <http://www.reaprom.com/mobile.php?p=1/1/107-1>
- [36] A. A « QoS et Ingénierie des réseaux », Cours Master II, Départements Télécommunications : 2014-2015.
- [37] <http://2007.jres.org/planning/pdf/113.pdf>
- [38] <http://www.urec.cnrs.fr/IMG/pdf/cours.sf.pdf>
- [39] <http://www.teletopix.org/category/4g-lte/>
- [40] J. Surati PIT, Vadodara, « Evaluate the Performance of Video Transmission Using H.264 (SVC) Over Long Term Evolution (LTE) », Janvier 2014.
- [41] <https://www.telecom-infoconso.fr/qualite-des-services-de-communications-electroniques/>

- [42] G. Wei, « Optimisation du handover dans le protocole ipv6 mobile avec la méthode E-HCF » Thèse de doctorat, Université Paris XII, 2007.
- [43] Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François-Xavier Wolff, « LTE et les réseaux 4G : La mobilité en mode connecté », année 2013.
- [44] Réunion du Club QoS AFUTT du 10 décembre 2003, Source:P-YHébert, Titre:Quelques idées à débattre sur la détermination des critères et paramètres de QoS
- [45] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11166/1/Ms.tel.Hamedi.pdf>
- [46] <http://kheartoumspace.uofk.edu/bitstream/handle/123456789/25808/Hiba%20Altahir%20Alameen%20124106.pdf>
- [47] http://netposition.co.za/_number1/signal-and-line-attenuation/
- [48] <https://e.huawei.com/fr/products/fixed-network/access/olt/ma5800>
- [49] https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.1028-201604-I!!PDF-F&type=items

Annexes

ANNEXE A : Présentation des entreprises Algérie Télécom et Huawei

A.1 Présentation de l'Algérie Télécom

Algérie Télécom est le premier opérateur algérien en téléphonie et télécommunication. Pour une clientèle sans cesse diversifiée, il propose une gamme complète de services. Pour apporter satisfaction à une clientèle qui s'avère de plus en plus exigeante, il est doté d'une vision d'innovation performante et moderne.



Figure A.1: Logo d'Algérie Télécom

Algérie Télécom : Il s'agit là d'une entreprise par actions à capitaux publics (S.P.A) qui opère sur le marché de la communication électronique. Appartenant à l'Etat algérien, Algérie télécom souhaite veuille se faire une place sur la scène internationale et participer ainsi à la promotion de la société de l'information en Algérie.

L'entreprise s'est fixée comme défi à relever la satisfaction des besoins de sa clientèle qui tend à se moderniser, son souci offrir la meilleure qualité de service. Il est aujourd'hui détenteur d'un programme de développement du réseau de télécommunications (2004- 2009) ; le montant global des investissements à consentir est évalué à 203.976 Millions de DA soit l'équivalent de 2.5 Milliards de Dollars.

Ces investissements mobilisent tous les segments d'activité d'Algérie Télécom notamment ceux des fonctions de communication, de transmission, des moyens auxiliaires des télécommunications (énergie et gestion réseau), les communications satellitaires, Internet, la logistique des télécommunications, les systèmes informatiques et management.

Algérie Télécom connaît la problématique des sociétés commerciales et des organismes administratifs en matière de communication. Ainsi, elle a mis au point une politique adaptée à la catégorie ces clients pour se plier à leurs exigences lorsqu'il s'agit de compétitivité, de réductions des coûts, de qualité et de confidentialité.

A.1.1 Naissance d'Algérie Télécom

L'entreprise est née le 05 août 2000, après une restructuration visant le secteur des Postes et Télécommunications et séparant les domaines d'activités Postales de celles des Télécommunications.

L'entrée en activité officielle remonte au 1er Janvier 2003. Depuis, cette entreprise jeune et motivée s'implique dans l'univers des technologies de l'information et de la communication (N.T.I.C).

Sa politique d'innovation s'est fixé trois objectifs :

- Rentabilité
- Qualité des services
- Satisfaction

Algérie Télécom se définit par un fort niveau de réussite technique, économique et social pour se positionner en continuation leader dans son domaine dans un milieu devenu fortement concurrentiel et veut ainsi étaler sa dimension internationale.

A.1.2 Ses fonctions essentielles

Quelles sont ses fonctions ?

- Fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de messages écrits, de données numériques, d'informations audiovisuelles.
- Développer, exploiter et gérer les réseaux publics et privés de télécommunications.
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions avec tous les opérateurs des réseaux.

ALGERIE TELECOM s'est investie dans le monde des technologies de l'information et de la communication (N.T.I.C) avec les objectifs suivants :

- Multiplier l'offre de services téléphoniques et faciliter l'accès aux services de télécommunications au plus grand nombre d'utilisateurs, en particulier en zones rurales non desservies ;
- Améliorer la qualité de services offerts et la gamme de prestations rendues et rendre plus compétitifs les services de télécommunications ;
- Développer un réseau national de télécommunication fiable et connecté aux autoroutes de l'information.

A.2 Présentation de la société Huawei

Huawei Technologies Co. Ltd est une société chinoise créée en 1987 par RenZhengfeison. Son siège social se trouve à Shenzhen en Chine. Elle a pour objectif de fournir des solutions et des produits dans le domaine des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). Huawei travaille avec 45 des 50 principaux opérateurs de télécommunication, et possède plus de 110 000 collaborateurs dans 140 pays. L'entreprise Huawei peut équiper plusieurs architectures des réseaux fixes et mobiles.



Figure A.2: Logo de la société Huawei.

ANNEXE B : OUTILLAGE NECESSAIRE POUR LE RACCORDEMENT DES FIBRES OPTIQUES

Notons que deux facteurs influent directement sur le coût du point raccordé suivant l'importance de l'installation et la répétition des opérations :

- L'achat de l'outillage et des consommables.
- Le temps passé à réaliser le raccordement.
- Un calibre de polissage.

Cependant, un raccordement traditionnel nécessite :

En outillage

- Un dénudeur de câble.
- Plusieurs pinces à dénuder la fibre.
- Des ciseaux.
- Une pince à sertir.
- Un four à polymériser.
- Un calibre de polissage.
- Un microscope.
- Un outil à cliver.



Figure B.1 : Matériel d'épissurage.

En consommables

- Une seringue.
- De la colle.
- Des abrasifs.
- De l'alcool et des chiffons.

ANNEXE C:

Tableau C.1 : Le coût de mise en œuvre du projet FTTH dans la résidence La Perle de la Méditerranée à Kharouba.


L'équipement	L'installation DA	Prix DA	Conti té	Total DA
OLT	40000 (*)	2500000(*)	1	2540000
ODF	20000(*)	120000(*)	1	140000
FDT	22575	950000(*)	1	972575
FAT 8	2100	12000(*)	15	894300
FAT 16		18000(*)	17	
FAT 24		24000(*)	11	
Clouseure	2625	40000(*)	8	341000
Les chambres				
CO	/	357640	1	357640
B1	/	11499	1	11499
A2	/	61614	14	862596
A3	/	42888	8	343104
HH	/	21540	24	516960
Tranché	Longueur KM	prix Par KM	/	Total DA
Mini tranché biton	1.6	100526		160841
Godran	1.5	102533	/	153799
Gasan	0.5	127908		63954
Denidage	Longueur	Prix par mètre	/	Totale
F.O	169	400	/	67600
Soudage	Prix DA	Nombre de brin	/	Total DA
Brin	600	567	/	340200
			TOTAL DA	7766068
Vitess Mbit/s	Prix Adsl DA	Prix FTTH .DA		
1	1600	1600		

ANNEXE C

2	2100	2100		
4	3200	3200		
8	5000	5000		
20	7900	7900		
50	/	15000		
100	/	24000		

(*) : Ces prix et couts sont approximatifs.

ANNEXE D : les Attestations de stage de 04 mois effectué sur terrain sous la supervision des cadres d'Algérie Télécom.



ALGERIE TELECOM. SPA
Direction Opérationnelle de Mostaganem

Référence : AT/DO27/SD-FS/DRH/SDRHF/ 03 /2018

ATTESTATION DE STAGE

Je soussigné, Monsieur Le Directeur Opérationnel des Télécommunications


Que l'étudiant(e) : **Mr MATALLAH Amine** Né(e) le **12/02/1994** à : **METLILI - GHARDAIA**

Inscrit (e) à : **Université Abdel Hamid Ibn Badis Mostaganem**

A effectué un stage Pratique dans la filière : **Systèmes Des Télécommunications Réseau ** FTTX – FTTH ****

A: **ALGERIE TELECOM Centre de Maintenance & Production**

Durant la Période de : **du 25/01/2018 Au 08/05/2018.**




Fait à Mostaganem le 08/05/2018

DIRECTEUR OPÉRATIONNEL
DE MOSTAGANEM
SIGNE: **BENGHAI** Belkheir

Cette attestation est délivrée pour servir et faire valoir ce que le droit

ALGERIE TELECOM S.P.A au capital social de 61 275 180 000,00 DA
Direction Opérationnelle de Mostaganem
Square Boudjemaa . Tél : 045 21 09 68 - Fax : 045 21 22 22





ALGERIE TELECOM. SPA
Direction Opérationnelle de Mostaganem

Référence : AT/DO27/SD-FS/DRH/SDRHF/ 04 /2018

ATTESTATION DE STAGE

Je soussigné, Monsieur Le Directeur Opérationnel des Télécommunications

Que l'étudiant(e) : Mr HIBA Abderrahmane Né(e) le 30/01/1994 à : METLILI - GHARDAIA

Inscrit (e) à : Université Abdel Hamid Ibn Badis Mostaganem

A effectué un stage Pratique dans la filière : Systèmes Des Télécommunications Réseau ** FTTX – FTTH **

A: ALGERIE TELECOM Centre de Maintenance & Production

Durant la Période de : du 25/01/2018 Au 08/05/2018.



Fait à Mostaganem le 08/05/2018

DIRECTEUR OPÉRATIONNEL
DE MOSTAGANEM
SIGNE: BENGHARBI Belkheir

Cette attestation est délivrée pour servir et faire valoir ce que le droit

ALGERIE TELECOM S.P.A au capital social de 61 275 180 000,00 DA
Direction Opérationnelle de Mostaganem
Square Boudjemaâ . Tél : 045 21 09 68 - Fax : 045 21 22 22





ALGERIE TELECOM. SPA
Direction Opérationnelle de Mostaganem

Référence : AT/DO27/SD-FS/DRH/SDRHF/ 05 /2018

ATTESTATION DE STAGE

Je soussigné, Monsieur Le Directeur Opérationnel des Télécommunications

Que l'étudiant(e) : **Mr ADOUL Mohammed Amin** Né(e) le **11/02/1994** à : **SIDI-ALI**

Inscrit (e) à : **Université Abdel Hamid Ibn Badis Mostaganem**

A effectué un stage Pratique dans la filière : **Systèmes Des Télécommunications Réseau ** FTTX – FTTH ****

A: **ALGERIE TELECOM Centre de Maintenance & Production**

Durant la Période de : **du 25/01/2018 Au 08/05/2018**



Fait à Mostaganem le **08/05/2018**

DIRECTEUR OPERATIONNEL
DE MOSTAGANEM
SIGNE: BENGHARBI Belkhaïr.

Cette attestation est délivrée pour servir et faire valoir ce que le droit

ALGERIE TELECOM S.P.A au capital social de 61 275 180 000,00 DA
Direction Opérationnelle de Mostaganem
Square Boudjemaâ . Tél : 045 21 09 68 - Fax : 045 21 22 22

