

**Université de Gafsa**  
**Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de GAFSA**  
**Département ...**



# **Déploiement d'un réseau GPON**

**Mohamed Iheb**

En vue de l'obtention de  
Sous la Direction de :

**M. Anis ladghem**

Devant le jury composé de :

**Président :**

**Rapporteur :**

**Membres**

**2022/2023**

# *Dédicaces*



*C'est avec une grande émotion que je dédie  
Ce modeste Travail de fin d'études aux êtres les plus  
chers :*

*Mon père et ma mère qui ont fait de moi  
Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont  
Permís de vivre ce jour.*

*Avec leurs aides, leur grande émotion et leur sacrifice.  
A toute ma famille a tous mes amis et a tous ceux qui  
Mesont chers.*

***Mohamed Iheb***

## ***Remerciements***

Je tiens à témoigner ma profonde reconnaissance à **M.Anis ladghem**, pour son encadrement, son aide efficace et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous remercions vivement tous ceux qui ont participé de loin ou de près par une idée ou une suggestion, par un moment de soutien moral et de concours intellectuel à l'élaboration de projet.

Nos remerciements, nous les semons à tout vent en direction de notre honorable jury et avec cœur ouvert à notre cher encadreur.



# *Sommaire*

<b>Sommaire .....</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>iii</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>v</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>vi</b>
<b>Introduction Générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Etat de l’art .....</b>	<b>2</b>
1. Introduction .....	3
2. Présentation de société d’accueil.....	3
1.1. SOTETEL.....	3
1.2. Historique de la SOTETEL .....	4
1.3. Prospérité de la SOTETEL.....	5
1.4. Organigramme de la SOTETEL .....	5
1.5. Domaine d’activité de la SOTETEL.....	6
1.5.1. Infrastructures des réseaux.....	7
1.6. Contexte du projet.....	10
1.6.1. Concept des réseaux GPON .....	10
1.6.2. Problématique.....	10
1.6.3. Solution .....	10
1.6.4. Objectif du projet.....	11
1.6.5. Méthodologie.....	11
3. Conclusion .....	11
<b>Chapitre 2 : Réseaux optiques passifs.....</b>	<b>12</b>
2.1. Définition d’un réseau FTTH .....	13
2.2. Description d’un réseau FTTH .....	13
2.3. FTTH (Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office).....	14
2.3.1. FTTH Point à point ou P2P.....	14
2.3.2. FTTH Point à multipoints ou GPON.....	15
2.4. FTTB (Fiber To The Building).....	15
2.5. FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet) .....	16
4.1. Architecture point à point.....	17
4.2. Architecture point à multipoint.....	19

4.3.	Comparaison entre les deux architectures P2P et PON .....	20
5.1.	Éléments constitutifs du PON .....	22
5.2.	Principe de fonctionnement d'un réseau PON.....	23
5.3.	Les différents standards d'un réseau PON.....	24
5.4.	Comparaison des standards d'un réseau PON .....	26
<b>Chapitre 3 : Implémentation de .....</b>		<b>28</b>
<b>L'architecture d'un réseau GPON.....</b>		<b>28</b>
2.1.	Description du logiciel Optisystem .....	29
2.2.	Les applications de l'Optisystem.....	31
2.3.	Avantages du logiciel Optisystem .....	31
2.4.	Paramètres de qualité d'une liaison optique.....	32
2.4.1.	Le diagramme de l'œil .....	32
2.4.2.	Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q .....	32
2.4.3.	Le taux d'erreur binaire BER : .....	33
3.1.	Schéma bloc de la FTTH selon l'architecture G-PON .....	33
3.2.	Description des éléments de la chaîne de transmission .....	34
3.2.1.	Description du circuit d'émission.....	34
3.2.2.	Coupleur optique .....	36
4.1.	La cartographie .....	37
4.2.	Génie Civil.....	38
4.2.1.	Les chambres .....	38
4.2.2.	Les câbles fibres optique.....	40
4.3.	Les Méthode utilisé dans le Tirage du câble .....	41
4.4.	La méthode par soufflage .....	41
7.1.	Sécurité.....	45
7.2.	Raccordement .....	45
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>56</b>
<b>Bibliographiques .....</b>		<b>57</b>

## *Liste des figures*

Figure 1. 1:LOGO DE SOCIETE TUNISIENNE D'ENTREPRISES DES TELECOMMUNICATIONS .....	4
Figure 1. 2: organigramme de la sotetel .....	6
Figure 2. 1: Architecture globale d'un réseau FTTH [8]	14
Figure 2. 2:Les réseaux d'accès optiques FTTH	14
Figure 2. 3:Structure d'un réseau FTTH Point à Point	15
Figure 2. 4: Structure d'un réseau FTTH Point à Multipoint	15
Figure 2. 5: Structure d'un réseau FTTB	16
Figure 2. 6: Structure d'un réseau FTTC/FTTCAB	16
Figure 2. 7: LES DIFFERENTS TYPES DES RESEAUX FTTX	17
Figure 2. 8: Architecture point à point	18
Figure 2. 9: ARCHITECTURE POINT A multipoint	20
Figure 2. 10: Architecture de base du réseau d'accès (PON) [9]	22
Figure 2. 11: Les éléments constitutifs du PON [12]	23
Figure 2. 12: Architecture du sens montant	24
Figure 2. 13: Architecture du sens descendant	24
Figure3. 1: : interface logiciel Optisystem	30
Figure3. 2: Bibliothèque des composants	30
Figure3. 3: Interface d'utilisateur graphique (GUI)	31
Figure3. 4: Paramètre de la fenêtre d'éditions	31
Figure3. 5: diagramme de l'œil	32
Figure3. 6: Architecture GPON	33
Figure3. 7: Schéma bloc de simulation de la FTTH selon l'architecture G_PON	34
Figure3. 8: Schéma du circuit d'émission.	34
Figure3. 9: Coupleur optique	36
Figure3. 10: Interprétation cartographie	37
Figure3. 11: Appareil de Mesure topographique sokkisha TM20H	38
Figure3. 12: Chambre de type A	39
Figure3. 13: Chambre d type B	40
Figure3. 14:La machine de soufflage fibre optique	42
Figure3. 15: Tirage de câble par soufflage	42
Figure3. 16: Une partie de la carte de câblage des fibres optiques	43
Figure3. 17: Le plan de câblage et les types des câbles	44
Figure3. 18: Une partie du plan d'ensemble en PDF	44
Figure3. 19: Protection d'épissure	45
Figure3. 20:Dénudage	46
Figure3. 21: Le clivage	46
Figure3. 22: La soudure	47
Figure3. 23: Mal coupure de la fibre et pas de détection de la fibre.	47

Figure3. 24: La protection	48
Figure3. 25: Point de la mutualisation de la zone (PMZ)	49
Figure3. 26: Code couleur des fibres	49
Figure3. 27: Boîte de protection d'épissure	50
Figure3. 28: Prise terminale optique (PTO)	51
Figure3. 29: Mesure de perte en dB avec le powermeter	52
Figure3. 30: Méthode de test par réflectométrie	53
Figure3. 31: La courbe des atténuations	53
Figure3. 32: réflectomètre optique temporel	54
Figure3. 33: Bobine amorce de longueur 1Km	54

## *Liste des tableaux*

Tableau 1. 1: Identité de la Sotetel .....	4
Tableau 1. 2: Tableau de prospérité de la sotetel .....	5
Tableau 2. 1: Les avantages et Les inconvénients Architecture point à point.....	19
Tableau 2. 2: LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS ARCHITECTURE POINT A Multipoint.....	20
Tableau 2. 3: Comparaison entre P2P et PON .....	20
Tableau 3. 1: les éléments de la partie émission .....	35
Tableau 3. 2: Les dimensions des chambres du type A.....	39
Tableau 3. 3: Les dimensions des chambres du type B .....	39
Tableau 3. 4: types et caractéristiques des câbles fibres optique.....	40
Tableau 3. 5: Mise en place d'un réseau d'accès optique au jardin el menzah .....	42



## *Liste des abréviations*

**APON:** ATM PON Asynchrones Transfer Mode Passive Optical Network.

**ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line

**BPON:** Broadband Passive Network.

**CDI :** Common rail Direct Injection

**DAO :**Dessin Assisté par Ordinateur

**EPON:** Ethernet Passive Optical Network.

**FTTX:** Fiber To The ....

**FTTH:** Fiber To The Home.

**FTTB:** Fiber To The Building.

**FTTC:** Fiber To The Curb

**FTTCab:** Fiber To The Cabinet.

**FO :** Fibre Optique

**FDT :** Fiber Distribution Terminal

**GPON:** Gigabit Capable Passive Optical Network.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**ITU-T:** International Télécommunications Union.

**KVA:** Kilo Volt Ampere

**LASER:** Light Amplification by Simulated Emission of Radiation.

## **Introduction Générale**

Les réseaux d'accès DSL déployés atteignent leurs limites en termes de débit et de portée. Or, le développement de nouveaux services de télécommunications implique une forte croissance du besoin en bande passante offerte aux utilisateurs. De ce fait, l'optique a fait son entrée dans nos foyers depuis quelques années, à travers les liaisons hauts débit FTTH (Fiber To The Home).

Plusieurs techniques se distinguent pour amener la fibre jusqu'à l'abonné et nous allons nous attacher particulièrement à la solution GPON (Gigabit Passive Optical Network) choisie par Tunisie télécom et Ooreedo. Ce type de réseau décrit une architecture point-à-multipoint, basée sur un multiplexage temporel de la transmission des données de chaque utilisateur. Le GPON s'illustre alors sur une portée entre 15 km et 25 km et permet de desservir jusqu'à 64 clients (ONT) à partir d'un seul point d'agrégation au central (OLT). Ce type de réseau transporte des flux de données descendants à un débit qui peut atteindre 1Tbit/s ce qui permet d'offrir une bande passante bien déterminée entre 100Mbit/s et 500Mbit/s chez l'abonné.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet, traité en trois chapitres.

- Dans le premier chapitre, intitulé " Présentation du projet ", nous décrivons le contexte général du projet à travers lequel nous exposerons notre problématique.
- Le deuxième chapitre sera consacré aux réseaux d'accès optiques avec les différentes architectures FTTx qui existent, ainsi que le fonctionnement d'un réseau optique passif (PON), avec ses différents éléments tel que l'ONT, l'ONU, et le coupleur. Ensuite, nous allons présenter le système PON-WDM. A la fin de ce chapitre, nous décrivons les différents débits offerts par les réseaux PON, ainsi que la sécurité des réseaux et leur fiabilité.
- Le troisième chapitre a pour objectif de présenter une étude détaillée de l'implémentation du réseau GPON dans une zone d'où la présentation des différentes cartes réalisées par le logiciel Autocad.
- Nous clôturerons notre rapport par une conclusion générale.

# Chapitre 1 : Etat de l'art

## **1. Introduction**

Durant ces dernières décennies, les réseaux d'accès connaissent un développement très rapide que ce soit au niveau de l'accès fixe et radio ou bien des réseaux mobiles. Les réseaux câblés à base de fibre optique ont été en forte évolution avec un impact important sur un grand nombre d'applications (audio, vidéo, téléphonie, GSM).

La plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui sont basés sur les technologies Gigabit PON (Passive Optical Network). Dans ce chapitre, nous allons étudier le déploiement d'un réseau GPON au sein de la société « SOTETEL ».

## **2. Présentation de société d'accueil**

### **1.1. SOTETEL**

La SOTETEL est un acteur de référence dans le domaine des télécommunications opérant Depuis 1981 sur le marché Tunisien et à l'étranger. C'est une entreprise pionnière dans la mise en œuvre et la maintenance des réseaux privés et des réseaux publics de télécommunications. Ses activités couvrent principalement quatre domaines:

- Les infrastructures
- Les réseaux « Wireless »,
- Le câblage et la connectivité
- Les systèmes et les solutions.

Cette entreprise a constamment joué un rôle prépondérant dans le déploiement de l'infrastructure de télécommunications en Tunisie en prenant part à presque tous les grands projets réalisés pour le compte de l'opérateur national « Tunisie Télécom ».

Elle est également le partenaire privilégié des principaux équipementiers internationaux Opérant en Tunisie.

Les moyens humains et techniques dont dispose la société, sans cesse mis en adéquation avec les nouvelles technologies, lui ont permis d'acquérir une position dominante sur le marché des télécommunications.

Sa présence tout au long de la chaîne des télécommunications, depuis l'installation d'appareils téléphoniques jusqu'à la mise en œuvre des réseaux les plus évolués, lui confère un potentiel de développement et de croissance important, tant sur le plan national que sur le plan

international, notamment dans les pays du Maghreb, du Moyen Orient et dans certains pays d'Afrique Subsaharienne [1].



**FIGURE 1. 1: LOGO DE SOCIETE TUNISIENNE D'ENTREPRISES DES TELECOMMUNICATIONS**

## **1.2. Historique de la SOTETEL**

En juin 1998, la Sotetel fait son entrée à la Tunis. En 2000, la société reçoit à Genève (Suisse) le prix du Mérite international de développement des télécommunications. Après trois ans de déficit (2013-2015), la direction annonce fin 2016 un bénéfice net de 1,4 million de dinars pour un chiffre d'affaires de 48 millions de dinars, ce qui représente une croissance de 22 % comparé aux résultats de 2015.

En 2016, la mise en place d'un plan de restructuration décidé par l'actionnaire majoritaire, Tunisie Télécom, entraîne la suppression de 25 % des effectifs.

Dans le cadre de sa stratégie de développement de ses activités à l'étranger, la Sotetel annonce en juillet 2017 qu'elle conclut un accord avec un partenaire algérien afin de créer la Sotetel Algérie, une société anonyme d'algérien. Un an plus tard, en juillet 2018, la direction de la Sotetel annonce officiellement la création de la Sotetel Algérie, une société par actions ayant le même objet social et détenue à 49 % par la Sotetel [2].

**TABEAU 1. 1: IDENTITE DE LA SOTETEL**

<b>Dénomination</b>	<b>Société Tunisienne d'entreprises de Télécommunication</b>
<b>Directeur Général</b>	MR. Adel Gaaloul
<b>Forme Juridique</b>	Société Anonyme
<b>Création</b>	Septembre 1981
<b>Capital</b>	23,184 millions TND
<b>Adresse</b>	Rue des Entrepreneurs-Z.I charguiall Aéroport-1080 Tunis

<b>Site</b>	WWW.Sotetel.com.tn
<b>Téléphone</b>	+216 71491100

### 1.3. Prospérité de la SOTETEL

TABLEAU 1. 2: TABLEAU DE PROSPERITE DE LA SOTETEL

<b>Entrée en Bourse</b>	<b>Tunis-juin 1998</b>
<b>Certifié</b>	ISO 9002
<b>Chiffres d'affaire (2008)</b>	38,352 millions DT
<b>Ressources Humaines</b>	600 agents permanents
<b>Agrément d'intégration</b>	Voix sur IP-2008
<b>Les actionnaires</b>	35% Tunisie Télécome +10% Nokia Siemens +7,47% El athir Fund +6,98% société Lac ceramic + 40,55% Divers porteursCouverture
<b>Couverture</b>	4 unités régionales et une agence en Libye
<b>Distinctions</b>	Mérite international de développement des télécommunications : Genève- 2000  Prix Présidentiel national du progrès social -2001

### 1.4. Organigramme de la SOTETEL

La figure ci-dessous nous donne un aperçu sur l'organigramme de SOTETEL :

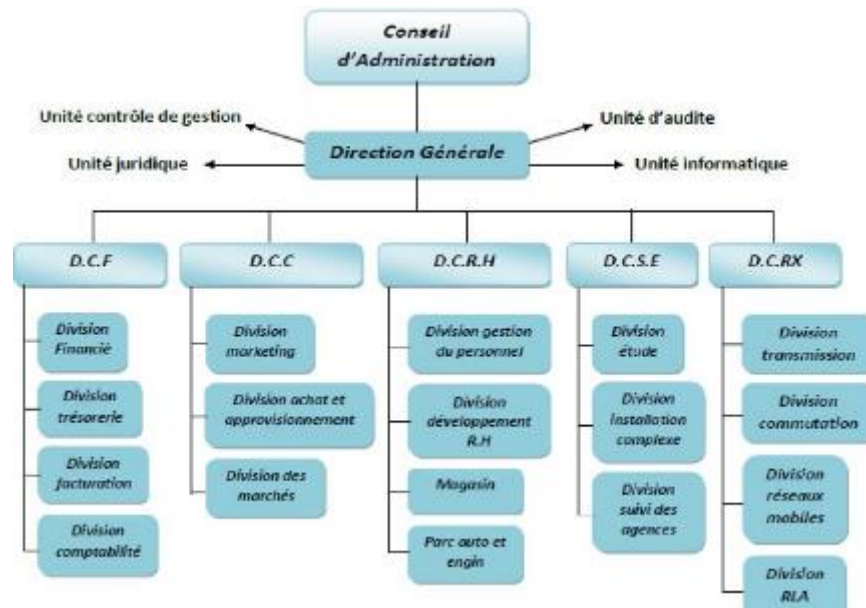


FIGURE 1. 2: ORGANIGRAMME DE LA SOTETEL

❖ **D.C.F:** Direction Centrale Financière

Gestion financière

Comptabilité et administration

❖ **D.C.C :** Direction Centrale Commerciale

Gestion des ventes et du chiffre d'affaires

Marketing

❖ **D.C.R.H :** Direction Centrale Ressources Humaines :

Recrutement, intégration et formation du personnel

Gestion administrative et paie

Communication interne

❖ **D.C.S.E :** Direction Centrale Solution d'Entreprise :

Etude, installation et maintenance des réseaux privés

❖ **D.C.RX :** Direction Centrale des Réseaux :

Mise en œuvre de l'infrastructure des réseaux de transmissions et des réseaux d'accès (Réseaux publics) [3].

## 1.5. Domaine d'activité de la SOTETEL

### ➤ Bâtisseur des réseaux

SOTETEL est le bâtisseur des réseaux et des services de télécommunications. Ses activités couvrent l'infrastructure des réseaux fixes, radioélectriques et mobiles, l'infrastructure des réseaux convergents, les solutions des communications, les applications métiers et les solutions d'accès unifiés et d'intelligence.

➤ **Intégrateur de solutions digitales**

SOTETEL est l'intégrateur de solutions digitales et de services à fortes valeurs ajoutées opérant dans une logique d'innovation technologique et d'amélioration continue.

SOTETEL propose, en collaboration avec ses partenaires technologiques de grandes renommées, des solutions de bout en bout pour tout connecter, en apportant des avantages concurrentiels en matière de réseaux télécoms et d'entreprises et agissant en tant qu'acteur principal et accompagnateur dans la transformation digitale.

Conscient des soucis de nos clients, nous suivons rigoureusement une démarche qualité qui consiste à les accompagner pour définir leurs besoins, concevoir, proposer et déployer des solutions optimales et assurer leurs maintenances.

Agissant dans un environnement agile et technologique, nous misons sur le développement de nos compétences par le biais des certifications à très haut niveau.

Durant plusieurs décennies d'existence, nous avons pu développer et fidéliser un portefeuille de clients de renommée nationale et internationale et ce dans plusieurs secteurs tels que : les opérateurs télécoms, les gros comptes, l'administration, les entreprises et des clients verticaux des différents secteurs d'activité.

En s'inscrivant dans un contexte international, SOTETEL gagne en notoriété en intégrant des marchés mondiaux en faisant rayonner son nom et son label.

**1.5.1. Infrastructures des réseaux**

✓ **Infrastructure des réseaux filaires**

SOTETEL dispose d'une grande expérience dans le déploiement des réseaux d'accès filaires backbone et à fibres optiques PDH-SDH et WDM, solutions sécurisées et redondantes.

- La reconnaissance des sites à abriter les équipements et dimensionnement.
- L'élaboration de la documentation d'ingénierie d'architecture des réseaux et les solutions techniques d'environnement ainsi que l'élaboration de la documentation d'installation des équipements.



- Le déploiement des réseaux cuivre FO backbone et des solutions associées → d'environnement : Energie, climatisation et systèmes de sécurité, installation, test et mesures

SOTETEL met en œuvre toute l'infrastructure de télécommunications très haut débit THD de type FTTx nécessaire à la desserte de vos lotissements et vos ensembles immobiliers, immeubles, habitation résidentielle et commerciales.

Une infrastructure déployée par la technologie fibre optique permettant une connexion de THD et proposant une large gamme de produits et de services pour tout connecter. Elle réalise les différentes couches de vos réseaux à savoir :

- Les couches d'infrastructure physique : fourreaux, chambres, armoires de rues et les gaines et les locaux techniques...
- Les couches d'infrastructure optique passives : câbles à fibres optiques, boîtiers d'épissure, baies de brassage, répartiteur de bâtiment, répartiteur distribution, réglettes, accessoires de raccordement, les points de raccordement, branchement (Réseaux : FTTB, FTTH, FTTC, ...)
- Les couches d'infrastructure actives équipements actifs et architecture de réseau reliant votre réseau au nœud de rattachement par l'intermédiaire d'un support physique dédié (Réseaux : GPON, IM-MSAN, Câblage d'immeubles, ...)

Le raccordement du client final au réseau d'accès est aussi son savoir-faire.

SOTETEL assure la maintenance préventive et curative de tous vos réseaux d'accès THD ainsi que vos équipements actifs et d'environnement.

Elle réalise aussi l'audit, la mise à niveau et la déviation de vos réseaux de télécommunication filaires.

#### ✓ **Infrastructure des réseaux non filaires**

Depuis des années, SOTETEL opère dans l'installation et l'implémentation des réseaux radioélectriques FH et les réseaux GSM.

#### **Les réseaux radioélectriques**

SOTETEL fait l'Infrastructure et l'implantation des réseaux radioélectriques par faisceaux hertziens FH.

- La reconnaissance des parcours et l'établissement d'un rapport du site Survey.
- L'étude et l'ingénierie des bilans de liaisons FH.
- L'élaboration des plans d'exécutions avec tous ses détails.
- La mise en œuvre d'une méthodologie et de choix de moyens d'exécution des travaux de Génie civil à préconiser selon nature et terrains et types de pylônes
- Le dimensionnement du réseau backbone FH et l'élaboration de la documentation d'ingénierie du projet.
- L'implantation de l'architecture du réseau et solutions techniques et la fourniture des différents types de supports d'antennes (pylônes, mats.) et accessoires.
- L'exécution des travaux de génie civil et fondation, implantation des supports d'antennes et accessoires.
- L'installation et les tests des liaisons FH avec ses équipements d'énergie et de climatisation et sécurités.
- La fourniture de la documentation technique.



### **Les réseaux mobiles GSM**

- La reconnaissance des sites et l'établissement du rapport du Site Survey
- L'ingénierie des sites GSM et l'élaboration des APD
- La recherche des sites et les négociations des contrats de leurs acquisitions pour le compte des opérateurs.
- La fourniture et l'installation des structures métalliques (mâts, pylônes ainsi que les différents supports de fixations d'antennes...)
- L'expertise pour le renforcement des structures métalliques abritant les antennes et équipements La réalisation des travaux de génie civil nécessaires pour l'installation des structures métalliques, clôtures des sites...
- La maintenance des sites GSM (préventive et curative)
- L'installation, test, mise en service et réception technique des équipements (BTS, antennes GSM et équipements MSAN...)
- L'intégration des solutions (Réseau GSM et MSAN)
- La Supervision, contrôle et acceptation
- L'assistance technique pour les opérateurs
- L'optimisation des réseaux radio

- L'installation des équipements MSAN et ateliers d'énergie



### **Solution FHIP**

Sotetel propose des solutions pour des liaisons de faisceaux hertziens de type IP full outdoor en point à point (full outdoor IP micro-waves) en vue de satisfaire les besoins des entreprises en termes d'accès data MPLS.

- La fourniture, des équipements FHIP à déployer dans les locaux de l'opérateur télécoms ainsi que les sites clients (entreprises) et ce conformément à la portée détaillée et le bilan de liaisons.
- La solution FHIP consiste à l'installation des équipements FH IP proposés, leur mise en service et leur intégration avec les nœuds du réseau (Switch d'accès, métro Ethernet, Backbone IP/MPLS) de l'opérateur télécoms.
- La fourniture (hardware et software) du système de gestion NMS et son installation
- La fourniture du matériel et accessoires d'installation.
- La fourniture et l'installation des mats coté client et Opérateurs.
- La formation
- Le support technique et maintenance

## **1.6. Contexte du projet**

### **1.6.1. Concept des réseaux GPON**

La plupart des systèmes d'accès optique déployés aujourd'hui sont basé sur FTTH. Pour l'améliorer, on est passé vers les technologies Gigabit PON (Passive Optical Network). C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'études intitulé « Déploiement d'un réseau GPON » qui consiste à diffuser un haut débit avec une performance élevée en termes de nombre maximum d'abonnés et de bande passante.

### **1.6.2. Problématique**

Aujourd'hui, le nombre d'utilisateur des réseaux est énorme ceci va introduire une dégradation des performances au niveau de la bande passante et la vitesse de transmission.

### **1.6.3. Solution**

Le besoin d'une bande passante plus élevée nécessite la mise en place des réseaux d'accès FTTH (Fiber to the Home) à large bande. Notre solution consiste en la mise en œuvre du FTTH. Ce dernier peut fournir aux clients un trafic extrêmement élevé, une large

couverture et un coût réduits grâce à son architecture point à multipoint. La maintenance est de ce type de réseau est effectuée en utilisant des composants passifs.

#### **1.6.4. Objectif du projet**

Les études qui se font sur les différents scénarios de déploiement d'une architecture de réseau métropolitain passif sur fibre optique ont montré l'impact de l'occupation des ports PON sur les coûts. En effet les équipements de central sont aujourd'hui encore coûteux ; minimiser leur nombre lors du déploiement initial permettra à la fois de lisser l'investissement et de bénéficier au mieux de la baisse du coût des OLT dans les années à venir.

La stratégie de déploiement doit donc répondre à cette préoccupation d'occuper au mieux et au plus vite les coupleurs pour avoir un nombre de clients par port PON permettant une mutualisation. Par conséquent, nous nous intéressons dans notre travail aux réseaux GPON.

#### **1.6.5. Méthodologie**

Dans ce rapport, nous allons suivre la méthodologie ci-dessous :

- L'étude du concept du réseau GPON
- La cartographie du réseau
- L'étude de la partie génie civil.
- La réalisation de la nouvelle architecture sur Auto CAD.
- Le Raccordement
- Le Test

### **3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'organisme d'accueil SOTETEL, les défaillances avec l'architecture existante ainsi que les objectifs et la solution que nous allons proposer. Dans le chapitre suivant, nous présenterons une étude théorique du déploiement des réseaux GPON.

# **Chapitre 2 : Réseaux optiques passifs**

## **1. Introduction**

Ces dernières années, les réseaux optiques ont connu un développement rapide. Le développement est dû à la demande accrue de débit (4G /5G...) pour des applications qui nécessitent des bandes passantes importantes.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à une présentation détaillée des réseaux optiques.

## **2. Présentation d'un réseau FTTH**

### **2.1. Définition d'un réseau FTTH**

Le terme FTTx définit comme étant Fiber To The x, désigne un ensemble de méthodes de déploiement de réseau fibre optique. Le terme x peut respectivement prendre les valeurs H(pour Home), N(pour Node) et C(pour Curb).

FTTH (Fiber To The Home) est une méthode de déploiement des réseaux en fibres optiques jusqu'à l'abonné. Autrement dit, les installations de fibre optique déployées par l'opérateur vont jusqu'au domicile (ou bureaux) de l'abonné. [7]

### **2.2. Description d'un réseau FTTH**

Afin de dimensionner et déployer un réseau FTTH, certaines interrogations doivent trouver réponses. Il s'agit notamment de savoir : comment construire une boucle locale optique ? Quels équipements constitueront cette boucle locale?

Les spécificités techniques de déploiement concernent tous les aspects d'un réseau FTTH. Les réseaux sont généralement subdivisés en deux parties : le cœur de réseau (ou Backbone) et le réseau d'accès. La figure 2.1 ci-dessous illustre l'architecture physique globale d'un réseau FTTH suivant la topologie en anneau.

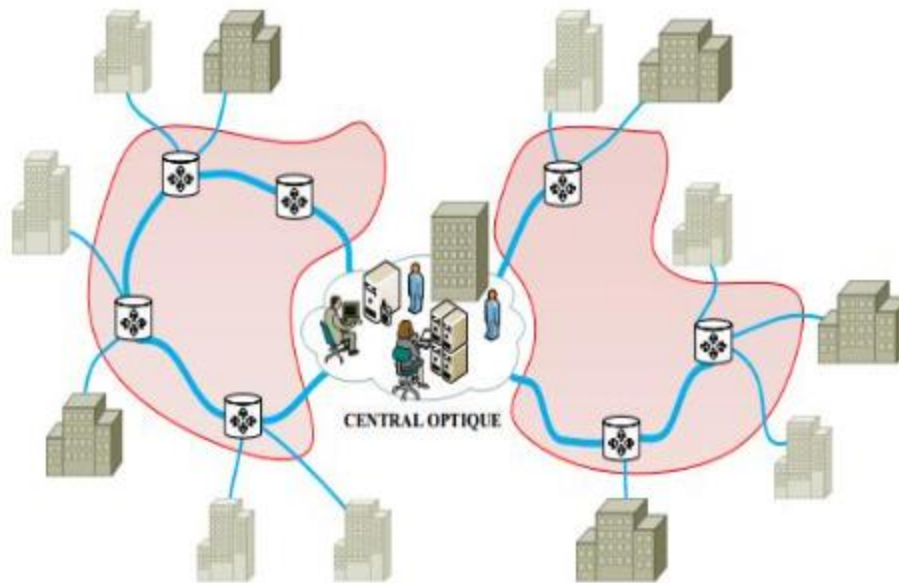


FIGURE 2. 1: ARCHITECTURE GLOBALE D'UN RESEAU FTTH [8]

### 2.3. FTTH (Fiber To The Home)/ (Fiber To The Office)

L'abonné est directement raccordé par une fibre optique de "bout en bout". Une fibre est tirée entre le nœud de raccordement optique (NRO) et l'intérieur du logement pour être raccordée à un modem.

La terminaison du réseau optique, propre à un abonné est implantée dans ces locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s).

Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO, la figure suivante représente les différents composants d'un réseau FTTH/FTTO [5].

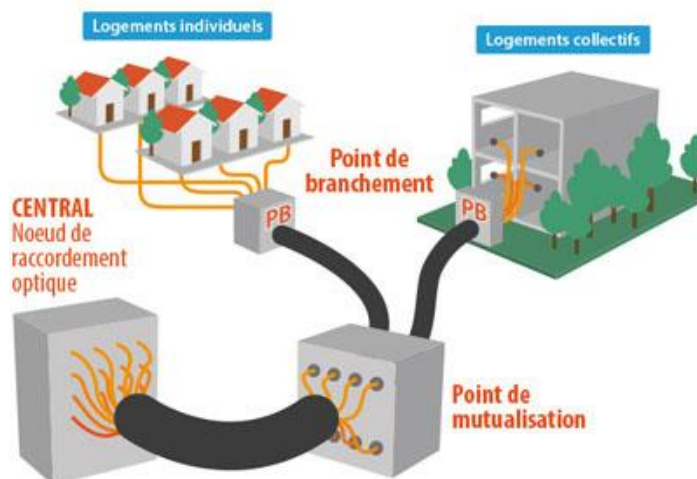


FIGURE 2. 2: LES RESEAUX D'ACCES OPTIQUES FTTH

#### 2.3.1. FTTH Point à point ou P2P

Le FTTH dédié (Point à point ou P2P), permet à chaque abonné, de disposer de sa propre fibre, de chez lui jusqu'au nœud de raccordement optique (NRO). Ce nœud est équipé par le fournisseur d'accès de l'abonné.

Cette technique, est la solution la plus évolutive puisque le FAI (Fournisseur d'Accès Internet) peut contrôler davantage les débits et augmenter si besoin la bande passante.

Par contre, le FTTH dédié coûte plus cher et des barrières administratives (syndic d'immeuble, copropriété...) peuvent gêner son déploiement.

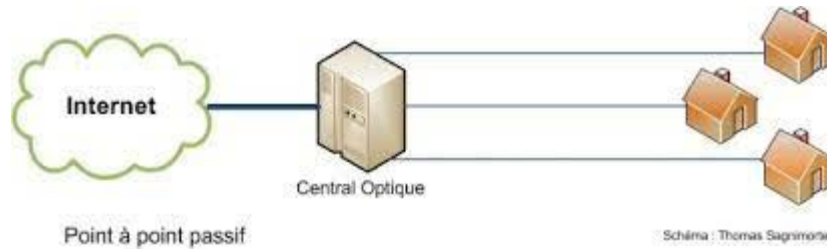


FIGURE 2. 3:STRUCTURE D'UN RESEAU FTTH POINT A POINT

### 2.3.2. FTTH Point à multipoints ou GPON

Le FTTH partagé (Point à multipoints ou GPON) est un dispositif différent.

La fibre optique entre l'abonné et le NRA est partagée grâce à un répartiteur supplémentaire, installé en amont. La fibre en provenance du NRO, est divisée ensuite pour que chaque abonné obtienne le très haut débit. Cette solution est moins onéreuse à mettre en œuvre, seulement elle ne permet pas d'ajuster facilement le débit.

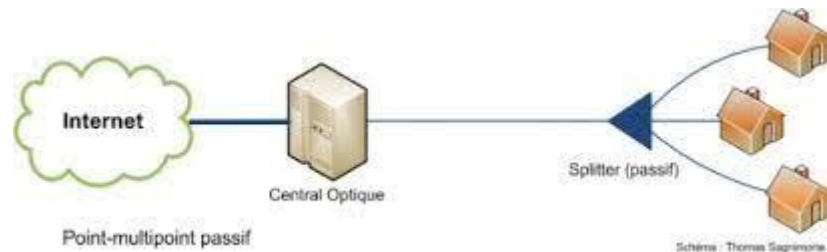


FIGURE 2. 4: STRUCTURE D'UN RESEAU FTTH POINT A MULTIPOINT

### 2.4.FTTB (Fiber To The Building)

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

Cette configuration est appelée aussi FTTB, la figure ci-dessous représente la structure d'un réseau FTTB [4].



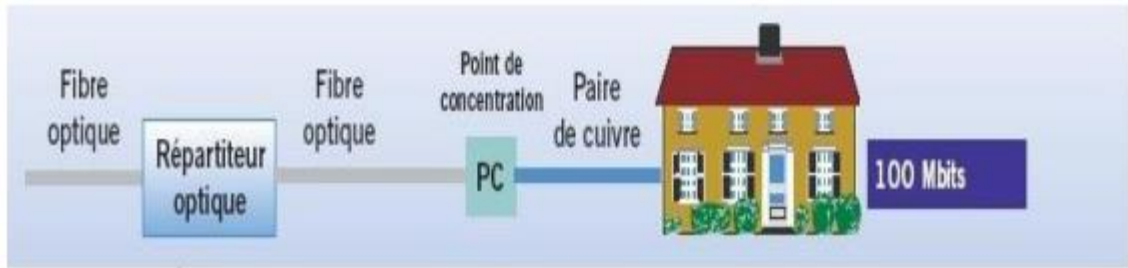


FIGURE 2. 5: STRUCTURE D'UN RÉSEAU FTTB

### 2.5.FTTC (Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau.

Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FFTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab). Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radio électrique, la figure ci-dessous représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab [5].

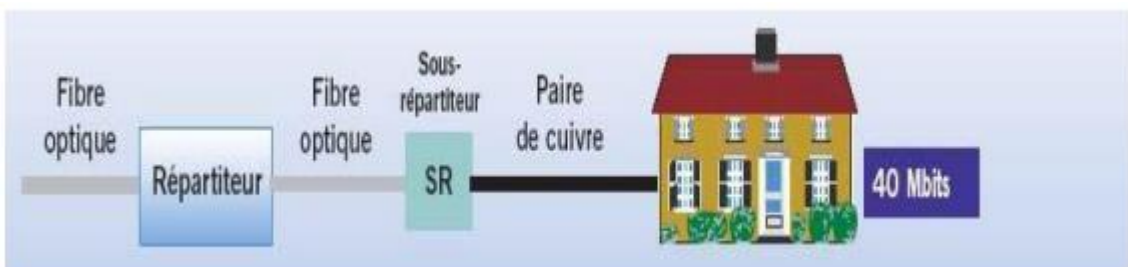


FIGURE 2. 6: STRUCTURE D'UN RESEAU FTTC/FTTCAB

### 3. L'architecture mixte (FTTB,FTTC...)

A l'opposée des structures précédentes où la fibre optique était déployée d'un bout à l'autre de la chaîne, ici on ne déroule la fibre optique que jusqu'à proximité du domicile du client final. Les technologies PON décrites dans le point précédent pour le déploiement de réseaux FTTH sont alors tout à fait utilisables.

On s'appuie ensuite sur une technologie alternative pour les dernières centaines de mètres du parcours. Toute une série d'acronymes déclinés du précédent sont nés pour caractériser ce type d'architecture. Ils dépendent de l'implantation de la jonction (souvent appelée « streets cabinet ») entre les deux technologies, FTTB (Fiber to the building, fibre au pied de l'immeuble), FTTC (Fiber to the curb, fibre au niveau du trottoir, de la rue), FTTN

(fiber to the neighborhood, fibre déployée jusque dans le quartier...), FTTCab (fibre to the cabinet, c'est-à-dire fibre jusqu'aux coffrets répartiteurs).

C'est une solution moins onéreuse pour les opérateurs et plus rapide à déployer que la précédente car elle peut s'appuyer pour les derniers mètres sur les supports déjà déployés localement (par exemple, les réseaux en câbles coaxial ou en paire torsadée dans les immeubles). Les technologies alternatives choisies, même si elles offrent globalement des performances plus réduites en termes de débits, affectent peu compte tenu des faibles distances mises en jeu (quelques centaines de mètres). Le niveau qualitatif des offres en très haut débit. (Figure 2.7).

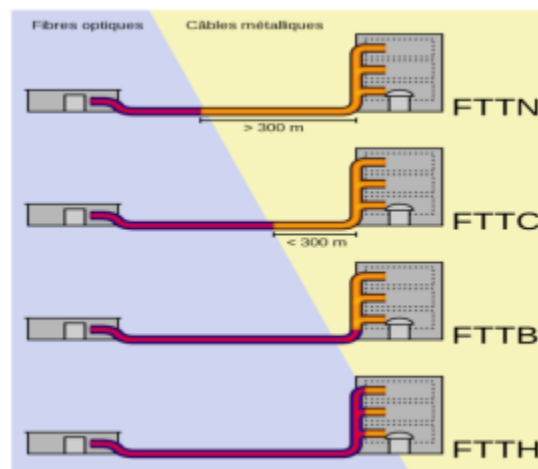


FIGURE 2. 7: LES DIFFERENTS TYPES DES RESEAUX FTTX

#### 4. Architecture des réseaux FTTH

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'à domicile. 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 [6].

Deux types de topologies physiques permettent d'acheminer la fibre jusqu'au client final :

- L'Architecture active, aussi appelée point à point (P2P).
- L'Architecture passive est appelée communément point à multipoint (PON).

##### 4.1. Architecture point à point

Le point-à-point est l'architecture la plus simple à mettre en œuvre parmi les topologies physiques du réseau d'accès optiques, elle consiste à avoir un lien physique en fibre optique directement entre le central et l'abonné. Elle est principalement associée avec des

technologies telles que la technologie à hiérarchie numérique synchrone (SDH/SONET) et les technologies xDSL (ADSL, HDSL, VDSL,...).

Le déploiement de cette technologie revient plus cher, le nombre de fibres à produire et à connecter étant plus élevé.

Dans cette architecture, chaque abonné est raccordé au répartiteur optique du réseau le plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Ce modèle est identique à celui de la boucle locale téléphonique actuelle.

L'utilisation de la fibre permet une étanchéité absolue entre les lignes des différents abonnés : aucun risque de sécurité, et garantie absolue de disponibilité totale de la ligne. Mais c'est inconvenient pour les opérateurs, chaque fibre étant dédiée à un abonnée, il y a autant de fibres que d'abonnés.

Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés mais le plus souvent c'est Ethernet qui est choisi. Ces solutions sont alors dénommées Ethernet P2P ou Ethernet Direct Fibre. Elles permettent des débits qui peuvent atteindre 10Gb/s [6].

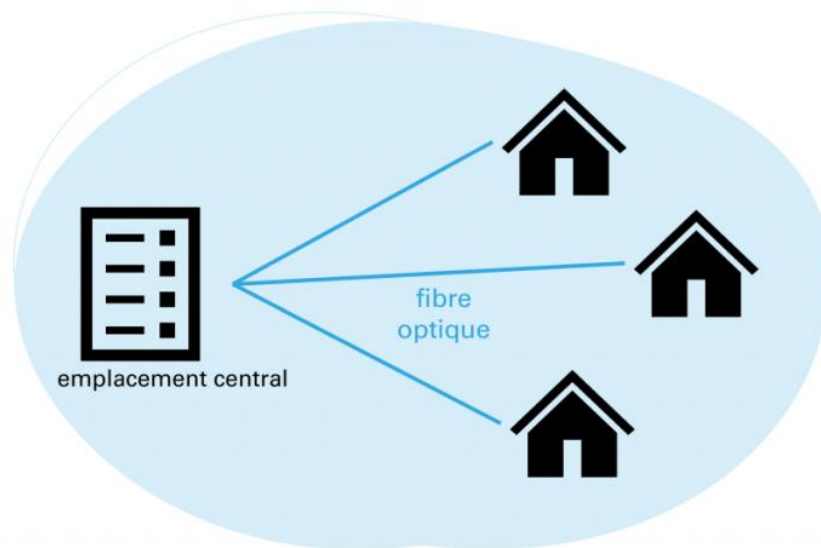


FIGURE 2. 8: ARCHITECTURE POINT A POINT

TABLEAU 2. 1: LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS ARCHITECTURE POINT A POINT

Architecture point à point	
<b>Les avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution universelle adaptée aux clients résidentiels et aux entreprises</li> <li>• Budget optique optimal puisque pas de composants optiques entre l'OLT et l'ONT.</li> <li>• La sécurité des données est garantie puisqu'une ou deux fibres sont dédiées à chaque client.</li> <li>• La gestion du réseau est très simplifiée.</li> <li>• Bande passante illimitée.</li> <li>• Plus économique dans des secteurs d'abonné de faible densité.</li> <li>• Une plus grande flexibilité de service.</li> </ul>
<b>Les inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion de la fibre au niveau de la centrale (la gestion TxRx)</li> <li>• Pas de mutualisation de la fibre.</li> <li>• Encombrement à l'intérieur du central dû au grand nombre de transcrives.</li> <li>• Pas de partage de l'OLT ou de port optique, beaucoup de fibres à déployer (pas très économique).</li> </ul>

## 4.2. Architecture point à multipoint

Un réseau point-à-multipoint (P2M) connu aussi sous le nom de PON (Passive Optical network ou Réseau optique passif), le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique.

Dans cette architecture, une fibre unique part du central optique dans le réseau et dessert plusieurs habitations, sur lesquelles sont raccordées à cette fibre au niveau d'un équipement passif (coupleur ou splitter) placé à proximité de la zone à desservir.

Chaque site reçoit toutes les informations envoyées par l'équipement central OLT (Optical Link Terminal) ; et les reçoivent par l'équipement récepteur ONT (Optical Network Terminaison) de chaque abonné, et assure la fonction du filtrage : chacun des ONT et OLT n'exploitent que les données qui concerne l'utilisateur qui y est raccordé

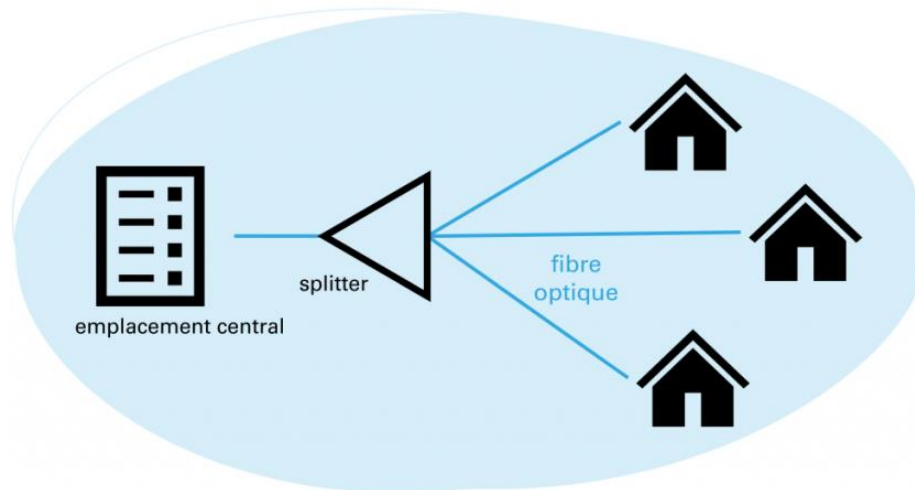


FIGURE 2. 9: ARCHITECTURE POINT A MULTIPPOINT

TABLEAU 2. 2: LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS ARCHITECTURE POINT A MULTIPPOINT

Architecture point à multipoint	
<b>Les avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduit des dépenses et des coûts d'exploitation.</li> <li>• Les frais bas d'entretien de ces composants optiques passifs réduiront de manière significative du coût de mises à niveau et de dépenses de fonctionnement.</li> <li>• Permet des économies sur la quantité de fibres à poser, et donc sur le dimensionnement des infrastructures d'accueil. Architecture favorable à la diffusion.</li> <li>• Flexibilité dans l'allocation de la bande passante</li> </ul>
<b>Les inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de compatibilité avec d'autres réseaux.</li> <li>• Bande passante partagée et limitée.</li> <li>• Sécurité des données nécessaire</li> <li>• Zone de couverture limitée : au maximum 20 km en fonction du nombre de divisions : (Plus de divisions = moins de distance).</li> <li>• Capacité de planification difficile pour les applications d'entreprise</li> </ul>

#### 4.3. Comparaison entre les deux architectures P2P et PON

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

TABLEAU 2. 3: COMPARAISON ENTRE P2P ET PON

Paramètre	Point à Point	Point à multipoint
<b>Gestion de chiffrement</b>	Pas nécessaire	Requise
<b>Gestion de la bande passante</b>	Bande passante non partagée sur le réseau d'accès	Allocation dynamique de la bande en fonction des besoins des Utilisateurs
<b>Zone de desserte</b>	L'habitat dispersé et pour les lignes spécialisées	Le résidentiel et pour les

		zones forte densité
<b>Distance (kms)</b>	15	20
<b>Fibre</b>	1 fibre par abonné de bout en bout	1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement, 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport
<b>Energie</b>	2 watt / abonné Dissipé au NA	0,6 watt / abonné Dissipé au NA
<b>Débit garanti</b>	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32
<b>Dégroupage</b>	Actif et passif au NA	Actif et passif au NF
<b>Equipement Actif dans le réseau de desserte</b>	Non	Non
<b>Place occupée</b>	1U pour 24 à 48abonnées	4U pour 512 à 2304 abonnés
<b>Débit maximum</b>	100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion	Jusqu'à 2,5Gbit/s en descendant et 1Gbit/s en montant

## 5. Les réseaux optiques passifs PON (Passive Optical Network)

Aujourd'hui, l'architecture point à multipoint passif du type PON est considérée actuellement comme la solution la plus attractive et la plus compatible au contexte du réseau d'accès du point de la vue économique et des performances requises.

Le réseau optique passif PON (Passive Optical Network) est l'architecture très majoritairement choisie, il est composé d'éléments optiques passifs, car les distances à parcourir ne nécessitent pas de régénération du signal ; ceci évite le besoin de courant électrique entre le nœud central de distribution et l'abonné, et réduit les coûts de matériel, d'installation, d'opération, et d'entretien du réseau [9].

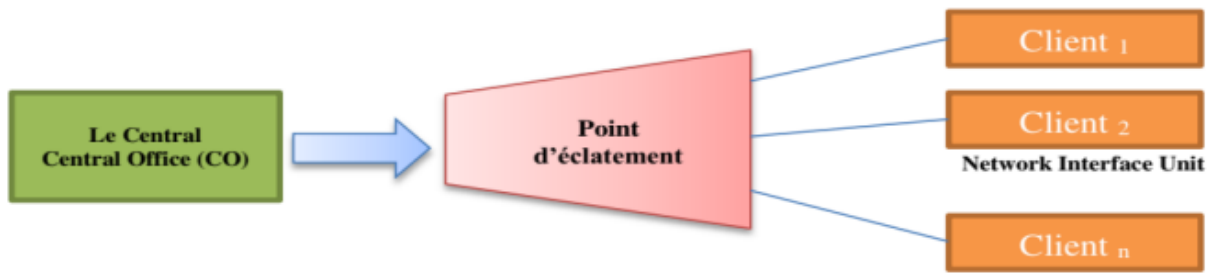


FIGURE 2. 10: ARCHITECTURE DE BASE DU RESEAU D'ACCES (PON) [9]

Sur la figure (2.10), on distingue trois parties principales dans l'architecture du réseau d'accès :

- ❖ **Le central (Central office –CO)** : coordonne l'émission – réception des données en provenance des utilisateurs ou l'inverse, et permet de faire la liaison avec les réseaux supérieurs.
- ❖ **Le point d'éclatement** : a pour rôle de distribuer le flux descendant et montant à destination.
- ❖ **Network Interface Unit** : situé au niveau du block utilisateur et permet la connexion au réseau, selon le type de technologie d'accès cette partie peut avoir plusieurs appellations telles que ONU (Optical Network Unit), ONT (Optical Network Terminal) [9].

### 5.1.Éléments constitutifs du PON

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur éléments essentiels suivant :

- **OLT (Optical Link Terminal)** : est un élément actif au niveau du central constitue l'équipement d'émission – réception [9].
- **Coupleur optique (splitter)** : On appelle coupleur le composant qui est intégré dans la ligne, assure la fonction diviseur ou concentrateur de la transmission. C'est un équipement passif qui nécessite aucune alimentation électrique, son fonctionnement est basé sur la seule propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre.

Dans le sens montant le coupleur permet de combiner par addition les signaux optiques, dans le sens inverse (sens descendant) il divise le signal optique qui vient de l'OLT [10].

- **ONU (Optical Network Unit)** : c'est un équipement de type ONT, mais partagé entre plusieurs utilisateurs, et utilisé dans le cas où la fibre ne pénètre pas jusqu'au l'abonné (cas des FTTCab/Curb/Building). La transmission entre l'ONU et les abonnés est réalisée sur les paires de cuivre comme la technologie xDSL [11].
- **ONT (Optical Network Terminal)** : c'est l'interlocuteur direct de l'OLT. Il est placé au niveau de chaque logement dans le cas mono-client FTTH ; il constitue la partie réceptrice des signaux descendants et émettrice des signaux montants [9].

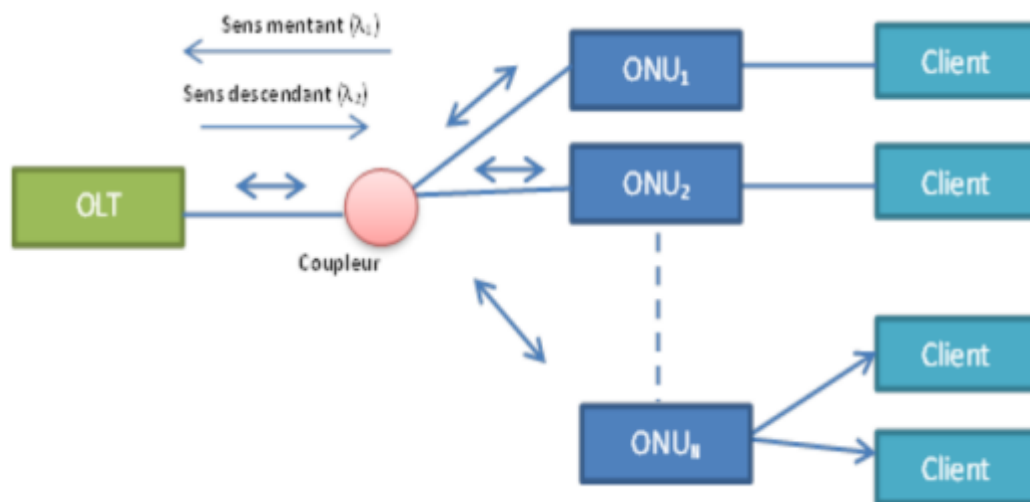


FIGURE 2. 11: LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PON [12]

## 5.2. Principe de fonctionnement d'un réseau PON

Un réseau PON comporte un nœud de raccordement optique (NRO), sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce NRO est interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals [13]

### ⚡ Sens montant.

Le coupleur étant passif, et les ONT émettant tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parvenaient simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT.



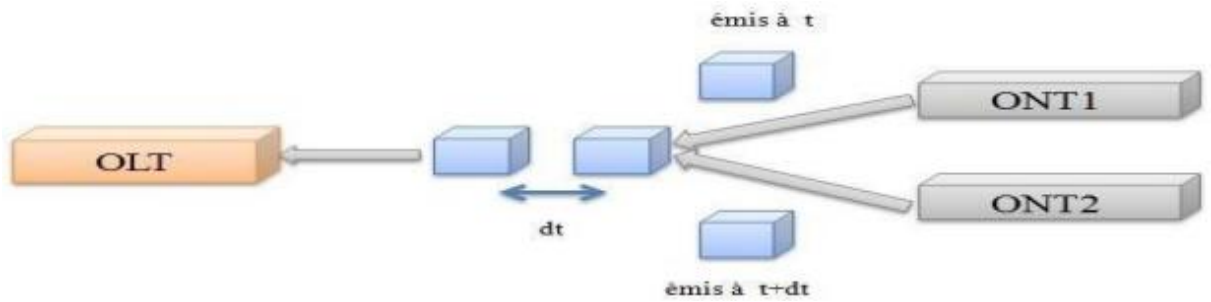


FIGURE 2. 12: ARCHITECTURE DU SENS MONTANT

### ✚ Sens descendant

Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONT reçoivent toutes les données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné.

Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données. Si un seul abonné télécharge, il peut disposer de tout le débit maximum autorisé par le PON (sauf limitation mise en place par l'opérateur, par choix commercial ou technique vis à vis de son réseau de collecte).

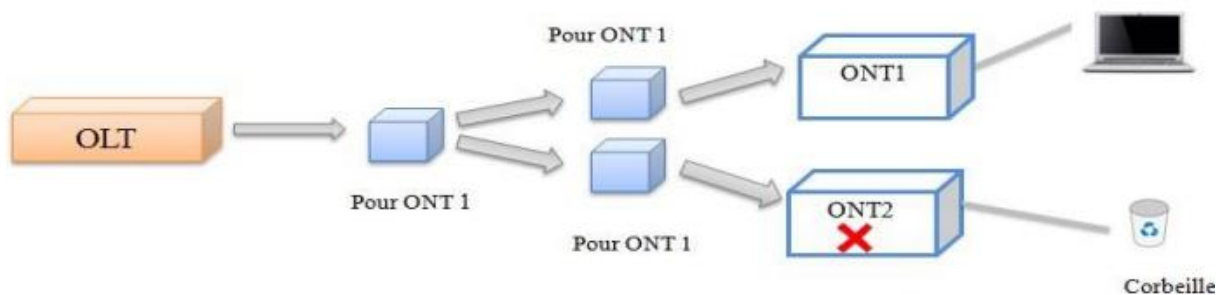


FIGURE 2. 13: ARCHITECTURE DU SENS DESCENDANT

## 5.3. Les différents standards d'un réseau PON

Le réseau PON est basé sur plusieurs normes, ces dernières sont classifiées comme suit :

- **La norme APON**

Dans le tronçon FTTH (Fiber To The Home) la méthode de prédilection est le réseau optique passif (ATM PON) qu'ils ont normalisé.

C'est simplement un système point- multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'ITU-T. Avec l'APON, les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une

seule fibre. 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 ou 155 Mbit/s dans le sens descendant, 155 Mbit/s dans le sens montant).

Dans le sens descendant, le multiplexage des cellules ATM est utilisé, alors qu'un protocole de TDMA commande l'accès ascendant des abonnés au réseau.

- **La norme BPON**

Le BPON (Broadband PON) 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 récentes de l'APON incluent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde WDM, une commande dynamique de la largeur de bande, une meilleure sécurité de données.

Les autres caractéristiques des réseaux APON / BPON sont :

- ✓ 32 ONUs dans un seul PON.
- ✓ La longueur de la fibre peut aller jusqu'à 20km.
- ✓ Pour la voix et les données, les longueurs d'onde utilisées dans le sens descendant et montant sont 1490 nm et 1310 nm respectivement.
- ✓ Une troisième longueur d'onde (1550 nm) peut être utilisée pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant [14].

- **La norme EPON**

EPON (Ethernet PON) est un réseau dans lequel la topologie point-multipoints (P2MP) est mise en application avec des coupleurs optiques passifs et la fibre optique comme PMD (Physical Medium Dépendent), qui est basé sur un mécanisme appelé protocole de contrôle multipoint (Multi- Point Control Protocol MPCP), défini comme une fonction dans la sous couche MAC.

Pour commander l'accès à une topologie de P2MP, chaque unité optique de réseau (Optical Network Unit ONU) dans la topologie de P2MP contient un élément du protocole MPCP, qui communique avec un autre élément de MPCP dans l'OLT (Optical Line Terminal).

La différence principale entre EPON et APON est que dans les architectures EPON les données sont transmises en paquets de longueurs variables jusqu'à 1.518 octets selon le

protocole IEEE 802,3 pour l'Ethernet, tandis que dans un APON les données sont transmises en cellules de longueur fixe de 53 octets (charge utile 48-octets et cinq octets d'en tête), comme indiqué par le protocole ATM.

Ce format signifie qu'il est difficile et inefficace qu'un réseau APON transporte un trafic adapté au protocole IP.

En effet dans un protocole IP les données sont segmentées dans des paquets de longueurs variables jusqu'à 65.535 octets. Pour qu'un APON porte le trafic IP, les paquets doivent être divisés en segments de 48 octets avec un en-tête de 5 octets attaché à chacun, Ce processus est long et compliqué et augmente le coût des OLT et des ONU.

De plus, 5 octets de largeur de bande sont gaspillés pour chaque segment de 48octets Créant ainsi des pertes qui sont connues communément sous le nom «ATM celltax » [14].

- **La norme GPON**

Le progrès de la technologie, le besoin en bande passante plus large, en plus de l'insuffisance de l'ATM, ont poussé à réviser le standard APON et à réfléchir à une autre solution appelée GPON (Gigabit PON) qui a été standardisée par l'ITU en 2003.

L'architecture GPON ne repose plus sur un tramage ATM mais sur un protocole beaucoup plus simple appelé GFP (Generic Framing Procédure : Protocole de multiplexage). L'avantage majeur de GPON est qu'il peut supporter plusieurs services à la fois et permet la transmission des paquets en se basant sur des protocoles différents (ATM, IP). De plus, en comparaison avec le standard BPON, le GPON permet une transmission allant jusqu'à 1Tbps bien qu'il n'utilise qu'une seule longueur d'onde dans ce sens[14].

## **5.4. Comparaison des standards d'un réseau PON**

Le tableau ci-dessus récapitule les caractéristiques des différentes normes définit précédemment [15].

<b>Norme</b>	<b>APON</b>	<b>BPON</b>	<b>EPON</b>
Norme de recommandation	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3ah IEEE802.av
Protocoles	ATM	ATM	Ethernet Avec accès CSMA/CD
Longueur d'onde (descendant/montant)	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm
Débit descendant	155Mbit/s ou 622Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 10Gbit/s
Debit montant	155Mbit/s	155Mbit/s ou 622Mbit/s	1.25Gbit/s 1Gbit/sou10Gbit/s
Taux de partage	16 , 32	16,23	16,32,64
Distance OLT/ONT	10 ou 20 Km	10 ou20Km	20Km

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de réseaux à fibres optiques plus particulièrement les réseaux GPON. Dans le chapitre suivant, nous nous intéressons à l'étude du déploiement d'un réseau GPON dans une zone.

# **Chapitre 3 :**

## **Implémentation de**

### **L'architecture d'un réseau GPON**

## 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble des travaux de simulation que nous avons effectués dans le but d'évaluer les performances d'un système WDM-GPON à l'aide du logiciel Optisystem.

Dans un premier temps, nous donnons une brève description des différentes applications du logiciel Optisystem.

Par la suite, nous décrivons le modèle de liaison optique proposé et les différentes architectures WDM-GPON simulées et ainsi nous présentons les résultats obtenus.

Dans la deuxième partie nous allons traiter les différentes parties liées à l'implémentation et le déroulement de notre projet. L'étude du terrain sur lequel, nous avons réalisé notre projet sera exposé en première partie. En fin Nous clôturons ce chapitre par la réalisation sur terrain.

## 2. Présentation du logiciel Optisystem

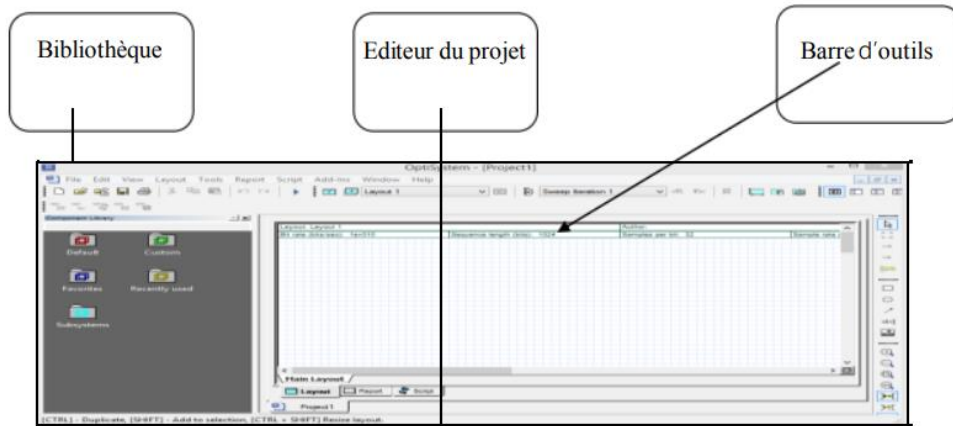
### 2.1. Description du logiciel Optisystem

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

**Bibliothèque:** Une base de données de divers composants.

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

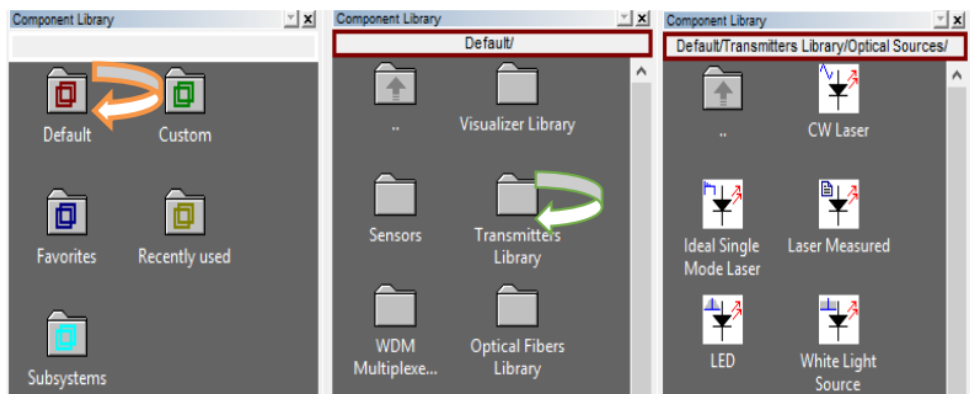
**Projet en cours:** Permet la visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours



**FIGURE3. 1: : INTERFACE LOGICIEL OPTISYSTEM**

Au cours de notre travail nous avons opté pour un logiciel de simulation des systèmes de communications optique innovants qui conçoit, teste et optimise pratiquement n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un large éventail de réseaux optiques, il s'agit d'Optisystem qui est un simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optiques.

Sa vaste bibliothèque de composants actifs et passifs comprend des paramètres réalistes, ces capacités peuvent être étendues facilement avec l'ajout des composants et peuvent être reliées à un large éventail d'outils (Figure 3.2), une interface complète d'utilisateur graphique (GUI) contrôle la disposition optique des composants, les modèles et ces présentations graphiques (Figure 3.3).



**FIGURE3. 2: BIBLIOTHEQUE DES COMPOSANTS**

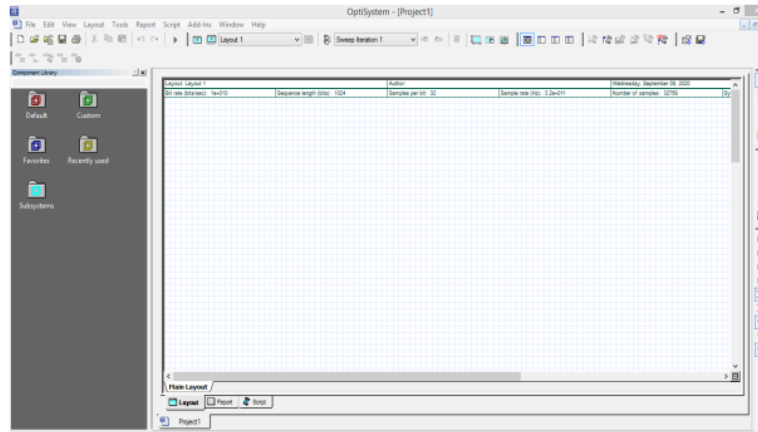


FIGURE3. 3: INTERFACE D'UTILISATEUR GRAPHIQUE (GUI)

## 2.2. Les applications de l'Optisystem

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

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- La conception d'anneau SONET/SDH.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

La figure 3.4 Représente une fenêtre du logiciel « Optisystem » pour les paramètres de l'éditeur du projet comme le débit de transmission.

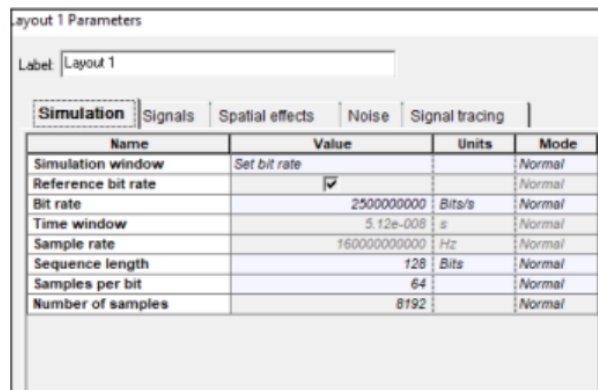


FIGURE3. 4: PARAMETRE DE LA FENETRE D'EDITIONS

## 2.3. 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.

## 2.4. Paramètres de qualité d'une liaison optique

Pour mesurer la qualité de transmission optique afin d'évaluer le bon fonctionnement d'un système, il existe plusieurs éléments tel que : le facteur de qualité, BER.....

### 2.4.1. Le diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise pour estimer la qualité d'une manière visuelle .

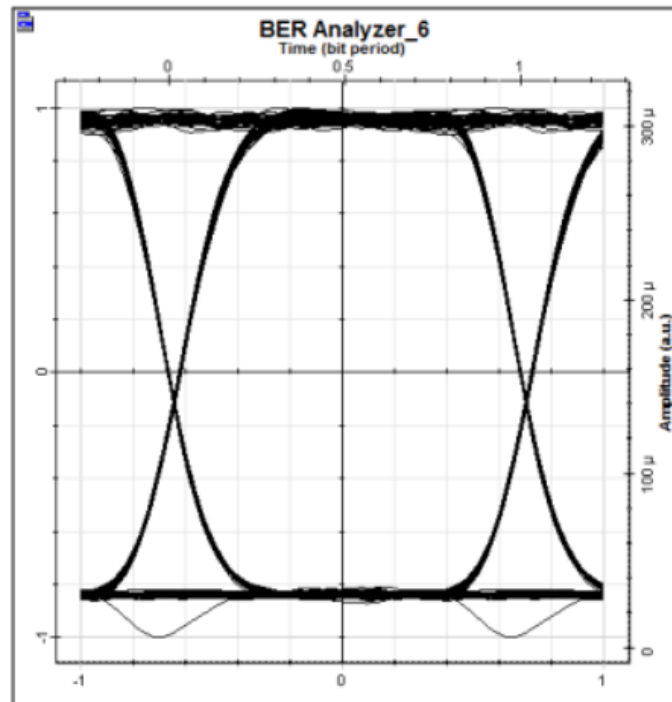


FIGURE3. 5: DIAGRAMME DE L'ŒIL

Ce diagramme est caractérisé par : L'élargissement temporel des impulsions du signal dû à la dispersion chromatique par les interfaces entre les symboles.

### 2.4.2. Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q

Le facteur de qualité d'un système est une mesure sans unité qui représente la perte d'énergie du signal en prenant les valeurs maximale pour avoir une perte d'énergie petite, la relation entre le facteur de qualité et la bande passante est une relation proportionnel , plus le facteur est élevé plus la bande passante est petite, dans notre domaine le facteur de qualité réel est limiter a la valeur 6

Il est défini par la relation suivante

Où 
$$Q = \frac{I_1 - I_2}{\delta_1 - \delta_2} \quad (3.1)$$

- $I_1$  et  $I_0$  sont les tensions moyennes des symboles « 1 » et « 0 »
- $\delta_1$  et  $\delta_0$  sont les variances des probabilités des symboles « 1 » et « 0 »

### 2.4.3. Le taux d'erreur binaire BER :

C'est le pourcentage du rapport du nombre de bits reçus en erreur sur nombre de bits total.

$$TEB = \frac{\text{Nombre débits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (3.2)$$

## 3. Description des architectures réaliser en simulation

### 3.1. Schéma bloc de la FTTH selon l'architecture G-PON

La figure ci-dessous nous montre le schéma bloc de la FTTH selon l'architecture G-PON.

Le Schéma bloc de la FTTH selon l'architecture G-PON est représenté ci-dessous.

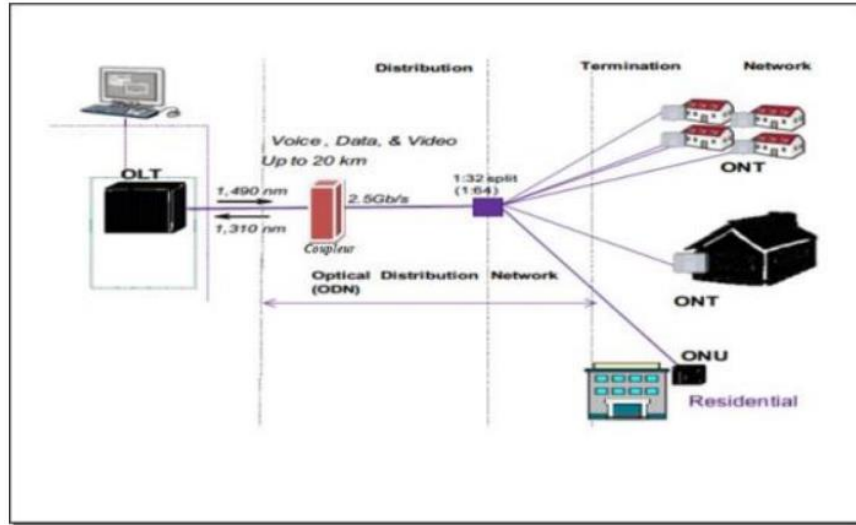
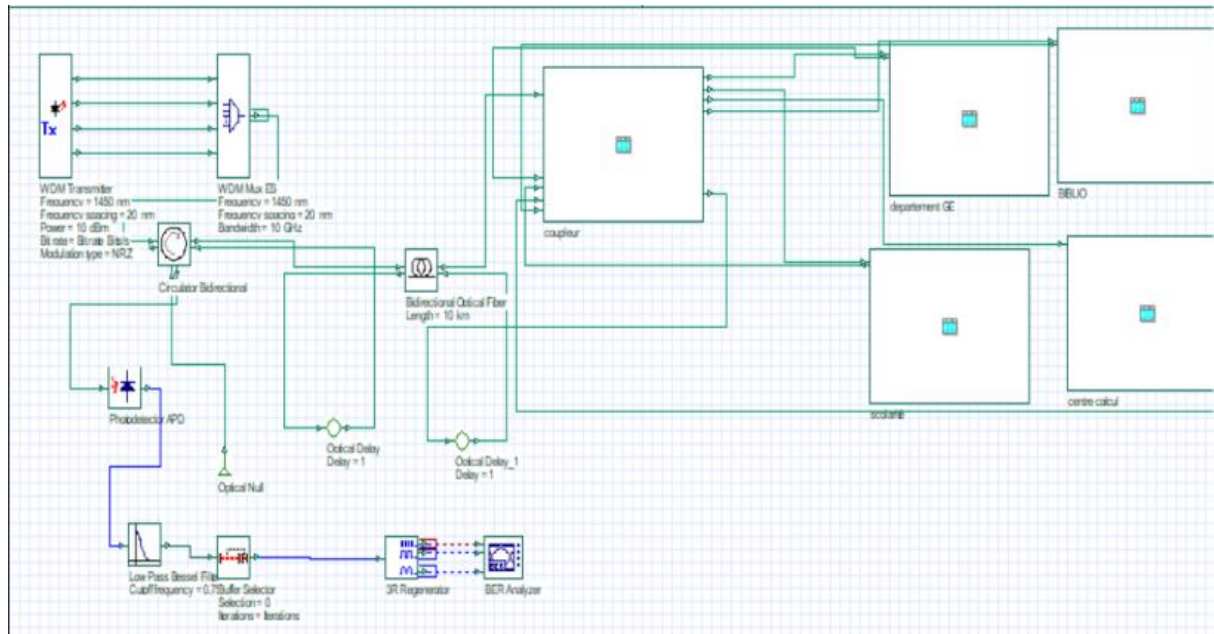


FIGURE3. 6: ARCHITECTURE GPON



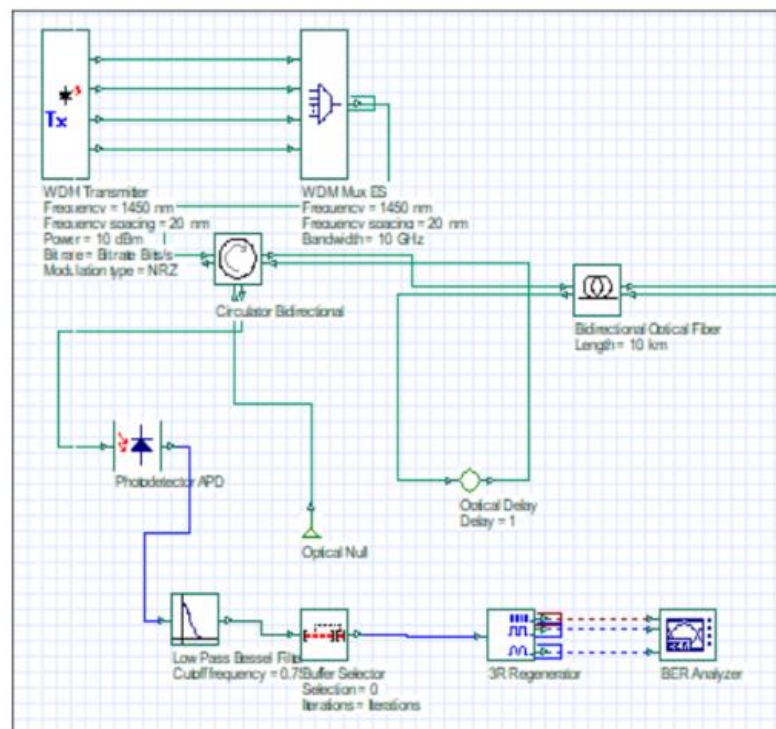
**FIGURE3. 7: SCHEMA BLOC DE SIMULATION DE LA FTTH SELON L'ARCHITECTURE G\_PON**

### 3.2. Description des éléments de la chaîne de transmission

Dans ce qui suit on va décrire en détails les composants de la chaine de transmission

### 3.2.1. Description du circuit d'émission

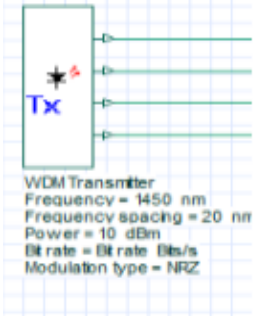
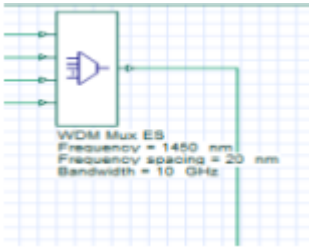
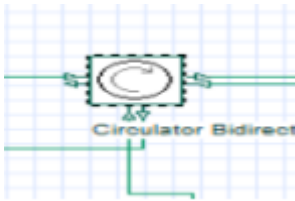
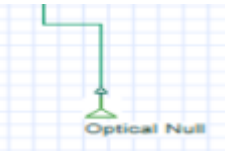
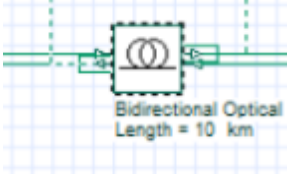
La figure suivante nous montre le schéma de simulation du circuit d'émission

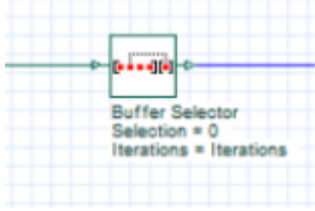


**FIGURE3. 8: SCHEMA DU CIRCUIT D'EMISSION.**

Dans le tableau ci-dessous on définit les éléments qui constituent la partie émission.

**TABEAU 3. 1: LES ELEMENTS DE LA PARTIE EMISSION**

Le nom d'élément	Bloc en Optisystem	Description
Transmetteur modulation WDM		C'est un transmetteur optique est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER, d'une fréquence de 1450 nm avec un espacement de 20 nm et d'un modulateur de type NRZ ainsi sa puissance de 10 dbm (0.01w).
Multiplexeur Optique		multiplexage à longueur d'onde de 1450 nm avec un espacement de 20 nm et une bande passante de 10 GHz de type WDM.
Circulateur bidirectionnel		un composant à trois ports conçu de telle manière à ce que chaque faisceau entrant ressorte par le port suivant.
Optical Null		son rôle est de générer un signal optique de valeur nulle.
Retard Optique (Optical Delay)		Génère des retards de signal optique.
La fibre optique		Une fibre bidirectionnelle de longueur 10 km avec une atténuation de 0.2dB/km

sélecteur mémoire de tampon (Buffer selector)		Le sélecteur de mémoire est utilisé pour sélectionner les données de signal associées à une itération spécifiée dans une série d'itérations.
--	---	--

### 3.2.2. Coupleur optique

Le coupleur optique est un équipement passif déployé le long du parcours. Son rôle est de séparer le signal dans le sens descendant et de le combiner dans le sens montant.

Ce coupleur est composé d'un multiplexeur/démultiplexeur optique avec une longueur d'onde de 1450 nm et 1270 nm pour le démultiplexeur, un espacement de 20 m et une bande passante de 10 GHz respectivement.

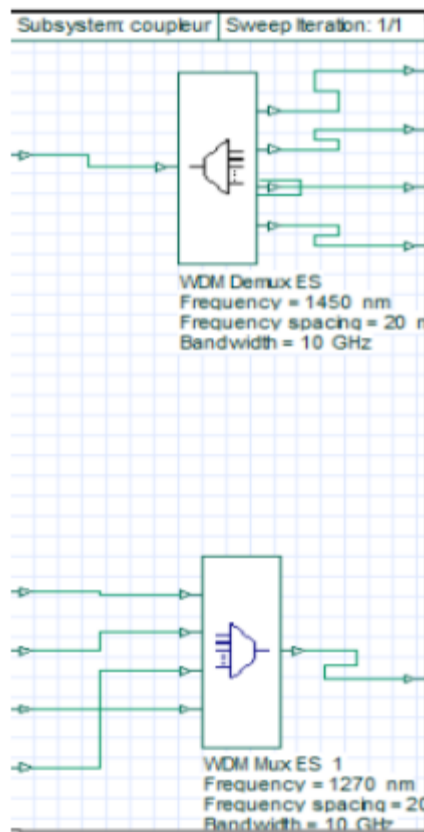


FIGURE3. 9: COUPLEUR OPTIQUE

## 4. L'étude de la zone jardin el menzah

La zone qu'on a choisi pour l'étudier c'est la zone jardin el menzah. Dans ce qui suit, nous présentons les étapes à suivre pour l'étude de la zone jardin el menzah.

## 4.1. La cartographie

La cartographie est la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Elle est très dépendante de la géodésie, science qui s'efforce de décrire, mesurer et rendre compte de la forme et des dimensions de la Terre. Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace généralement tenu pour réel.

La création de la carte débute avec la définition du projet cartographique. La collecte d'informations est en deux parties :

- **fond de carte : relevé des contours et de l'espace support à représenter**
- **relevé des données statistiques à représenter sur cet espace.**

Vient ensuite un travail de sélection des informations, de conception graphique (icônes, styles), puis d'assemblage (création de la carte), et de renseignement de la carte (légende, échelle, rose des vents).

### ✚ La carte cartographique

Une carte est une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle.

Voici une interprétation du réel de carte cartographie

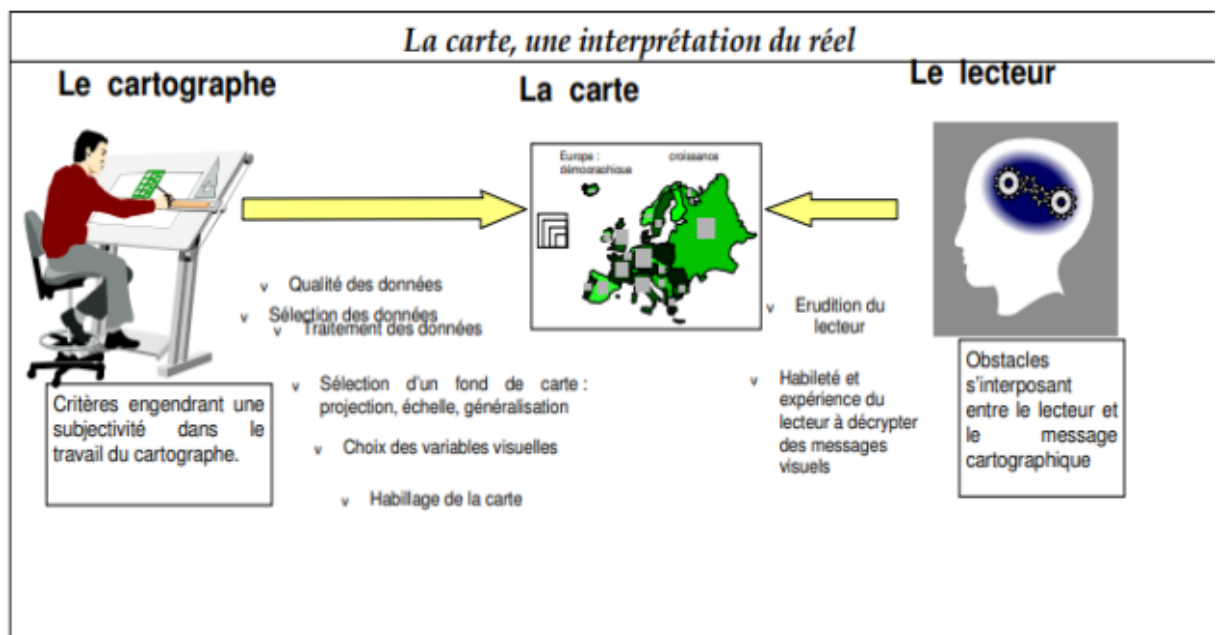


FIGURE3. 10: INTERPRETATION CARTOGRAPHIE

### L'appareil utilisé dans la Cartographie : Tachéomètre

Le tachéomètre est un appareil servant à mesurer les angles horizontaux et verticaux entre deux cibles, ainsi que la distance entre ces cibles. Les mesures prises permettent de caractériser un triangle géodésique, et donc soit d'établir une carte ou un plan, soit de vérifier la cohérence entre un plan et la réalité du terrain. [15]



FIGURE3. 11: APPAREIL DE MESURE TOPOGRAPHIQUE SOKKISHA TM20H

## 4.2. Génie Civil

### 4.2.1. Les chambres

Pour la division des grands câbles ou la rotation de 90° du câble, on doit placer des chambres sous trottoir.

L'implantation de la chambre doit être étudiée avec soin en tenant compte du résultat des sondages effectués au moment de la mise au point du projet. Les chambres sous trottoir sont de trois types :

- **Type A:**Chambres à profondeur réduite.
- **Type B:**Chambres entièrement découvrables à fermeture par dalles.
- **Type C:**Chambres à plafond en béton armé avec accès non déporté.

→ Ces chambres sont utilisées pour les câbles du sous-répartiteur.

#### ➤ Les chambres Type A



Le radier et les piédroits sont exécutés en béton vibré au dosage de 350 Kg de ciment pour 0.4 m<sup>3</sup> de sable et 0.8 m<sup>3</sup> de gravier.

Dans ce type des chambres, il existe encore des sous types.

**TABLEAU 3. 2: LES DIMENSIONS DES CHAMBRES DU TYPE A**

Type de Chambre	Longueur(m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Nombre des dalles	Dimension Des dalles	Volume béton (m3)
A1	1.21	0.4	0.61	2	0.65*0.5*0.05	0.318
A2	0.9	0.4	0.7	1	0.9*0.5*0.05	0.349
A3	1.21	0.4	0.61	2	0.65*0.5*0.05	0.461
A4	1.9	0.4	0.7	2	0.9*0.5*0.05	0.599



**FIGURE3. 12: CHAMBRE DE TYPE A**

### ➤ Les chambres Type B

Le radier, les piédroits, les chapes et les enduits sont exécutés comme indiqué pour les chambres de type B.

**TABLEAU 3. 3: LES DIMENSIONS DES CHAMBRES DU TYPE B**

Type de Chambre	Longueur(m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Nombre des dalles	Dimension Des dalles	Volume béton (m3)



B1	1.8	0.8	1.31	3	0.99*0.63*0.05	1.819
B2	2.5	0.89	1.56	3	0.99*0.63*0.05	2.595
B3	3.5	0.89	1.58	5	0.99*0.63*0.05	3.433



FIGURE3. 13: CHAMBRE D TYPE B

#### 4.2.2. Les câbles fibres optique

Le type de câble choisi pour un réseau est lié à la topologie, au protocole et à la taille du réseau.

TABLEAU 3. 4: TYPES ET CARACTERISTIQUES DES CABLES FIBRES OPTIQUE

Nb Fibre	Numéro de l'unité	Diamètre intérieur (mm)	Diamètre de la micro gaine (mm)	Poids (NET.Kg/Km)
12FFO	12FO*1U	6.6	1.6	35
24FO	12FO*2U	8.0	1.6	46
36FO	12FO*3U	8.0	1.6	49
48FO	12FO*4U	8.0	1.6	52
72FO	12FO*6U	10.2	1.6	70
96FO	12FO*8U	12.1	1.6	124

144FO	12FO*12U	12.1	1.6	135
-------	----------	------	-----	-----

### 4.3. Les Méthode utilisé dans le Tirage du câble

L'état du terrain, la disponibilité des équipements et des ressources sont des facteurs déterminants dans le choix de la méthode d'installation des câbles.

#### ➤ La méthode manuelle

La méthode manuelle du tirage-aiguillage est toujours majoritairement employée pour les déploiements des réseaux télécoms, notamment sur les courtes distances.

- **Ouvrir les chambres** : afin de déployer un câble en souterrain, il est nécessaire d'ouvrir deux chambres télécoms : celles d'arrivée et de départ du câble. La chambre d'arrivée est celle qui réceptionne le câble tiré depuis la chambre de départ.
- **Aiguiller la conduite jusqu'au chambre d'arrivée**: placer l'aiguille de tirage dans la zone préalablement balisée autour de la chambre d'arrivée du câble, à une distance suffisante.
- **Mettre en place le câble à déployer** : installer le touret de câble dans le périmètre sécurisé autour de la chambre de départ du câble.
- **Accrocher le câble sur l'aiguille** : accrocher son câble à l'aiguille on utilisant un tire-câble adapté au diamètre du câble.
- **Lubrifier l'alvéole** : pour limiter nos efforts sur des déploiements de grandes distances et les frictions dans la conduite, on utilise un lubrifiant à base d'eau et à séchage lent.
- **Tirer le câble** : tirer le câble jusqu'il est visible dans la chambre d'arrivée, séparer le câble et la ficelle de tirage du jonc.

### 4.4. La méthode par soufflage

L'opération consiste à faire flotter dans l'air le câble dans le fourreau pour éviter le frottement avec les parois, facilitant ainsi son transfert d'une chambre à une autre. Simultanément le câble est poussé par la machine de soufflage qui est un système d'entraînement actionné par un circuit hydraulique à huile sous pression. Cette méthode est applicable aux longueurs continues de plus de 1000 mètres.



FIGURE3. 14:LA MACHINE DE SOUFFLAGE FIBRE OPTIQUE



FIGURE3. 15: TIRAGE DE CABLE PAR SOUFFLAGE

## 5. Mise en place d'un réseau d'accès optique au jardin el menzah

TABLEAU 3. 5: MISE EN PLACE D'UN RESEAU D'ACCES OPTIQUE AU JARDIN EL MENZAH

Zone	<b>jardin el menzah &amp; Cité les Pins</b>
Abonnes actuel	<b>6600 ABN : 5600 Résidentiels, 1000 Commercial</b>
Axe de transport	<b>3 Km (NRO, jardin el menzah)</b>
Services	<b>Résidentiel : HSI, VoIP</b>
	<b>Commercial : HSI, VPN</b>



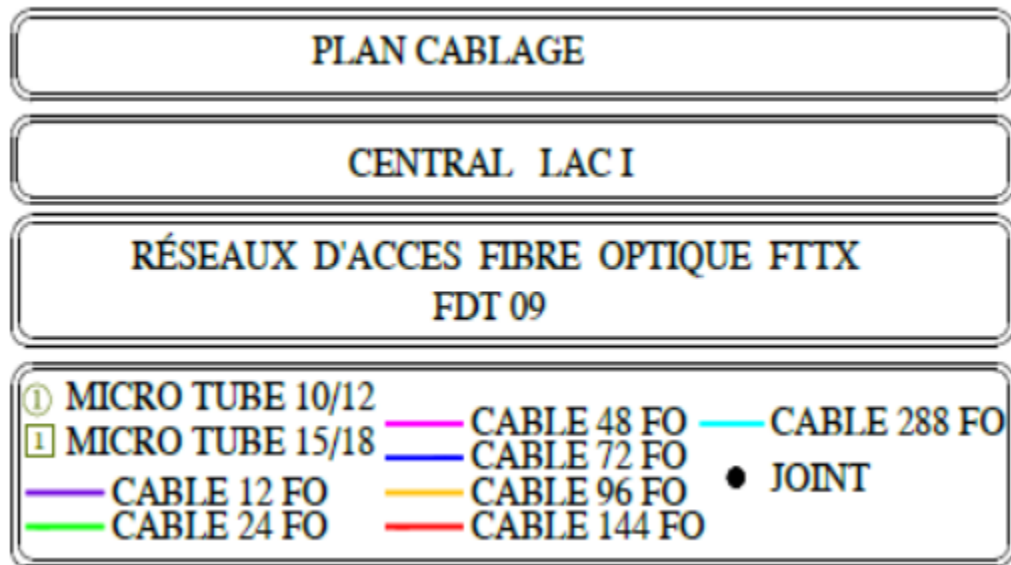


FIGURE3. 17: LE PLAN DE CABLAGE ET LES TYPES DES CABLES

#### ▪ Plan d'ensemble

Il est formé par la carte fond de plan, carte noms des rues, carte câblage et la carte génie civil.

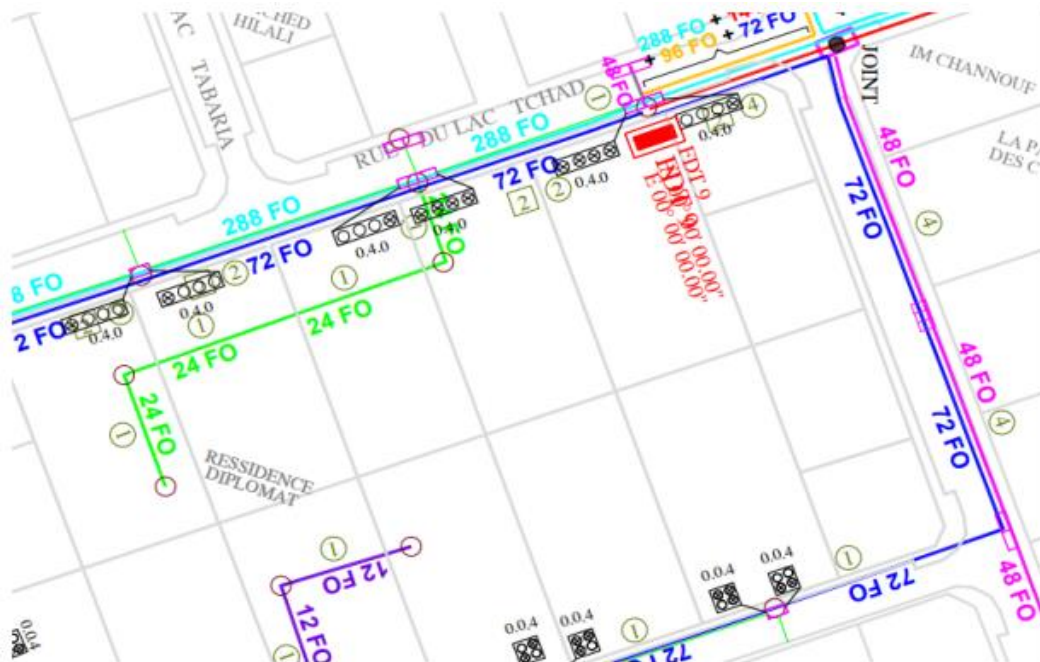


FIGURE3. 18: UNE PARTIE DU PLAN D'ENSEMBLE EN PDF

## 7. Raccordement et Matériels



L'installation finale de la fibre optique passe par plusieurs étapes. Notre passage à la SOTETEL, nous a permis de voir et de toucher de plus près toutes ces tâches.

### **7.1. Sécurité**

La sécurité au travail est une composante essentielle chez la SOTETEL, en effet le port de lunettes de sécurité est obligatoire. Les fragments de fibre optique cassés peuvent s'incruster à l'intérieur de l'œil ou rentrer sous la peau. Cela est douloureux et peut causer une infection ou une irritation.

### **7.2. Raccordement**

Le raccordement de deux fibres optiques nécessite un passage par plusieurs étapes afin d'avoir une soudure bien propre, précise et avec le minimum des pertes possible.

#### **➤ Le placement de la protection d'épissure**

Glisser la protection d'épissure sur une des fibres.



**FIGURE3. 19: PROTECTION D'EPISSURE**

#### **➤ Le dénudage**

Le dénudage de la fibre se fait à l'aide d'une pince à dénuder pour enlever la gaine protectrice et permettre le nettoyage de la fibre avec une lingette imbibée d'alcool.



FIGURE3. 20:DENUDAGE

➤ **Le clivage**

C'est l'opération de couper la fibre selon un angle droit, d'une façon nette et précise suivant la dimension indiquée.

Cette opération est possible à l'aide de la cliveuse.



FIGURE3. 21: LE CLIVAGE

➤ **La soudure**

La soudeuse optique devrait être paramétrée selon le mode voulu, avant d'y placer les fibres préalablement dénudées, nettoyées et clivées.

La soudure commence dès qu'on actionne le bouton 'SET' de la machine.



FIGURE3. 22: LA SOUDURE

➤ **La qualité de la soudure**

La qualité de la soudure se base sur l'estimation de la perte affichée par la soudure qui doit être inférieure à 0.1 dB.

Les différentes circonstances qui se produisent lors des étapes précédentes.



FIGURE3. 23: MAL COUPURE DE LA FIBRE ET PAS DE DETECTION DE LA FIBRE.

➤ **La protection avec la smoove**

L'épissure, est la jonction des deux bouts de fibre nue, cette jointure devrait être protégée par une protection d'épissure, appelée smoove ou cigarette, (de longueurs 40 mm et 60 mm), cette opération permet le remplacement de la gaine sur la partie de la fibre dénudée.

La protection d'épissure est renforcée par une barre en métal pour rigidifier et ainsi protéger le raccordement.





**FIGURE3. 24: LA PROTECTION**

- **Point de mutualisation de zone (PMZ):**

Le point de mutualisation, ou point de flexibilité, est l'endroit où s'effectue la connexion entre les fibres optiques des différents abonnés (c'est-à-dire de l'opérateur d'immeuble) et les fibres optiques des opérateurs commerciaux. Le PM est une armoire composée de deux compartiments.

La partie distribution: c'est la partie droite de l'armoire, elle contient les fibres de chaque appartement (une fibre correspond à un appartement).

La partie alimentation: c'est la partie gauche de l'armoire recevant les fibres en provenance des opérateurs commerciaux.

Le Splitter : c'est la dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois.

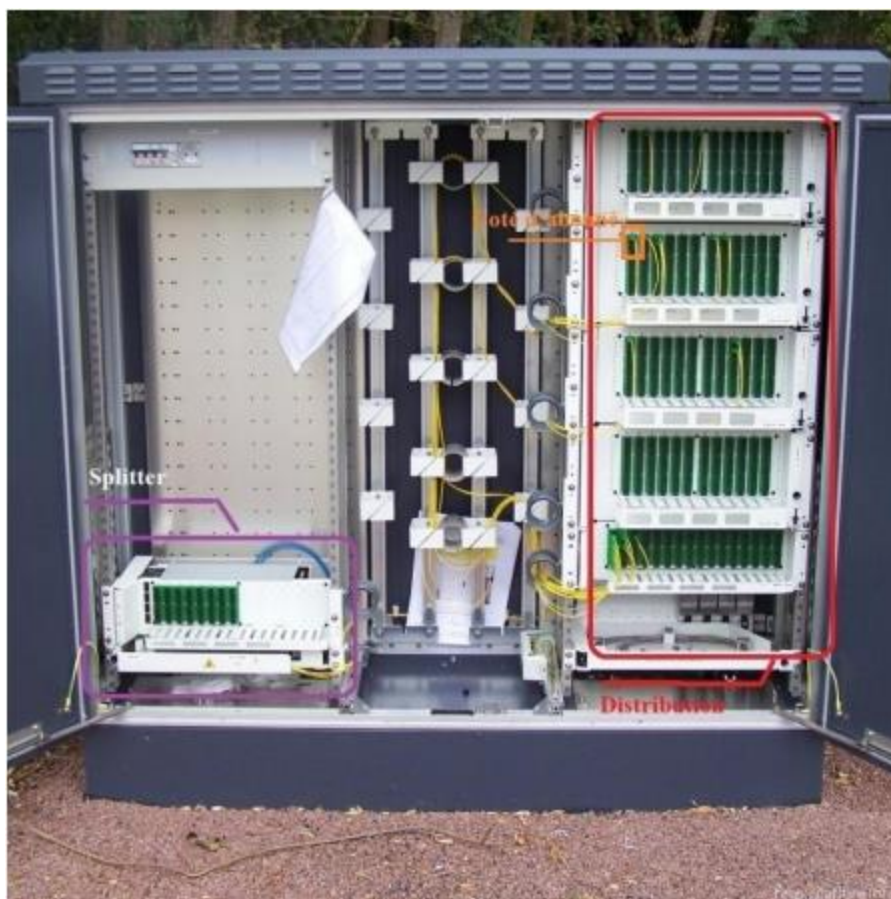


FIGURE3. 25: POINT DE LA MUTUALISATION DE LA ZONE (PMZ)

- Les étapes de L'installation coté PMZ :

1. tirer une jarretière de splitter vers distribution.
2. On choisit la coche selon la position de client et la fibre selon la code couleur

Code couleur	
Red	Dark Blue
Dark Blue	Orange
Light Green	Light Green
Yellow	Brown
Purple	Grey
White	White
Orange	Red
Grey	Black
Brown	Yellow
Black	Purple
Light Blue	Light Blue
Pink	Pink

FIGURE3. 26: CODE COULEUR DES FIBRES

- **Boite de protection d'épissure**

Il s'agit en général de boîtes de raccordement à fibre optique installées sur la partie structurante du réseau de desserte soit pour dériver des fibres vers les immeubles soit pour éclater un câble de transport (CTR - Câble de transport) vers des câbles de distribution (CDI - Câble de distribution).



**FIGURE3. 27: BOITE DE PROTECTION D'ÉPISSURE**

➤ **Les étapes de l'installation dans la chambre**

- 1- Ouvrir la chambre et le BPE.
- 2- Tirer un câble client de la chambre vers la prise terminale du client dédié.
- 3- Ouvrir une fente dans le câble qui vient de la PMZ de la partie distribution.
- 4- Et choisir un brin du tube (selon la gamme du couleur et le type de câble) et le raccorder avec la fibre bleue du câble 2FO.
- 5- Enrouler les autres fibres dans la cassette avec délicatesse
- 6- Placer la fibre raccordée dans la place précise
- 7- Fermer la chambre.

➤ **Raccordement coté abonné(PTO) :**

- **Prise Terminal Optique (PTO) :**

Une fois que le boîtier(PTO) est installé chez l'abonné, nous procédons au branchement du cordon optique du boîtier qui sera soudé à une fibre du câble de raccordement abonné.



**FIGURE3. 28: PRISE TERMINALE OPTIQUE (PTO)**

- **Cette opération nécessite les étapes suivantes:**

1. Ouvrir la chambre de tirage et extraire le câble 2 FO
2. Tirer le câble 2 FO de l'abonné jusqu'à l'intérieur du domicile.
3. Fixer la PTO sur le mur
4. Souder le brin bleu du câble 2 FO (selon le code couleur) avec les pigtails en provenance du PTO.

## **8. Test**

A l'issue des raccordements et de l'installation, il convient de vérifier l'ensemble des prestations : qualité de la fibre, pose du câble, composants de la liaison.

La mesure en fibre optique comprend deux types de méthodes :

- ✓ la mesure par insertion (Actif)
- ✓ la mesure par réflectométrie (Passif)

- ❖ **La méthode d'insertion**

Cette méthode utilise un mesureur de puissance (ou radiomètre ou power mètre) et une source calibrée. Elle permet de mesurer une perte en dB entre la source et le récepteur. Cette méthode n'est employée que sur courtes distances (quelques dizaines de mètres).

(Si la liaison à tester est déjà reliée au réseau, le mesureur de puissance affichera le niveau en dBm du signal optique reçu).



**FIGURE3. 29: MESURE DE PERTE EN DB AVEC LE POWERMETER**

Pour s'assurer de l'intégrité des signaux optiques il faut que la valeur de la perte qui s'affiche sur le réflectomètre soit approximative a -21 dB.

- **La méthode par réflectométrie**

La mesure sur fibre optique, par réflectométrie, permet aux constructeurs de réseaux de valider leur prestation auprès de leurs clients. Cette méthode, qui se traduit par une courbe, permet de :

- localiser et valoriser chaque événement (fibre, soudure, connecteur...)
- vérifier les réflectances des connecteurs
- rechercher des défauts (cassures, pliures...)

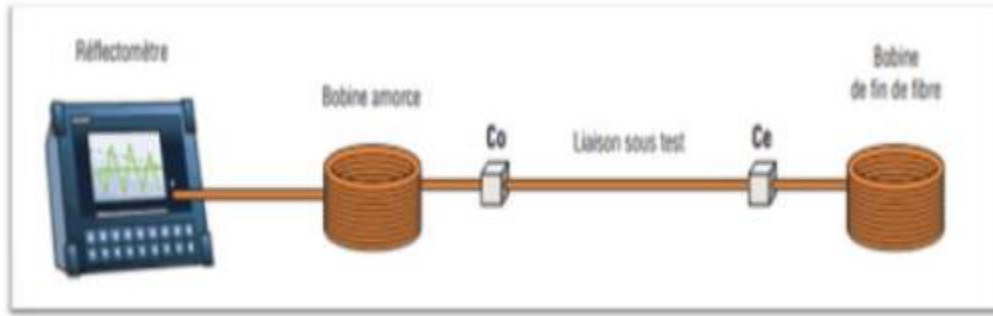


FIGURE3. 30: METHODE DE TEST PAR REFLECTOMETRIE

Le réflectomètre ou OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) est un appareil qui injecte dans la fibre à tester une suite d'impulsions optiques calibrées et analyse les échos reçus. Il affiche le résultat sous la forme d'une courbe atténuation-distance qui a l'allure cidessous :

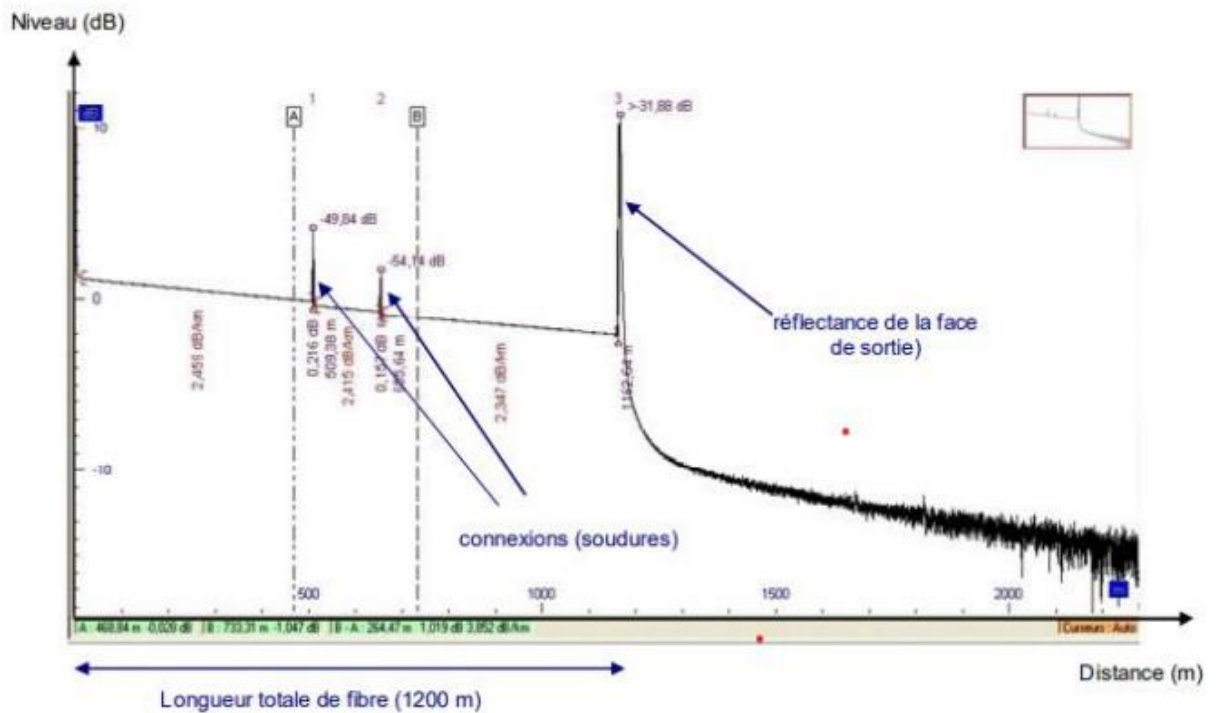
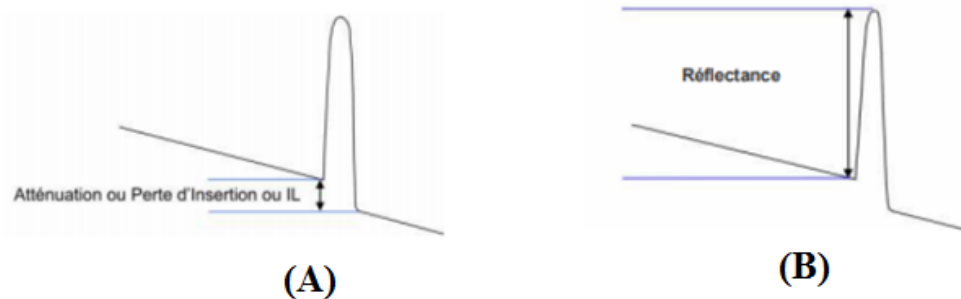


FIGURE3. 31: LA COURBE DES ATTENUATIONS

Interprétation des événements aux connexions :





- (A) La perte due à une connexion est significative de la qualité des composants qui permettent cette connexion.
- (B) La hauteur du pic indique la réflectance : Plus il est haut plus la connexion « réfléchit » et aura une mauvaise valeur de réflectance.



FIGURE3. 32: REFLECTOMETRE OPTIQUE TEMPOREL

Les mesures nécessitent des bobines amorces et des bobines de fin et doivent être menées dans les 2 sens de propagation pour filtrer le laser.



FIGURE3. 33: BOBINE AMORCE DE LONGUEUR 1KM

## **9. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les ressources matérielles et logicielles sur lesquelles nous avons développé notre solution. Nous avons présenté par la suite les étapes de l'étude de terrain, ainsi que quelques captures d'écrans des cartes réalisées par le logiciel autocad.



# *Conclusion générale*

Dans le but d'optimiser le déploiement du réseau GPON, ce projet de fin d'étude a pour objectif d'étudier les solutions d'extension de portée du réseau d'accès optique.

L'évolution des télécommunications optiques a mis en relief l'apparition de nouvelles technologies de transport de l'information telles que les réseaux optiques. Actuellement, l'augmentation de la demande de débit jusqu'à l'utilisateur implique une recherche particulière sur la conception des réseaux d'accès de type FTTH, qui permet d'atteindre des débits supérieurs à ceux de l'ADSL utilisés aujourd'hui

En premier lieu, nous avons donné une description détaillée des réseaux fibrés FTTX, notamment les réseaux optiques passifs PON ainsi que le fonctionnement des systèmes GPON (Gigabit Passive Optical Network) déployés aujourd'hui pour amener la fibre jusqu'à la maison (FTTH : Fibre To The Home), leurs principaux composants constitutifs, leur principe de fonctionnement et les débits offerts par ces réseaux.

En deuxième lieu, une étude du concept du réseau GPON est présentée. Dans ce contexte, nous avons expliqué la cartographie du réseau, l'étude de la partie génie civil, la réalisation de la nouvelle architecture sur Auto CAD, le raccordement, le test et le bilan.

Nous proposons comme perspective d'atteindre le très haut débit et de plus améliorer la bande passante pour minimiser le coût.

# ***Bibliographiques***

- [1]. Site officiel : <https://www.sotetel.tn/fr/>
- [2]. Sotetel — Wikipédia (wikipedia.org)
- [3]. Memoire Online - Rapport de stage effectué à la société Sotetel (société tunisienne des entreprises de télécommunications) - Wilfried-Ersco MVOU-OSSIALA
- [4]. Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs, « Les télécommunication par fibre optique», Edition Dunod 1996.
- [5]. R et M France ; 09/2006 << Déploiement FTTX>>.
- [6]. Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes < Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit enaquitaine>.
- [7]. Mathieu Trampont, Modélisation et Optimisation du Déploiement des Réseaux de Télécommunications : Applications au Réseaux d'Accès Cuivres et Optiques, Thèse de Doctorat en Informatique, Conservatoire National des Arts et Métiers, Laboratoire Cédric, 2009.
- [8]. Mamadou, D. Diouf, A. D. KOR, S. OUYA, S. A. FARSY, Technologie PON adaptée aux très hauts débits, A R I M A volume 1 (2002), pages 1 à 7.
- [9]. Sarah BENAMEUR "La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission tique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable" thèse doctorat, UNIVERSITE DJILALI LIABES, SIDI BELABBES, Juin 2015.
- [10]. FEROUÏ Sarah, " Etude D'un Réseau B-PON Bidirectionnel " mémoire de Master, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN, juin 2013
- [11]. CHENIKA Abdelfettah, " ETUDE ET CONCEPTION DE NOUVEAUX FORMATS DE MODULATIONS DEDIES AUX

RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUES HAUT DÉBIT"Thèse doctorat,  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen – 2017

- [12]. Melle LOUAZANI Marwa /Melle MEDDANE Samira "ETUDE DES RESEAUX D'ACCES OPTIQUE EXPLOITANT LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEURS D'ONDE" mémoire de Master, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID- TLEMCEN, juin 2017.
- [13]. Y.Zouine, «Contribution par la simulation système a l'étude des contraintes des composants optiques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », Thèse de doctorat, Univ Limoge, Octobre2005.
- [14]. A.Degdag et H.Sayeh, « Etude des différents formats de modulation dans une liaison optique à haut débit», Juin2006.
- [15]. Tachéomètre — Wikipédia (wikipedia.org)
- [16]. Présentation autodeskautocad - logiciel dessin conception assisté par ordinateur (autocadformation.com)

