

Dédicace :

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents, pour leur amour inestimable, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mes sœurs (Aicha et Nour El Houda) et mon frère (Ibrahim) pour leur encouragement

A toute ma famille spécialement ma tante, pour son mot d'encouragement et leur gentillesse.

A tous mes amis (Samra, Rihab, Ilyes, Soufiane, Marouane, Walaa et Mahmoud) qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Je suis également heureux de dédier ce travail à mon professeur qui a supervisé ma formation.

CHERIFI NESRINE

Je dédie ce travail :

A ma Chère Mère Zouhra.

A mon Père Mohamed.

Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.

A mon Frère Abderrahmane et mes sœurs Souad et Samia pour leur encouragements.

A tous ceux qui m'aiment Nesrine, Rihab, Ilyes, Soufiane, Walaa et Mahmoud.

DEROUICHE SAMRA

Remercîments :

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail. Plus particulièrement, nous tenons à remercier :

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce mémoire.

Mr KARIM FATHALLAH, directeur du mémoire, pour nous avoir accordé sa confiance pour la réalisation de ce projet à distance les unes des autres, et nous a fait bénéficier de ses compétences scientifiques et de sa disponibilité constante, qui a montré sa volonté de toujours nous fournir ses précieux conseils et pour nous avoir guidées tout au long de cette étude.

Nous remercions également les membres du jury Monsieur **KHELLADI. M** et Monsieur **BORSALI A. R** qui ont bien voulu examiner notre travail.

Pour finir je tiens à remercier tous personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Merci à ma famille et à mes amis pour leur soutien tout au long de ces années d'études.

Résumé :

Le projet consiste à réaliser pratiquement au niveau du laboratoire une liaison de transmission optique en évaluant son bilan de puissance via les appareils de mesure. Nous avons appris à manipuler pratiquement une fibre optique en passant par les étapes de dénudage, clivage et la fusion automatique.

Mots-clés : Dénudage, clivage, fibre optique, fusion automatique, atténuation, puissance, pertes d'insertions.

Abstract:

The major aim of this project is to realize practically in the laboratory an optical transmission link by assessing and evaluating its strength panel focusing-on:

- Measurements devices.
- In fact, students are going effectively to improve their knowledge, also their knowing-how about the practical manipulation of an optical fiber taking into account the given steps: denudage, clivage and automatic fusion.

Key words: denudage, clivage, optical fiber, automatic fusion, attenuation, strength, insertion loss.

الملخص

يتناول موضوع دراستنا هذا التجسيد التطبيقي والعملي في المختبر لعلاقة بث ترتكز على الالياف الضوئية عبر تقييم مردودية قوتها وادائها من خلال اجهزة القياس. وبذلك سنتمكن ميدانيا من التحكم الفعال في تقنية الاتصال والبث بواسطة الالياف الضوئية مرورا بمرحل التجريد- الانشقاق والتفاعل لأتوماتيكي.

الكلمات المفتاحية: تجريد – انشقاق – الياف ضوئية – تفاعل – توهين – الطاقة الضوئية – فقدان الادراج

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remerciement	II
Résumé	III
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	XII
Introduction Générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur fibre optique.

1. Introduction	3
2. Généralité sur la technologie de la fibre optique	3
2.1. Emetteur optique	4
2.1.1. Source optique	5
a. Diode électroluminescente (DEL)	5
b. Diode laser (DL)	6
2.1.2. La différence entre les diodes DEL et DL	7
2.2. Modulateurs	7
2.2.1. Modulation directe	8
2.2.2. Modulation externe	8
2.3. Récepteur optique	9
2.3.1. Photo détecteur	9
2.3.2. Les différents types de photo détecteur ./.....	9
a. Effet photoélectrique	9
b. Les photodiodes (PIN)	9
c. Les photodiodes APD.....	10
2.3.3. Caractéristique d'un photo détecteur.....	10

2.3.4. Comparaison PIN, APD	11
3. La fibre optique.....	11
3.1. La définition de fibre optique	11
3.2. Structure de la fibre optique	11
3.3. Les différents types de fibre optique	12
3.3.1 Fibres optiques multimodes	12
a. Fibres optiques multimodes à saut d'indice	12
b. Fibres optique multi modes à gradient d'indice.....	13
3.3.2. Fibre optique monomodes	14
3.4. La comparaison entre la fibre monomode et multimode	15
3.5. Les Classes de fibre optique.....	15
4. Les paramètres de la fibre optique	15
4.1. Ouverture Numérique	15
4.2. Longueur d'onde de coupure	16
4.3. Atténuation	16
4.3.1. Les fenêtres de transmission	16
4.4. Dispersion	17
4.4.1. Dispersion modale	17
4.4.2. Dispersion chromatique	17
5. Avantages et inconvénient des fibres optiques	18
5.1. Avantages	18
5.2. Inconvénients	18
6. Applications de la fibre optique	18
7. conclusion.....	19

Chapitre II : Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit

1.Introduction	21
2. Technologie FTTx	21
2.1. Terminologie des Réseaux FTTx.....	21

3. LE FTTH	22
3.1. Définition.....	22
3.2. Déploiement des réseaux d'accès FTTH	24
4. Solution de déploiement des réseaux d'accès FTTx.....	25
4.1. Architecture des réseaux d'accès FTTH.....	26
4.1.1. Architecture Point à point P2p (ethernet).....	26
■ Avantage de l'architecture Point à point Ethernet P2p	26
■ Inconvénient de l'architecture Point à point Ethernet P2p	27
4.1.2. Architecture Point à Multipoint passif GPON	27
■ Avantage de l'architecture Point à Multipoint passif GPON.....	27
■ Inconvénient de l'architecture Point à Multipoint passif GPON	28
4.1.3. Architecture hétérogène P2P et PMP.....	28
4.2. Principe de design ODN.....	28
4.2.1. Définition.....	28
4.2.2. Équipements, câbles et accessoires.....	29
➤ Equipements	29
➤ Câble	30
➤ Accessoires	31
4.2.3. Critères de Déploiement Des Equipements.....	31
➤ OLT (Optical Line Terminal).....	31
➤ Splitter Optique.....	32
✓ Module PLC Splitter	34
➤ ODF (Optical Distribution Frame).....	34
➤ FDT (Fiber Distribution Terminal).....	36
➤ FAT (Fiber Access Terminal).....	37
4.2.4. Critères de Déploiement de la Fibre.....	39
➤ Câble Feeder	39
➤ Câble de Distribution.....	40
➤ Câble d'Accès	
4.2.5. Budget Optique.....	40
➤ Atténuations des puissances optiques dans les composantes de l'ODN.....	40
➤ Réseau FTTHde Bout en Bout.....	41
➤ Budget optique de bout en bout.....	42

➤ Réseau FTTC/B VDSL 2 Vectoring	42
➤ Réseau FTTC/B VDSL 2 Super Vectoring.....	43
5. Conclusion	43

Chapitre III : Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique.

1. Introduction.....	45
2. Description géométrique (physiques) de la fibre optique.	45
3. Les appareils de mesure.....	45
3.1. Source laser/testeur de pertes optique du fabricant ANRITSU.....	45
3.2. Wattmètre optique (Optical Power Meter)	46
3.2.1. Description de mode de fonctionnement :	64
4. Mesure de l'affaiblissement à l'aide des appareils de mesure.	47
4.1. Définition de la perte d'insertion.....	47
4.1.1. Mesure la perte d'insertion en utilisant le testeur de pertes optiques et le wattmètre optique.....	48
4.1.1.1. Procédure de test du wattmètre optique.	48
5. Etapes de préparation de la fibre optique.	55
5.1. Matériel utilisé.....	55
5.2. Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique.	55
5.2.1. Dénudage de la fibre optique.....	55
5.2.2. Le nettoyage de la fibre optique.....	57
5.2.3 Le clivage de la fibre optique.....	58
6. L'épissure par fusion.....	60
6.1. La mise en place dans la soudeuse.....	60
6.2. La fusion.....	61
7. Mesure de l'affaiblissement d'une liaison de fibre optique lié par l'épissure par fusion.....	62
8-Les diviseurs PLC et FBT.....	65
8.1. Le diviseur PLC.....	65
8.1.1. Mesure de la puissance reçue et la perte optique.....	66

8.2. Le diviseur FBT :	71
8.2.1. Mesure de la puissance reçue et la perte optique.....	71
9. Etude pratique sur les câbles de fibres optiques utilisés dans l'industrie.....	75
9.1. OPTIGAIN PEHD (FIBRE OPTIQUE)	75
9.2. Câble semi-rigide à 4 brins.....	75
9.3. Câble semi-rigide à 72 brins.....	76
10. Les étapes pour relier deux câbles fibre optique.....	76
10.1. Outils pour la préparation des câbles.....	76
10.2. Préparer le câble optique.	77
10.3. Les étapes de préparation d'un câble de fibre optique.....	79
10.3.1. Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique	79
10.4. Résultat de la connexion de deux câbles à fibre optique.....	84
11. Mesure de l'affaiblissement d'une liaison d'un câble de fibre optique lié par l'épissure par fusion.....	84
12. Conclusion.....	89
Conclusion générale	90
Annexe	91
<u>Annexe 1</u> : Tableau de caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (thorlabs).....	91
<u>Annexes 2</u> :Tableau de caractéristique de la source laser/testeur de pertes de la sérieCMA5.....	91
<u>Annexes 3</u> :Tableau de description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de la série CMA5.....	92
<u>Annexes 4</u> : Tableau de caractéristiques du wattmètre optique model 5P100 de la série CMA5.....	93
<u>Annexe 5</u> : Tableau de description des différentes touches de wattmètre optique (OPM).....	93
Références bibliographiques	94
Glossaire	97
<u>Liste de figures :</u>	
Figure I.1 : la technologie de la fibre optique.....	3
Figure I.2 : Structure d'un émetteur optique.....	5
Figure I.3 : caractéristique spectrale d'une DEL.....	5

Figure I. 4 : représentation schématique d'une diode laser.....	6
Figure I.5 : diode laser, caractéristiques spectrales.....	7
Figure I.6 : Modulation directe d'une diode laser.....	8
Figure I.7 : principe de la modulation optique externe.....	8
Figure I.8 : Structure d'un récepteur optique.....	9
Figure I.9 : photo détecteur PIN.....	10
Figure I. 10 : Schéma d'une photodiode à avalanche.....	10
Figure I.11 : Structure de la fibre optique.....	11
Figure I.12 : fibre a saut d'indice et son trajet lumineux Source.....	12
Figure I.13 : un trajet lumineux dans une fibre a saut d'indice Source.....	13
Figure I.14 : fibre à gradient d'indice et son trajet lumineux Source.....	14
Figure I.15 : trajet lumineux dans une fibre à gradient d'indice Source.....	14
Figure I.16 : fibre optique monomode et son trajet lumineux Source.....	14
Figure I.17 : Phénomène d'atténuation.....	16
Figure I.18 : Bandes des longueurs d'ondes utilisées dans les fibres.....	17
Figure I.19 : La dispersion modale (intermodale).....	17
Figure I.20 : La dispersion chromatique (intermodale).....	18
Figure II.1 : Terminologie des Réseaux FTTx.....	22
Figure II.2 : Structure du Réseau FTTH.....	22
Figure II.3 : Déploiement des réseaux d'accès FTTH.	24
Figure II.4 :FTTx Solutions.....	25
Figure II.5 : architecture FTTH.....	26
Figure II.6 : architecture P2p.....	26
Figure II.7 : architecture GPON.....	27
Figure II.8 : architecture P2p et PMP.....	31
Figure II.9 : OLT MA5800-X17.....	32
Figure II.10 : Structure de splitter 1 : 8.....	33
Figure II.11 : Structure de PLC splitter.....	34
Figure II.12 : Structure et composants de l'ODF.....	35

Figure II.13 : Composantes et structure du FDT.....	37
Figure II.14 : Structure de FAT.....	39
Figure II.15 : Structure du câble Feeder.....	39
Figure II.16 : Structure du câble de distribution.....	40
Figure II.17 : Réseau FTTH de Bout en Bout.....	41
Figure II.18 : Budget optique de bout en bout.....	42
Figure II.19 : Réseau FTTC/B VDSL 2 Vectoring	42
Figure II.20 : Réseau FTTC/B VDSL 2 Super Vectoring.....	43
Figure III.1 : Fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1(thorlabs).....	45
Figure III.2 : Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU.....	46
Figure III.3 : Commandes de fonctionnement du wattmètre optique de la série CMA5.....	47
Figure III.4 : Méthode expérimentale de mesure de pertes d'insertion optiques.....	48
Figure III.5 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	49
Figure III.6 : puissance reçue sur le wattmètre optique.....	49
Figure III.7 : Mesure de perte optique de deux fibres optiques et un adaptateur.....	50
Figure III.8 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	50
Figure III.9 : puissance reçue sur le wattmètre optique.....	51
Figure III.10 : deux fibres relient avec un connecteur du même type.....	52
Figure III.11 : Mesure de perte optique de d'une fibre optique.....	52
Figure III.12 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	53
Figure III.13 : puissance reçue sur le wattmètre optique.....	53
Figure III.14 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	54
Figure III.15 : puissance reçue sur le wattmètre optique.....	54
Figure III.16 : Pinces à dénuder.....	56
Figure III.17 : ciseau pour couper (kevlar).....	56
Figure III.18 : les étapes de dénudage d'une fibre.....	57
Figure III.19 : Le nettoyage de la fibre optique.....	58
Figure III.20 : Cliveuse FC-6RS-C de Sumitomo.....	58
Figure III.21 : Les étapes de clivage de la fibre optique.....	59

Figure III.22: le résultat de clivage.....	59
Figure III.23: Les étapes de soudeuse de la fibre optique.....	60
Figure III.24: Mauvais soudure.....	61
Figure III.25: Meilleure soudure.....	61
Figure III.26: Les étapes de la fusion de la fibre optique.....	62
Figure III.27: Le résultat de la fusion.....	62
Figure III.28: Mesure de l'affaiblissement de la liaison.....	63
Figure III.29 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	63
Figure III.30 : puissance reçue sur le wattmètre optique.....	64
Figure III.31 : Le diviseur PLC.....	65
Figure III.32: Mesure de la puissance reçue et la perte optique.....	66
Figure III.33 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	66
Figure III. 34 : Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	66
Figure III.35 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	67
Figure III. 36 : Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	68
Figure III.37 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	68
Figure III. 38 : Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	69
Figure III.39 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	69
Figure III.40: Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	70
Figure III.41: Le diviseur FBT	71
Figure III.42: Mesure la puissance de la perte optique de port01.....	72
Figure III.43 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	72
Figure III.44: Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	72
Figure III.45: Mesure la puissance de la perte optique de port02.....	73
Figure III.46 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	73
Figure III.47: Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	74
Figure III.48: Optigaine PEHD.....	75
Figure III.49: Câble semi-rigideà4 brins des fibres optiques.....	76
Figure III.50: Câble semi-rigideà72 brins des fibres optiques.....	76

Figure III.51: Câble optique.....	77
Figure III.52: dégainer la gaine extérieure du câble.....	77
Figure III.53: Dé tuber les tubes ou le micro gaines.....	78
Figure III.54: dégainer la gaine intérieure du câble.....	78
Figure III.55: Pincés à dénuder.....	79
Figure III.56: les étapes de dénudage d'une fibre.....	80
Figure III.57: Le nettoyage de la fibre optique.....	81
Figure III.58: Cliveuse FC-6RS-C de Sumitomo.....	81
Figure III.59: Les étapes de clivage de la fibre optique.....	82
Figure III.60: la Soudeuse Fujikura 22S.....	82
Figure III.61: les étapes de souder.....	83
Figure III.62: la connexion de deux câbles a fibre optique.....	84
Figure III.63: les étapes de dénudage d'une fibre.....	84
Figure III.64: Le nettoyage de la fibre optique.....	85
Figure III.65: Les étapes de clivage de la fibre optique.....	85
Figure III.66: les étapes de souder.....	86
Figure III.67: Mesure de perte optique d'une fibre optique.....	86
Figure III.68 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	87
Figure III.69: Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	87
Figure III.70 : puissance d'entrée générée par la source laser.....	88
Figure III.71: Puissance reçue sur le wattmètre optique.....	88
 <u>Liste de tableaux :</u>	
Tableau I.1 : La différence entre les diodes DEL et DL.....	7
Tableau I.2 : Comparaison entre PIN et APD.....	11
Tableau I.3 : Comparaison entre la FO monomode et la FO multi mode.....	15
Tableau II.1 : Liste des équipements.....	29
Tableau II.2 : Liste des câbles.....	30
Tableau II.3: Liste des accessoires.....	31
Tableau II.4 : différences entre GPON carte et GPON port.....	32

Tableau II.5 : les pertes d'affaiblissement du splitter.....	33
Tableau II.6 : la distance moyenne entre l'OLT et l'ONT.....	33
Tableau II.7 : les composants de l'ODF.....	35
Tableau II.8 : Structure et numérotation ODF.....	37
Tableau II.9 : différences entre FDT2115D-288 et FDT2115D-144.....	37
Tableau II.10 : Type de l'FAT.....	38
Tableau II.11 : Type de bat.....	38
Tableau II.12: Budget optique.....	41
Tableau III.1 : Les pertes d'insertion théorique et pratique de diviseur PLC.....	70
Tableau III.2 : Les pertes d'insertion théorique et pratique de diviseur FBT.....	74

Introduction Générale

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de lumière et sert dans la transmission de données par la lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated).

Entourée d'une gaine protectrice, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'information. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clés de la révolution des télécommunications. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs (température, pression, etc.), dans l'imagerie et dans l'éclairage.

Notre mémoire se divise en deux parties, une théorique résumée dans les deux premiers chapitres, et l'autre pratique exprimée dans le dernier chapitre. Mettant en lumière notre expérience acquise lors des séances pratiques réalisées avec notre encadreur.

Le premier chapitre présente des généralités sur les fibres optiques, pour aider le lecteur à comprendre la suite du rapport.

Dans le deuxième chapitre, on définit Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit.

Dans le dernier chapitre, nous avons acquis des connaissances dans la préparation de la fibre optique, notamment le dénudage, le clivage, le polissage et la connectique. Nous avons aussi, grâce aux outils de préparations de la fibre, décortiqué ce support de transmission, avec ses différents diamètres optiques et ses différents revêtements intérieurs et extérieurs.

Nous avons aussi étudié les performances (perte d'insertion) d'une fibre monomode de marque Thorlabs à l'aide d'une source laser, et un wattmètre optiques de marque Anritsu.

Chapitre I: Généralités sur la fibre optique.



Chapitre I Généralités sur fibre optique.

Introduction :

Les fibres optiques sont utilisées pour transmettre des informations sur de longues distances, avec des débits binaires élevés. Elles présentent de nombreux avantages. Tout d'abord, le signal transmis sur la fibre n'est pas perturbé par une quelconque onde électromagnétique produit par des câbles d'alimentation ou des équipements électriques. Elles confèrent également une plus grande sécurité car ces câbles peuvent être totalement diélectriques. Enfin, elles permettent un gain de poids et d'espace du fait de leur diamètre plus petit, de seulement 250 μm .

En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de la révolution des télécommunications optiques. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs de température, l'imagerie médicale et dans l'éclairage.

2. Généralité sur la technologie de la fibre optique :

Le principe majeur de toute transmission de données est de faire transiter les informations entre un émetteur et un récepteur tout en réduisant les pertes, aussi bien que les défauts du signal reçu, pour veiller au bon transfert de l'information. [1]

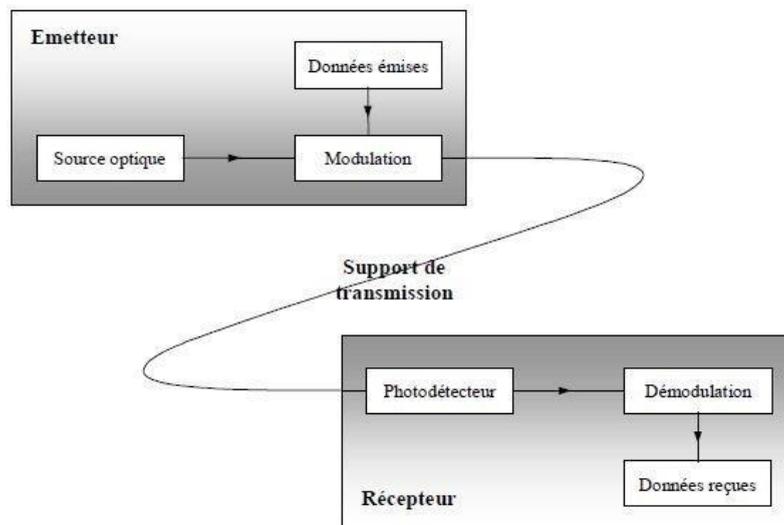


Figure I.1 : la technologie de la fibre optique

En gros, l'organisation d'une chaîne de transmission se présente de la manière suivante :

1. Données à émettre :

- Signal analogique : audio, vidéo
- Signal numérique : vidéo, téléphone, donnée informatique

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

2. Modulateur :

Un signal ne peut se propager seul, il doit y avoir pour support un signal porteur qui sera modulé par le signal à transmettre.

3. Emetteur :

C'est le dispositif qui permet la transmission par onde électromagnétique du signal modulé

4. Récepteur :

Il reçoit des ondes électromagnétiques, les convertit en signaux électriques, joue le rôle inverse de l'émetteur

5. Démodulateur :

Sélectionne et reconstitue le signal modulé transmis par l'émetteur.

2.1. Emetteur optique :

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des émetteurs optiques qui doivent remplir certaines conditions :

- Faible encombrement.
- Fonctionnement à température ambiante.
- Commande par circuits à semi-conducteurs.
- Capacité à moduler la lumière émise à haute fréquence.
- Spectre d'émission étroit.
- Puissance d'émission importante.
- Grande durée de vie.

Les composants d'émission de lumière qui satisfont le mieux à ces critères sont des composants à semi-conducteurs et se regroupent en deux catégories : les diodes électroluminescentes et les diodes lasers. Le choix d'émetteur pour une communication optique s'est porté essentiellement sur les semi-conducteurs vu leurs faibles dimensions et leurs grandes fiabilités de transmissions.[2]

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

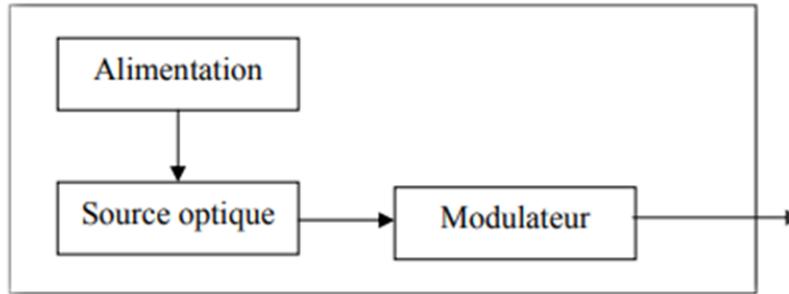


Figure I.2 : Structure d'un émetteur optique.

2.1.1. Source optique :

Pour que le semi-conducteur puisse émettre des photons par émission spontanée ou stimulée, il faut que des porteurs excessifs soient amenés au semi-conducteur. On obtient ceci en injectant des porteurs de charge via une jonction-PN. Le processus de l'injection de porteurs et l'émission résultante est appelé luminescence à injection. En pratique ce processus trouve ses applications sous forme de sources lumineuses (émetteurs) par exemple les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes laser (DL). [3]

a. Diode électroluminescente (DEL) :

Une diode semi-conductrice qui émet de la lumière par émission spontanée, est appelée diode électroluminescente.

Les diodes électroluminescentes de structure simple, ou homo jonction, présentent deux inconvénients majeurs : la lumière générée est émise dans toutes les directions d'où pertes importantes et la largeur de signal émis est grande, environ 40nm. Par contre, leurs avantages sont une grande facilité de " pilotage " et une durée de vie de l'ordre 10^5 à 10^7 heures.

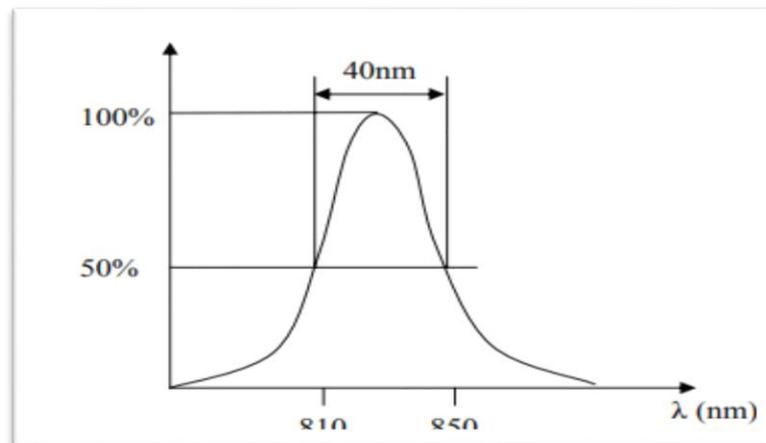


Figure I.3 : caractéristique spectrale d'une DEL.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

La qualité de conversion du courant électrique en lumière est décrite par le rendement quantique, qui désigne le rapport entre le nombre de photons émis par unité de temps et le nombre de charges transportées à travers la jonction-PN de la diode semi conductrice. Rendement quantique Le rendement quantique est défini comme étant le rapport entre le nombre de photon créés et le nombre d'électrons injectés.

$$\eta_q = \text{Nombre de photons créés} / \text{Nombre d'électrons injectés} \dots \dots \dots (1)$$

L'absence d'amplification limite ce rendement quantique, les recombinaisons (électron-trou) qui se produisent, ne sont pas toutes radiatives à cause des imperfections de la structure cristalline et de la présence d'impuretés.

La longueur d'onde de lumière dégagée est un autre paramètre important relatif au fonctionnement de la diode DEL. Elle est surtout déterminée par l'intervalle de bande E_g et la relation suivante est applicable :

$$\lambda = 1,24 / E_g \dots \dots \dots (2)$$

λ :Longueur d'onde, en μm .

E_g : intervalle de bande, en ev .

$$h\nu = 1.24$$

- La valeur de E_g d'une diode à l'arséniure de gallium (GaAs) est de **1,43 ev** et $\lambda = 0.89 \mu m$.
 - Pour le phosphore d'indium (InP) $E_g=1,35 ev$ et $\lambda =0,92 \mu m$. [3]

b. Diode laser (DL) :

La diode laser (DL) (Figure I.4) est une autre source lumineuse, utilisant l'émission stimulée.

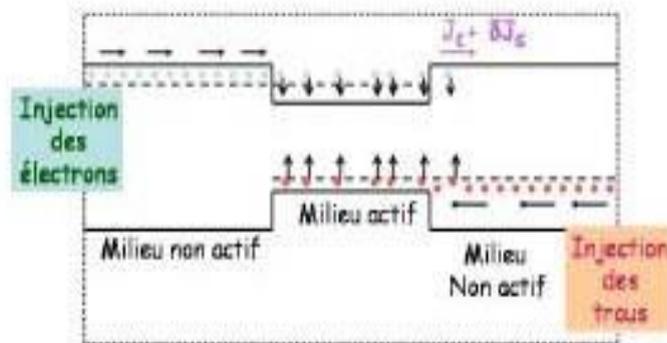


Figure I. 4 : Représentation schématique d'une diode laser

Les deux faces « miroir » de la diode laser sont des surfaces de cristal naturel, résultant du clivage du cristal semi-conducteur, recouverts d'une couche protectrice.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

« LASER » est l'abréviation de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » (amplification de la lumière par une émission stimulée de rayonnement).

Dans une diode laser on provoque, par l'intermédiaire d'un courant à haute densité, un important excès de porteurs qui rend possible une émission stimulée.

Cet effet d'amplification, dû à une avalanche de photons, est supporté par un résonateur optique qui est généralement constitué par deux miroirs semi transparents à faces planes et parallèles.

Les diodes laser se caractérisent par l'étroitesse de la longueur d'onde qu'elles émettent, le spectre émis se compose de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (Figure I.5). [3]

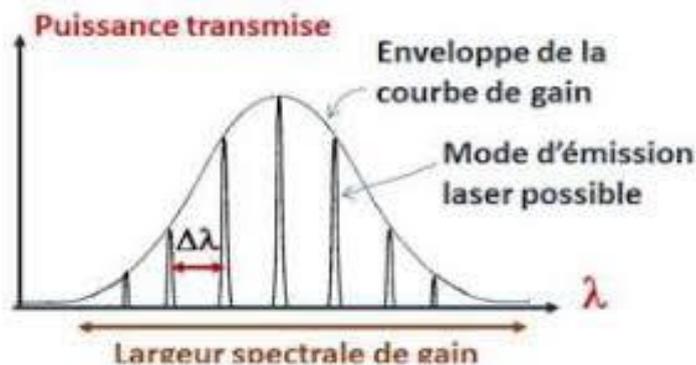


Figure I.5 :Caractéristiques spectrales de diode laser.

2.1.2. La différence entre les diodes DEL et DL :

Diodes laser	Diodes DEL
Emission stimulée	Emission spontanée
Cavité résonnante	Pas de cavité
Lumière cohérente	Lumière incohérente
Courant de seuil	Pas de courant de seuil
Pompage électrique	Pompage électrique
Puissance 200mW	Puissance de quelque mW

Diode DEL

Tableau I.1 : La différence entre les diodes DEL et DL. [4]

2.2. Modulateurs :

Un modulateur est un dispositif capable de modifier les paramètres d'onde optique (Amplitude) en fonction du signal de commande. Deux méthodes sont utilisées pour moduler les ondes optiques ; la modulation directe et la modulation cohérente (externe). [5][11]

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

2.2.1. 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.

La modulation du courant d'injection agit directement sur la modulation en intensité de la lumière émise. Cette technique est appelée modulation directe.

La modulation directe est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques gigabits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité de transmission correcte.

Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important. [5][11]

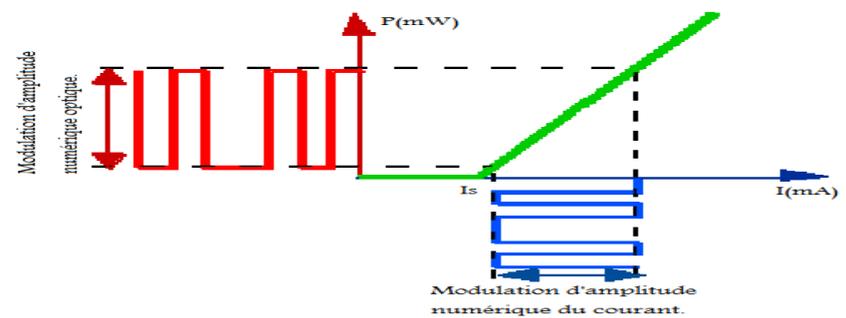


Figure I.6 : Modulation directe d'une diode laser

2.2.2. Modulation externe :

Les conséquences de l'effet conjugué de la dispersion chromatique (effet chirp) et de la modulation de fréquence parasite excluent d'emblée la modulation directe des lasers pour les systèmes de transmission à grande capacité. On a alors recours à des modulateurs externes, en particulier des modulateurs à électro-absorption (voir annexe I.7). Le laser travaillant à courant d'injection constant, le signal émis n'est plus alors modulé en amplitude et par conséquent en fréquence. [5][11]

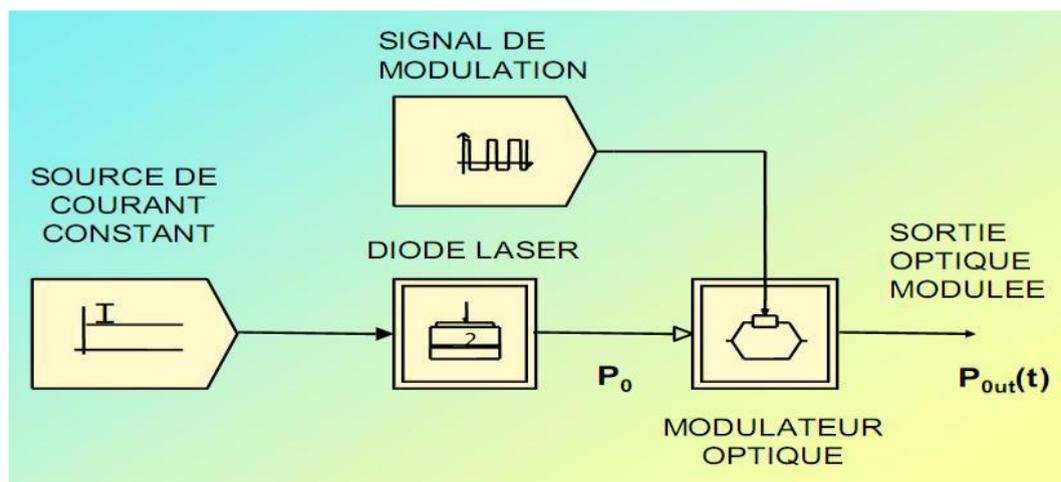


Figure I.7: Principe de la modulation optique externe.

2.3. Récepteur optique :

Le but du récepteur est d'extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu. [6], [7]

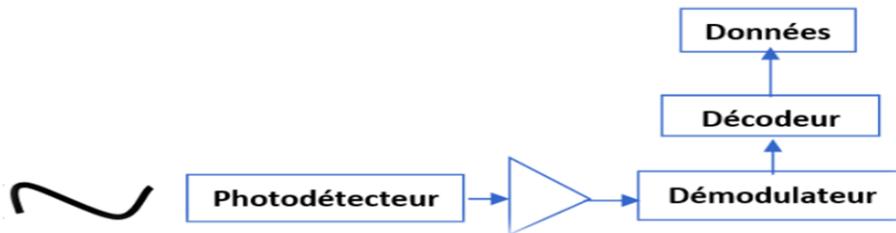


Figure I.8: Structure d'un récepteur optique.

2.3.1. Photo détecteur :

Le Photo détecteur est un composant essentiel dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de convertir en énergie électrique la puissance optique reçue (photons).

En télécommunications optiques les détecteurs doivent avoir :

1. Une grande sensibilité.
2. Une grande bande passante
3. Un faible bruit additionnel. [9]

2.3.2. Les différents types de photo détecteur :

a) Effet photoélectrique :

Sous l'effet d'un photon d'énergie suffisante, un électron est arraché de la bande de valence et passe dans la bande de conduction, produisant une paire de porteurs libre électron-trou. Ces porteurs sont dissociés par le champ électrique et participent à la création d'une photo courant.

b) Les photodiodes (PIN) :(Positive Intrinsic Negative Photodiodes).

Ce sont également des dispositifs à semi-conducteurs qui possèdent une région intrinsèque (faiblement dopée) prise en sandwich entre une région de type p et une région de type n. Lorsqu'il est polarisé en inverse, ce composant émet un courant proportionnel à la puissance optique incidente.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

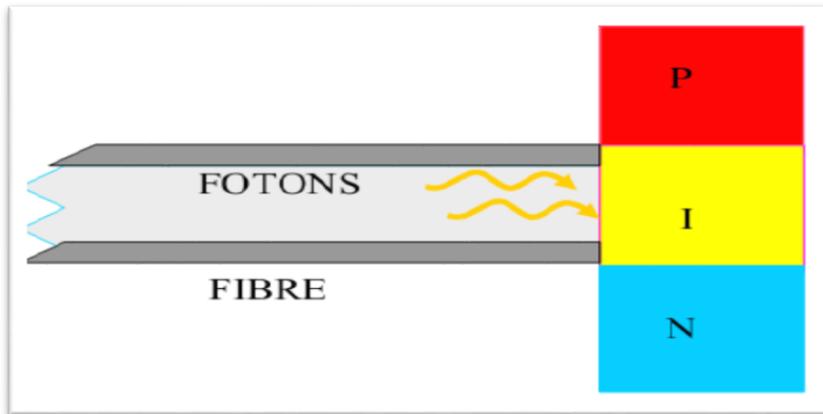


Figure I.9 :Photo-détecteur PIN.

c) **Les photodiodes APD:(Avalanche Photo Diode).**

Ce sont des composants semi-conducteurs qui réagissent à l'intrusion de photon dans la zone de jonction PN par le déclenchement d'une avalanche électronique. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir de très peu de photon incident.

Les photo détecteurs de type APD présente de meilleures performances à 2,5 et 10Gb/s que les types PIN. Leur coût est également plus élevé. Néanmoins, pour les débits élevés à 40 Gb/s, des prototypes de photodiodes de type PIN surpasse les types APD. Les types PIN pourraient alors reprendre du terrain à ces fréquences sur le type APD.

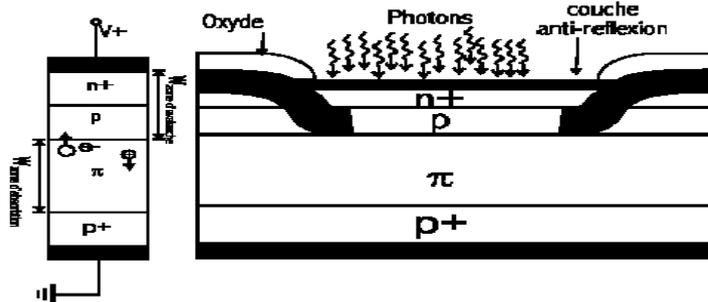


Figure I. 10 : Schéma d'une photodiode à avalanche

2.3.3. Caractéristique d'un photo détecteur :

Le photo détecteur est caractérisé par :

• **Rendement quantique :**

Il nous renseigne sur le taux de conversion des photons en paires électron-trous. Il est défini comme étant le nombre d'électron créés n_e , et le nombre de photon incident n_p .

$$N_q = n_e/n_p \dots \dots \dots (3)$$

• **Longueur d'onde de coupure :**

Elle correspond à la longueur d'onde maximal λ_c qui peut être absorbé par un matériau donné.

$$\lambda_c = 1.24 / \Delta E \text{ (eV)} \dots \dots \dots (4)$$

$\lambda \leq \lambda_c \rightarrow$ Photon incident absorbé (création d'une paires électron-trou).

$\lambda > \lambda_c \rightarrow$ Photon incident non absorbé.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

• Sensibilité :

Elle caractérise le rendement global de conversion de la puissance lumineuse. [6]

2.3.4. Comparaison PIN, APD :

Caractéristiques	PIN	APD
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	Non	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Elevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyenne
Facteur d'accès de bruit	Non	Oui

Tableau I.2 : Comparaison entre PIN et APD. [8]

3. La fibre optique :

La fibre optique fait référence à la technique utilisant la lumière pour la transmission des signaux. Dans l'environnement du câblage de données d'infrastructure, il s'agit principalement de câbles en fibres optiques tout en silice. Les autres compositions incluent des fibres optiques en plastique et des fibres optiques à gaine plastique. [10]

3.1. La définition de fibre optique :

La fibre optique est un support de transmission destiné à transmettre de l'information sur les réseaux informatiques. Autrefois réservée aux liaisons interentreprises ; qui a la propriété d'être un conducteur de lumière et sert dans la transmission de données par la lumière. [11]

3.2. Structure de la fibre optique :

Pour bien comprendre les fibres optiques, il faut tout d'abord commencer par comprendre leur structure et composition. Une fibre optique peut être réalisée à l'aide de différents matériaux et ceci impliquera des phénomènes physiques différents observés par la suite.

Classiquement une fibre est constituée de 3 parties : Le cœur, la gaine optique et la couche protectrice.

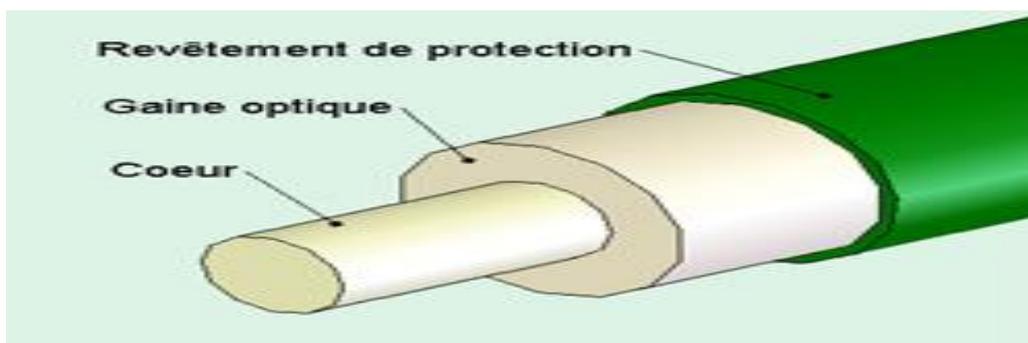


Figure I.11 : Structure de la fibre optique

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

Description détaillée des différentes parties d'une fibre :

- Le cœur : constitue l'une des parties où se trouve la lumière, et c'est cette partie qui a le diamètre le plus petit. La lumière n'est que partiellement confinée dans celui-ci. La fibre est souvent faite de verre ou plastique mais très souvent constituée avec de la silice.
- La gaine optique : constitue une fine couche qui entoure le cœur de la fibre optique, elle joue un rôle tout aussi important que le cœur de la fibre pour la propagation des ondes lumineuses. Elle est généralement en silice comme le cœur mais avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui-ci.
- La couche protectrice : est une couche en plastique qui offre une protection supplémentaire à la fibre contre les perturbations extérieures qui pourraient être engendrées. [12]

3.3. Les différents types de fibre optique :

Il existe deux grands types de fibre optique à savoir : la fibre optique multi mode et la fibre optique monomode.

- ✓ La fibre multi mode est celle dont le diamètre du cœur est important, c'est à dire de 50 à 60 microns environ et lorsque plusieurs rayons appelés « modes », sont transportés dans la fibre optique de manière simultanée.
- ✓ La fibre optique monomode est caractérisée par un diamètre du cœur très petit et lorsqu'on envoyé qu'un seul rayon lumineux dans la fibre.

Chaque mode ayant une vitesse de propagation propre (vitesse suivant l'axe de propagation).[13]

3.3.1 Fibres optiques multi modes :

a. Fibres optiques multimodes à saut d'indice :

Les fibres optiques multimodes à saut d'indice ont un cœur avec un d'indice constant, et une gaine sombre, il y a alors réflexion des rayons lumineux à la limite entre les deux matériaux. Cependant, le chemin optique varie, ce qui est gênant puisqu'un même signal se retrouve étendu à la sortie (c'est le principe de dispersion).

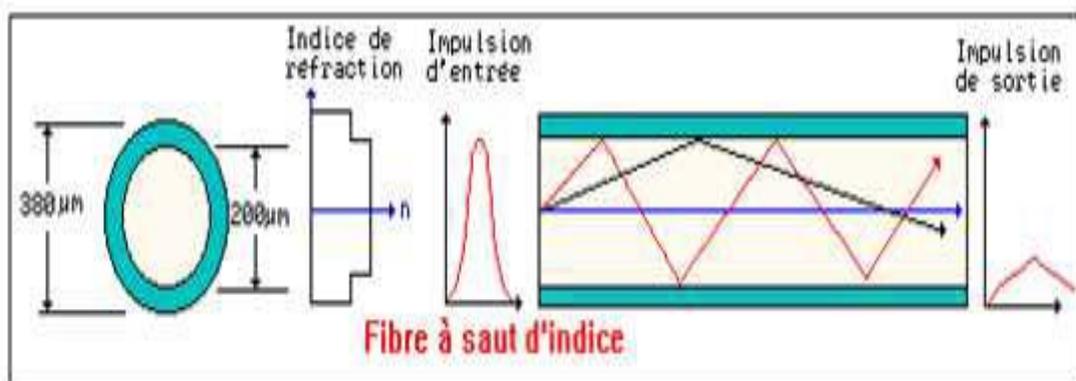


Figure I.12: fibre a saut d'indice et son trajet lumineux
Source

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

La lumière est guidée par réflexion totale interne à l'interface cœur-graine, elle suit un chemin en zigzag (figure I.13). Les fibres optiques multi mode à saut d'indice sont donc utilisées sur de courte distance car le signal est modifié.

- Débit : environ 100 Mbit/s.
- Portée maximale : environ 2 Km.
- Affaiblissement : 10 dB/Km.[13]

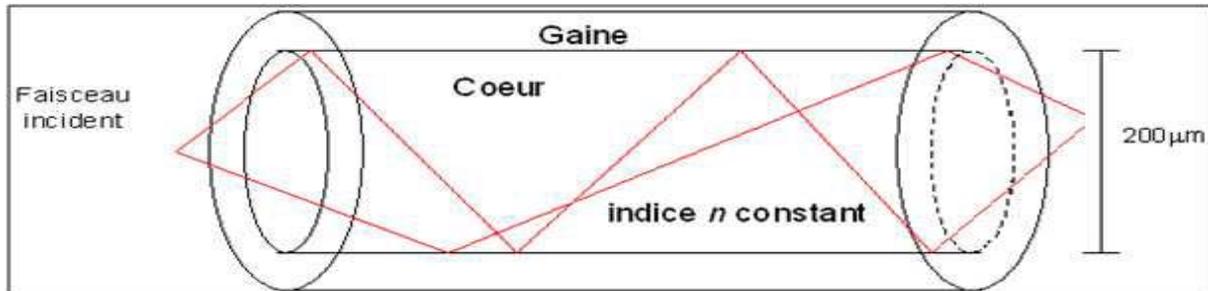


Figure I.13: un trajet lumineux dans une fibre a saut d'indice Source.

b. Fibres optique multimodes à gradient d'indice :

Dans la fibre optique multimode à gradient d'indice, l'indice de réfraction diminue du centre vers la périphérie selon une loi de conservation très précise donc les ondes passant par le centre sont les moins rapides mais parcourant moins de chemin elles arriveront en même temps que celle.

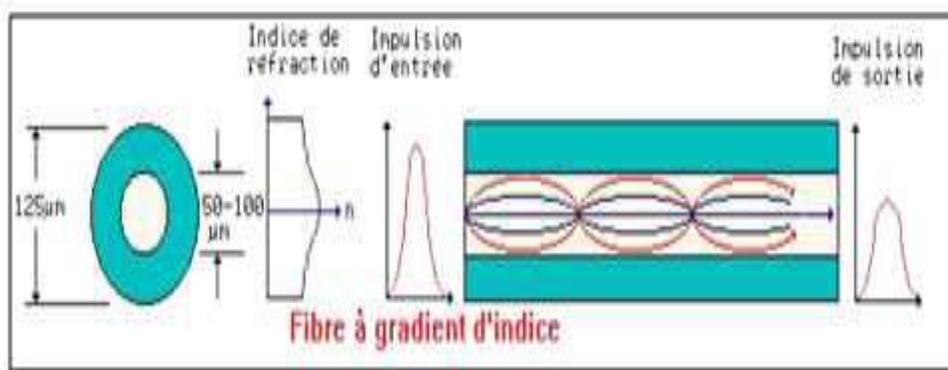


Figure I.14: fibre à gradient d'indice et son trajet lumineux Source

Ces différentes couches de silice de densités multiples influentes sur la direction des rayons lumineux, ainsi on peut observer la création des rayons lumineux ayant une forme elliptique, on parle d'onde sinusoïdale. Le trajet des rayons se propagent en ondulant de l'axe dans la fibre a gradient d'indice, avec une vitesse d'autant supérieure que le rayon est éloigné de l'axe (figure I.15).

Avec :

- Débit : environ 1 Gbit/s.
- Portée maximale : environ 2 Km.
- Affaiblissement : 10 dB/Km.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

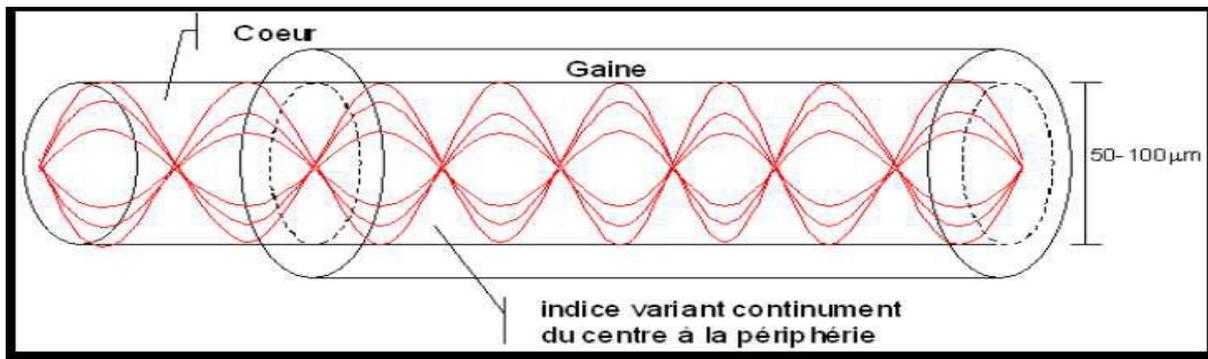


Figure I.15: trajet lumineux dans une fibre à gradient d'indice
Source

La fibre optique multi modes à gradient d'indice est la plus utilisée pour les moyennes distances (inférieures à quelques kilomètres). [13]

3.3.2. Fibre optique monomodes :

La fibre optique monomode a un cœur dont le diamètre est inférieur ou égale à $10\mu\text{m}$, ce qui permet le passage d'un unique rayon lumineux dans la fibre optique qui suit l'axe de la fibre (figure I.16). Il n'y a donc plus de phénomène de dispersion des temps de propagation d'où un très grand débit.

Avec :

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

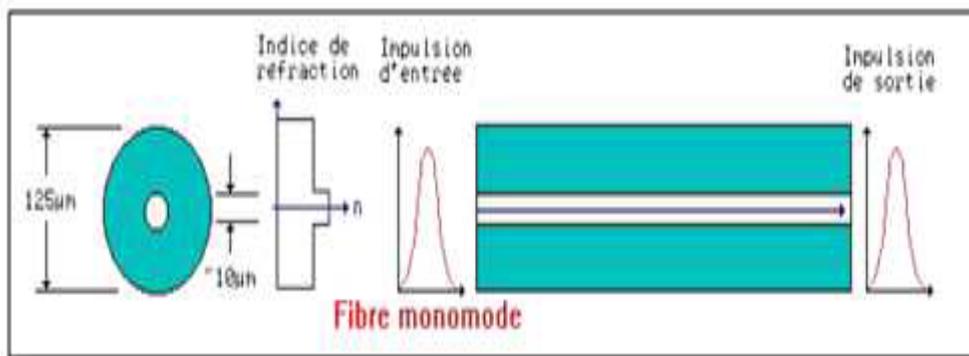


Figure I.16: fibre optique monomode et son trajet lumineux Source

Remarque : dans notre cas, on a utilisé la fibre monomode, vu la longueur de la chaîne à traiter (chaîne à plusieurs kilomètres).

3.4. La comparaison entre la fibre monomode et multimode :

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

Fibre monomode	Fibre multi mode
ON faible (connexion délicate). Très faible atténuation. Faible dispersion. Haut débit et longue distance.	ON forte (connexion facile). Faible atténuation. Forte dispersion. Réseau locaux

Tableau I.3 : Comparaison entre la FO monomode et la FO multi mode [13]

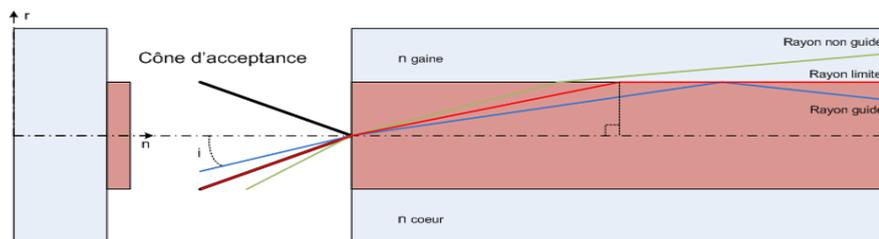
3.5. Les Classes de fibre optique :

- **La fibre OM1** La fibre OM1 correspond à une fibre 62,5/125 µm « courante ».
- **La fibre OM2** La fibre OM2 stipule une bande passante de 500 MHz.km dans les deux fenêtres 850nm et 1300nm. Les fibres 50/125 µm « courantes » répondent à cette spécification (et la dépassent).
- **La fibre OM3** est définie pour couvrir les besoins des futures liaisons à 10 Gbit/s. Cette spécification de fibre vise à atteindre ce débit sur des distances de 300 m à 850 nm. La fibre OM3 stipule une bande passante de 1500 MHz.km dans la fenêtre 850 nm et des caractéristiques de bande passante mesurées avec un émetteur à diodes laser (fibre 50/125µm)
- **La fibre OS1** Permet de transmettre le 10Gb/s sur 2 à 10 km. C'est la fibre G652 la plus couramment utilisée dans les réseaux de télécommunications. [4]

4. Les paramètres de la fibre optique :

4.1. Ouverture Numérique :

L'ouverture numérique ON définit l'angle sur lequel la lumière peut pénétrer dans la fibre. Plus ON est grande plus il est facile d'injecter la lumière dans la fibre. [14]



L'ouverture numérique est régit par l'équation :

$$ON = \sqrt{(n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)} \dots \dots \dots (6)$$

4.2. Longueur d'onde de coupure :

La longueur d'onde de coupure est celle au-dessus de laquelle la fibre devient monomode : [14]

$$\lambda_c = (2\pi a \times ON) / V \dots\dots\dots (7)$$

ON : l'ouverture numérique.

a : le rayon du cœur.

V : fréquence normalisée.

Si : $V > 2.405$ la fibre est multimode.

Si : $V < 2.405$ la fibre est monomode.

4.3. Atténuation :

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime très souvent en décibels (dB). On définit un coefficient d'atténuation α pour une ligne de transmission de longueur L qui s'exprime en dB/Km tel que :

$$\alpha = -\frac{1}{L} * \log_{10}(P_s/P_e)$$

P_E : Puissance injectée à l'entrée de la fibre

P_S : Puissance reçue à la sortie de la fibre.

L : La longueur de fibre. [14]

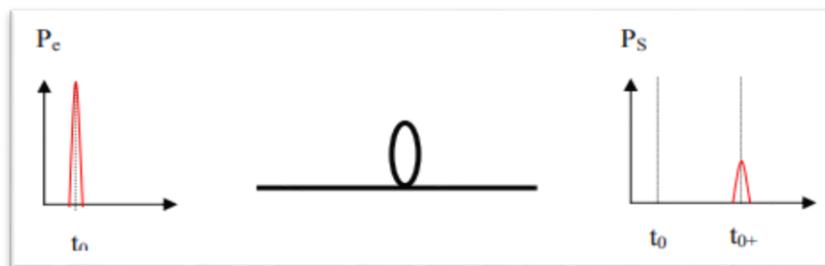


Figure I.17 : Phénomène d'atténuation

4.3.1. Les fenêtres de transmission :

On transmission optique on définit 3 fenêtres de transmission Figure I.18

- Les fenêtres 1 et 2 résultent d'un compromis techno-économique entre l'atténuation apportée par la fibre et les composants optoélectroniques utilisées en fonction des applications.
- La fenêtre 3 correspond à l'atténuation minimale mais exige des composants électroniques très performants, elle est réservée aux applications à haut débit et longues distances. [15]

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

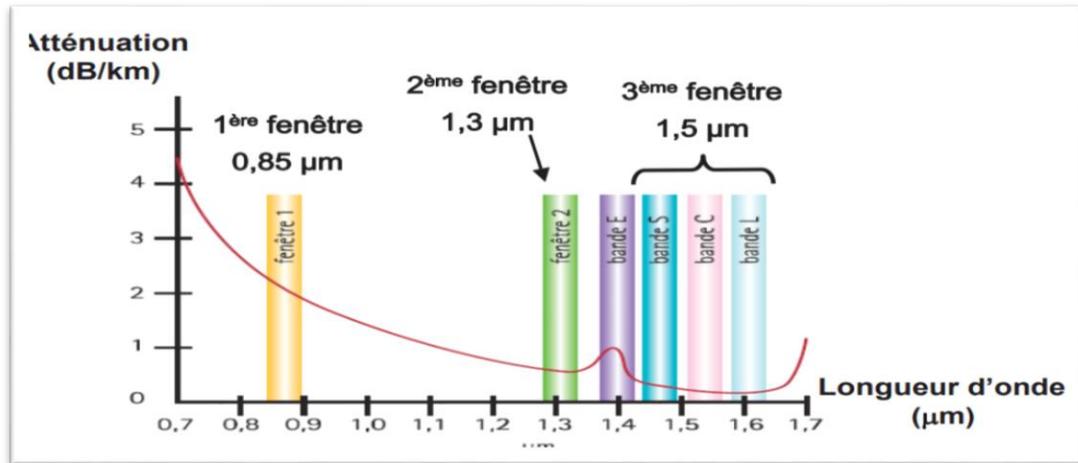


Figure I.18 : Bandes des longueurs d'ondes utilisées dans les fibres.

4.4. Dispersion :

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal, causant ainsi un élargissement d'impulsions au cours de leurs propagations dans la fibre optique.

Il existe deux types de dispersion :

4.4.1. Dispersion modale :

Dans une fibre, les différents rayons lumineux ne suivent pas le même trajet (mode) ; celui-ci dépend de l'angle d'incidence à l'interface air-verre, le mode le plus court sera celui qui suit parfaitement l'axe optique de la fibre, par contre le plus long sera celui ayant l'angle d'incidence à l'interface cœur-gaine le plus grand autorisé.

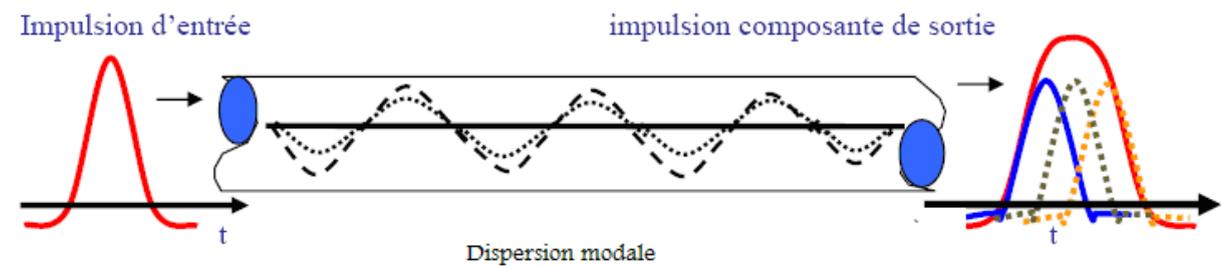


Figure I.19 : La dispersion modale (intermodale).

L'impulsion en réception est la somme des impulsions composantes qui se propagent en temps différents (parcours différents). [16]

4.4.2. Dispersion chromatique :

La dispersion chromatique, caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310 nm et le minimum des minimums se situe à la longueur d'onde 1550nm (laser). [16]

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

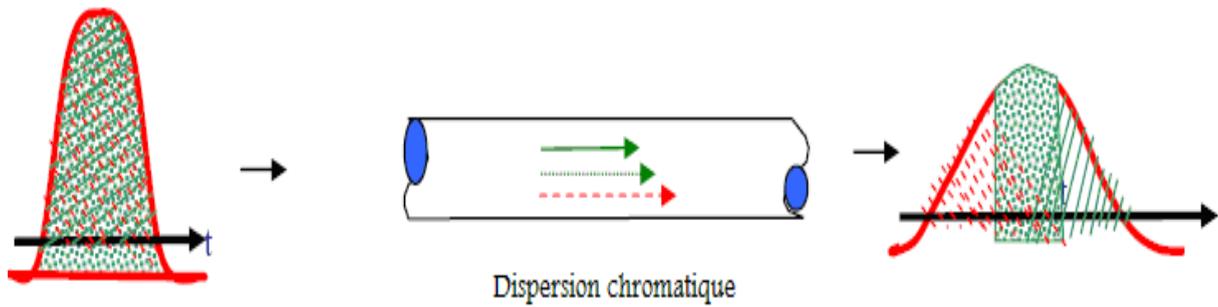


Figure I.20 : La dispersion chromatique (intermodale).

5. Avantages et inconvénient des fibres optiques :

5.1. Avantages :

- Large bande passante.
- Débits binaires élevés.
- Affaiblissements minimisés.
- Faible sensibilité aux facteurs extérieurs (température, humidité.).
- Sécurité d'installation et maintenance. Les fibres optiques ne sont pas des conducteurs d'électricité.
- Sécurité dans la transmission contre des intrus, facilement détectables.
- Faibles encombrements et leurs faibles poids... [4]

5.2. Inconvénients :

- La fibre optique ne permet pas le transport d'énergie.
- Les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- Perte de raccordement entre différents composants optiques du système.
- Parmi les pertes de raccordement on trouve :

-pertes de couplage à la source : une partie seulement de la puissance émise par le laser sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.

-pertes d'épissure : elle est due à cause d'une discontinuité des rayons, une erreur d'espacement, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire. [4]

6. Applications de la fibre optique :

Les applications de la fibre optique monomode sont nombreuses, les plus connues concernent :

- ✓ Les télécommunications, pour la réalisation des réseaux hauts débit à grande distance en technologie WDM, SDH, ATM.
- ✓ L'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés de télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné.
- ✓ La médecine, ou la fibre optique est notamment utilisée.

Chapitre I Généralités sur fibre optique.

- ✓ En chirurgie, pour transporter le faisceau laser jusqu'au tissu à traiter.
- ✓ En endoscopie, pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.
- ✓ L'éclairage (muséographique, architectural, espaces d'agrément publics ou domestiques).
- ✓ La décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines,
- ✓ La signalétique d'orientation de l'information (panneaux de signalisation et enseignes).
- ✓ La signalisation routière (rond points, séparation de voies de circulation). **[17]**

7. conclusion

Ce chapitre a permis de présenter l'évolution des systèmes de transmission, les besoins qui ont menés à l'apparition des systèmes de transmission optiques. On a commencé par le principe de fonctionnement d'une liaison optique suivi d'une description détaillée des différents composants de la partie émission avec notamment les diodes laser et les diodes DEL. Ensuite nous avons étudié la fibre optique avec ces différents composants et différents types.

Chapitre II : Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit



1.Introduction:

Les connexions haut et très haut débit ont permis de fluidifier et accélérer les communications. En transportant les données à la vitesse de la lumière, sur un signal lumineux conduit dans une fibre de verre ou de plastique plus fine qu'un cheveu, la fibre optique permet un débit environ 100 fois plus élevé que le réseau ADSL ! Ce signal lumineux peut transporter des données sur de très longues distances, quasiment sans déperdition.

2. Technologie FTTx :

Comme pour l'ADSL, c'est une nouvelle fois une terminologie anglaise que l'on utilisera pour nommer la technologie de raccordement à la fibre optique. Il s'agit du FTTx!

- Le FTT (Fiber To The), se traduira en français par « Fibre jusqu'à... ». Le «x » peut définir le quartier (FTTN pour neighborhood), le pied d'immeuble (FTTB pour building), Le bureau (FTTO pour office) ou encore le domicile (FTTH pour home) ...Chaque opérateur est bien sur libre de choisir quel déploiement FTTx il va mettre en place. Aujourd'hui il semble que la solution FTTH (jusqu'à l'abonné donc) soit la technologie qui sera la plus rependue. [1]

2.1. Terminologie des Réseaux FTTx:

Les différentes options englobées par le terme FTTx présentent chacune des avantages et fonctionnalités qui les rendent mieux adaptées à certaines applications et moins à d'autres. La liste des configurations potentielles est vaste et certaines solutions architecturales FTTx se généralisent.

- **FTTC:** Fiber To The Curb (Fibre jusqu'au trottoir). Utilisée pour l'accès à internet, qui va jusqu'au sous-répartiteur de l'opérateur historique situé à moins de 300 m de l'immeuble, où les habitants accèdent en cuivre
- **FTTB:** Fiber To The Building (Fibre jusqu'au bâtiment). Consiste en un réseau de fibres optiques dont la terminaison arrive au moins à la limite du bâtiment.
- **FTTH:** Fiber To The Home (Fibre jusqu'au domicile). Consiste en un réseau de fibres optiques dont la terminaison arrive au plus près de l'abonné : son logement.
- **FTTO :**Fiber To The Office (Fibre jusqu'au bureau - entreprises). Consiste en un réseau de fibres optiques dont la terminaison arrive au niveau des bureaux.

Le déploiement de cette technologie est relativement coûteux, c'est pourquoi dans un premier temps il est réservé aux zones urbaines denses.

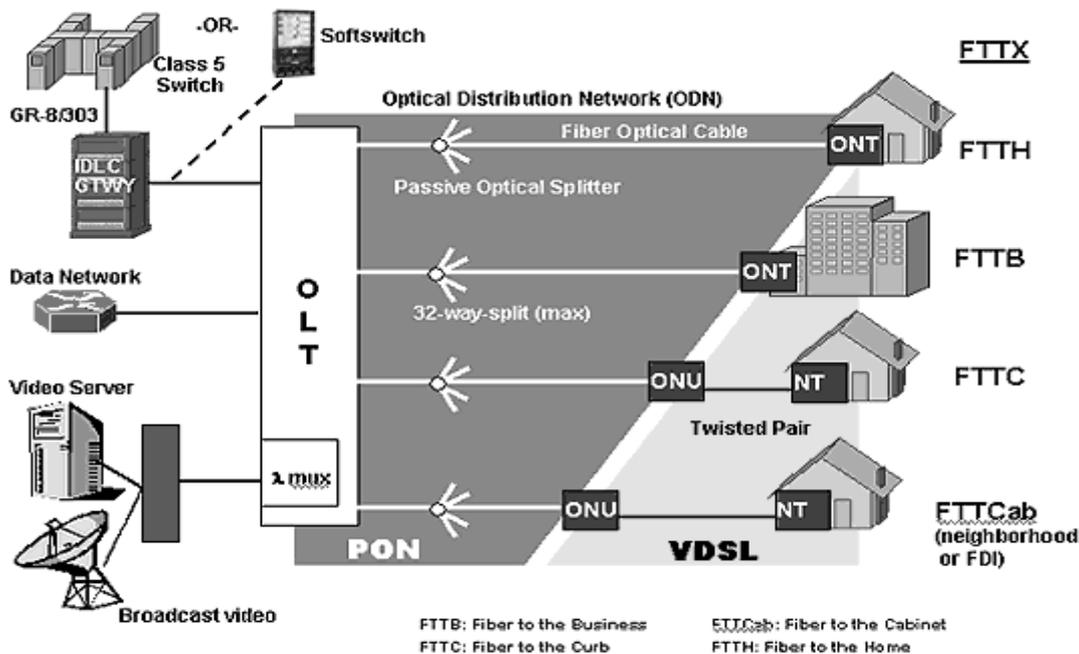


Figure II.1 : Terminologie des Réseaux FTTx

3. LE FTTH :

3.1. Définition :

Le terme s'utilise lorsque la fibre est déployée du nœud de raccordement optique (là où les équipements de transmission de l'opérateur sont implantés) jusqu'à l'abonné. Le FTTH se distingue de l'ADSL, qui utilise des réseaux en cuivre combiné à la fibre optique.

Accès beaucoup plus rapide à Internet, possibilité de visionner la télévision en HD, multi-connexion... De nouveaux usages liés à la meilleure qualité du débit apparaissent et le nombre d'abonnés à un réseau FTTH a augmenté de 70% en un an (au 2e trimestre 2013)! Pour les collectivités, disposer d'une connexion haute débit est même devenu un enjeu d'attractivité qui peut attirer les résidents ou faire gagner de la valeur à un bien. [2]

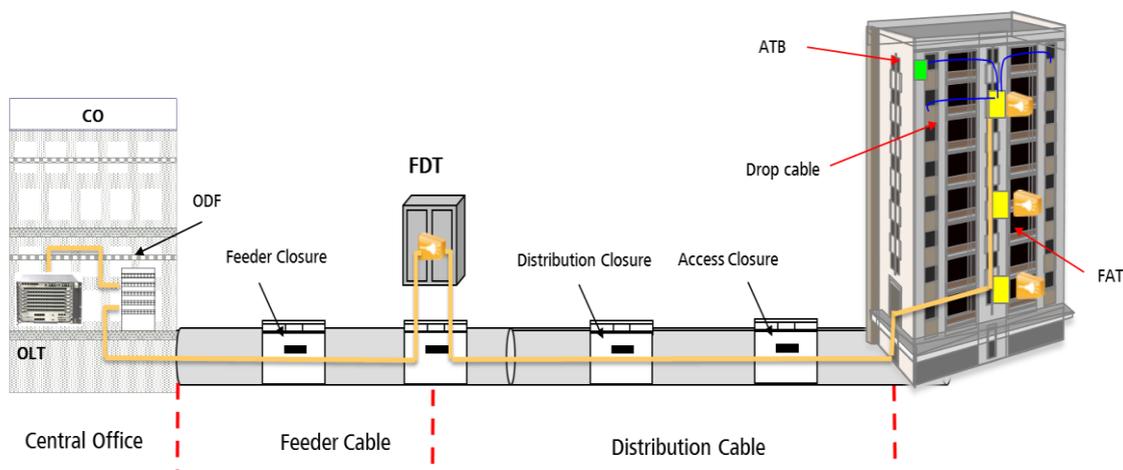


Figure II.2: Structure du Réseau FTTH

“**CO**”, Bureau central, le bureau où le matériel OLT et ODF sont déployés ;

“**OLT**”, Terminal de ligne optique, situé à l'intérieur du CO et permet d'être le point de terminaison des câbles de Fibre feeder du ODN. Il s'agit d'une plate-forme d'accès FTTH conçue pour la norme ITU-T GPON pour fournir facilement des services vocaux vidéo RF et TDM tout en fournissant un chemin de migration en douceur aux services IP Triple Play.

“**ODF**”, Optical Distribution Frame, signifie ODF déployé dans le CO.

“**FDT**”, Fiber Distribution Terminal, outdoor cabinet pour installer les splitter et la route de distribution de câble optique.

“**FAT**”, Terminal d'accès aux fibres, installé à l'intérieur de l'arbre du bâtiment, pour terminer le câble en fibre optique FDT, installer le splitter et connecter le câble de dérivation à ATB.

“**ATB**”, Boîte à bornes d'accès, installé à l'intérieur de l'appartement sur le mur et offrant une prise de fibre optique, utilisé pour épissure le câble de dérivation de FAT, et pour l'insertion du cordon de raccordement à ONT.

“**ONT**”, Un convertisseur de média qui est généralement installé à l'extérieur / à l'intérieur de la maison ou des bâtiments conçus pour la livraison multi-ligne POTS, data et vidéo.

“**Câble Feeder** ”, Le câble déployé de l'ODF vers FDT.

“**Câble de distribution** ”, Le câble déployé de FDT vers FAT.

“**Câble de dérivation- drop** ”, Le câble déployé de FAT vers ATB.

“ **closure de Feeder** ”, Utilisé pour brancher le câble feeder pour connecter FDT.

“**closure de distribution** ”, Utilisé pour distribuer le câble principal du FDT dans directions différentes lorsque cela est nécessaire.

“**closure d'accès** ”, Utilisé comme point d'accès pour connecter des bâtiments à partir de câbles de distribution. [4]

3.2. Déploiement des réseaux d'accès FTTH :

La fibre optique et l'ADSL sont deux technologies qui permettent d'avoir accès à Internet mais, elles sont très différentes l'une de l'autre. L'une et l'autre ne présentent pas en effet les mêmes caractéristiques techniques. L'ADSL est une technologie qui permet de faire passer des données numériques par les fils de cuivre d'une ligne téléphonique. L'ADSL utilise en effet le même réseau que le téléphone.

Quant à la fibre optique, elle nécessite le déploiement d'un nouveau réseau totalement indépendant et permet le transfert de données via la lumière. Lumière qui transite par un câble contenant des fils de verre ou de plastique, aussi fins que des cheveux.

Le gros avantage de la fibre optique sur l'ADSL, c'est qu'elle permet le transfert de données à grande vitesse. Les débits affichés par l'une et l'autre des technologies sont même radicalement différents :

- De 1 à 15 Mb/s pour l'ADSL (jusqu'à 100 Mb/s théorique en VDSL2). C'est ce qu'on appelle le Haut Débit
- Un minimum de 100 Mb/s pour la fibre optique. C'est ce qu'on appelle du Très Haut Débit.

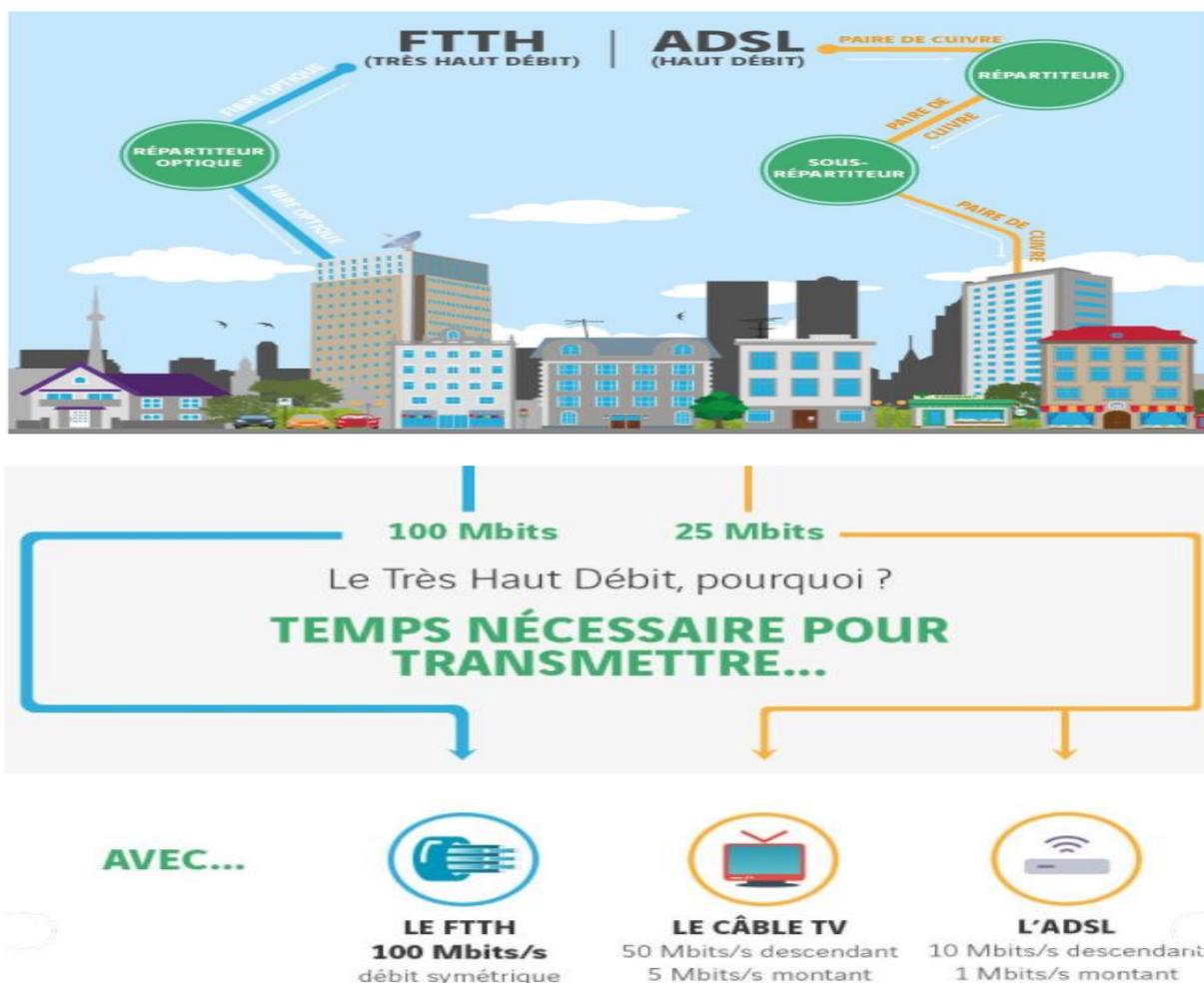


Figure II.3: Déploiement des réseaux d'accès FTTH [2]

4. Solution de déploiement des réseaux d'accès FTTx :

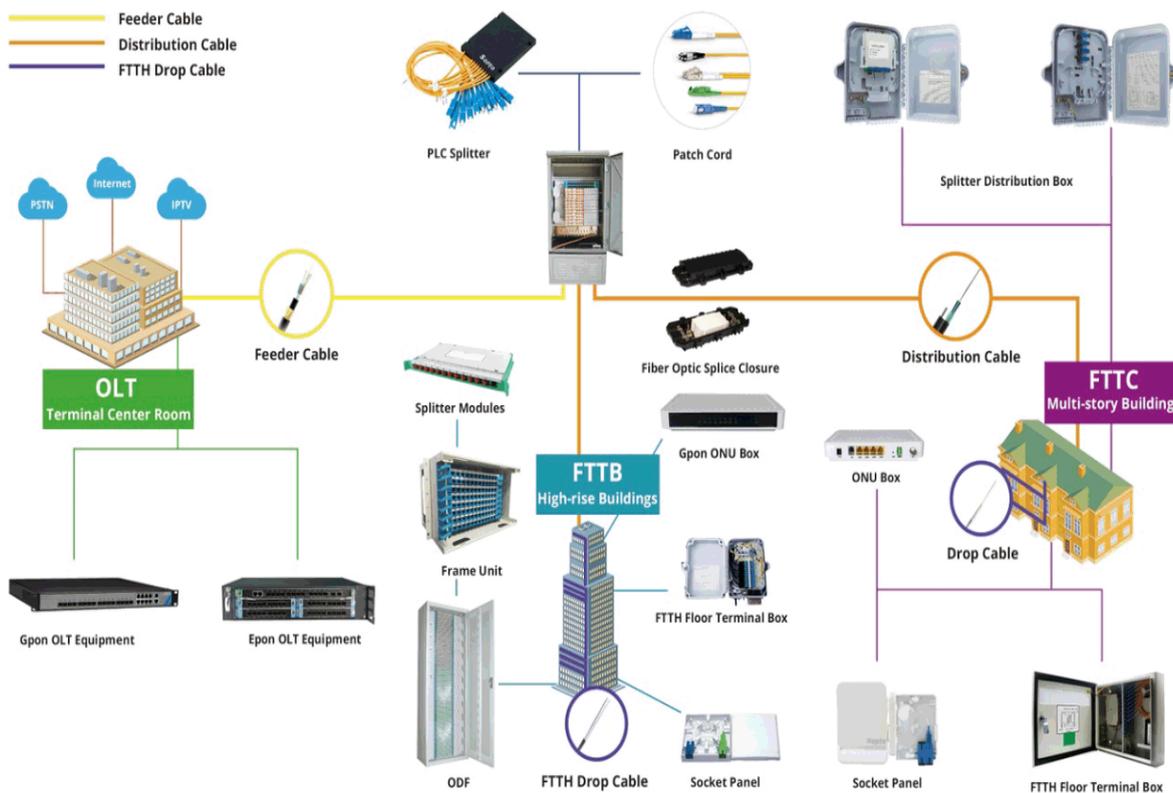


Figure II.4 :FTTx Solutions [6]

- **Equipements actifs** : GPON/EPON OLT, ONU et ONT.
- **Produits passifs FTTX** : câbles extérieurs, intérieurs, cordons optiques, armoires de distribution optique ODF, coffret de terminaison optique, coffret de distribution FTTX (Splitter distribution Box), boîtiers de terminaison FTTH (socket panel, floor terminal box), boîtier de protection pour fusion de fibre et l'ensemble des modules de base pour splicing , splitting et autres accessoires

4.1. Architecture des réseaux d'accès FTTH :

Deux types d'architecture utilisés (P2p et PMP) dans le déploiement des Réseaux FTTH :

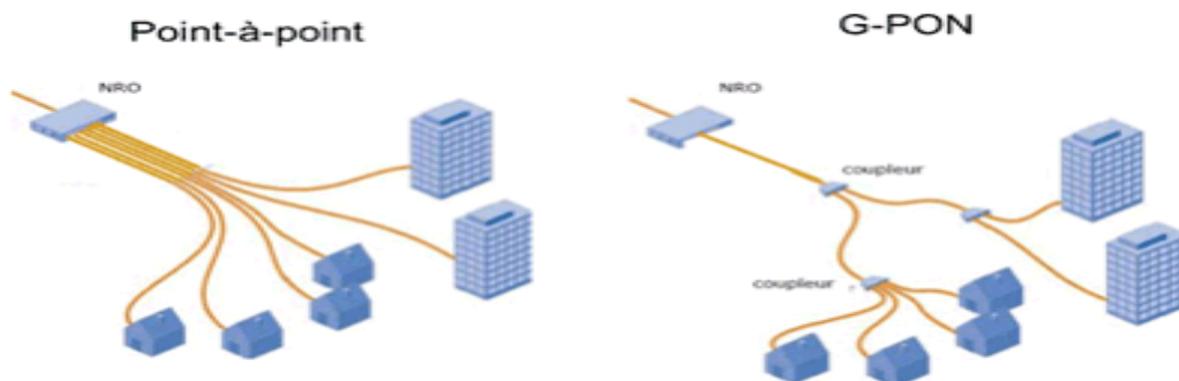


Figure II.5 : architecture FTTH

4.1.1. Architecture Point à point P2p (Ethernet) :

Chaque habitation est reliée au central par une fibre qui lui est dédiée de bout en bout (comme la boucle locale téléphonique traditionnelle). Il n'y a donc aucun partage de débit ou de risque de sécurité. C'est la Solution qui confère le plus de possibilités. C'est la solution la plus onéreuse et la plus complexe à mettre en place. [1]

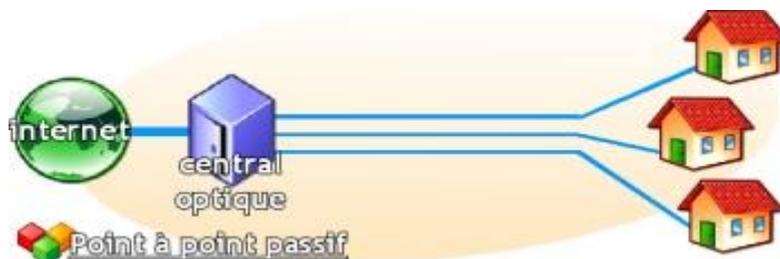


Figure II.6 : architecture P2p

■ Avantage de l'architecture Point à point Ethernet P2p :

- *Simple à mettre en œuvre.
- *Bien adapté pour les entreprises (solution FTTO).
- *Pas de composant optique.
- *Pas de contrainte de budget Optique ce qui peut dire pas de problème de distance
- *La gestion du réseau est simplifiée
- *Le débit peut être augmenté entre le NRO et le client à moindre coût dans les années futur, il suffit d'augmenter la connexion entre le NRO (OLT) et le réseau d'agrégation.
- *Réseau plus sécurisé, du fait de l'absence de mutualisation du support (tel que le PON).[3]

■ Inconvénient de l'architecture Point à point Ethernet P2p :

* globalement le Coût de déploiement plus élevé pour les sites dense.[3]

4.1.2. Architecture Point à Multipoint passif GPON :

Consiste à partager une fibre optique sur plusieurs abonnés (64 Abonnés dans l'architecture B+).

- le PON permet d'atteindre un débit descendant partager qui peut atteindre les 2.5 Gbits/s avec un débit montant de 1.25 Gbits/s (débit partagé par un ensemble d'abonnés).

- Mutualisation d'une partie de l'infrastructure FO entre plusieurs équipements d'accès ou clients, a travers l'utilisation de coupleur optique (point de mutualisation de 1 : N).

Cette architecture permet des économies sur la quantité de fibres à poser et sur le dimensionnement des équipements (par rapport au système point à point). En termes de débit le Multipoint est plus limité que le système Point à Point, mais au vu des possibilités de la fibre, ce système est un bon compromis. [3]

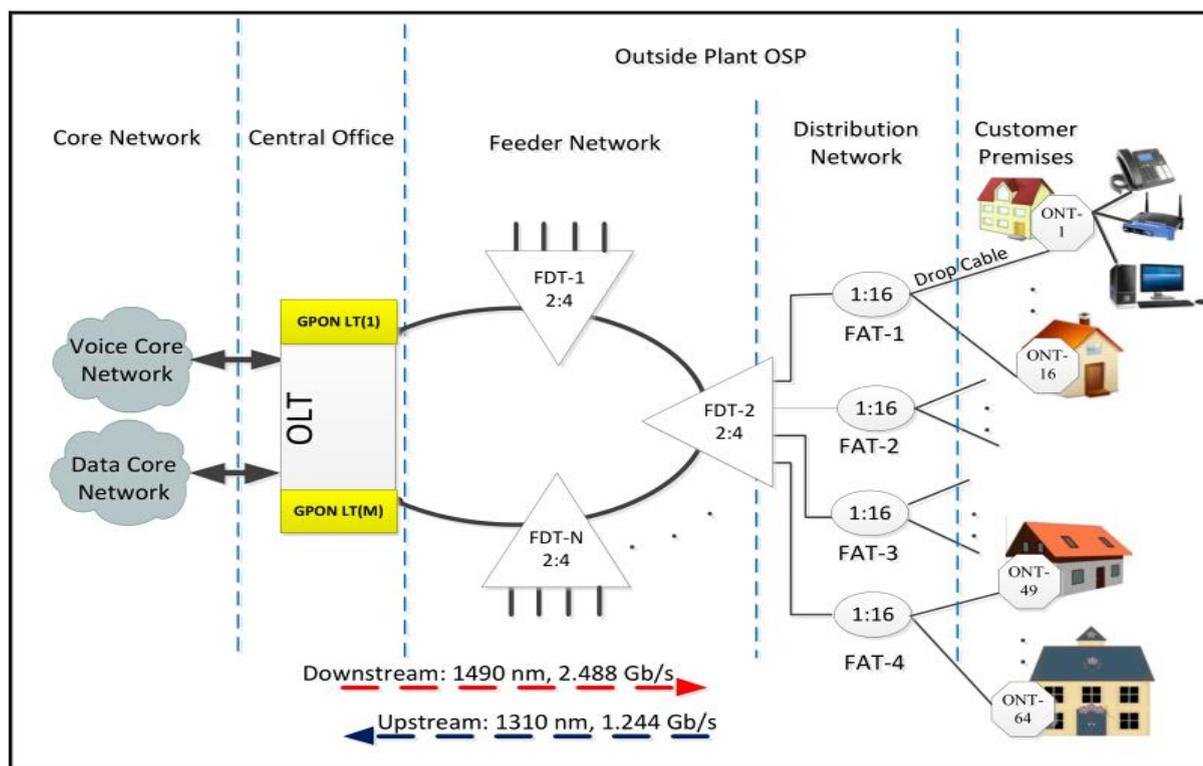


Figure II.7 : architecture GPON

■ Avantage de l'architecture Point à Multipoint passif GPON :

* Bien adapté pour les zones denses.

* Solution optimale du fait que ce type de déploiement permet l'optimisation du taux d'occupation des fourreaux et de fibre au niveau du transport (feeder).

* Cout d'investissement d'équipements actif (OLT) moins élevé pour les sites denses.

* Evolution facile dans le futur vers l'Ultra Haut Débit avec le NGPON1 (10Gbits/s), avec l'utilisation de la même architecture ODN.

* Globalement le Coût de déploiement moins élevé pour les sites dense.[3]

■ Inconvénient de l'architecture Point à Multipoint passif GPON :

*Sécurité logiciel (Algorithme AES), du fait de la mutualisation du support FO par plusieurs Abonnés. [3]

4.1.3. Architecture hétérogène P2P et PMP :

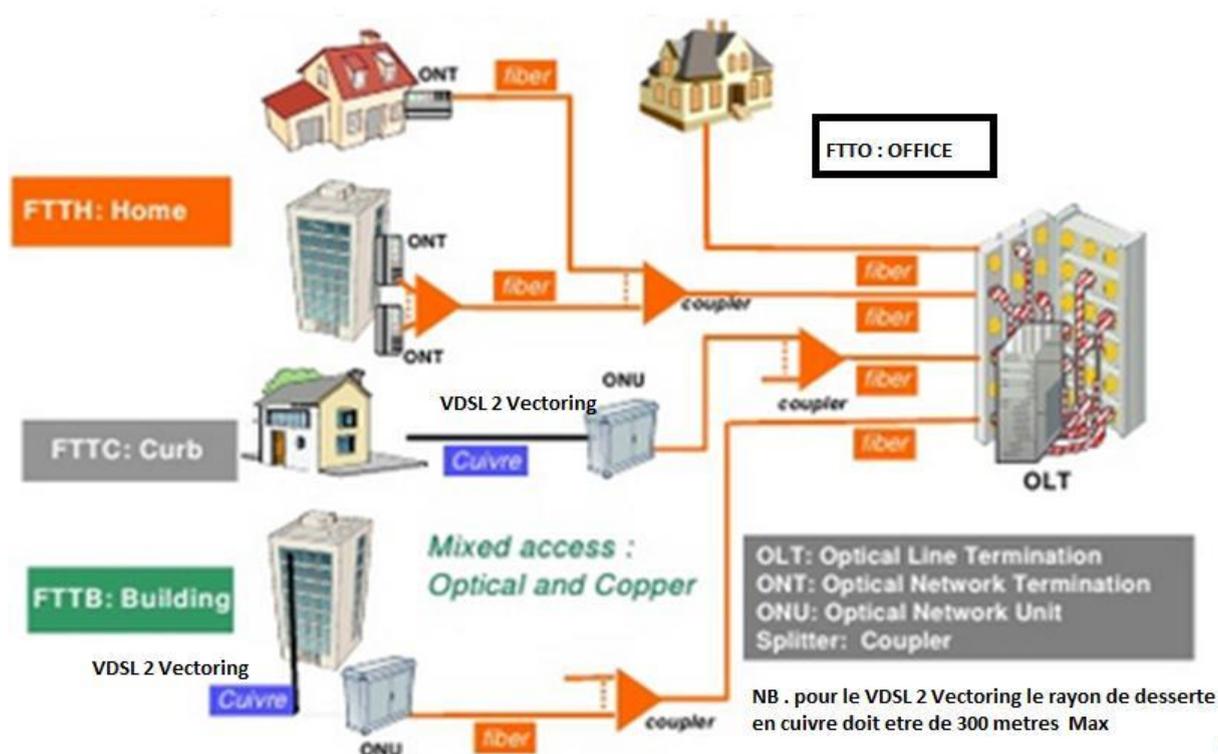


Figure II.8 : architecture P2p et PMP [3]

4.2. Principe de design ODN :

4.2.1. Définition :

Optical Distribution Network (ODN) est un chemin indispensable pour la transmission des données du Réseau optique passif (PON) et affecte directement les performances, la fiabilité et l'évolutivité d'un système PON. L'ODN, qui fait partie intégrante du système PON, réside comme voie physique de transmission optique entre l'OLT et l'ONT. Sa portée est de 20 km ou plus. Au sein de l'ODN, les fibres optiques, les connecteurs à fibre optique, les séparateurs optiques passifs et les composants auxiliaires collaborent les uns avec les autres. [5]

4.2.2. Équipements, câbles et accessoires :

➤ **Équipements :**

Type	Size (mm)	Photo	Typical Capacity	Configuration
OLT	2.2m ETSI Cabinet		Maximum 17*16 GPON Port	Indoor
ODF	2200×800×300		Maximum 576 cores	Indoor
FDT	1460 x 750 x 320		576/288/144	Outdoor
FAT3201-36	480*320*125mm		24	Maximum support 3 pcs 1:8 splitter, Indoor/Wall
FAT3201-24	320*120*300mm		16	Maximum support 2 pcs 1:8 splitter, Indoor/Wall
FAT3201-12	320*100*300mm		8	Maximum support 1 pcs 1:8 splitter, Indoor/Wall

Chapitre II Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit

Closure	D183*420mm		48	1 pcs uncut port(10~20mm) and 4 pcs branch ports(5~20mm) Outdoor/Wall
ATB3101-1/2	115*86*23mm		1/2	Indoor/Wall

Tableau II.1 : Liste des équipements [4]

➤ **Câble :**

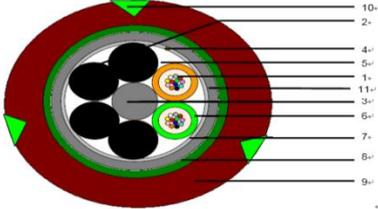
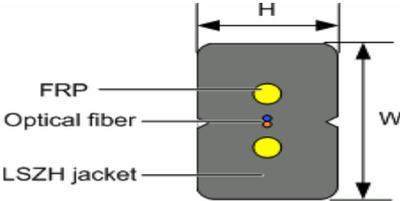
Type	Size (mm)	Photo	Scenario
Armé et souple 12/24/48/72	12		Under Ground
GJXFH-2	3.0mm*2.0m		Indoor Drop Cable From FAT to ATB

Tableau II.2 : Liste des câbles [4]

➤ **Accessoires :**

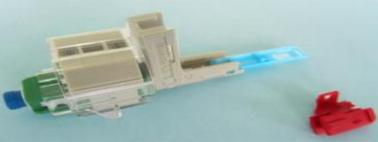
Type	Photo
Adapter-SCAPC	
Pigtail	
SPL9101	
FMC 55*8.99*7.39 (mm)	

Tableau II.3: Liste des accessoires [4]

4.2.3. Critères de Déploiement Des Equipements :

➤ **OLT (Optical Line Terminal) :**

Le principe du déploiement de l'équipement OLT est le suivant :

- L'OLT sera déployé en CO (Centre Office).
- L'emplacement du CO sera 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.
- La quantité théorique maximale d'abonnés supportée est d'environ **17408** pour **MA5800-X17** et **7168** pour **MA5800-X7**.
- La distance de couverture de l'OLT est suggérée pour être contrôlée dans un rayon de **10 km**, conformément à **GPON CLASS B + 28dB**
- La sélection de type OLT sera basée sur les prévisions d'abonnés de la zone.
- La carte OLT et le nombre de port GPON seront basés sur le nombre total de splitter de FDT (par exemple : **niveau1 de 1 : 8**)[4]

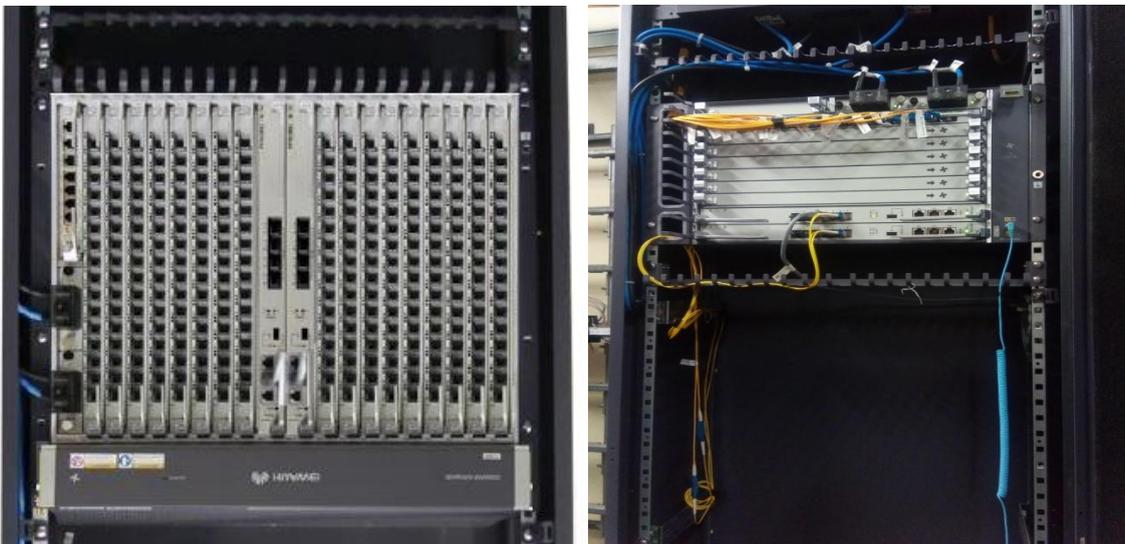


Figure II.9 : OLT MA5800-X17

Composantes	Description
GPON card	Supporte un maximum 17 card
GPON port	16 ports dans chaque carte, MA5800-X7 support e 272 ports GPON

Tableau II.4 : différences entre GPON card et GPON port

➤ **Splitter Optique :**

Le principe du déploiement est le suivant :

- Les splitters sont des dispositifs passifs qui divisent les signaux optiques également dans le rapport de 1 : 2 à 1 :64, introduisant une perte optique en fonction du rapport de division.
- Les splitters peuvent être situés dans le CO à côté de l'OLT (en ODF), à l'intérieur du Terminal de distribution de fibre (FDT) outdoor/indoor, dans les clôtures, dans les terminaux d'accès à fibre (FAT).
- Les connecteurs SC/APC sont recommandés conformément aux spécifications approuvées.
- La perte d'affaiblissement du Splitter doit être conforme aux normes. Chaque configuration de splitter est affectée d'une perte de ratio de division maximale, y compris les connecteurs, définie par la norme ITU G.671, comme suit : **[4]**

Ratio du splitter standard	Perte maximale	Perte typique
1x2	3.7dB	3.1dB
1x4	7.3dB	6.2dB
1x8	10.7dB	9.8dB
1x16	13.5dB	13.2dB
1x32	16.7dB	16.5dB

Tableau II.5 : les pertes d'affaiblissement du splitter.

Cela permet une distance moyenne entre l'OLT et l'ONT:

Splitter	Meilleur cas
1x64	15 km
1x32	21 km
1x16	30 km
1x8	38 km
1x4	48 km

Tableau II.6 : la distance moyenne entre l'OLT et l'ONT

Ces distances réelles de couverture sont plus courtes, dépendent des pertes causées par les épissures, les connecteurs et la distance de fibre. [4]



Figure II.10 : Structure de splitter 1 : 8

✓ Module PLC Splitter :

Caractéristiques :

- Disponible pour des configurations 1*2,1*4,1*8,1*16,1*32,1*64,1*128
- et 2*2, 2*4, 2*8, 2*16, 2*32, 2*64
- Connecteurs : LC, SC, FC, etc.
- Disponible pour différents formats : tube en acier, boîtier ABS, type module d'insertion.
- Faible perte d'insertion et faible POL.
- Gamme complète de PLC pour couvrir une large plage de longueurs d'onde de 1260 nm à 1620 nm
- Fonctionnement en température de -40 ° C à + 85 ° C
- Normes Telcordia GR-1209-CORE et Telcordia GR-1221-CORE [6]

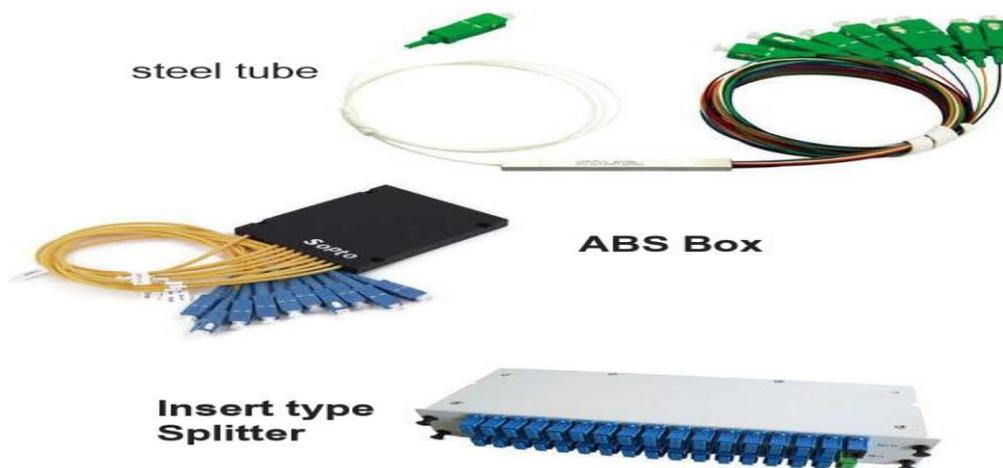


Figure II.11 : Structure de PLC splitter

➤ ODF (Optical Distribution Frame):

Le principe du déploiement de l'ODF est le suivant :

- L'ODF sera déployé en CO (Centre Office).
- Fournir une interface / connexion croisée entre OLT et FDT
- OLT est connecté à l'ODF avec un patch cord
- Le FDT est relié à l'ODF par un câble à fibre optique et d'épissure au plateau d'épissage pré-connecté.
- L'interface SC/APC est recommandée conformément aux spécifications approuvées. [4]

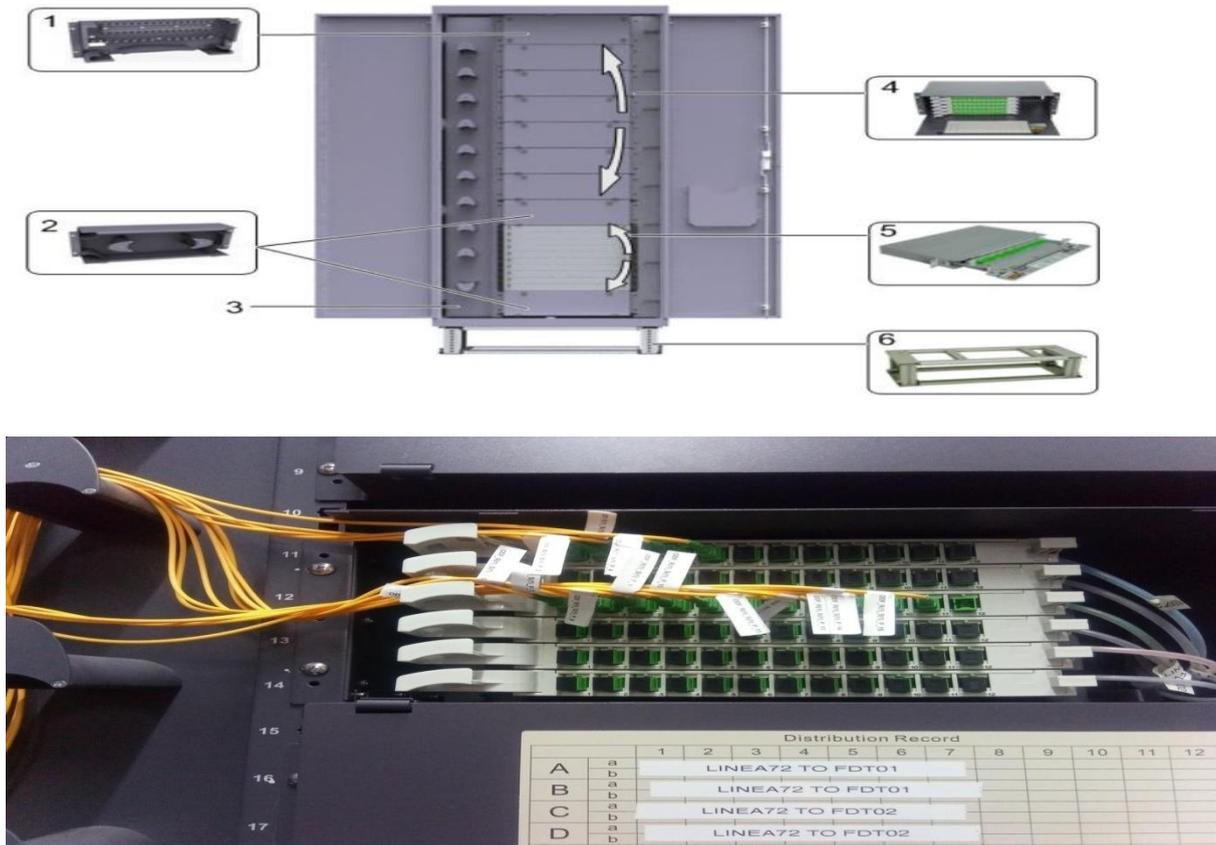


Figure II.12 : Structure et composants de l'ODF

Composants	Description
Rack	6 de plateau d'épissurage `` splicingtray``, total 72 capacités d'épissure
Splicing tray	12 ports de chaque plateau

Tableau II.7 : les composants de l'ODF

La capacité de l'ODF sera basée sur la capacité totale du câble Feeder de l'ODF au FDT.

[4]

La numérotation du port ODF de haut en bas sera :

RACK	Slot	Port											
A	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	3	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	4	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	5	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	6	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
B	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	3	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	4	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	5	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	6	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
C	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	3	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	4	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	5	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	6	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
...

Tableau II.8 : Structure et numérotation ODF

➤ **FDT (Fiber Distribution Terminal) :**

L'Armoire outdoor du FDT sera déployée dans ce projet, les critères de conception de base pour le déploiement FDT :

- Délimiter d'abord la zone de l'OLT en zone en fonction de la sélection de sous-zone municipale, par exemple Zone A/B/C/ etc. Ensuite, divisez la zone en zone FDT, par exemple FDTA01/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.
- Le FDT accueille des multiples splitters de 1 : 8 dans la structure du réseau standard.
- La capacité du FDT 288 peut supporter un maximum de 36 pcs de splitter 1 : 8, compte tenu du taux d'abandon et de réservation du câble de fibre, peut normalement supporter environ 1300 utilisateurs.
- La capacité du FDT 144 peut supporter un maximum de 18 pcs de splitter 1 : 8, compte tenu du taux d'abandon et de réservation du câble de fibre, peut normalement supporter environ 700 utilisateurs.
- L'interface SC/APC est recommandée conformément aux spécifications approuvées
- Les FDT sont normalement planifiés à un emplacement approprié près d'un manhole (chambre).
- La limite de FDT ne peut normalement pas traverser la route principale ou la limite de rivière ou de district.[4]

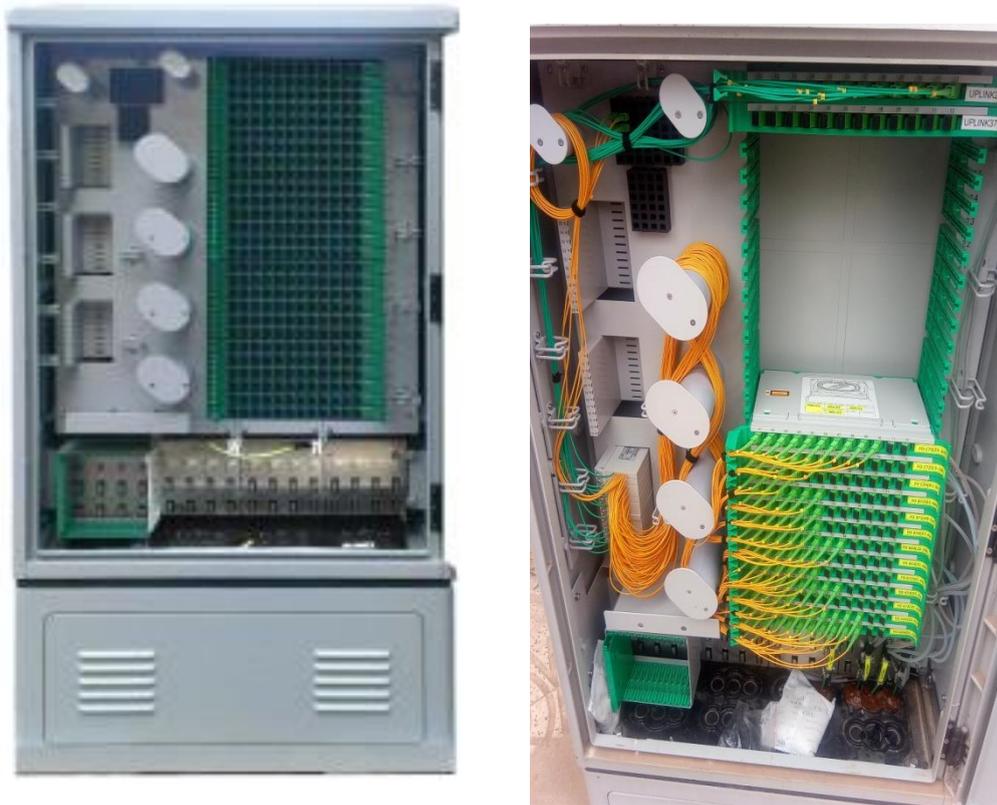


Figure II.13 : Composantes et structure du FDT

Module	FDT2115D-288	FDT2115D-144
Capacité de terminaison	288 core	144 cores
Splitter Slot	36 pcs	18 pcs
Dimensions (H x W x D;unit: mm)	1460 x 750 x 320	1040 x 560 x 310
Optical cable inlet ou outlet	12 holes for $\leq \Phi 22$ mm common cable for fiber cable	11holes for $\leq \Phi 22$ mm common cable for fiber cable

Tableau II.9 : différences entre FDT2115D-288 et FDT2115D-144

➤ **FAT (Fiber Access Terminal) :**

Il Ya3 types de FAT indoor FAT qui seront déployés dans ce projet pour les hauts buildings

« high-rise buildings », le principe du déploiement du FAT est comme suite :

- La sélection du type du FAT et la configuration de la quantité sera basé sur le nombre total des appartements et les unités commerciales à l'intérieur du building sans de penser à un extra pour le réserver [4]

Chapitre II Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit

Type de FAT	Capacité	Dimension	Principe de déploiement
FAT3201-36	24	480*320*125mm	Installé avec 3 pcs de splitters1:8, ce qui peut supporter un max de 24 utilisateurs
FAT3201-24	16	320*120*300mm	Installé avec 2 pcs de splitters1:8, ce qui peut supporter un max de 16 utilisateurs
FAT3201-12	8	320*100*300mm	Installed with 1 pcs of 1:8 splitter, can support maximum 8 users

Tableau II.10 : Type de l'FAT

Exemple de sélection FAT et la configuration de la quantité typique a un modèle de building comme suite :

Type de bat	Nbr Logts	FAT type3*1: 8SPL		FAT type2*1: 8SPL		Total FAT Port	
C+14	57		2		1		64
R+9	40	2	1	0	1	48	40
C+9	39	2	1	0	1	48	40
C+9	38	2	1	0	1	48	40
C+9	37	2	1	0	1	48	40
R+5	24	0	1	2	0	32	24
C+5	23	0	1	2	0	32	24
C+5	22	0	1	2	0	32	24

Tableau II.11 : Type de bat

Le FAT sera installé dans le centre de l'étage de tous les étages couverts pour réduire la distance de câble drop, l'emplacement proposé pour le FAT à l'intérieur des bâtiments. [4]



Figure II.14 : Structure de FAT

4.2.4. Critères de Déploiement de la Fibre :

➤ **Câble Feeder :**

- Le câble feeder connects l'OLT (ODF) au FDT.
- Il est présente la plus grande distance, comme le CO peut être à l'extérieur de la zone de la couverture du FDT.
- La distance des câbles feeder nécessitent de considérer le budget optique de bout en bout.
- Le type de câble sera choisi selon les types 288/144/96/72/36 brins
- Chaque FDT utilise 36 ou 48 brins du câble feeder. [4]



Figure II.15 : Structure du câble Feeder

➤ Câble de Distribution :

- Le câble de distribution connecte le FDT vers la clôture dans le manhole.
- Le type de câble sera choisi selon les brins 72/36, là il faut réserver un tube.
- Le câble de distribution sera un tube à épaisseur complète vers le FDT par unité de 12 brins et garder des brins séparés comme réserve. [4]

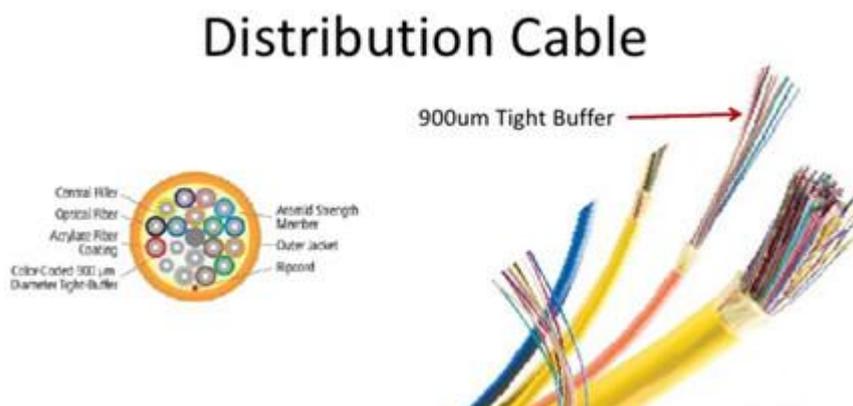


Figure II.16 : Structure du câble de distribution

➤ Câble d'Accès :

- Le câble d'accès connecte les clôtures (ManHole) vers le FAT à l'intérieur des buildings.
- Le type de câble est choisi entre 12/8 brins
- La sélection de câble est basée sur :
 - Building avec 1-5 FAT splitter : FO8
 - Building avec 6-8 FAT splitter : FO12
- Le câble d'accès fera l'épissure de quantité de brins exactes à base de la quantité de splitter des FAT. Pour une future extension, y aura lieu de faire l'épissure de brins de câble d'accès réservés pour les brins de clôtures réservés.[4]

4.2.4. Budget Optique:

➤ Atténuations des puissances optiques dans les composants de l'ODN:

- Le budget optique total accepté entre l'OLT et l'ONT est 28 dB.
- Les paramètres suivants doivent être pris en considération durant le calcul des pertes optiques dans le réseau. [4]

Chapitre II Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit

No.	Name	Type	Attenuation (dB)	Unit loss (dB)
1	Optical cable (G.652D)	1310 nm optical cable (db/km)	0.33	0.36795
		1490 nm optical cable (db/km)	0.22	0.2453
		1550 nm optical cable (db/km)	0.2	0.223
		1625 nm optical cable (db/km)	0.24	0.545
2	Connector type	Fusion splicing	0.1	0.8
		Connector	0.3	2.4
		Fast connector	0.5	0
		Insert loss	1	0
3	Splitter type	1:64	20.5	0
4		1:32	17	0
5		1:16	13.8	0
6		1:8	10.6	21.2
7		1:4	7.5	0
8		1:2	3.8	0

Tableau II.12 : Budget optique.

➤ Réseau FTTH de Bout en Bout:

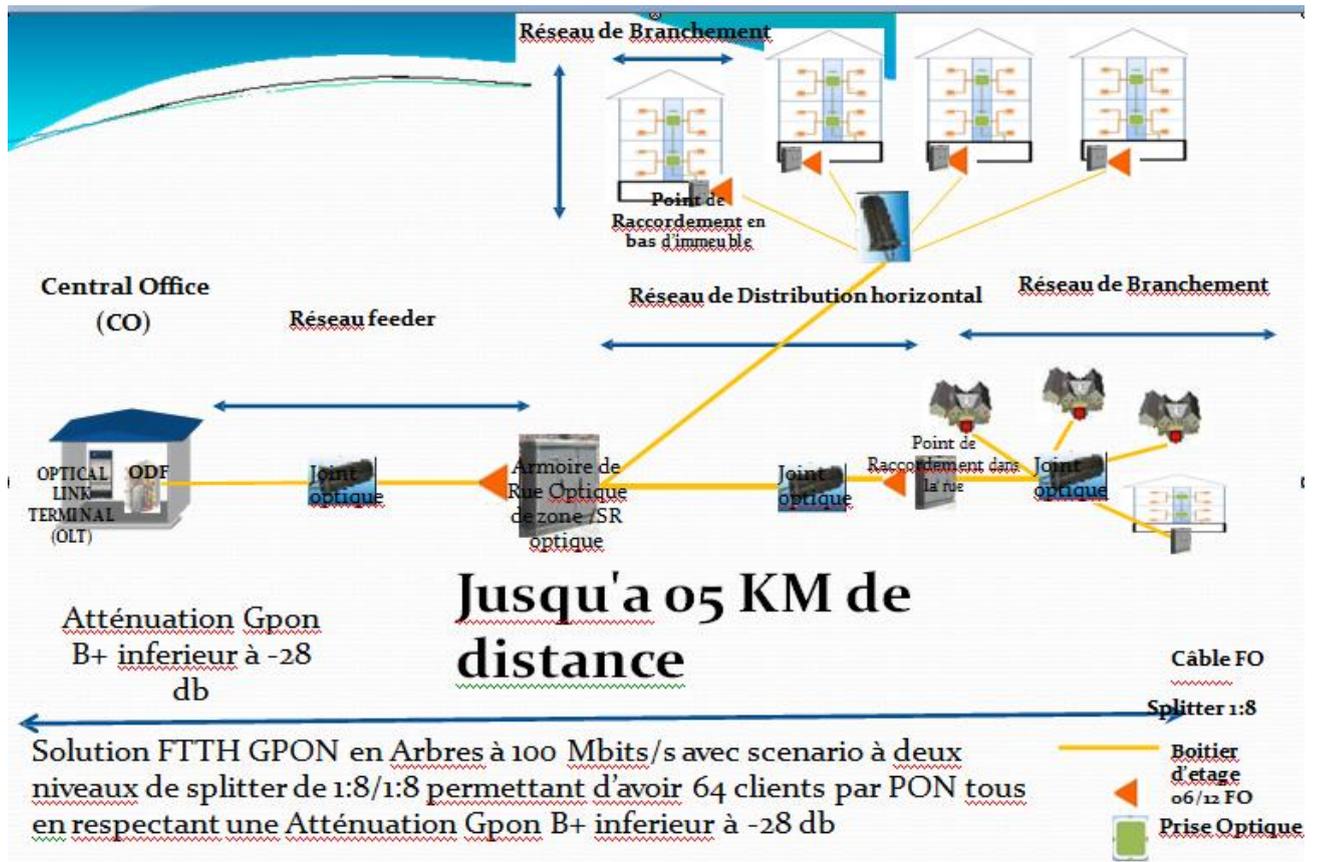


Figure II.17 : Réseau FTTH de Bout en Bout. [3]

Chapitre II Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit

➤ Budget optique de bout en bout:

Le modèle de calcul est montré ci-dessous:

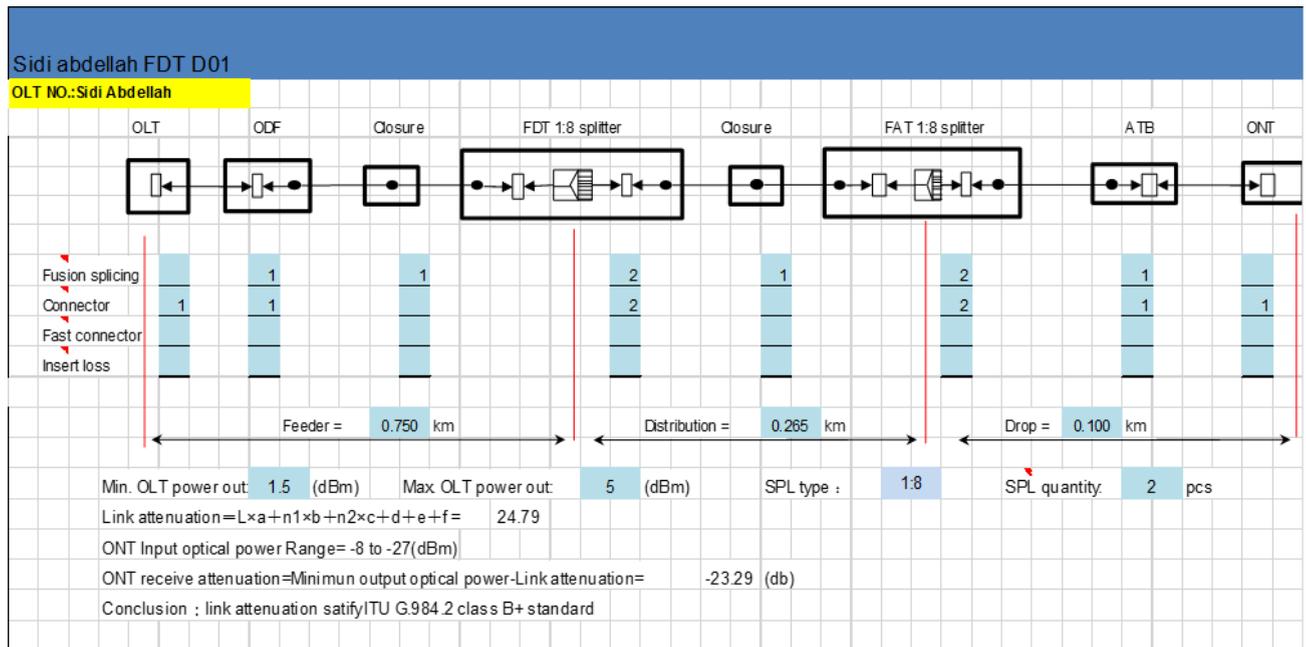


Figure II.18 : Budget optique de bout en bout. [4]

➤ Réseau FTTC/B VDSL 2 Vectoring :

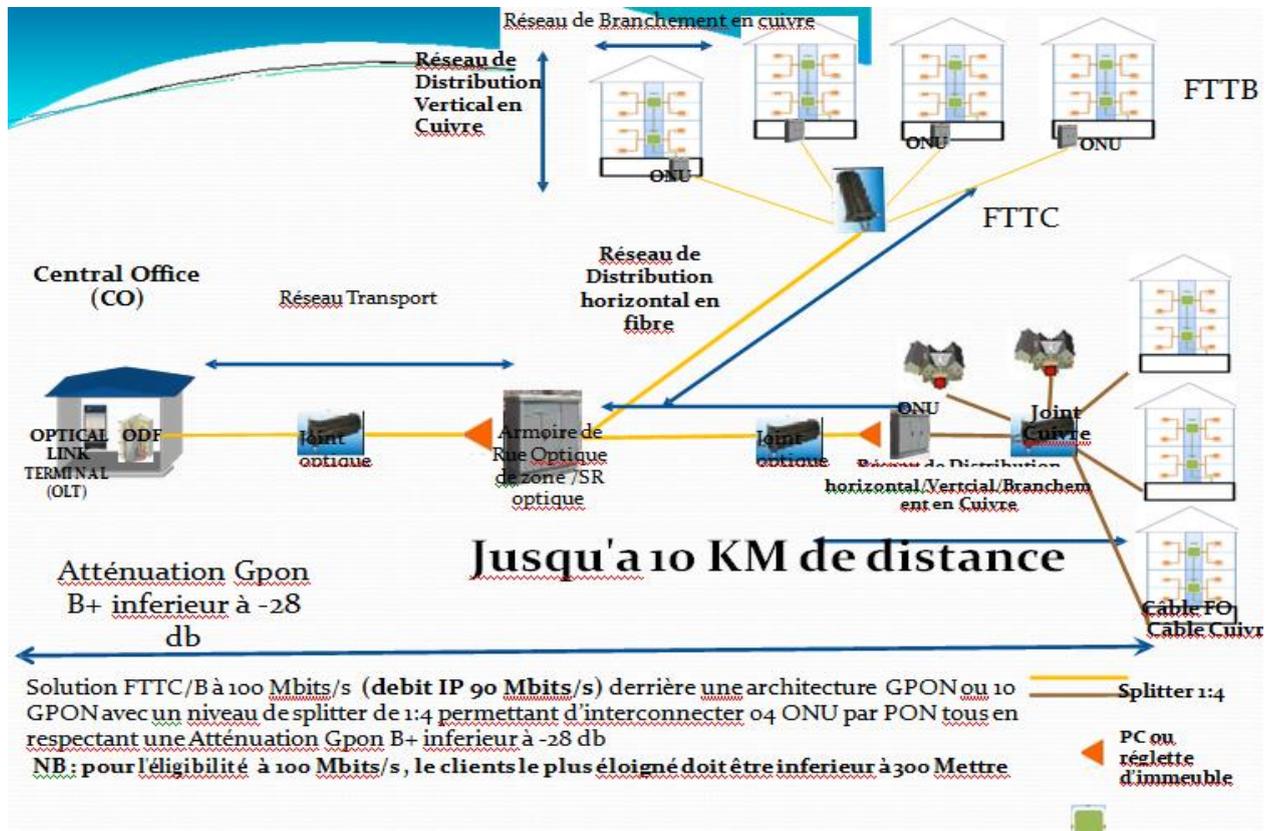


Figure II.19 : Réseau FTTC/B VDSL 2 Vectoring. [3]

➤ Réseau FTTC/B VDSL 2 Super Vectoring:

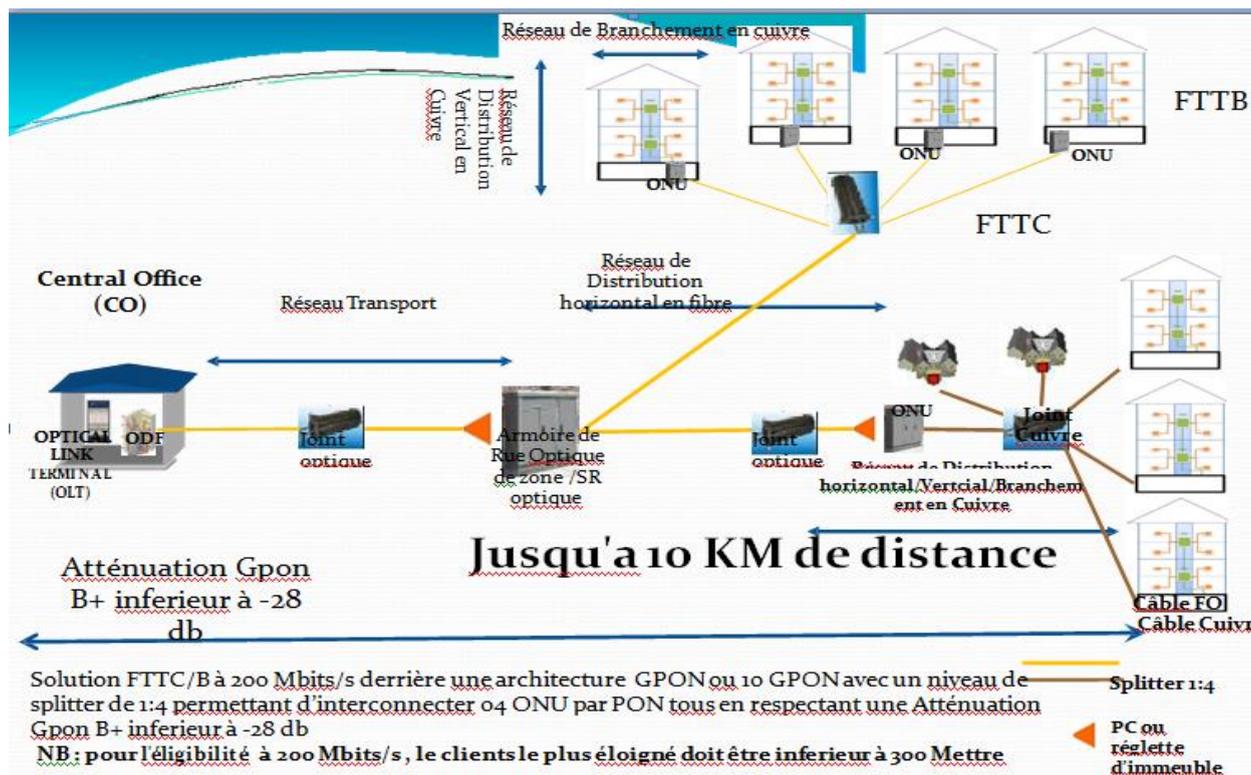
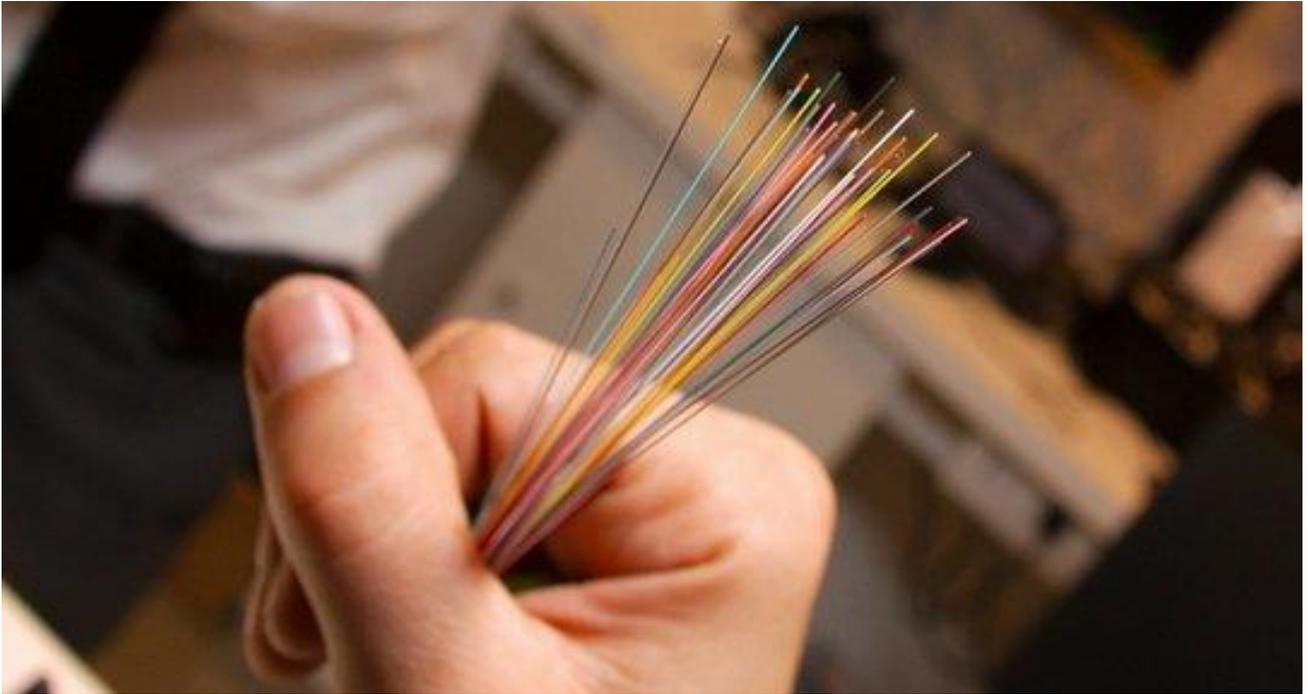


Figure II.20 : Réseau FTTC/B VDSL 2 Super Vectoring. [3]

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, force a été pour nous de constater que les principaux nœuds d'un réseau FTTH sont : le nœud de raccordement optique (NRO), le sous-répartiteur optique (SRO) et le Point de Branchement (PBO). Le dimensionnement de ces nœuds consiste à déterminer le nombre de fibres qui peuvent passer. Pour ce qui est du dimensionnement des liaisons optiques, il a été question pour nous d'évaluer le budget optique entre deux points du réseau FTTH. Pour finir, nous avons détaillé le modèle mathématique qui permet de dimensionner un tel réseau.

Chapitre III : Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

1. Introduction :

Dans le dernier chapitre de ce mémoire, nous présenterons toutes les étapes de la préparation des fibres, en commençant par le dénudage, en passant par le clivage et enfin la fusion automatique. La perte d'insertion sera évaluée à l'aide d'un wattmètre optique, et la longueur d'onde centrale du laser est de 1550 nm.

La puissance injectée par l'émetteur laser égale à -5,97 dBm. La fibre traitée est de type monomode SMF-28 avec ses différents diamètres extérieurs, à savoir 0,9 mm, 2 mm et 3 mm.

2. Description géométriques (physiques) de la fibre optique :

Thorlabs propose des câbles de raccordement monomode avec des connecteurs FC / PC aux deux extrémités. (Voir figure (III.1)).



Figure III.1: Fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1(thorlabs)

3. Les appareils de mesure :

3.1. Source laser/testeur de pertes optique du fabricant ANRITSU :

C'est un appareil qui émet un laser de type monomode en dBm ou en μW . On peut varier via cet appareilla longueur d'onde λ de 1310nm à 1550nm en fibre monomode, et de 850 nm à 1300 nm en fibres multimodes. (Voir figure (III.2)).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III.2: Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU.

Le CMA5 intègre un module de source laser et un module de wattmètre dans un ensemble pratique qui peut effectuer à la fois l'alimentation et les mesures de perte de liaison.

Les applications de cet appareil incluent :[2]

- Mesurer la perte de câble et de liaison.
- Audit et maintenance du réseau.
- Dépannage et maintenance.
- Perte de connecteurs et de coupleurs.
- Mesure de la perte de fibre nue.
- Identifier la fibre.

3.2. Wattmètre optique (Optical Power Meter) :

L'appareil est compatible avec les fibres monomodes et multimodes avec des longueurs d'onde de 850 nm à 1625 nm. Il prend en charge plusieurs types de connecteurs : FC, SC, ST. La plage de puissance optique mesurée est de -60 dBm à +10 dBm. La résolution d'affichage est égale à 0,01 dB. (Voir figure (III3)).



Figure III.3: Commandes de fonctionnement du wattmètre optique de la série CMA5.

4. Mesure de l'affaiblissement à l'aide des appareils de mesure :

4.1. Définition de la perte d'insertion :

La perte optique est le principal paramètre de performance de la plupart des composants de fibres optiques. Pour les fibres, c'est la perte par unité de longueur ou coefficient d'affaiblissement. Pour les connecteurs, c'est la perte de connexion lorsqu'ils sont joints à un autre connecteur. Pour les câbles, c'est la perte totale des composants du câble, y compris les connecteurs, les fibres, les épissures et des autres composants sur le parcours du câble à tester. Nous allons utiliser les câbles pour illustrer la perte d'insertion, avant d'envisager d'autres composants.

La perte d'un câble est la différence entre la puissance couplée au câble à l'extrémité de l'émetteur et ce qui sort à l'extrémité du récepteur. Le test de perte requiert qu'on mesure la quantité totale de puissance optique perdue dans un câble (y compris l'atténuation ou affaiblissement de la fibre, la perte des connecteurs et la perte des épissures) avec une source de lumière à fibre optique et un mesureur de puissance (LSPM) ou un équipement de test de perte optique (OLTS). Le test de perte est effectué aux longueurs d'onde appropriées pour la fibre et son utilisation. La fibre multimode est généralement testée à 850 nm et éventuellement à 1300 nm avec des sources LED. La fibre monomode est testée à 1310 nm et éventuellement à 1550 nm avec des sources laser. [3]

4.1.1. Mesure la perte d'insertion en utilisant le wattmètre optique :

4.1.1.1. Procédure de test du wattmètre optique :

Pour tester les performances de bout en bout d'un système à fibres optiques, deux équipements portables sont nécessaires : un testeur OPM et une source lumineuse. La source lumineuse envoie une longueur d'onde de lumière dans la fibre. À l'autre extrémité du câble, le wattmètre relève cette lumière, ou niveau de puissance optique, et détermine l'importance de la perte de signal. Comme la perte des fibres optiques varie en fonction de la longueur d'onde, les wattmètres optiques doivent utiliser la même longueur d'onde que celle utilisée par la source de lumière. Par exemple, si la source lumineuse fonctionne à une longueur d'onde de 1310 nm, le wattmètre optique doit également être réglé sur le test 1310 nm.

a) Mesure de l'affaiblissement et la puissance de la connexion mécanique d'une seule fibre :

- On utilise une seule fibre monomode de diamètre extérieur de 3 mm et une longueur de 1 mètre.
- Nous avons réalisé la connexion suivante :



Figure III.4 : Méthode expérimentale de mesure de pertes d'insertion optiques.

- La perte optique est calculée comme suit :

$$A (dB) = 10 \log \frac{P_e(mW)}{P_r(mW)} \dots \dots \dots (7)$$

- Après nos mesures :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe=-5.97 dBm.** (Voir figure III.5).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

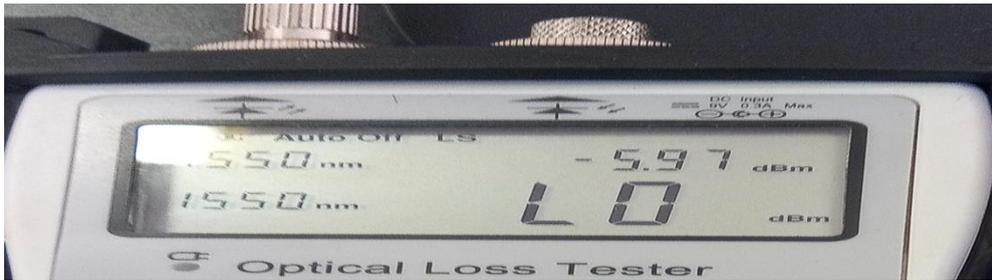


Figure III.5: puissance d'entrée générée par la source laser.

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **$P_r = -6.18 \text{ dBm}$** . (Voir figure III.6).



Figure III.6: puissance reçue sur le wattmètre optique

- Nous avons converti la valeur obtenue en mW, comme suit :

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)} \rightarrow P \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10}$$

Donc :

$$P_r \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-6.18/10} = 0.24099 \text{ mW}$$

$$P_e \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 \text{ mW}$$

Donc :

$$A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_e \text{ (mW)}}{P_r \text{ (mW)}} = A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{0.25292}{0.24099}$$

$$\rightarrow A \text{ (dB)} = 0.2 \text{ dB}$$

0.2 dB → C'est la perte liée au connecteur.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

b/Mesure de l'affaiblissement et la puissance de la connexion mécanique entre deux fibres:

- **1^{er} cas :** On utilise 2 fibres reliées avec un connecteur du même type.
Nous avons utilisé un adaptateur pour connecter deux fibres optiques (P1-SMF-28-FC-1) du même type d'une longueur d'un mètre. L'atténuation mesurée est liée au quatre connecteurs (deux connecteurs d'extrémité sont connectés à l'appareil de mesure et les deux autres sont connectés à l'aide de cet adaptateur). La figure. III.7 montre la connexion.
- Nous avons réalisé la connexion suivante :



Figure III.7: Mesure de perte optique de deux fibres optiques et un adaptateur.

- La perte optique est calculée comme suit :

$$A (dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)}$$

- Après nos mesures :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe=-5.97 dBm.** (Voir figure III.8).



Figure III.8 : puissance d'entrée générée par la source laser.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -6.47 \text{ dBm}$. (Voir figure III.9).



Figure III.9 : puissance reçue sur le wattmètre optique.

- Nous avons converti la valeur de puissance obtenue en mW, comme suit :

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \rightarrow P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

Donc :

$$P_r(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-6.47/10} = 0.22542 \text{ mW}$$

$$P_e(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 \text{ mW}$$

Donc :

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_e(\text{mW})}{P_r(\text{mW})} = A(\text{dB}) = 10 \log \frac{0.25292}{0.22542}$$

$$\rightarrow A(\text{dB}) = 0.5 \text{ dB}$$

0.5 dB → C'est une perte totale.

On a donc :

Les pertes de l'épissure égale à **0.01 dB**

Les pertes du connecteur égal à **0.2 dB**

Donc :

Les pertes de l'adaptateur sont de **0.3 dB**

$$0.5 - 0.2 - 0.01 = 0.29 \text{ dB}$$

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

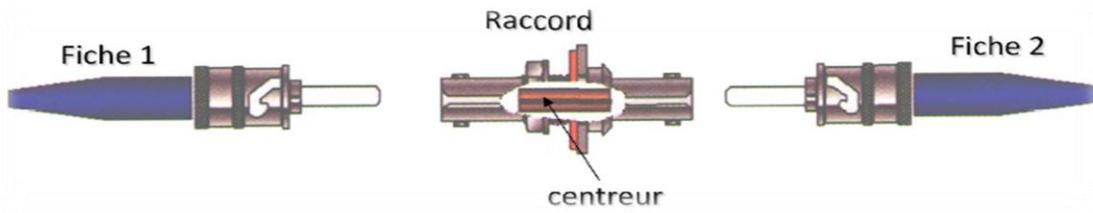


Figure III.10:deux fibres relient avec un connecteur du même type.

- **2^{eme} cas :** On utilise 2 fibres reliées avec un connecteur de différent type :

Nous avons utilisé un adaptateur FC/SC pour connecter différentes fibres optiques (P1-SMF-28-FC-1) avec (P1-SMF28-LC-2). L'atténuation mesurée est celle de deux fibres et de quatre conducteurs. La figure (III.11) illustre la connexion :

- Nous avons établi la connexion suivante :

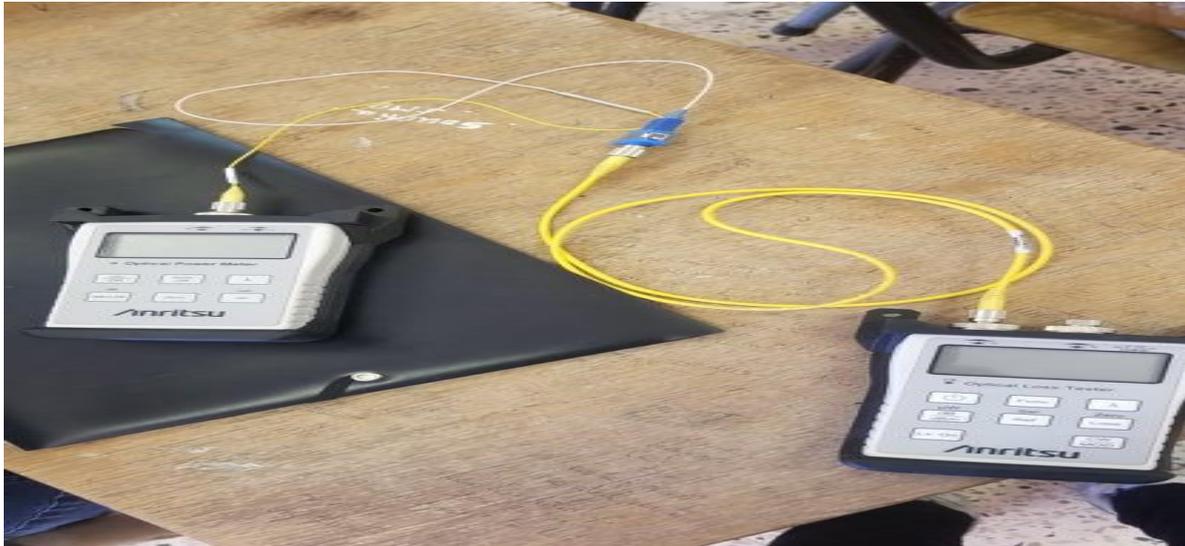


Figure III.11: Mesure de perte optique de d'une fibre optique.

- La perte optique peut être calculée comme suit :

$$A (dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)}$$

- Après nos mesures :
 - **1^{er} cas :** La perte optique d'une longueur d'onde de 1550nm :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe=-5.97dBm.** (Voir figure III.12).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

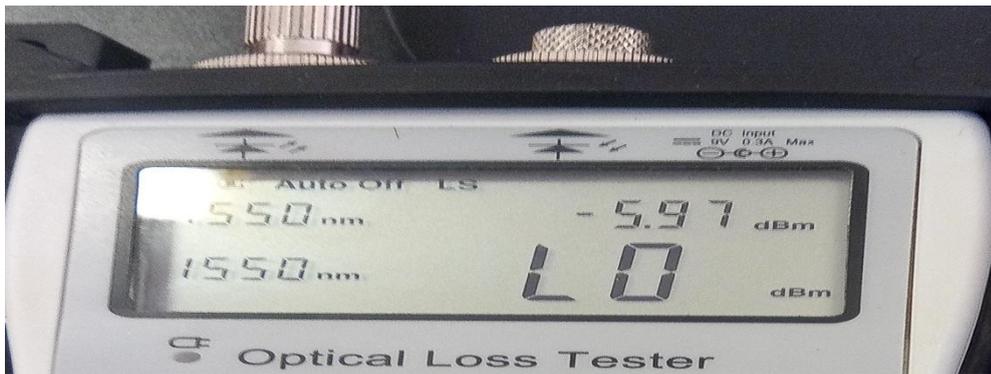


Figure III.12: puissance d'entrée générée par la source laser.

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -6.38 \text{ dBm}$. (Voir figure III.13).



Figure III.13: puissance reçue sur le wattmètre optique.

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \rightarrow P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

Donc :

$$P_r(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-6.38/10} = 0.23014 \text{ mW}$$

$$P_e(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 \text{ mW}$$

Donc :

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_e(\text{mW})}{P_r(\text{mW})} = A(\text{dB}) = 10 \log \frac{0.25292}{0.23014}$$

$$\rightarrow A(\text{dB}) = 0.40 \text{ dB}$$

0.4 dB → C'est une perte totale, Alors nous arrivons à la conclusion :

On a :

Les pertes de l'épaisseur sont : **0.01 dB**

La perte de coupleur (connecteur) est : **0.2 dB**

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Donc :

Les pertes de l'adaptateur sont : **0.2dB**

$$0.4-0.2-0.01=0.19dB$$

➤ 2^{ème} cas : La perte optique d'une longueur d'onde de 1310nm :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe=-6dBm**. (Voir figure III.14).



Figure III.14: puissance d'entrée générée par la source laser.

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **Pr=230.6µw = -6.37dBm**. (Voir figure III.15).



Figure III.15 : puissance reçue sur le wattmètre optique.

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P (dBm) = 10 \log P(mW) \rightarrow P(mW) = 10^{P (dBm)/10}$$

Donc :

$$Pr(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-6.37/10} = 0.23067mW$$

$$Pe(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-6/10} = 0.25118mW$$

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Donc :

$$A(dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)} = A(dB) = 10 \log \frac{0.25118}{0.23067}$$

$$\rightarrow A(dB) = 0.369dB \approx 0.37dB$$

0.37dB → C'est une perte totale, Alors nous arrivons à la conclusion :

On a :

Les pertes de l'épissure sont : **0.01dB**

La perte du connecteur est : **0.2dB**

Donc :

Les pertes de l'adaptateur sont : **0.17dB**

$$0.37-0.2=0.17dB$$

5. Etapes de préparation de la fibre optique :

5.1. Matériel utilisé :

L'épissure par fusion est utilisée pour joindre des câbles lors de projets d'installation de réseau, réparer des câbles, monter des connecteurs d'épissure pré-polis et de nombreuses applications dans les usines qui fabriquent des composants et dessous-systèmes en fibre optique. Pour l'épissure sur site et en usine, le processus nécessite les fournitures et l'équipement suivants :

- 2 fibres monomode de 2mm.
- Outils de dénudage avec des tailles de trous pour enlever les revêtements de fibres.
- Alcool et lingettes pour nettoyer la fibre nue avant l'épissage.
- Cliveuse pour obtenir des faces d'extrémité de haute qualité.
- Un fusionneuse automatique (laSoudeuseFuijijura22S).
- Protections de soudure (cigarettes), ou un système de revêtement de fibres.
- Instruments de test, tels que le Wattmètre.[5]

5.2. Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique :

5.2.1. Dénudage de la fibre optique :

Une fois la protection mise en place il nous faut maintenant dénuder la fibre afin de faire apparaître la gaine optique de la fibre (125µm) le résultat de cette opération est aussi appelé fibre nue.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Pour cela nous utilisons une « pince à dénuder » à 3 trous allant de 250 μ m à 3mm, dont nous avons utilisé le trou à (600-900) μ m pour enlever la gaine extérieure de 3 mm et le trou 250 μ m pour la gaine optique de 242 μ m. (Voir figure III. 16)[6]



Figure III.16: Pinces à dénuder.

Nous avons utilisé aussi un ciseau pour couper l'excédent de fil (kevlar). (Voir figure III.17)



Figure III.17 : Ciseau pour couper (kevlar).



Figure III.18: les étapes de dénudage d'une fibre.

5.2.2 Le nettoyage de la fibre optique :

ATTENTION ETAPE IMPORTANTE

Maintenant que la fibre est mise à nue, il est très important de la nettoyer. Nous utilisons ici un « dispenser d'alcool » contenant de « l'alcool isopropylique » avec des « lingettes non pelucheuses », mais il est aussi possible d'utiliser des « lingettes pré-imprégnées ». (Voir figure III.19) [6]



Figure III.19: Le nettoyage de la fibre optique.

5.1.3 Le clivage de la fibre optique :

Le clivage est une étape importante de la préparation de la fibre pour la soudure car c'est la dernière étape. Elle consiste à couper la fibre de façon à ce que les deux extrémités de fibre à souder soient propres, ceci afin de faciliter l'étape de fusion.

Pour cela nous allons placer la fibre nue dans la « cliveuse de précision » Cliveuse FC-6RS-C , la mise en place de la fibre dans la cliveuse n'est pas aléatoire, il faut que la partie dénudée de la fibre repose sur les deux patins en caoutchouc de part et d'autre de la lame afin d'assurer la stabilité de la fibre durant le passage de la lame.

Les étapes suivantes de clivage peuvent varier en fonction des modèles de cliveuses. Pour notre modèle il faut refermer le marteau afin de bloquer la fibre puis faire passer la lame sous la fibre. Lorsque l'on relève le marteau, on peut récupérer la fibre clivée en faisant attention de ne rien toucher avec l'extrémité de cette dernière (la fibre est en verre et a un diamètre de $125\mu\text{m}$ ce qui la rend fragile). Il nous faut maintenant placer notre fibre préparée dans la soudeuse. (Voir figure III.20). [6]

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

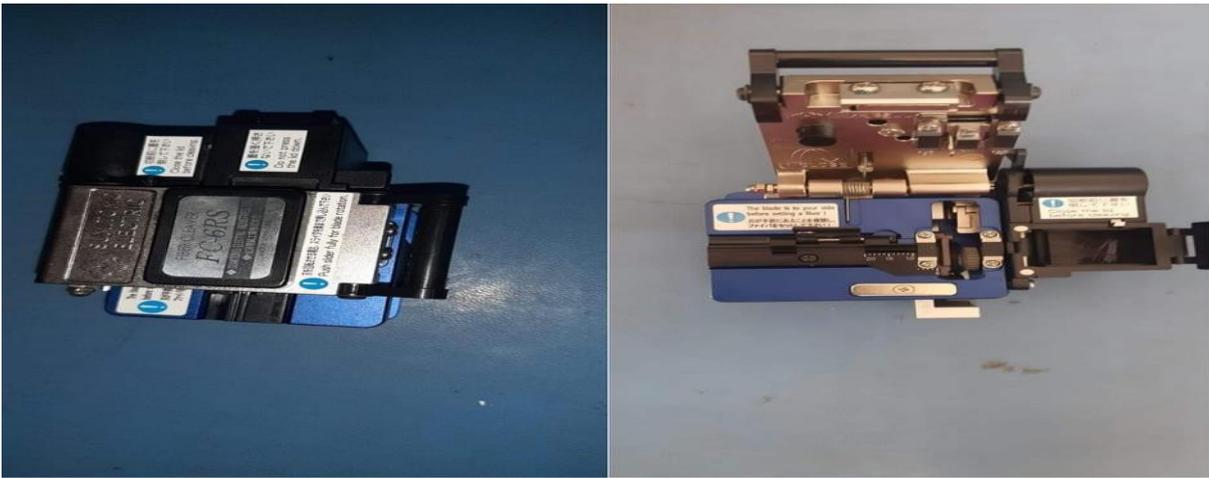


Figure III.20: Cliveuse FC-6RS-C de Sumitomo.

Les mesures prises pour cliver la fibre optique:(Voir figure III.21)

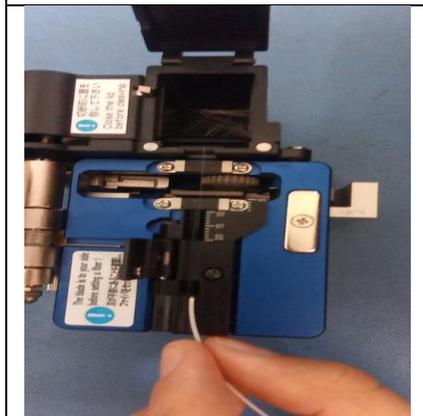
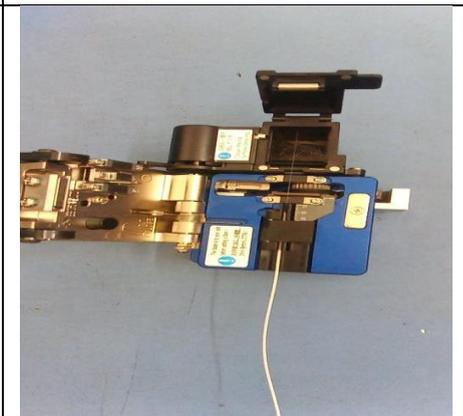
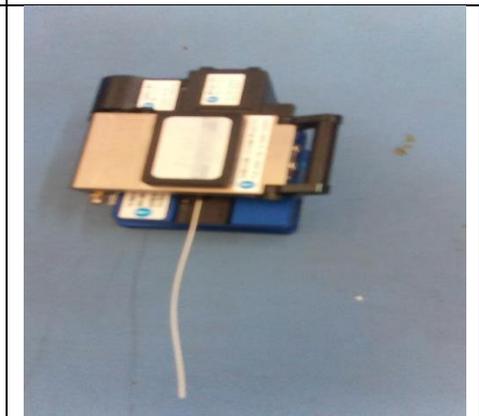
1^{ère} étape: Placez la fibre dénudée à une position de 900 μm .	2^{ème} étape : Spécifiez la distance de clivage entre 10 et 20 mm .	3^{ème} étape : cliver la fibre en maintenant sur la lame avec un coup sec.
		

Figure III.21: Les étapes de clivage de la fibre optique.

- Après le clivage, nous obtenons la fibre montrée dans la figure ci-dessous :

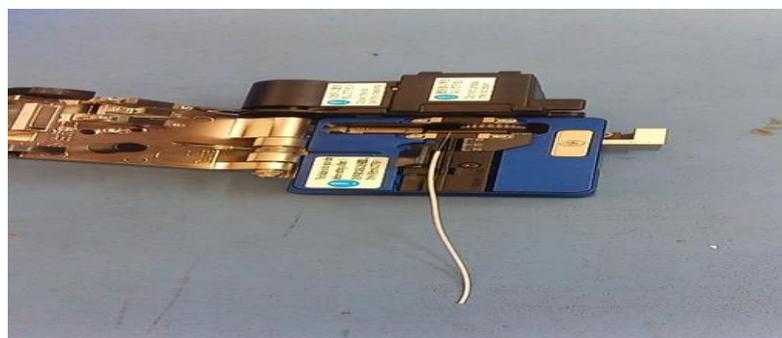


Figure III.22: le résultat de clivage.

6. L'épissure par fusion :

6.1. La mise en place dans la soudeuse :

On doit placer les deux extrémités des fibres dans leurs guides respectifs. Les extrémités des fibres doivent être :

- Alignées l'une avec l'autre.
- Centrées par rapport aux électrodes.

Il est important d'éviter tout contact physique avec l'extrémité de l'autre fibre ou avec les électrodes. Ensuite on doit rabattre le couvercle de la machine et lancer la fusion. La soudeuse entièrement automatique va réaliser elle-même le nettoyage, le rapprochement, l'alignement et le soudage des fibres avec un arc électrique contrôlé et au final réaliser une liaison comme s'il s'agissait d'un seul et même câble. (Voir la Figure III.23)



Figure III.23: Les étapes de soudure de la fibre optique.

Si la soudeuse interrompt son procès, il peut s'agir les causes suivantes :

- Mauvais placement des fibres dans leur guide.
- Mauvais clivage.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Des poussières ou résidus de plastic à l'extrémité de la fibre.[7]



Figure III.24: Mauvais soudure.

Si le processus s'est bien déroulé, la machine donnera elle-même, en fin d'opération, une estimation de l'atténuation de la soudure. [7]

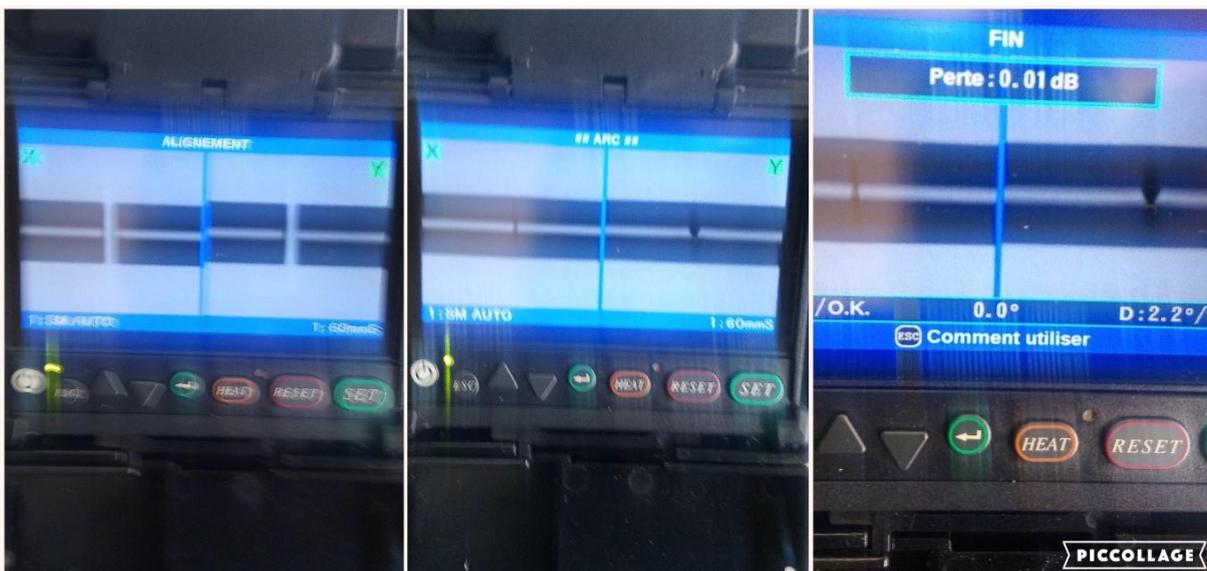


Figure III.25: Meilleure soudure.

6.2. La fusion :

Dans cette étape, nous avons fusionné deux fibres monomodes. Les étapes à faire sont les suivantes :

- Retirer les fibres de leurs guides et déplacer le manchon de protection sur le point de fusion.
- Placer l'ensemble dans le four installé sur la soudeuse et démarrer le chauffage.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III.26: Les étapes de la fusion de la fibre optique.

Le four génère de la chaleur pendant quelques secondes permettant au manchon de se resserrer et d'enrober la fibre pour assurer sa protection.

A partir de ce moment, il est possible de travailler avec la fibre sans craindre de la sectionner au point de fusion. [7]



Figure III.27: Le résultat de la fusion.

7. Mesure de l'affaiblissement d'une liaison de fibre optique lié par L'épissure par fusion :

On raccorde les deux fibres du différent type (P1-SMF-28-FC-1) avec (P1-SMF28-LC-2) de longueur 50 cm chacune, à l'aide d'un adaptateur. L'affaiblissement mesuré est celui des deux fibres et 4 connecteurs (deux connecteurs d'extrémité reliés aux appareils de mesure et deux autres reliés à l'aide de cet adaptateur).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

La figure (III.28) montre le raccordement :

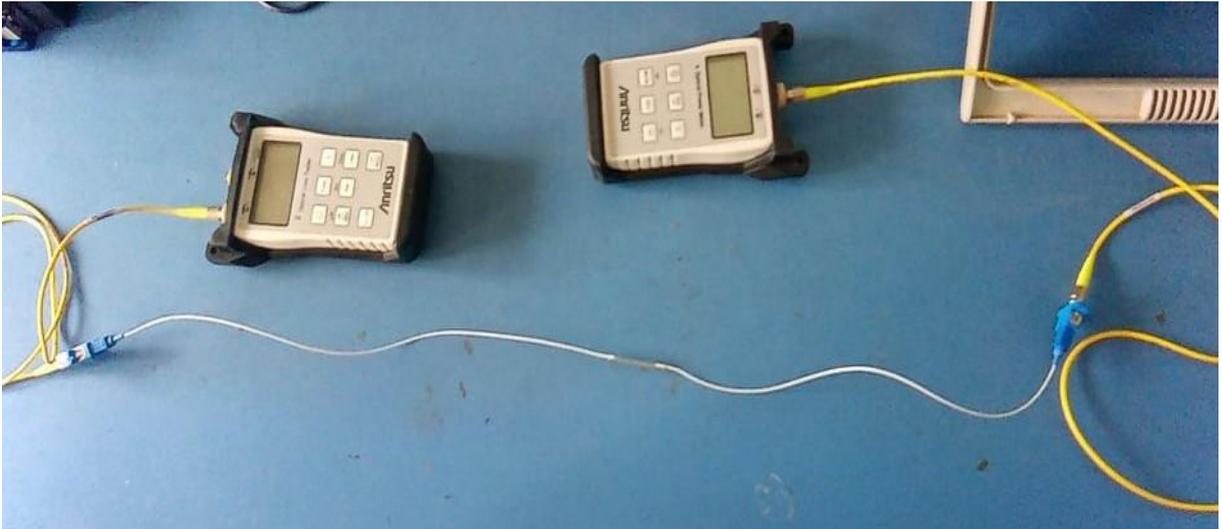


Figure III.28: Mesure de l'affaiblissement de la liaison.

- En appliquant la méthode de calcul de l'atténuation :
 - La perte optique peut être calculée comme suit :

$$A (dB) = 10 \log \frac{P_e (mW)}{P_r (mW)}$$

- Après nos mesures :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe=-5.97dBm**. (Voir figure III.29).

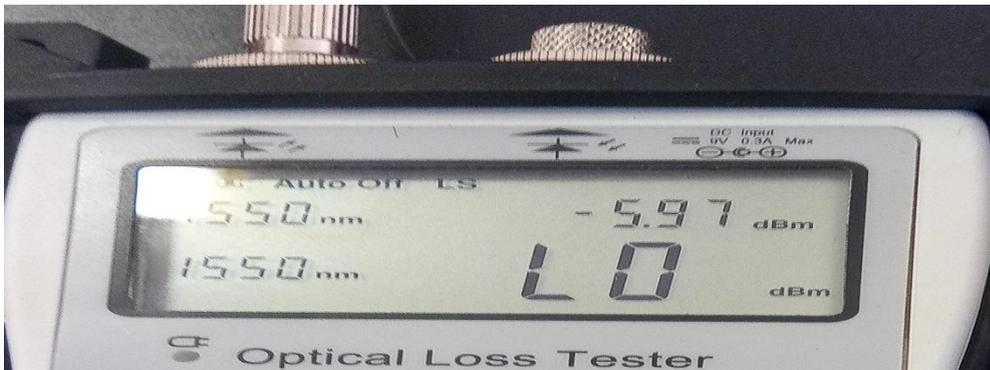


Figure III.29: puissance d'entrée générée par la source laser.

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **Pr= -6.39 dBm**. (Voir figure III.30).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III.30: puissance reçue sur le wattmètre optique.

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \rightarrow P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

Donc :

$$Pr(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-6.39/10} = 0.22961 \text{ mW}$$

$$Pe(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 \text{ mW}$$

Donc :

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{Pe(\text{mW})}{Pr(\text{mW})} = A(\text{dB}) = 10 \log \frac{0.25292}{0.22961}$$

$$\rightarrow A(\text{dB}) = 1.419 \text{ dB} \approx 1.42 \text{ dB}$$

1.42 dB → C'est une perte totale, Alors nous arrivons à la conclusion :

On a :

Les pertes de l'épaisseur sont : **0.01 dB**

Ici on a :

4 connecteurs donc les pertes de coupleur est : **0.4 dB**

Et 2 adaptateurs

Donc :

Les pertes de l'adaptateur sont : **1.01 dB**

$$1.42 - 0.4 - 0.01 = 1.01 \text{ dB}$$

8. Les diviseurs optiques PLC et FBT :

8.1. Le diviseur PLC :

Un séparateur à fibre optique est un dispositif qui divise la lumière à fibre optique en plusieurs parties selon un certain rapport. Par exemple, lorsqu'un faisceau de lumière à fibre optique transmis par un diviseur à rapport égal 1X4, il sera divisé en lumière à 4 fibres optiques selon un rapport égal, c'est-à-dire que chaque faisceau représente 1/4 ou 25% de la source d'origine. Un séparateur à fibre optique est différent du WDM. WDM peut diviser la lumière de fibre optique de différentes longueurs d'onde en différents canaux. Le diviseur de fibre optique divise la puissance lumineuse et l'envoie à différents canaux.

La plupart des répartiteurs sont disponibles en tube lâche de 900 µm et fibre nue de 250 µm. Les coupleurs 1x2 et 2x2 sont livrés en standard avec un manchon protecteur en métal pour couvrir la fente. Un nombre de sorties plus élevé est construit avec une boîte pour protéger les composants de division.

(Voir figure III. 31)[8]



Figure III.31 : Le diviseur PLC

- **Applications :**

- ✓ Réseaux LAN, WAN et Metro.
- ✓ Réseaux de télécommunication.
- ✓ Réseaux optiques passifs.
- ✓ Systèmes FTT (X).
- ✓ CATV.
- ✓ Module à valeur ajoutée.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

8.1.1. Mesure de la puissance reçue et la perte optique :

On réalise le montage suivant en connectant l'entrée au le testeur de perte optique et les quatre ports au wattmètre optique. (Voir figure III.32)



Figure III.32: Mesure de la puissance reçue et la perte optique

- Pour port01 :

La puissance d'entrée générée par la source laser : $P_e = -5.97 \text{ dBm}$. (Voir figure III.33)



Figure III.33 : Puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -15.10 \text{ dBm}$ dans le port 1. (Voir figure III.34)



Figure III. 34 : Puissance reçue sur le wattmètre optique

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)} \rightarrow P \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10}$$

Donc :

$$Pr \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-15.10/10} = 0.0309 \text{ mW}$$

$$Pe \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529 \text{ mW}$$

Donc :

$$A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{Pe \text{ (mW)}}{Pr \text{ (mW)}} = A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{0.2529}{0.0309}$$

$$A \text{ (dB)} = 9.1299$$

La perte optique totale en utilisant un séparateur PLC égale à 9.1299 dB. Sachant que la perte d'insertion de quatre connecteurs égale à 0.4 dB et la perte d'insertion de l'adaptateur égale à 0.3 dB et l'épissure égale à 0.02 dB.

- ❖ On déduit la perte d'insertion de séparateur PLC :

$$9.1299 - 0.4 - (0.3*4) - 0.02 = 7.5099 \text{ dB.}$$

- Pour le port02 :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe = -5.97 dBm.** (Voir figure III.35)



Figure III.35: puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **Pr = -13.84 dBm** dans le port 2. (Voir figure III.36)

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III. 36 : Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)} \rightarrow P \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10}$$

Donc :

$$P_r \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-13.84/10} = 0.0413 \text{ mW}$$

$$P_e \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529 \text{ mW}$$

Donc :

$$A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_e \text{ (mW)}}{P_r \text{ (mW)}} = A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{0.2529}{0.0413}$$

$$A \text{ (dB)} = 7.8699 \text{ dB}$$

- ❖ On déduit la perte d'insertion de séparateur PLC :

$$7.8699 - 0.4 - (0.3 \times 4) - 0.02 = 6.2499 \text{ dB.}$$

- Pour le port03 :

La puissance d'entrée générée par la source laser : $P_e = -5.97 \text{ dBm}$. (Voir figure III.37)



Figure III.37: puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -14.05 \text{ dBm}$ dans le port 3. (Voir figure III.38)

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III. 38 : Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P (dBm) = 10 \log P(mW) \rightarrow P(mW) = 10^{P (dBm)/10}$$

Donc :

$$Pr(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-14.05 / 10} = 0.0393mW$$

$$Pe(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529mW$$

Donc :

$$A(dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)} = A (dB) = 10 \log \frac{0.2529}{0.0393}$$

$$A(dB) = 8.0855dB$$

- ❖ On déduit la perte d'insertion de séparateur PLC :

$$8.0855 - 0.4 - (0.3*4) - 0.02 = 6.4655 dB.$$

- Pour le port04 :

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe= -5.97 dBm.** (Voir figure III.39)



Figure III.39 : puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **Pr = -13.73 dBm** dans le port 4. (Voir figure III.40)

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III.40: Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)} \rightarrow P \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10}$$

Donc :

$$Pr \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-13.73 / 10} = 0.0423 \text{ mW}$$

$$Pe \text{ (mW)} = 10^{P \text{ (dBm)}/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529 \text{ mW}$$

Donc :

$$A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{Pe \text{ (mW)}}{Pr \text{ (mW)}} = A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{0.2529}{0.0423}$$

$$A \text{ (dB)} = 7.7660 \text{ dB}$$

❖ On déduit la perte d'insertion de diviseur PLC :

$$7.7660 - 0.4 - (0.3 \cdot 4) - 0.02 = 6.146 \text{ dB.}$$

- La différence entre la perte d'insertion théorique et pratique de diviseur PLC à 1550 nm :

	PLC	
	<i>Théorique</i>	<i>Pratique</i>
<i>Port-01</i>	6.43 Db	7.50dB
<i>Port-02</i>	6.27 dB	6.24dB
<i>Port-03</i>	6.35 dB	6.46dB
<i>Port-04</i>	6.47 dB	6.14dB

Tableau III.1 : Les pertes d'insertion théorique et pratique de diviseur PLC.

Remarque :

Les pertes d'insertions théorique et pratique du diviseur PLC sont presque les mêmes.

8.2. Le diviseur FBT :

Le FBT, ou cône biconique fusionné, utilise la technologie traditionnelle pour fusionner étroitement plusieurs fibres. Les fibres sont alignées par chauffage pour un emplacement et une longueur spécifique. Le processus de fusion ne s'arrêtera pas tant que les paramètres des fibres n'auront pas atteint les normes requises. Les fibres fondues étant très fragiles, elles sont protégées par un tube de verre composé d'époxy et de poudre de silice. Ensuite, un tube en acier inoxydable recouvre le tube de verre intérieur et est scellé par du silicium. Le séparateur FBT avec boîtier ABS est également largement utilisé pour différentes applications.

Le séparateur FBT a une limitation pour être utilisé uniquement pour les longueurs d'onde de 850 nm, 1310 nm et 1550 nm. Cela conduit à l'indisponibilité du séparateur FBT sur d'autres longueurs d'onde.[9]

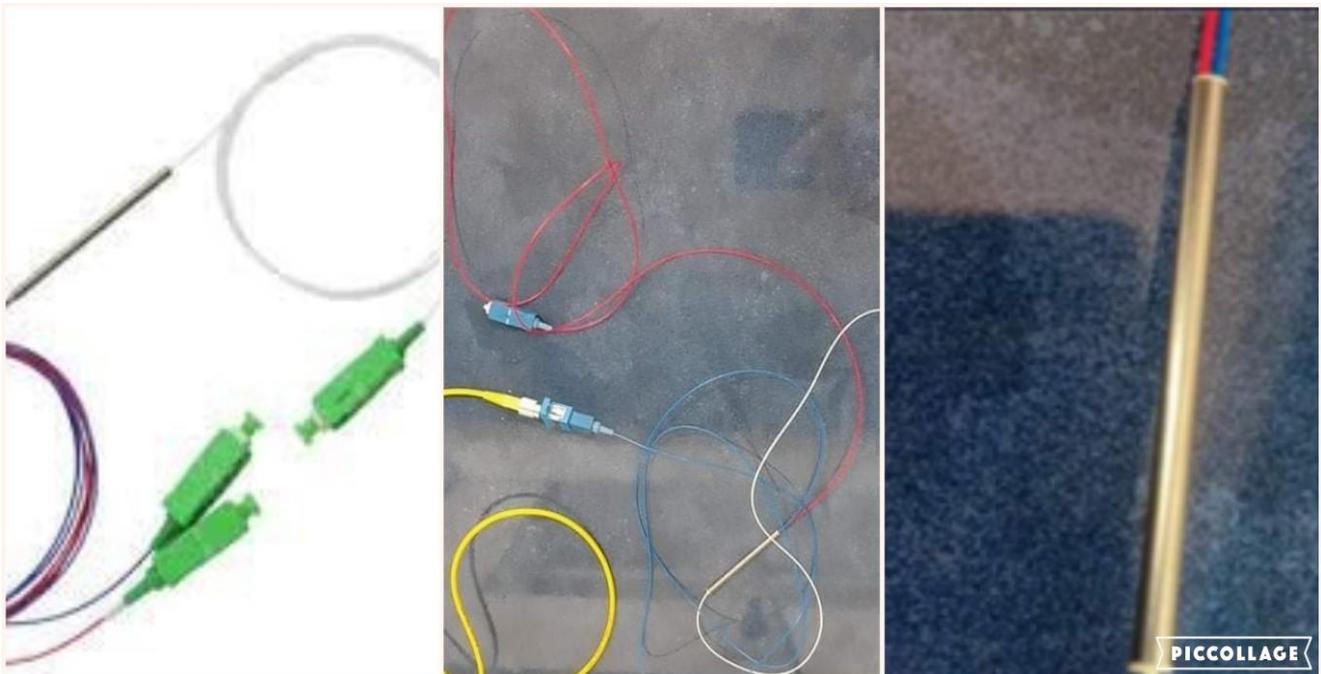


Figure III.41: Le diviseur FBT

8.2.1. Mesure de la puissance reçue et la perte optique :

En connectant l'entrée au testeur de perte optique et en connectant les deux ports (bleu et rouge) au wattmètre optique, les réglages suivants du port01 et du port02 peuvent être effectués.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Pour le port01 : (bleu)

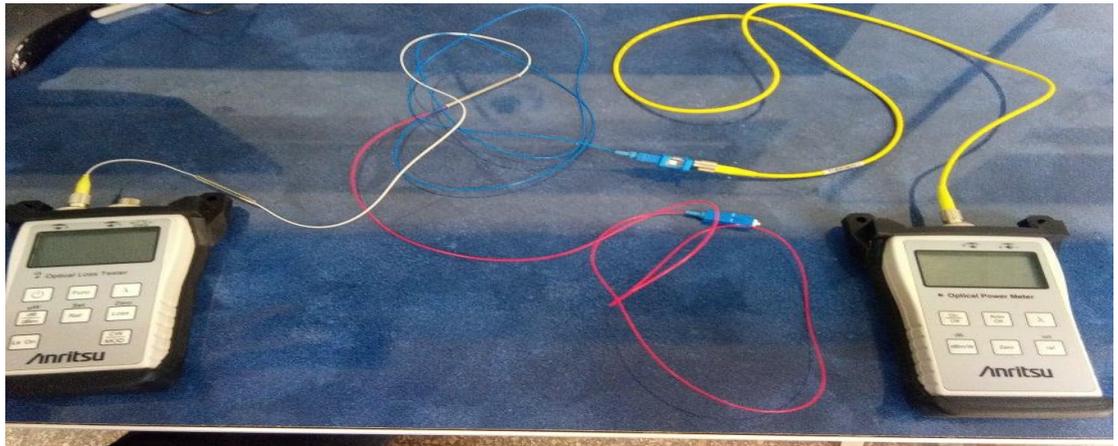


Figure III.42: Mesure la puissance de la perte optique de port01

La puissance d'entrée générée par la source laser : $P_e = -5.97 \text{ dBm}$. (Voir figure III.43)



Figure III.43 : puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -10.01 \text{ dBm}$ dans le port 1. (Voir figure III.44)

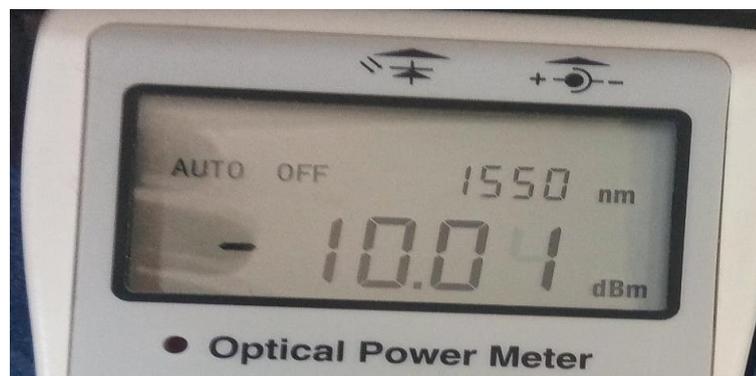


Figure III.44: Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \rightarrow P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Donc :

$$Pr(mW) = 10^{P(dBm)/10} = 10^{-10.01/10} = 0.0997mW$$

$$Pe(mW) = 10^{P(dBm)/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529mW$$

Donc :

$$A(dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)} = A(dB) = 10 \log \frac{0.2529}{0.0997}$$

$$A(dB) = 4.0425dB$$

La perte optique totale en utilisant un diviseur FBT égale à 4.00425 dB. Sachant que la perte d'insertion de trois connecteurs égale à 0.3 dB et la perte d'insertion de l'adaptateur égale à 0.3 dB et l'épissure égale à 0.02 dB.

❖ On déduit la perte d'insertion de diviseur FBT :

$$4.0425 - 0.3 - 0.3 - 0.02 = 3.4225 dB$$

- Pour le port02 : (rouge)

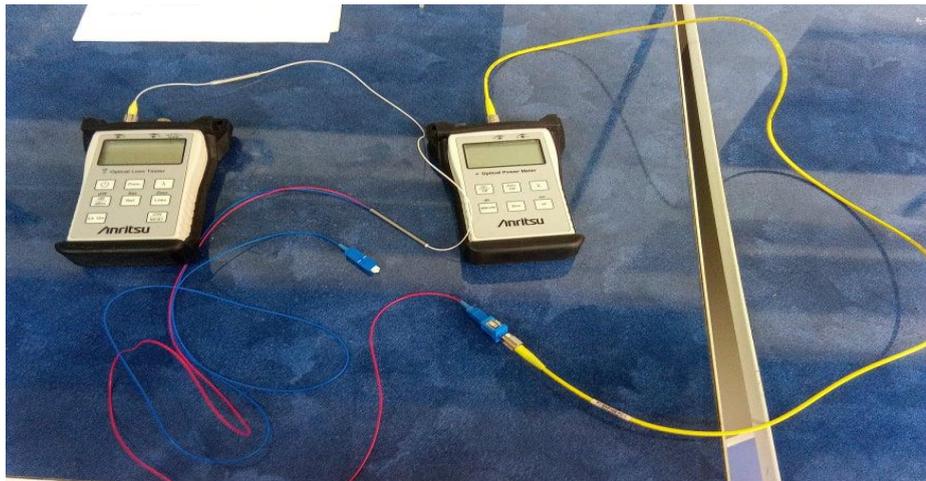


Figure III.45: Mesure la puissance de la perte optique de port02

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe= -5.97 dBm.** (Voir figure III.46)



Figure III.46 : Puissance d'entrée générée par la source laser

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -9.70 \text{ dBm}$ dans le port 1. (Voir figure III.47)

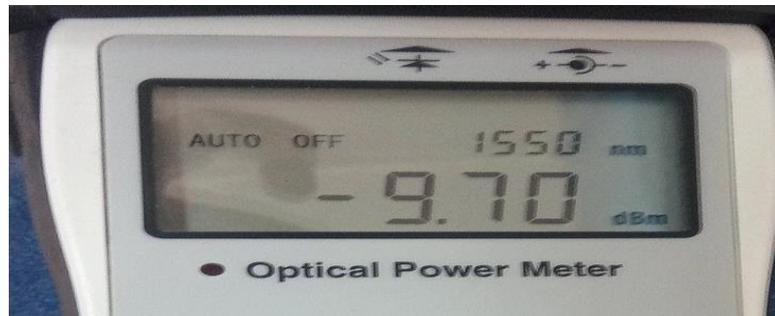


Figure III.47: Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \rightarrow P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

Donc :

$$P_r(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-9.70/10} = 0.1071 \text{ mW}$$

$$P_e(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} = 10^{-5.97/10} = 0.2529 \text{ mW}$$

Donc :

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_e(\text{mW})}{P_r(\text{mW})} = A(\text{dB}) = 10 \log \frac{0.2529}{0.1071}$$

$$A(\text{dB}) = 3.7315 \text{ dB}$$

❖ On déduit la perte d'insertion de diviseur FBT :

$$3.7315 - 0.3 - 0.3 - 0.02 = 3.11 \text{ dB.}$$

- La différence entre la perte d'insertion théorique et pratique de diviseur FBT à 1550 nm :

	FBT	
	Théorique	pratique
CH1	3.40 dB	3.42 dB
CH2	3.44 dB	3.11 dB

Tableau III.2 : Les pertes d'insertion théorique et pratique de diviseur FBT.

Remarque :

Les pertes d'insertions théorique et pratique du diviseur FBT sont presque les mêmes.

9. Etude pratique sur les câbles de fibres optiques utilisés dans l'industrie :

9.1. OPTIGAINÉ PEHD (FIBRE OPTIQUE) :

Ce Tube en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) est utilisé pour la Protection de câbles et de fibres optiques pour les télécommunications : Gaiques lisses en PE à bandes vertes – Optigaine.

Tube en PEHD lisse ou rainuré de coloris noir avec bandes vertes de repérage pour la protection des câbles télécom et des fibres optiques enterrés. (Voir figure III.48).



Figure III.48: Optigaine PEHD.

Ce type de câble peut être utilisé : 2 Ce tube PEHD contient plusieurs types des câbles, parmi ces câbles [10]

9.2. Câble semi-rigide à 4 brins :

Les caractéristiques du câble sont :

- Gaine extérieure d'un diamètre extérieur de 1,5 cm.
- Le diamètre de la gaine intérieure est de 1,2 cm.
- Six gaines blanches, chaque gaine mesure 3 mm de diamètre.
- Une gaine bleue d'un diamètre de 3 mm, contenant 4 câbles à fibres optiques (bleu, vert, marron et orange), chacun d'un diamètre de 250 μm . Liaisons de transmission et 2 liaisons de réception ; ou un lien principal, une autre sauvegarde. (Voir figure III.49).

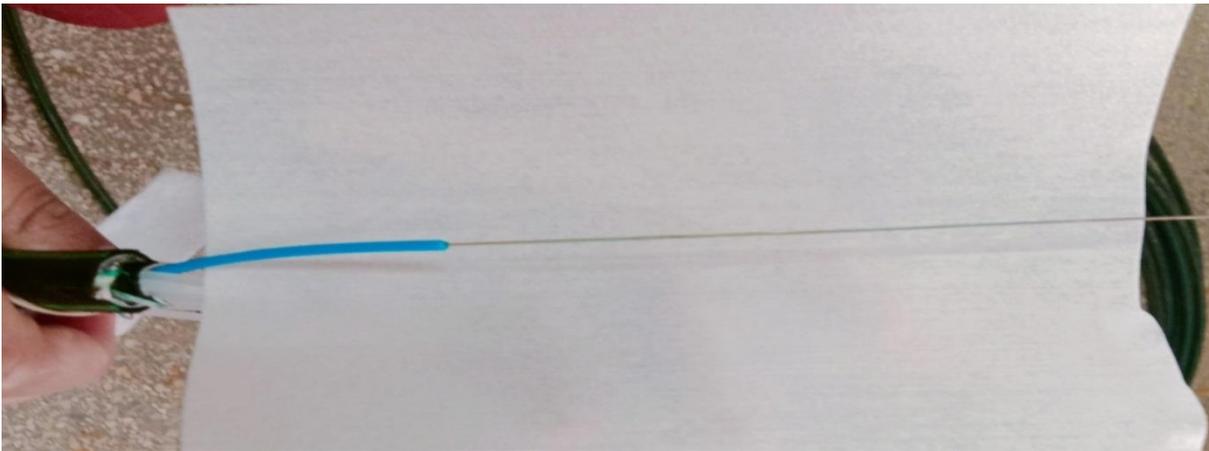


Figure III.49: Câble semi-rigide à 4 brins de fibres optiques.

9.3. Câble semi-rigide à 72 brins :

Le diamètre de la gaine extérieure est de 1,6 cm.

- Le diamètre de la gaine intérieure est de 1,2 cm.
- Gaine intérieure blanche d'un diamètre de 1 cm.
- 72 brins de fibres optiques multicolores, chacun d'un diamètre de 250 μm .
- Six gaines blanches pour la protection, chaque gaine mesure 3 mm de diamètre
- Liens possibles pour ce type de câble : 36 câbles pour la transmission et 36 câbles pour la réception, Ou 18 liens principaux et 18 liens de sauvegarde. (Voir la figure III.50).



Figure III.50: Câble semi-rigide à 72 brins de fibres optiques.

10. Les étapes pour relier deux câbles fibre optique :

10.1. Outils pour la préparation des câbles :

- JOKARI Couteau à dégainer câbles Lame crochet réglable sécurité optimale jaune.
- Fibre optique outil coupe-tube (découpeur de gaine de câble).

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Stanley pince coupe câble, pince coupante.
- Mini pince coupante Stanley.
- Pince pour couper l'élément central de câble fibre optique.
- Ciseaux à kevlar pour fibre optique.

10.2. Préparer le câble optique :

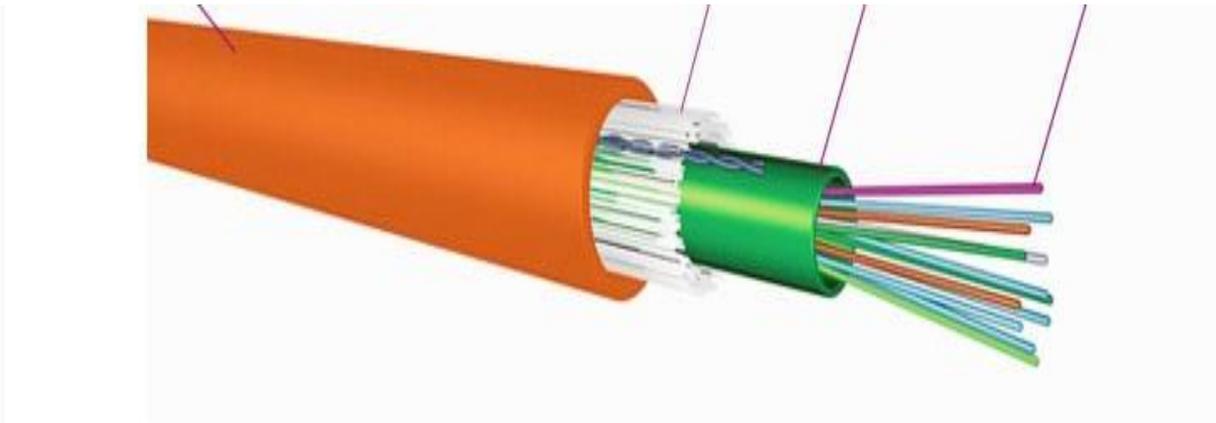


Figure III.51: Câble optique.

1-Dégainer la gaine extérieure du câble sur une longueur de 50cm, on utilise le découpeur de gaine de câble ou Stanley pince coupe câble. (Voir figure III.52). [11]



Figure III.52: dégainer la gaine extérieure du câble.

2- Dé-tuber les tubes ou les micro-gaines à la pince ou avec le dé-tubeur de gaine. Suivant le revêtement, celui-ci peut être déchiré à la main. (Voir figure III.53). [11]



Figure III.53: Dé-tuber les tubes ou le micro gaine.

3-Couper le kevlar ou le fil d'aramide.

Les fibres optiques individuelles peuvent être logées dans un tube rempli de « gel », ce qui Rend le câble étanche. Dégraisser le gel à l'aide de dégraissant ou d'une lingette spécifique.(Voir figure III.54). [11]



Figure III.54: dégainer la gaine intérieure du câble.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

10.3. Les étapes de préparation d'un câble de fibre optique

10.3.1. Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique :

Matériel nécessaire :

- Pince à dénuder.
- Cliveuse fibre optique.
- Soudeuse fibre optique (laSoudeuseFujikura22S).
- Alcool isopropylique et lingette sèches ou tampon alcoolique.
- Protections d'épissure.
- Thermos rétractables. [12]

1- Dénudage :

Matériel requis : pince à dénuder.



Figure III.55: Pinces à dénuder.

A l'aide d'une pince à dénuder, préparez la fibre (ôter les gaines 900 μm et 250 μm)

NB : Dans le cas d'un câble à structure libre, il ne reste que la gaine 250 μm à retirer.

Longueur de dénudage : 30 à 40 mm. [12]

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Figure III.56: les étapes de dénudage d'une fibre.

2- Nettoyage :

Matériel requis : Alcool isopropylique et lingette sèches ou tampon alcoolique.

Alcool isopropylique et lingette sèches :



Tampon alcoolique :

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique



Imbibez la lingette d'alcool puis passez-la sur la fibre.

Pour un bon nettoyage, faites chanter la fibre... [12]



Figure III.57: Le nettoyage de la fibre optique.

3- Clivage :

Matériel requis : cliveuse



Figure III.58: Cliveuse FC-6RS-C de Sumitomo.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Le clivage avec la cliveuse FC-6 RS:



Figure III.59: Les étapes de clivage de la fibre optique.

- Placez la fibre dénudée sur la cliveuse à 10 mm
- Armez la cliveuse et fermez le clapet
- Poussez la lame rapidement sur le levier afin de fracturer la fibre
- Retirez et déposez les fragments de fibre cassés dans une poubelle à fibre. [12]

4-Souder :



Figure III.60:la Soudeuse Fujikura 22S.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Soudure :

- Choix du mode de soudure
- Choix du mode de four (taille de la protection d'épissure : 40 ou 60 mm)
- Mise en place de la protection d'épissure
- Mise en place des fibres préparées (dénudées, nettoyées et clivées) dans la soudeuse
- Lancement du cycle de fusion. [12]

Evaluation de la qualité de la soudure :

- La qualité d'une soudure se base sur 2 critères :
- L'estimation de perte affichée par la soudeuse qui doit être inférieure à 0.1 dB
- Le contrôle visuel de la soudure. [12]

Test en traction :

- A l'ouverture du capot, la soudeuse exerce une force sur les deux fibres pour tester la résistance du point de fusion.
- Si la soudure casse, il faut refaire un étalonnage d'arc.
- Si la casse persiste après équilibrage de l'arc, le problème provient généralement du vieillissement des électrodes. Il est alors conseillé de les remplacer. [12]

Rétreint de la protection d'épissure :

- Ramener la protection d'épissure au niveau du point de fusion en prenant soin de bien le centrer.
- Positionner la protection d'épissure dans le four en tendant les fibres pour que le capot du four se referme automatiquement.
- Après 30 secs de rétreint, le ventilateur se met en route pour refroidir la protection d'épissure.
- Laisser refroidir le smooove sur le support de manchon thermo rétractable situé à l'arrière de la soudeuse. [12]



Figure III.61: les étapes de souder.

10.4. Résultat de la connexion de deux câbles à fibre optique:



Figure III.62: la connexion de deux câbles a fibre optique.

11. Mesure de l'affaiblissement d'une liaison d'un câble de fibre optique lié par l'épissure par fusion :

Tout d'abord, le câble à fibre optique doit être préparé.

Nous répétons le même processus précédent (Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique), mais avec un seul câble semi-rigide à 4 brins.

1-Dénudage :



Figure III.63: les étapes de dénudage d'une fibre.

4- Nettoyage :



Figure III.64: Le nettoyage de la fibre optique.

3-Clivage :



Figure III.65: Les étapes de clivage de la fibre optique.

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Après nos mesures:

➤ **1^{er} cas : La perte optique du bleu pour l'émission et du vert pour réception :**

La puissance d'entrée générée par la source laser : $P_e = -5.97 \text{ dBm}$. (Voir figure III.68).

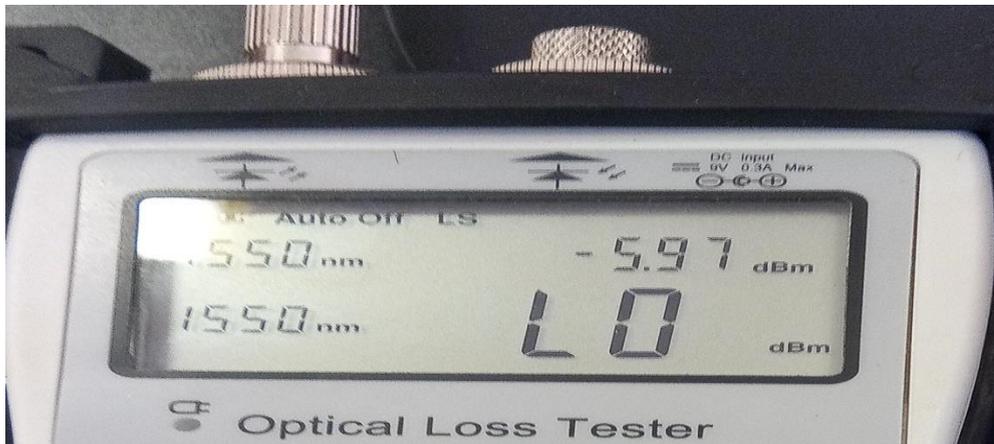


Figure III.68: Puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_r = -6.75 \text{ dBm}$. (Voir figure III.69).

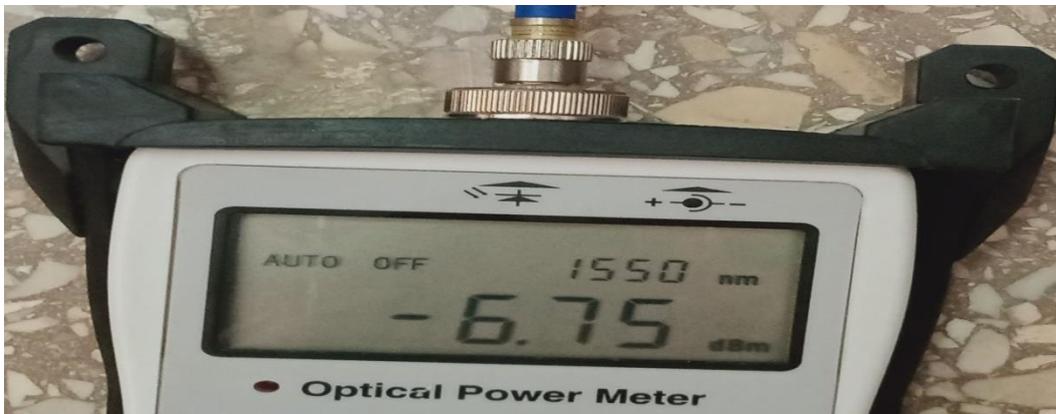


Figure III.69 : Puissance reçue sur le wattmètre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P (\text{dBm}) = 10 \log P (\text{mW}) \rightarrow P (\text{mW}) = 10^{P (\text{dBm})/10}$$

Donc :

$$P_r (\text{mW}) = 10^{P (\text{dBm})/10} = 10^{-6.75/10} = 0.21134 \text{ mW}$$

$$P_e (\text{mW}) = 10^{P (\text{dBm})/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 \text{ mW}$$

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

Donc :

$$A (dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)} = A (dB) = 10 \log \frac{0.25292}{0.21134}$$

$$\rightarrow A(dB) = 0.78dB$$

0.78dB → C'est une perte totale, Alors nous arrivons à la conclusion :

On a :

Les pertes de l'épaisseur est : **0.00dB**

Les pertes de coupleur (connecteur) est : **0.2dB**

Donc :

Les pertes de câble 4FO est : **0.58dB**

$$0.78 - 0.2 = 0.58dB$$

➤ **2^{eme} cas : La perte optique du vert pour l'émission et du bleu pour réception :**

La puissance d'entrée générée par la source laser : **Pe = -5.97 dBm**. (Voir figure III.70).

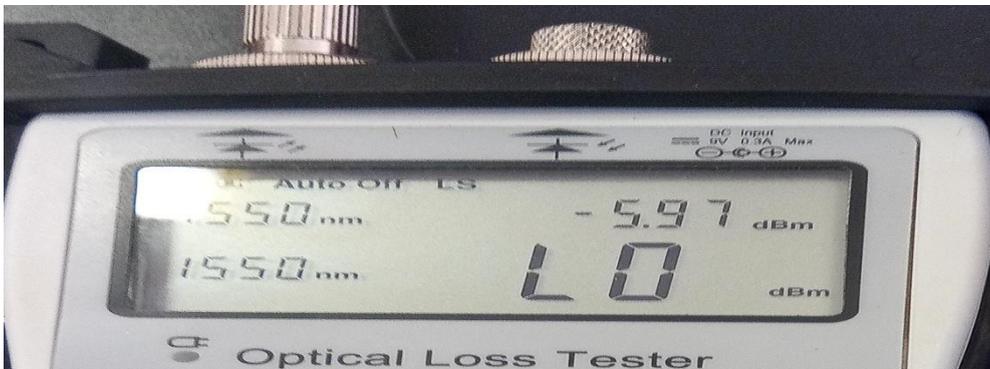


Figure III.70 : puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie **Pr = -6.44 dBm**. (Voir figure III.71).



Figure III.71: Puissance reçue sur le wattmètre optique

Chapitre III Etude pratique sur les étapes de préparation de la fibre optique

- Convertissez la valeur de puissance obtenue en mW:

$$P (dBm) = 10 \log P(mW) \rightarrow P(mW) = 10^{P (dBm)/10}$$

Donc :

$$Pr(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-6.44/10} = 0.22698 mW$$

$$Pe(mW) = 10^{P (dBm)/10} = 10^{-5.97/10} = 0.25292 mW$$

Donc :

$$A (dB) = 10 \log \frac{Pe(mW)}{Pr(mW)} = A (dB) = 10 \log \frac{0.25292}{0.22698}$$

$$\rightarrow A (dB) = 0.48 dB$$

0.48dB C'est une perte totale, Alors nous arrivons à la conclusion :

On a :

Les pertes de l'épaisseur est : **0.00dB**

Les pertes de coupleur (connecteur) est : **0.2dB**

Donc :

Les pertes de câble 4FO r est : **0.28dB**

$$0.48 - 0.2 = 0.28dB$$

12. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1 et de se perfectionner sur les appareils de mesure et de test ANRITSU avec leurs caractéristiques techniques.

Dans ce troisième chapitre, nous avons fait une étude pratique sur le dénudage, clivage et la fusion de la fibre optique ainsi que sur les divers câbles (souples ou semi- Rigide) utilisé dans le réseau de transmission par fibre optique. A la fin de ces étapes, nous avons mesuré les pertes d'insertions dues aux connections mécaniques et à la fusion automatique.

Ce projet de fin d'étude nous a donné l'occasion de refléter nos connaissances théoriques sur les aspects pratiques de la fibre optique dans le but de mieux apprendre les outils de manipulation, comme étant nous sommes des futurs diplômés de Master en télécommunications, qui vont plus tôt entamer leur vie professionnelle.

CONCLUSION GENERALE

La réalisation de ce projet a comporté trois chapitres ces qui nous ont amené aux conclusions Suivantes :

Nous avons indiqué dans le premier chapitre de ce travail les notions théoriques sur la construction du système de transmission par fibre optique, nous avons présenté les composants d'émission et de réception, et nous avons étudié les caractéristiques de la fibre optique, son principe de fonctionnement, ces deux types monomode et multimode, avec ses avantages et inconvénients.

Dans la deuxième chapitre, l'étude était portée sur la technique de fttx, dans cette section nous avons constaté que, les principaux nœuds d'un réseau FTTH sont : le nœud de raccordement optique (NRO), le sous-répartiteur optique (SRO) et le Point de Branchement (PBO). Le dimensionnement de ces nœuds consiste à déterminer le nombre de fibres qui peuvent passer. Pour ce qui est du dimensionnement des liaisons optiques, il a été question pour nous d'évaluer le budget optique entre deux points du réseau FTTH. Pour finir, nous avons détaillé le modèle mathématique qui permet de dimensionner un tel réseau.

Dans la 1ère section de dernier chapitre nous avons détaillé les étapes de préparation de la fibre optique avec mesure de perte d'insertion, et dans la 2ème section nous avons manipulé deux types des câbles de fibre optiques utilisés dans l'industrie et leurs étapes de préparation.

Cette expérience au laboratoire pédagogique de télécommunication a été très intéressante et riche en informations et nous a permis d'acquérir une grande connaissance pratique dans le domaine des télécommunications optiques.

Annexes

Annexe 1 : Tableau de caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (thorlabs).

Type de fibre	Smf-28ultra
Intervalle d'onde de fonctionnement	1260-1625nm
Diamètre de cœur	10 μ m
Diamètre de gaine (cladding)	125 μ m
Diamètre de la gaine optique (coating)	242 \pm 5 μ m (couleur transparente)
Diamètre revêtement extérieur	3mm (couleur jaune)
Diamètre revêtement intérieur	900 μ m (verre)
Ouverture numérique	0.14
Atténuation max	\leq 0.2@1550nm
Diamètre de champ de mode(MFD)	10.5 \pm 0.5 μ m@1550nm
Type de connecteur	FC/PC (Férule en Céramique/Polished Connector)
Type de clé	Etroite (narrow key) 2.0mm
Type de férule	Céramique2.2mm

Annexes 2 :Tableau de caractéristique de la source laser/testeur de pertes de la sérieCMA5.

Model	5LT35
Fibre optique prise en charge	10 μ m/125 μ m fibre monomode, PC-polished
Longueur d'onde	1310nm/1550nm \pm 20nm
Type de connecteurs	(FC/PC), (SC/PC), (ST/PC)
Longueur d'onde calibrée	850,1300 ,1310, 1490,1550,1625nm
Résolution d'affichage	0.01dB

Annexes 3 : Tableau de description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de la série CMA5.

Boutons	Description
	Allumer et éteindre l'instrument.
Func	Appuyez pour basculer entre l'affichage LCD CMA5 5LT35 / 83 de la source lumineuse et le wattmètre optique.
dB/dBm	Lorsque «PM » s'affiche à l'écran, appuyez sur cette touche pour basculer le mode de mesure entre la puissance absolue (dBm) et la puissance relative (dB). Maintenez la touche enfoncée (plusieurs secondes) jusqu'à ce que « HELD » apparaisse à l'écran et que le mode passe à μ W.
Loss	Clé pour le test de perte de boucle. Nous appuyons sur cette touche et le CMA5 5LT35 / 83 affichera la perte de fibre optique à une longueur d'onde de 1310 nm / 1550 nm ou 850 nm / 1300 nm
LsOn	Nous appuyons sur pour activer la source lumineuse. Nous appuyons sur Func pour changer la vue de l'écran LCD de «PM» à «LS»
Ref	Nous appuyons sur cette touche pour afficher la valeur de référence stockée en mémoire. Maintenez la touche enfoncée pendant plusieurs secondes jusqu'à ce que "HELD" apparaisse sur l'écran. Et lorsque CMA5 5LT35 / 83 est commuté en mode dB, l'écran LCD affiche la différence en dB entre le niveau de référence et la puissance actuelle.
CW/MOD	Appuyez sur la touche lorsque la source lumineuse est allumée, CMA5 5LT35 / 83 commutera le mode de puissance optique sortie d'onde.
Externat Power SupplyIndicator	Cet indicateur apparaît lorsque l'alimentation externe est utilisée.

Annexes 4 : Tableau de caractéristiques du wattmètre optique model 5P100 de la série CMA5.

Modèle/ Numéro de commande	5P100
Type de connecteurs	FC, SC ,ST
Type de fibre	Monomode/multimode
Longueur d'onde calibrée	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625nm
Plage de mesure	-60to+10dBm
Résolution d'affichage	0.01Db

Annexe 5 : Tableau de description des différentes touches de wattmètre optique (OPM).

Boutons	Description
On/Off	Contrôle activé ou désactivé
dB	Choisissez l'unité d'affichage
λ	Choisissez une longueur d'onde différente
Zéro	Appuyez sur ce bouton pendant 3 s puis entrez dans la procédure d'étalonnage du zéro
Auto Off	Pour désactiver la fonction d'arrêt automatique.

Références bibliographiques

Chapitre I :

➤ SITE WEB :

[1]<https://bu.umc.edu.dz/theses/electronique/BAO6578/G.Chapitre%201.pdf>

[3]https://sites.google.com/site/lafibreoptique/i--la-transmission?fbclid=IwAR22dF_kjAKlyjDIuyB6kSkIN_uQnUxRxwAuu0MyKu1EleXd9WPUEYH2c5w

[5]<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01395077/document>

[7]http://claude-gimenes.fr/signal/telecommunications/-vi-fibre-optique-composants-interfaces-et-couplages?fbclid=IwAR3S32_tc_Xg-t8I-6yvojHlZacQ5jbF3Isuwk7htM82B_cGi6MhAUgFB0Y

[8] <https://revues.imist.ma/index.php/RMT/article/view/2819/2072>

[9] « EGTP-Composants optoélectroniques »,

[10] Cahier technique, fibre optique. N° 12 - Septembre 2001

[11]<https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/Polycopie-FINAL-HADJ-ALI-BAKIR.pdf>

[12]https://dl.ummo.dz/bitstream/handle/ummo/6399/RekaiSofiane_SbargoudM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[13]https://departements.imtatlantique.fr/data/sc/seminaires/seminaire_morvan_02_04_09.pdf

[14]https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=637

[15]https://www.memoireonline.com/03/17/9708/m_Etude-d-une-liaison-de-transmission-par-fibre-optique-et-simulation-d-un-resonateur-optique-en-anne14.html

[16]<http://claude-gimenes.fr/signal/telecommunications/-v-communications-optiques-fibre-optique-et-propagation>

[17]<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ErLvWXdZOOAJ:sadalahsadalah.e-monsie.com/medias/files/supports-de-transmission-c6.pptx+&cd=21&hl=fr&ct=clnk&gl=dz>

➤ THESES Et PFE:

[2] Liaison par fibre optique à haut débit. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2010

➤ Livre :

[6] I et. JOINDOT et douze coauteurs « Les télécommunication par fibre optiques » édition MASSON 1996, France

➤ Documentation Master 2 :

[4] Cours communications optiques Master 2 ST. Mr BORSALI Ahmed Riad -Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen-

Chapitre II :

➤ Site Web :

[2]<https://www.vinci-energies.com/cest-deja-demain/pour-un-monde-connecte/la-fibre-optique-linternet-haut-debit-partout-pour-tous/>

[5]<http://fr.fibresplitter.com/news/optical-distribution-network-solution-40235003.html>

[6]https://cdn.website-editor.net/eabf4c36872f404bb5793ca5b75e344c/files/uploaded/Solutions%2520FTTX_BVMPzX4STnya4Ev4xIjk.pdf

➤ Documentation Algérie Télécom :

[3] Evolution du Réseau d'accès Haut Débit vers le Très Haut Débit (PIR/DRA/DDRF A.S Janvier 2017)

[4] PRINCIPE DE DESIGN ODN ET CIVIL WORK POUR LE PROJET ``FTTH D`ALGERIE TELECOM

➤ Documentation Master 2 :

[1] Cours communications optiques Master 2 ST. Mr BORSALI Ahmed Riad -Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen -

Chapitre III :

[1]https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1362&pn=P1-SMF28E-FC-1, du site officiel thorlabs, caractéristique ducâbleP1-SMF28E-FC-1,

[2]https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5olt_opm_e_6_0.pdf

[3]<https://community.fs.com/fr/blog/optical-power-meter-an-essential-tester-for-fiber-optic-testing.html>

[4] <https://www.thefoa.org/FR/Chapitre%208.htm>

[5] <https://focenter.com/fr/bases-de-l%27%C3%A9pissure-par-fusion/>

[6] <https://www.absysfrance.com/conseils-techniques/realiser-une-soudure-optique-pas-a-pas/>

[7]<https://www.promax.fr/fra/actualites/556/comment-souder-deux-fibres-optiques/>

[8]<http://fr.fibresplitter.com/info/>

[9]<http://fr.fibresplitter.com/info/how-to-choose-between-plc-fbt-fiber-optic-sp-49213893.html>

[10]<HTTPS://WWW.PIPELIFE.FR/PROTECTION-DE-CABLES/TELECOMMUNICATION/OPTIGAIN-PEHD-FIBRE-OPTIQUE.HTML>

[11]<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/5661/5661-tiroir-fibre-optique.pdf>

[12]<https://www.soudeuse-optique.fr/souder-une-fibre-optique/>

Glossaire optique

PRÉAMBULE

Afin de faciliter les termes aux lecteurs, vous trouverez dans ce glossaire plusieurs points très utiles.

Naturellement, l'optique est un domaine en perpétuelle évolution et ce glossaire n'est pas exhaustif. Il peut néanmoins nous aider à comprendre et à expliquer le langage usuel du monde optique.

A

Absorption (Absorption) : Une des composantes de l'atténuation linéique d'une fibre.

Phénomène de diminution de l'intensité lumineuse dans le cœur de la fibre plus ou moins important selon la longueur d'ondes utilisée, dû à la présence d'impuretés ou d'ions OH- (traces d'humidité).

Affaiblissement (Atténuation) : Les termes « Perte », « Affaiblissement » et « Atténuation » peuvent être communément utilisés pour caractériser une liaison. Il faut savoir que : -Les pertes et affaiblissements caractérisent un phénomène indésirable. - L'atténuation peut être recherchée pour éviter la saturation d'un récepteur, par exemple. L'affaiblissement « a » est la différence de puissance du signal lumineux entre deux points (connecteurs, épissures, défauts, longueur de fibre ...). L'affaiblissement est exprimé en dB et calculé selon l'équation : $a = 10 \log (P \text{ entrée (ou } P1) / P \text{ sortie (} PO))$.

Affaiblissement de Réflexion (Return-Loss) : Partie de l'énergie lumineuse réfléchi vers la source lors du passage d'un dioptre (Réflexions de Fresnel). Suivant la nature de l'émetteur on peut assister à une dégradation du signal émis.

Affaiblissement Linéique : Affaiblissement d'une fibre ramené à une unité de longueur. S'exprime en dB / km.

Angle d'Acceptance (cône d'acceptance) : Les relations de réfraction induisent des angles limites qui permettent le guidage du signal lumineux au sein d'une fibre optique. On introduit donc la notion de cône d'acceptance ou encore ouverture numérique d'une fibre. Cette formule va donc permettre de définir l'angle d'incidence limite permettant le guidage du signal lumineux.

Adaptateur : Désigne une pièce mécanique permettant de raccorder deux standards de connecteurs différents; on parle alors d'adaptateur inter- série (par exemple SC / ST).

APC : Deux significations sont rencontrées: Angle Physical Contact & Advanced Physical Contact. Désigne une technique utilisée dans les raccordements des fibres monomodes (liaisons à hauts débits...) nécessitant un affaiblissement des réflexions élevé. La technique est applicable à différents standards de connecteurs (FC, SC...) et se décompose en une préforme originale des embouts et une technique et des accessoires de polissage adaptés afin d'obtenir par un «Contact Physique angulaire» des deux fibres, la suppression maximum de l'air entre les deux fibres ainsi qu'une réjection des réflexions par retour (Return-Loss).

Alcool :

Alcool éthylique dénaturé non coloré utilisé pour les opérations de nettoyage, et / ou lors des polissages (lubrification à la finition ...).

B

Bande Passante (Bandwidth) : La bande passante d'une fibre optique est définie comme étant la fréquence maximum de transmission en MHz pour laquelle le signal transmis subit

un affaiblissement de 3dB. Plus la bande est large plus la capacité à supporter des transmissions hauts débits sera importante. Elle s'exprime en MHz/km voire en GHz/km. Elle dépend de la longueur d'ondes de transmission, des paramètres physiques de la fibre (diamètre de coeur, matériaux...).

D

Décibel : Unité logarithmique (base 10) d'un rapport :

*dB : Unité utilisée pour caractériser l'atténuation optique.

*dBm : Unité pour laquelle la puissance de référence est une constante fixée à 1 mW.

Dispersion (Dispersion) : Écart entre les temps de parcours des modes dans une même fibre, entraînant une limitation de bande passante et composée de :

1- Dispersion Modale ou Intermodales (Modal Dispersion) : Due aux parcours différents effectués par les différents modes d'une fibre multimode.

2- Dispersion Chromatique (Chromatic Dispersion) : Due à la dépendance entre longueur d'ondes et indice de réfraction. Elle se traduit par une différence de vitesse de propagation. L'effet est surtout prépondérant dans les fibres monomodes, où son influence est aussi fonction de la largeur spectrale de la source lumineuse utilisée.

S'exprime en ps / nm / km.

Dénudage : Opération consistant à retirer le revêtement mécanique de protection d'une fibre, principalement à l'aide d'un moyen mécanique (pince calibrée).

E

Épissure (Splice) : - Fusion : Résultat d'une technique d'épissage (arc électrique, plasma ...) dans laquelle le raccordement permanent des deux fibres en position centrée s'effectue sous l'effet d'une chaleur intense.

F

Fibre Optique : Guide d'ondes optique en forme de filament, composé de substances diélectriques.

Fibre (Optique) Unimodale / Monomode : Fibre optique dans laquelle un seul mode de propagation peut être entretenu à la longueur d'ondes considérée. Diamètre de gaine identique au standard multimode 125µm et valeur de coeur située autour de 9 µm

Férule : Peut désigner, soit un embout optique, soit une pièce métallique servant aux opérations de sertissage sur le câble, on peut entendre alors, férule de sertissage.

Fusion : Procédé par lequel on réalise une épissure en ramollissant ou en fondant les extrémités de deux fibres optiques ou de deux groupes de fibres, à l'aide d'une source de chaleur localisée de façon à obtenir une continuité des fibres en ayant pris soin au préalable d'optimiser la position des coeurs de fibres à relier afin d'apporter un minimum d'affaiblissement au passage de l'épissure réalisée.

FTTx La fibre jusqu'au (Fiber To The x) : Architectures de réseaux de distribution d'abonnés prévoyant une infrastructure fibre optique à partir du central et, selon les cas, jusqu'à un point plus ou moins rapproché de l'abonné final.

- **FTTb (Fiber To The building)** : Jusqu'au pied de bâtiment.

- **FTTc (Fiber To The curb)** : Jusqu'au Trottoir,

- **FTTh (Fiber To The home)** : Jusqu'au domicile de l'abonné final.

G

Guide d'Onde : Médium, diélectrique ou conducteur dans lequel se propagent des ondes électromagnétiques.

I

Indice de Réfraction (Refractive Index) : Rapport de la vitesse de la lumière dans le vide, à celle prise dans le médium considéré et noté «n».

- **du coeur d'une fibre** : noté n_1 d'une valeur plus grande que celle de n_2

- **de la gaine optique d'une fibre** : noté n_2 .

L

Largeur Spectrale (Spectral Width) : Écart entre les valeurs de longueurs d'ondes harmoniques émises par une source lumineuse autour de sa valeur centrale. Typiquement quelques dizaines de nm pour une diode électroluminescente et de < 1 à 2 nm pour les Lasers.

N

NRO : le nœud de raccordement optique.

O

Ouverture Numérique, O.N. (Numerical Aperture, N.A) : Valeur qui correspond à la propriété d'une fibre à collecter la lumière pour la propager. Définie comme étant le sinus du demi angle du cône d'acceptance (appelé angle d'acceptance ou angle critique). Pour une fibre donnée, calculée par son fabricant avec la formule :

O.N = $\sin(\theta)$ = (avec indice du milieu, pour l'air = 1).

P

Préforme : Barre destinée à être étirée en fibre optique et possédant toutes les caractéristiques de cette dernière (ON, profil d'indice...).

Protection d'Épissure : Pièce utilisée pour protéger la zone de fragilité créée dans une épissure fusion. Plusieurs solutions sont rencontrées : pièce thermocollable avec renfort métallique (pige), pièce plastique clipsable, enrobage de colle réalisé par accessoire d'une fusionneuse.

Polissage : Opérations de préparation des faces optiques des fibres à l'extrémité des embouts de fiches. Selon les fabricants les abrasifs recommandés sont de formes (feuilles rectangulaires, carrées, disques ...), de dimensions, et de matériaux (oxyde d'aluminium, acétate ...) variés.

PBO : le Point de Branchement.

R

Réflectance - Affaiblissement : Rapport de la puissance réfléchi sur la puissance incidente de réflexion exprimé en dB. La puissance réfléchi est liée aux événements Affaiblissement d'onde existants le long d'une ligne. La maîtrise du paramètre réflectance sera particulièrement importante dans les réseaux monomodes(exemples : télévision par câble FO (réflectance meilleure que 60dB)). Ce paramètre est mesuré au niveau du réflectomètre par analyse du Pic de réflexion produit par un évènement.

Revêtement Primaire : Revêtement mince appliqué directement sur la gaine d'une fibre optique lors de son étirage pour préserver l'intégrité de la surface de la gaine.