

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des figures et des tableaux

Introduction générale

Chapitre I : Etude d'une liaison par fibre optique

I.1. Introduction.	1
I.2. Système de transmission par fibre optique	2
I.2.1 Emetteur optique	3
I.2.1.1. Diode DEL	4
I.2.1.2. Le laser	4
I.2.2. La modulation	6
I.2.3. La fibre optique	7
I.2.3.1. L'histoire de la fibre optique	7
I.2.3.2. Définition de la fibre optique	7
I.2.3.3. Avantages et inconvénients de la fibre optique	8
I.2.3.4. Principe de fonctionnement	9
I.2.3.5. Différents types de fibre optique	11
I.2.3.6. Les caractéristiques de la fibre optique	14
I.2.4. Amplificateur optique	18
I.2.5. Récepteur optique	18
I.2.5.1. Photodecteur	19
I.2.5.2. Photodiode PIN	19
I.2.5.3. Photodiode à avalanche	20
I.3. Conclusion	21

Chapitre II : Techniques de multiplexage

II.1.Introduction	22
II.2 .Le multiplexage temporel	22
II.3.Le multiplexage en longueur d'onde	23
II.3.1.Les types de multiplexeur WDM	24
II.4.Le développement des multiplexeurs	24
II.4.1.Le multiplexeur PDH	25
II.4.2.Le multiplexeur SDH	27
II.4.3.Le multiplexeur D-WDM	32
II.5.Conclusion	34

Chapitre III : Installation d'une liaison optique

III.1.Introduction	35
III.2.Liaison optique Tlemcen-Sidi Belabbes	35
III.3.Installation de la fibre optique	36
III.3.1.Les fourreaux	37
III-3.2. La pose des fourreaux	39
III.3.3. La chambre de tirage	39
III.3.3.1.Les boitiers de raccordement	41
III.3.3.2. Les tampons de protection	41
III.3.4. La pose de la fibre optique	42
III.3.4.1. Le tirage	42
III.3.4.2. Le portage	43
III.3.5. Les essais après les travaux	44
III.4.Le centre de transmission	45
III.5.Equipement de la transmission	45
III.5.1.L'ODF	45
III.5.1.1.Connecteurs optiques	46
III.5.1.2.Pigtail optiques	48

Chapitre IV : Terminaison dans une liaison optique

Conclusion générale

Références bibliographiques

Résumé

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Liste des figures:

Figure I.1 : schéma d'une liaison par fibre optique	1
Figure I.2 : principe de la diode électroluminescente	4
Figure I.3 : composition d'un laser	5
Figure I.4 : principe du laser	5
Figure I.5 : composition d'une fibre	8
Figure I.6 : principe de propagation de la lumière dans une fibre	10
Figure I.7 : fibre à saut d'indice	12
Figure I.8 : fibre à gradient d'indices	12
Figure I.9 : fibre monomode	13
Figure I.10 : dispersion modale	17
Figure I.11 : dispersion chromatique	17
Figure I.12 : schéma bloc d'un récepteur	19
Figure I.13 : photodiode PIN	20
Figure I.14 : Structure d'une photodiode à avalanche	21
Figure II.1 : principe de multiplexage temporel	23
Figure II.2 : principe de multiplexage en longueur d'onde	23
Figure II.3 : multiplexeur PDH 140 Mbits/s	25
Figure II.4 : structure de la trame E1	26
Figure II.5 : réglette E1 de 32IT	26
Figure II.6 : multiplexeur SDH 10Gbits/s	28
Figure II.7 : fonction du multiplexeur MIE	29
Figure II.8 : architecture MTS 30	30
Figure II.9 équipement d'un brasseur optique	31

Figure II.10 composition du système D-WDM	32
Figure III.1 : FO Tlemcen S.B Abbas via O. Mimoune	36
Figure III.2 : Fourreaux PEHD	38
Figure III.3 : Fourreaux PVC	38
Figure III.4 : La pose de fourreaux	39
Figure III.5 : Chambre de tirage de fibre optique	40
Figure III.6 : Un boîtier de raccordement dans une chambre de tirage	41
Figure III.7 : Tampons de protection de chambre	42
Figure III.8 : Méthode de tirage de fibre optique	43
Figure III.9 : Méthode de partage de fibre optique	44
Figure III.10 : Armoire ODF	45
Figure III.11 : Coffret mural	46
Figure III.12 : Construction d'un connecteur	47
Figure III.13 : Type de connecteurs	48
Figure III.14 : Un Pigtail optique duplex	49
Figure III.15 : Equipement de multiplexeur SDH	50
Figure III.16 : Equipement du multiplexeur DWDM	51
Figure IV.1 : Kit de raccordement par connecteurs	55
Figure IV.2 : Kit de raccordement par épissure	55
Figure IV.3 : un ciseau coupant	56
Figure IV.4 : une pince à dénuder	56
Figure IV.5 : Le dénudage de la fibre optique	57
Figure IV.6 : Le nettoyage de la fibre optique	57
Figure IV.7 : Une cliveuse	58
Figure IV.8 : Le montage du connecteur dans une fêrule	59
Figure IV.9 : Raccordement de deux connecteurs	59
Figure IV.10 : Une fiche de connecteur optique	60

Figure IV.11 : Exemple d'un coupleur de connecteurs optiques	60
Figure IV.12 : Les différents défauts de raccordement par connecteurs	61
Figure IV.13 : Le support mécanique Fibrlok	62
Figure IV.14 : Méthode de sertissage du Fibrlok	63
Figure IV.15 : Une soudeuse de fibre optique	63
Figure IV.16 : la protection d'épissure	64
Figure IV.17 : Le placement de la fibre dans les supports de la fusionneuse	64
Figure IV.18 : L'alignement de la fibre optique dans la soudeuse	65
Figure IV.19 : Résultats de la soudure	66
Figure IV.20 : La réalisation d'un rétreint de la protection d'épissure	67
Figure IV.21 : Ecran de la soudeuse après la pose de la protection	67
Figure IV.22 : Deux fibres optiques raccordées par fusion	68
Figure IV.23 : Une baguette de 72 FO	68
Figure IV.24 : code couleurs standard	69
Figure IV.25 : Le lovage de la fibre optique dans les cassettes	70
Figure IV.26 : Le raccordement de la fibre optique dans un joint	70
Figure IV.27 : Testes par un émetteur et un récepteur	71
Figure IV.28 : Testes par l'OTDR	73
Figure IV.29 : Réseau de transmission de la wilaya de Tlemcen	74
Figure IV.30 : Préparation du rapport d'OTDR	77

Liste des tableaux:

Tableau I-1 : Comparaison des différents types de fibres optiques	13
Tableau II.1 : Propriétés de technique WDM	24
Tableau II.2 : caractéristiques des conteneurs dans un STM-1 de 155 Mbits/s	28
Tableau IV.1 : Les normes standard des testes par OTDR	80

INTRODUCTION GENERALE

Les télécommunications optiques ont acquis une importance considérable dans les réseaux de communication longues distances et la conception de système de transmission à très grande capacité. Avec les développements croissants des télécommunications optiques et des nouvelles technologies, nous entendons beaucoup parler de fibres optiques, mais qui sait vraiment ce qu'elles sont et à quoi elles servent. L'un des principaux critères de la réussite des réseaux de communication tient à la grande bande passante de la fibre, mais surtout dans les très faibles pertes qu'elle présente.

Les premières expérimentations de transmission par fibre optique se développent rapidement et dès le début de 1980, l'exploitation des liaisons par fibre optique connaissent un certain essor. Depuis l'introduction, il y a cinq ans environ, du multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, ou WDM) a pour point fort d'exploiter avantageusement l'immense bande passante des fibres optiques. Il permet actuellement de transmettre 160 canaux en longueurs d'onde, multiplexés chacun dans le temps à un débit binaire de 40 Gbits.s⁻¹, soit un débit global de 6,4 Tbits.s⁻¹, ou encore 100 millions de communications téléphoniques à 64 kbits sur une unique fibre optique.

Notre mémoire se divise en deux parties, une théorique résumée dans les deux premiers chapitres et l'autre pratique exprimée dans les deux derniers chapitres, mettant en lumière l'expérience acquise lors de notre stage pratique à Algérie Télécom.

Le premier chapitre décrira les systèmes de la liaison optique, qui mettent en jeu un ensemble d'éléments, à commencer par les composants d'émission et de réception de la lumière, le support de propagation qui est la fibre optique, les amplificateurs optiques. À ces fonctions purement optiques et/ou optoélectroniques s'ajoutent des circuits électroniques rapides permettant de moduler et d'amplifier les signaux émis et recueillis, de récupérer les signaux de référence, ainsi que des organes de haut niveau de gestion du réseau.

Plusieurs types de multiplexage sont possibles, nous verrons dans le deuxième chapitre le multiplexage temporel d'une part, et le multiplexage en longueur d'onde d'autre part. La notion de multiplexage s'explique par le fait de vouloir toujours transmettre plus d'information sur une fibre optique. Le principe général est simple à comprendre : il consiste en fait à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission.

À l'aide de ce principe simple, de larges économies sont possibles grâce à la réduction des coûts d'installation et/ou d'exploitation. (moins de câbles pour faire passer la même quantité d'information).

Le chapitre 3 est consacré à une description d'un projet effectué par Algérie Télécom, qui consiste à installer une liaison par fibre optique reliant la wilaya de Tlemcen à la wilaya de Sidi Belabbes.

Le dernier chapitre se divise en deux parties : la première montre les différentes étapes de raccordement de la fibre optique, la deuxième partie présente les tests de mesures par l'OTDR de l'atténuation et de la dispersion de la liaison présentée dans le chapitre III.

Chapitre I

Etude d'une liaison par fibre optique

I-1. Introduction

Le terme « télécommunications » signifie « communiquer à distance ». Le but des télécommunications est donc de transmettre un signal, porteur d'une information d'un lieu A à un autre lieu B. Cette vision de déplacer des informations a suscité un besoin immense de trouver des techniques efficaces de transmissions appelées réseaux de transmissions. Vu le besoin de plus en plus grandissant de capacité, les supports de transmission habituels sont éprouvés et dépassés. Ainsi, nous sommes passés du câble de cuivre au faisceau hertzien puis au câble optique.

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. C'est un support physique de transmission servant à la propagation des signaux lumineux modulés en longueurs d'ondes. Comparée aux autres supports de transmission existants, la fibre optique présente une atténuation quasiment constante sur une énorme plage de fréquences et offre ainsi l'avantage de bandes passantes gigantesques. Aujourd'hui, il est envisageable de transmettre des débits numériques très importants exigés par la multiplication des services et les besoins accrus de transmission de données.

En effet la fibre optique est plus fiable, plus performante et a un coût de revient moindre que les câbles cuivrés. L'installation de la fibre optique se fait en milieu protégé, en hauteur, dans les égouts ou en génie civil sous fourreau de protection ou câble armé anti-rongeur, assurant ainsi une bonne protection mécanique, garantissant une excellente fiabilité.

Dans ce chapitre nous allons étudier les principaux éléments d'une liaison optique, de l'émetteur au récepteur, passant par un aperçu théorique sur le support de transmission qui est la fibre optique. Le multiplexage temporel (TDM : Times Division Multiplexing) et le multiplexage en longueurs d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing) seront aussi présentés. [1][2]

I.2. Système de transmission par fibre optique

Dans les liaisons optiques hyperfréquences, comme dans tous les systèmes de communication, il existe trois blocs importants pour effectuer la transmission de l'information : L'émetteur, le canal de communication et le récepteur. Notre but étant de transporter des signaux microondes à très haute pureté spectrale par voie optique. Dans ce cas, l'émetteur qui est la diode laser, joue le rôle de porteuse et le modulateur celui de

convertisseur électrique/optique du signal. Le canal de transmission est une fibre optique. Cette dernière permet de transporter la porteuse optique modulée.

Enfin, le photorécepteur assume la détection du signal électrique véhiculé en effectuant une conversion optique/électrique. [2][8]

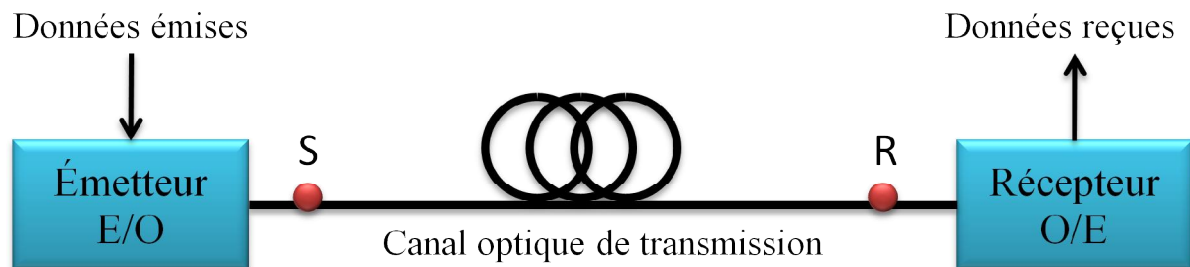


Figure I.1 : Schéma d'une liaison par fibre optique

I.2.1. Émetteur optique

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions par rapport à celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Le rôle d'émetteur consiste à délivrer à la fibre optique un signal sur lequel sont inscrites les données. Elle comprend notamment une source lumineuse (généralement un laser) et un système de modulation.

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine des communications par fibres optiques. Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique avec un rendement satisfaisant, et assurer un bon couplage avec la fibre. Pour exploiter le signal lumineux reçu, avec une certaine qualité, il doit être supérieur à certain seuil de puissance et doit présenter une largeur de bande minimum [3].

Deux types de sources lumineuses sont couramment utilisés : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes lasers. Nous allons parler dans la suite de ce paragraphe des principales caractéristiques de ces sources.

I.2.1.1. Diode DEL

Une diode électroluminescente (ou LED, light-emitting diode) est une jonction PN polarisée en direct, deux configurations de la diode DEL existent : les diodes à émission de surface et les diodes à émission latérale.

Les électrons ou les trous qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leur recombinaison donne lieu à une émission de la lumière [4].

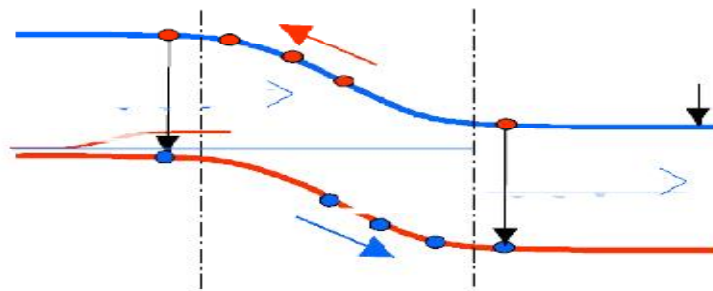


Figure I.2 : Principe de la diode électroluminescente

La combinaison des différentes couches dans la diode DEL constitue un guide d'onde optique ou un confinement optique est réalisé. Avec le confinement optique et électrique, l'efficacité du dispositif augmente.

Les diodes électroluminescentes sont utilisées dans les communications optiques et surtout dans les systèmes à fibre optique multimodes du fait de leurs faisceaux de sortie à large angle de divergence, elles délivrent une puissance optique de plusieurs centaines de microwatts et offrent des débits inférieurs à 5 Mbits/s sur la fibre multimode. Elles sont relativement bon marché et ne demandent pas de circuit distinct pour la polarisation et la modulation.

I.2.1.2. Le laser

Le mot laser, sigle de l'expression anglaise Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, signifie amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. L'effet laser ne fut démontré qu'en 1960 par Mainman en utilisant un barreau de rubis. Deux notions peuvent résumer cet effet : amplification et contre-réaction.

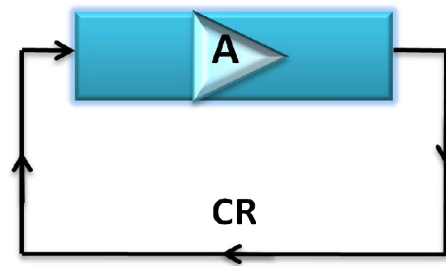


Figure I.3 : Composition d'un laser

Le laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et d'une boucle de contre-réaction (CR) (figure I-3) qui émet de la lumière grâce au phénomène d'émission stimulée. En effet, dans un semi-conducteur, un électron peut passer d'un état à un autre de trois façons [5] :

- L'émission spontanée : De sa propre initiative, l'électron peut tomber dans un état moins énergétique non occupé (il passe d'un état ionisé à un état lié), en émettant un photon spontané.
- L'absorption : En absorbant un photon, l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de l'état lié (électron et trou combinés) à l'état ionisé (électron dans la bande de conduction et trou dans la bande de valence).
- L'émission stimulée : Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique (état lié) en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident. On parle alors de lumière cohérente. Avec l'émission stimulée s'introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux.

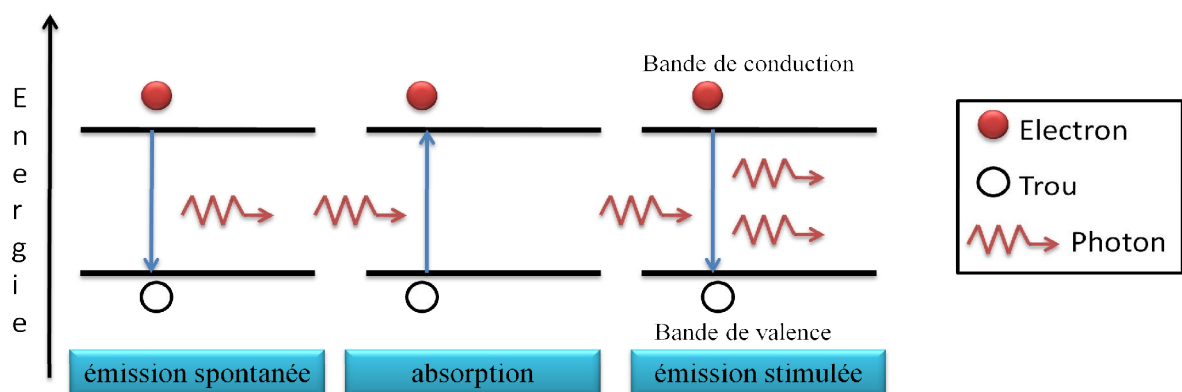


Figure I.4 : Principe du LASER

Pour obtenir l'effet laser et donc rendre l'émission stimulée prépondérante, deux conditions doivent être réalisées :

- Il faut qu'il y ait suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Ceci est réalisé par ce qu'on appelle une inversion de population. Dans un semi-conducteur, cette inversion est réalisée par l'opération de pompage qui consiste à fournir de l'énergie aux électrons afin qu'ils passent dans la bande de conduction.
- Il faut qu'il y ait suffisamment de photons excitateurs. Pour cela, on oblige l'énergie lumineuse à s'accumuler sur place en enfermant le semi-conducteur dans une cavité résonante constituée, par exemple, par un résonateur du type Pérot-Fabry.

Les photons d'émission spontanée amorçant la réaction, lorsque ces deux conditions sont réunies, l'effet laser peut se produire.

I.2.2. La modulation

Il existe deux méthodes pour moduler les ondes optiques pour les télécommunications la modulation directe (ou interne) et la modulation externe.

- a. La modulation directe : dans la modulation directe, on modifie le courant dans la diode laser (DL) ou dans la diode électroluminescente (DEL). La modulation directe offre l'avantage d'être simple et peu coûteuse, en plus elle nécessite une tension réduite (la tension appliquée n'est que de 2 à 3 Volts) et une puissance faible. Cependant, elle présente des inconvénients liés aux oscillations de relaxation. En effet, la modulation d'intensité s'accompagne d'une modulation parasite de fréquence optique (ou de longueur d'onde) désignée sous le nom de « chirp » [6].
- b. La modulation externe : dans le cas de la modulation externe, divers types de modulation sont possibles : modulation d'amplitude, de phase, de polarisation, d'impulsion. Ce type de modulation permet d'obtenir de très grands débits.

Avant de décrire la modulation, examinons quelques particularités et/ou caractéristiques des différentes modulations. Comme la sortie d'un laser à semi-conducteurs (dans notre cas laser DFB, Distributed Feed Back) possède une longueur d'onde qui varie dans le temps à cause de la variation dans le temps du bruit et de la température, la modulation de fréquence et la modulation de phase sont assez difficiles à expliquer à cause de la non-cohérence de la lumière laser utilisée dans la communication optique [7]. On peut, à coup sûr, utiliser en pratique les modulations d'amplitude et d'impulsion.

I.2.3. La fibre optique

I.2.3.1. L'histoire de la fibre optique

En 1854, le physicien irlandais Tyndall a fait une première démonstration scientifique de ce phénomène dont l'expérience consistait à guider la lumière du soleil dans un jet d'eau.

Et en 1950, La première application fructueuse de la fibre optique a eut lieu avec le fibroscope flexible, permettant de transmettre une image le long d'une fibre de verre. Il fut particulièrement utilisé en endoscopie pour observer le corps humain. Cependant, la mauvaise qualité des fibres ne permettait pas de transmettre la lumière sur une longue distance.

A partir de 1970 les télécommunications par fibre optique ne furent possibles qu'après l'invention du laser et les fibres commencèrent à remplacer les fils de cuivre jusqu'à utilisés, grâce à la fabrication par trois scientifiques de la société Corning Glass Works de la première fibre avec des pertes acceptables (20 dB/km). Cette fibre était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'information que le simple fil de cuivre traditionnel. L'avantage des fibres optiques sur les fils de cuivre est énorme. Tout d'abord, les fibres permettent de transporter une grande quantité d'information en même temps, grâce à une grande largeur de bande. De plus, le signal est beaucoup moins atténué (~100 fois moins), ce qui permet de limiter le nombre de répéteurs.

Et depuis les années 1980, la structure de ces fibres est très simple : un cylindre en silice dont le cœur est dopé avec un oxyde de germanium. Les dimensions d'une fibre sont comparables à celles d'un cheveu. Enfin, les fibres optiques ne demandent pas d'entretien particulier et ont une très bonne durabilité chimique, alors que les fils de cuivre se dégradent vite à cause de la corrosion. Aujourd'hui, 80% des communications à longue distance se font par le réseau de fibres optiques. [5][8]

I.2.3.2. Définition de la fibre optique

La fibre optique est un support physique de transmission permettant la transmission de données à haut débit grâce à des rayons optiques, cette technologie permet d'assurer la transmission d'une grande quantité d'informations sur de très longues distances et avec des débits très importants. [12]

La fibre optique est constituée de trois éléments :

- a. **Le cœur (core)**, composé de silice, de quartz fondu ou de plastique. C'est la couche la plus importante en termes de transmission optique qui permet de guider les informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de pertes.
- b. **La gaine optique (cladding)**, qui est composée des mêmes matériaux que le cœur. Son indice de réfraction est inférieur à celui du cœur (différence de quelques millièmes), ce qui permet de réfléchir la lumière entièrement de multiples fois à l'interface cœur-gaine (phénomène de réflexion totale interne). La gaine optique n'étant pas destinée à transmettre la lumière, il n'est pas nécessaire que ses propriétés optiques soient aussi bonnes que celles du cœur. Le cœur et la gaine constituent la partie optique qui canalise et propage la lumière.
- c. **Une couche de protection ou tube (coating)**, permet le contact de la fibre avec des supports sans perturber le fonctionnement de la partie optique. Généralement en plastique, le tube n'intervient pas dans la transmission de la lumière. Il assure la protection mécanique de la fibre ; il sert à la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation. (voir Figure I-1). [1]

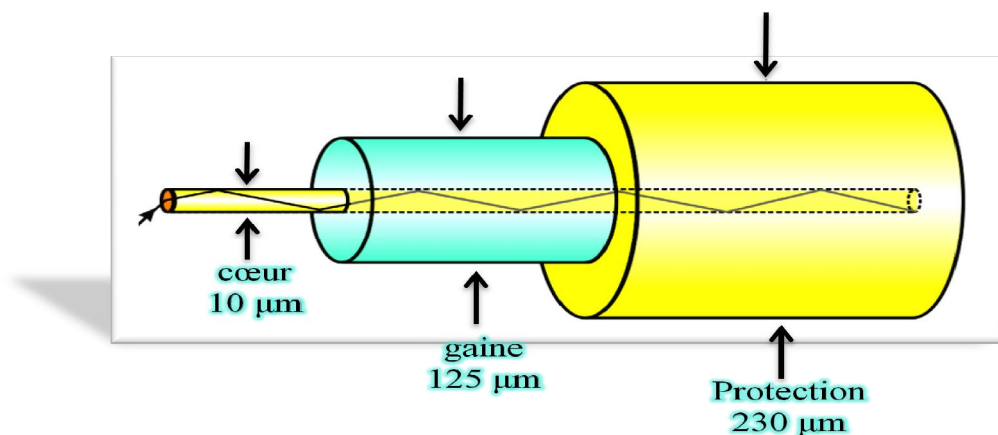


Figure I.5 : Composition d'une fibre

I.2.3.3. Avantages et inconvénients de la fibre optique

Parmi les avantages de la fibre, on cite principalement :

- performances de transmission : très faible atténuation, très grande bande utilisable, multiplexage possible.
- avantages de mise en œuvre : très petite taille, grande souplesse, faible poids.

- sécurité électrique : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous de fortes tensions.
- sécurité électromagnétique : insensible aux parasites et n'en crée pas.
- avantage économique : contrairement à une idée très répandue, le coût global d'un système sur fibres optiques est de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système en cuivre.

Les inconvénients sont :

- Les fibres optiques nécessitent plus de protection autour du câble par rapport au cuivre.
- S'ils sont moins chers à produire, et durent plus longtemps, les câbles sont coûteux à installer.
- Lors de l'exposition aux radiations nucléaires le verre Darken va perdre plus facilement sa couleur.
- Les brins de fibres optiques peuvent se casser facilement.
- La distance entre l'émetteur et le récepteur doit être courte. Sinon il faut utiliser des répéteurs.
- La transmission sur fibre optique nécessite de répéter à des intervalles de distance.
- Il existe de nombreux types de connecteurs, ce qui implique une absence de normalisation.
- Les oiseaux aiment picorer les gaines en Kevlar pour leur nidification.
- Les requins sont connus pour endommager les câbles à fibres optiques

En conclusion concernant les avantages et inconvénients de la fibre, globalement, la fibre reste bien plus avantageuse que le cuivre. Voici quelques chiffres concrets afin d'illustrer ce propos. Un câble à fibre optique typique peut transporter environ 9000 voies téléphoniques ou plus de 1000 chaînes de musique, ou 8 chaînes de télévision. Ces chiffres sont cinq fois supérieurs à ce que pourrait supporter un câble de cuivre.

I.2.3.4. Principe de fonctionnement

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

Par la réflexion, une partie de la lumière retourne dans le milieu d'où elle vient. C'est le principe de réflexion totale illustré à la figure I-2 qui est utilisé pour guider la lumière dans la fibre. L'énergie lumineuse se trouve dans le cœur d'indice $n_{\text{cœur}}$ qui est entouré par la gaine dont l'indice de réfraction n_{gaine} est tel que $n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$. La propagation du rayon dans le cœur de la fibre implique une condition sur l'inclinaison du rayon incident, donc sur l'angle d'incidence. L'angle d'incidence critique ou angle d'acceptance, est l'angle au-delà duquel le rayon n'est pas transmis dans la fibre [10].

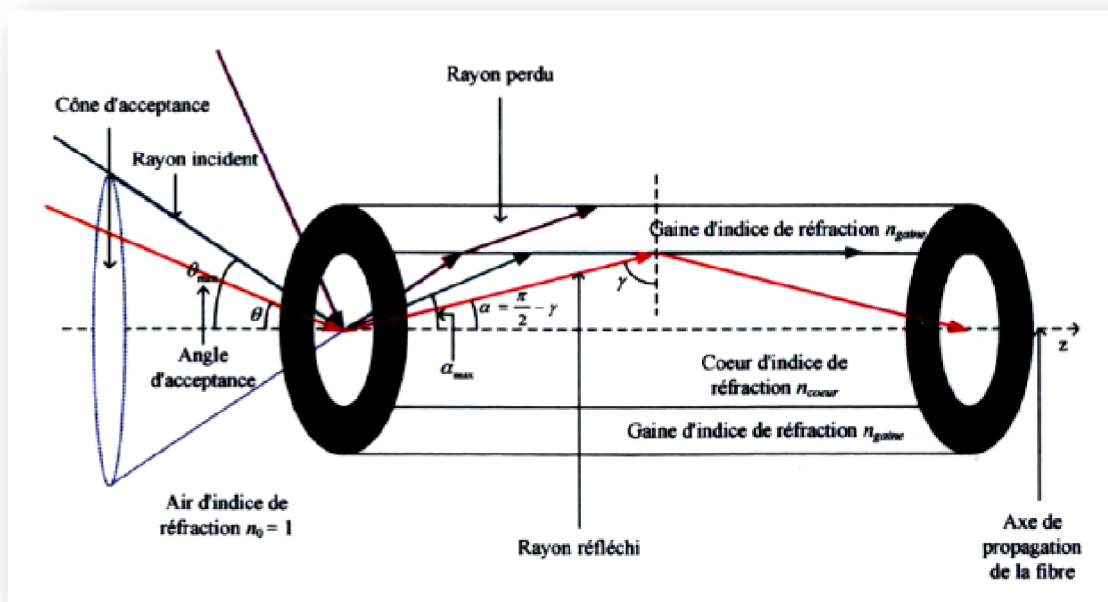


Figure I.6 : Principe de propagation de la lumière dans une fibre

L'ouverture numérique de la fibre que l'on note ON (Numerical Aperture, NA est le symbole couramment utilisé), représente la quantité maximale de lumière que le système optique peut accepter sans pertes. C'est une mesure sans dimension qui exprime la capacité de la fibre à capter la lumière d'une source à sa section frontale et s'écrit [9] :

$$ON = \sin \alpha_{\text{max}} = n_{\text{cœur}} \sqrt{2} \quad [\text{I.1}]$$

Par réciprocité, on peut déduire de (1) l'expression suivante pour α_{max} :

$$\alpha_{\text{max}} = \arcsin(ON) \quad [\text{I.2}]$$

Le NA des fibres commerciales varie entre 0,1 et 0,6. Plus l'écart entre les indices de réfraction du cœur et de la gaine est important, plus l'ouverture numérique est grande et plus grand est le nombre de modes ou rayons lumineux qui se propagent dans la fibre.

I.2.3.5. Différents types de fibres optiques

On peut classer les fibres en considérant les angles de réflexion ou mode possibles de la lumière dans la fibre. Le profil d'indice est caractérisé par la différence d'indice de réfraction entre le cœur et la gaine de la fibre optique. On distingue alors deux catégories de fibres [12] :

1. Fibre multimode

Les fibres multimodes ont un diamètre de cœur important (de 50 à 85 microns). Un rayon lumineux pénétrant dans le cœur de la fibre, à l'une de ses extrémités, se propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de cœur et le verre de gaine.

Plusieurs modes (chemins optiques) se propagent dans ce type de fibre optique. Selon les différents chemins empruntés par les rayons, ils arrivent avec des temps différents. Ce qui provoque une forte dispersion du signal lumineux, due à la multiplication des modes de propagations (dispersion modale).

Les caractéristiques d'une fibre optique multimode sont :

La fibre multimode permet de transporter une forte puissance optique.

L'ouverture numérique importante permet d'utiliser une source lumineuse incohérente : DEL, lampe à incandescence.

La fibre multimode est donc recommandée pour les liaisons courtes distances susceptibles de supporter un grand nombre de points de raccordement : réseaux industriels et locaux, câblage d'immeuble, réseaux informatiques.

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

a. Saut d'indice

Dans ce type de fibre l'indice de réfraction reste constant dans tout le cœur de la fibre, et à l'interface gaine cœur il décroît brusquement en effectuant un saut d'indice dans la gaine.

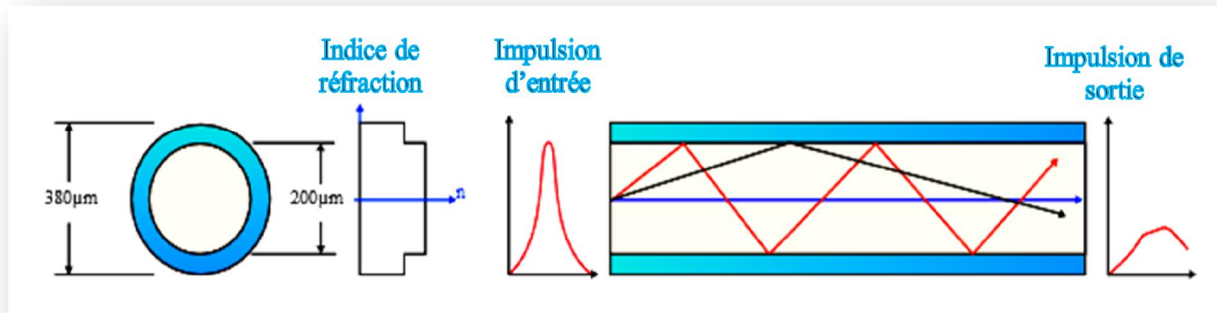


Figure I.7 : Fibre a saut d'indice

Les avantages sont :

- Faible prix
- Facilité de mise en œuvre

L'inconvénient est les pertes et distorsions importantes du signal

b. gradient d'indice

Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction n'est pas constant dans le cœur ; bien au contraire il décroît graduellement du centre du cœur jusqu'à la limite de la surface qui sépare le cœur et la gaine.

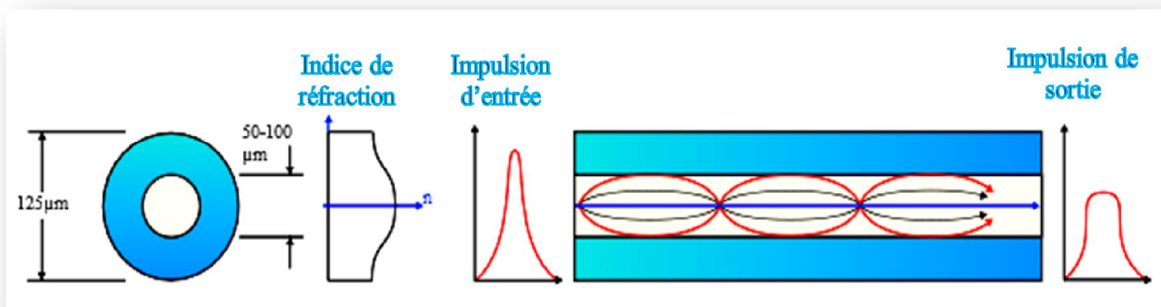


Figure I.8 : Fibre à gradient d'indice

Les avantages sont :

- Bande passante raisonnable
- Bonne qualité de transmission

L'inconvénient est la difficulté de mise en œuvre

2. Fibre monomode

Le but recherché dans cette fibre est que le chemin que doit parcourir le faisceau soit le plus direct possible. Pour cela on réduit fortement le diamètre du cœur qui est dans la plupart des cas inférieur à $10\text{ }\mu\text{m}$. La dispersion modale est quasi nulle. Comme on ne casse pas le faisceau lumineux la bande passante est donc augmentée, environ $100\text{ GHz}\cdot\text{km}$ ou de 1000 Mbits/s . La fibre monomode classique est à saut d'indice. Son diamètre permet la propagation d'un seul mode, le fondamental ; comme un seul mode se propage il n'y a pas de différence de vitesse contrairement aux fibres multimodes. Du fait de ces précieux avantages, elle a pris une ampleur considérable dans les transmissions sur de grandes distances.

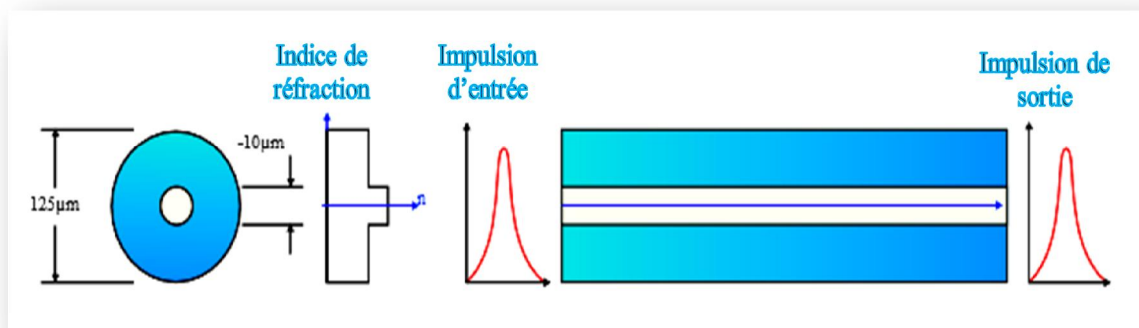


Figure I.9 : Fibre monomode

Les caractéristiques d'une fibre monomode sont :

- La fibre monomode est très performante. La bande passante permet de transmettre un très grand nombre d'informations.
- L'ouverture numérique faible ($0,113$ mm) nécessite une source lumineuse cohérente (Laser)
- Le cœur d'un diamètre faible nécessite des manipulations relativement délicates ainsi qu'un matériel de haute précision.
- La fibre monomode est utilisée pour les liaisons à débits importants, pour les longues distances supérieures à 1 km ou pour les réseaux nécessitant peu de points de raccordement.

3. Comparaison des différents types de fibres optiques

STRUCTURES	AVANTAGES	INCONVENIENTS	APPLICATIONS PRATIQUES
Multimode à saut d'indice (SI)	Grande ouverture numérique, connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre	Pertes, dispersion et distorsion élevées du signal	Communications courtes distances, réseaux locaux
Multimode à gradient d'indice (GI)	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications courtes et moyennes distances
Monomode	Bande passante très grande, atténuation très faible, faible dispersion	Prix très élevé	Communications longues distances

Tableau I.1 : Comparaison des différents types de fibres optiques

Il est préférable de travailler avec une fibre monomode car il est important de n'avoir qu'un faisceau monomode dans la fibre, pour conserver l'énergie dans sa totalité.

En effet, si plusieurs modes sont guidés (fibre multimode), certains modes peuvent s'atténuer et par conséquent perdre de l'information.

1.2.3.6. Les caractéristiques de la fibre optique

1. Atténuation

Bien que très performantes, les fibres optiques subissent des atténuations (pertes) lors la propagation du signal. Ces atténuations se mesurent en dB/km elles varient en fonction de la longueur d'onde et correspondent à des pertes en lignes (atténuation linéique) dues à différents phénomènes de propagation. Ces atténuations provoquent des limitations de la puissance transmise en ligne ce qui engendre une réduction de la bande passante totale. Ce qui va se répercuter à la réception. [11][12]

L'atténuation dans une fibre optique est définie comme étant le rapport de la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimée en unité logarithmique par unité de longueur.

$$\alpha = 20 \log (P_e/P_s) \quad [I.3]$$

Il existe deux types d'atténuation, qui seront explicitées dans les paragraphes suivants.

A. Atténuation intrinsèque

Elle dépend du matériau de construction, et de la longueur d'onde avec laquelle la fibre optique va travailler, appelée longueur d'onde d'utilisation.

La courbe d'atténuation est caractérisée par :

- Une décroissance régulière aux faibles longueurs d'ondes (pour l'ultraviolet) ;
- Des pics d'amplitude variable localisés dans des zones précises ;
- Une croissance de la courbe pour les grandes longueurs d'onde (domaine infrarouge).

Les différentes causes d'atténuation sont :

- Atténuation par absorption** : En réalité, les matériaux ne sont pas transparents, et ils n'ont pas un indice de réfraction pur. Ces matériaux sont tous plus au moins absorbants, et l'énergie absorbée sera convertie en chaleur. Cette absorption est le plus souvent exprimée sous forme d'une atténuation, où l'onde qui se propage dans une fibre le long de l'axe des z a un terme d'amplitude en $\exp(-\alpha z)$.
- Atténuation par diffusion** : Les systèmes réels n'ont évidemment pas la régularité géométrique parfaite une petite modification de la section droite. La remise en cause l'uniformité dans la direction de propagation z va entraîner un phénomène de perturbation qui s'appelle l'atténuation par diffusion. On peut expliquer ça par le fait, lorsque le champ électromagnétique rencontre une irrégularité dans la section droite il ne peut pas se changer en l'un des autres modes guidés existant dans l'autre côté de $z=0$, qui est régie par la relation de discontinuité. Ceci va forcément composer des modes rayonnants, qui vont rayonner dans toutes les directions. La discontinuité peut engendrer une réflexion du mode incident qui va revenir en arrière. On peut avoir une non uniformité répartie en z , intentionnelle ou non, comme une suite de petite discontinuité de section droite [11].
- Atténuation par diffusion de Rayleigh** : Lorsque la longueur d'onde de la lumière est très supérieure à la dimension moyenne de l'irrégularité du matériau, dans lequel elle se propage, la diffusion qui en résulte est du type Rayleigh qui l'a expliqué en 1900. Si la molécule a une dimension de $3\lambda_0$ et si la longueur d'onde dans le matériau est au moins 10 fois plus grande ($>10\lambda_0$), la diffusion est linéaire, et inversement proportionnelle à la 4ème puissance de la longueur d'onde du photon

$$N = Cte / 4$$

[I.4]

Si 100 photons sont présents, N sont diffusés en moyenne.

B. Atténuation extrinsèque

Il existe une deuxième cause qui peut engendrer des pertes, elle se réside dans la façon dont les liaisons sont mises en œuvre.

Les pertes sont dues à :

- a. **Pertes dues aux courbures** : Les obstacles sur terrain peuvent nécessairement nous obliger à courber la fibre optique afin de les franchir. À l'intérieur du câble cette fibre suit un trajet hélicoïdal, c'est une courbure.
- b. **Pertes dues aux micro-courbures** : Dans une transmission par fibre optique, la fibre peut entrer en contact avec les éléments constitutifs du câble, ce qui peut créer des micro-courbures.
- c. **Pertes dues aux connexions** : Les épissures qui relient les extrémités d'une fibre optique d'une façon permanente, ainsi que les raccordements entre la fibre et les équipements d'émission et réception, peuvent introduire des pertes. On peut citer par exemple :
 - Décalage axial
 - Décalage angulaire
 - Distance entre deux fibres

2. Dispersion

Les impulsions lumineuses qui traversent la fibre ont tendance à s'étaler, principalement à cause des temps de propagation différents. Ce phénomène est désigné globalement du nom de dispersion.

Dans une fibre optique la dispersion est la somme de deux composantes principales :

- La dispersion modale.
- La dispersion chromatique.

A. Dispersion modale

Dans une fibre optique multimode se propagent plusieurs modes, chacun avec une vitesse différente propre à chaque longueur d'onde. L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur.

Considérons une fibre à gradient d'indice à l'intérieur de laquelle se propagent trois modes, effectuant des parcours différents. Comme l'indice de réfraction n est constant dans tout le cœur, les trois rayons possèdent la même vitesse de propagation.

L'ensemble des retards entre les différents rayons qui composent le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique-électrique. Cette distorsion est la dispersion modale.

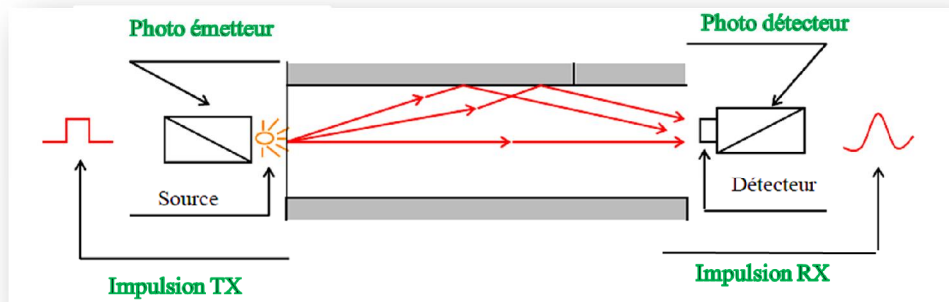


Figure I.10 : dispersion modale

B. Dispersion chromatique

Le paramètre de dispersion chromatique (D) est défini comme la dérivée du temps de propagation de groupe par rapport à la longueur d'onde, pour une longueur de fibre de 1 km. On le donne généralement en ps/(nm.km), les picosecondes correspondant à l'élargissement temporel, les nanomètres à la largeur spectrale et les kilomètres à la longueur de fibre. En fait, la dispersion chromatique est la somme d'un terme de matériau pur (dispersion matériau) et d'un terme dû au guidage de l'onde (dispersion modale).

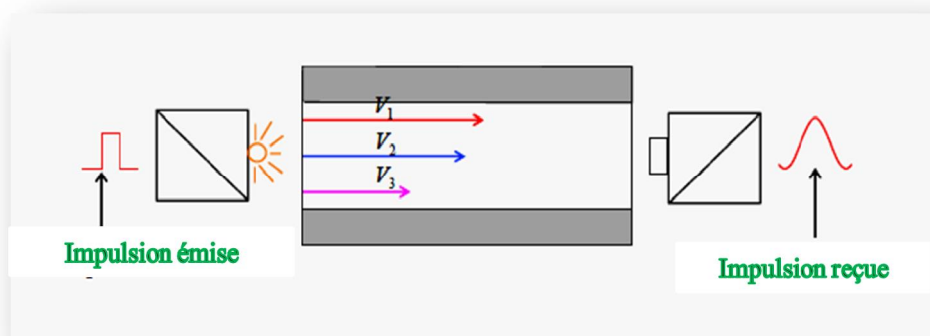


Figure I.11 : Dispersion chromatique

La dispersion chromatique d'une fibre entraîne donc différents temps de propagation et un élargissement temporel des impulsions émises si celles-ci ne sont pas parfaitement monochromatiques. Au bout d'une certaine distance, si cet étalement devient relativement important, un recouvrement générateur d'interférences entre symboles est possible. Cet élargissement se calcule ainsi :

$$\Delta t = D \text{ (ps/nm.km)} * L \text{ (km)} * \Delta \lambda \text{ (nm)} \quad [I.5]$$

Avec D le coefficient de dispersion chromatique de la fibre, L la longueur de la fibre et $\Delta \lambda$ la largeur spectrale de la source.

I.2.4 Amplificateur optique

Lorsqu'un signal optique parcourt une longue distance dans une fibre optique, il connaît une certaine atténuation. Si la distance parcourue est importante, le signal peut devenir bruité ou trop faible pour être détecté. Des amplificateurs sont disposés à intervalles réguliers, actuellement tous les 50-100 km. Deux grandes familles d'amplificateurs existent : les amplificateurs à semi-conducteur et les amplificateurs à fibre dopée.

Notons qu'un signal optique ne peut être amplifié autant de fois que l'on veut. En effet, l'amplification introduit un léger bruit dans le signal, et ce bruit est amplifié par chacun des amplificateurs rencontrés. Ainsi, le signal optique doit être régénéré après la traversée de plusieurs amplificateurs, c'est-à-dire si la distance parcourue est grande, afin d'en éliminer le bruit. Actuellement les signaux optiques sont régénérés tous les 500 km [12]. Récemment, l'utilisation de l'amplification Raman, qui utilise la fibre de ligne comme milieu amplificateur, a conduit à des portées de plus de 3000 km.

I.2.5. Récepteur optique

Le récepteur optique est un dispositif qui permet d'extraire l'information du signal reçu, il est constitué de quatre parties essentielles [3] :

- Un photodétecteur ou photodiode (PN, PIN ou APD)
- Un convertisseur courant tension.
- Un amplificateur.
- Un circuit de traitement de l'information.



Figure I.12 : Schéma bloc d'un récepteur optique

La photodiode fonctionne en réception comme générateur de courant. Elle convertit, avec un certain rendement, la puissance optique P_{opt} délivrée par la photodiode en courant électrique I_{ph} . Ce courant est ensuite converti en tension par une résistance de charge R_L puis amplifié avant de subir un traitement électronique [10].

I.2.5.1. Photodétecteur

Le photodétecteur est un composant essentiel dans les communications par fibre optique. Son rôle est de convertir la puissance optique reçue en une énergie électrique. Sous l'effet d'un photon d'énergie suffisante, un électron de la bande de valence est arraché et passe dans la bande de conduction produisant ainsi une paire de porteurs (électrons libres). Sous l'effet d'un champ électrique, ces porteurs sont dissociés et génèrent un photon de déplacement.

Le photon incident ne peut être absorbé que si son énergie $h\nu$ est au minimum égale au GAP (E_g) du matériau :

$$h\nu \geq E_g \quad [I.6]$$

I.2.5.2. Photodiode PIN

Les photodiodes PIN sont composées de deux régions P et N séparées par une région faiblement dopée ou intrinsèque. Différents matériaux sont utilisés selon la longueur d'onde détectée dans les trois fenêtres optiques. Les photodiodes à base de silicium ou de GaAs sont utilisées pour la longueur d'onde 0,85 μm , et celles à base de InGaAs pour les longueurs d'onde 1,3 et 1,55 μm .

Pour la détection, la photodiode PIN fonctionne en polarisation inverse, ce qui implique que la région neutre soit complètement désertée des porteurs. Lorsqu'un photon incident possède une énergie supérieure à la bande interdite du semi-conducteur de la photodiode, une paire électron trou est créée à cause de l'absorption du photon. Des porteurs seront créés dans la zone délaissée, qui seront séparés par le champ électrique dans cette zone, et collectés sur les bords de la jonction polarisée en inverse. Ceci donne lieu à un courant dit

courant photoélectrique, qui est relié linéairement à la puissance optique incidente par la relation

$$I_{ph} = R_{ph} \cdot O_{opt} \quad [I.7]$$

Où R_{ph} est la responsivité de la photodiode, qui dépend de plusieurs paramètres, dont notamment la hauteur de la bande interdite du semi-conducteur, le dopage, l'épaisseur des zones P, i et N et les longueurs d'onde [13].

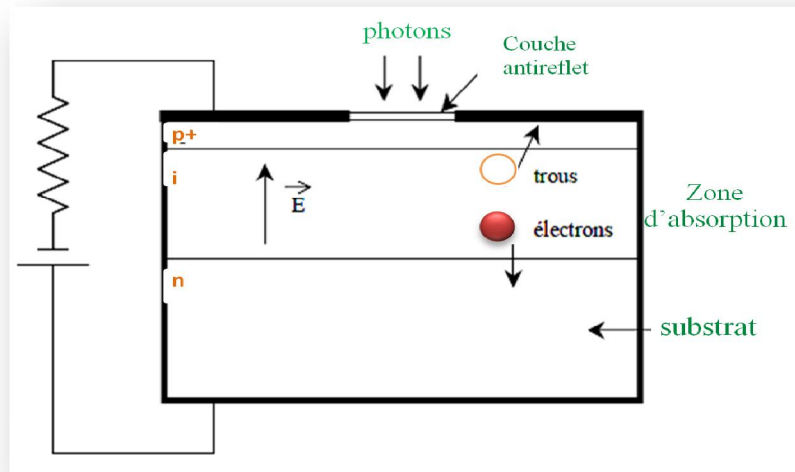


Figure I.13 : Photodiode PIN

I.2.5.3. Photodiode à avalanche

Si la photodiode PIN peut être opposée à la diode électroluminescente pour son fonctionnement (un photon créant un électron libre), la photodiode à avalanche pourra être comparée à la diode laser, le rapport entre photons et électrons étant dans ces deux composants supérieurs à 1. Dans la photodiode à avalanche, un photon va être créateur de plusieurs électrons libres, générant ainsi un courant important.

La photodiode à avalanche (avalanche photodiode, APD) est une photodiode utilisée dans des conditions particulières, qui permettent d'augmenter la sensibilité et d'améliorer la rapidité. Son symbole est le même que celui de la photodiode.

La photodiode est polarisée avec une tension inverse légèrement inférieure à la tension de claquage. Les porteurs créés par effet photoélectrique ont une énergie cinétique suffisante pour créer de nouvelles paires électrons-trous par collisions ionisantes dans la zone de transition. Les nouveaux porteurs eux-mêmes, accélérés par le champ électrique inverse, vont

donner naissance à d'autres paires électron -trous et ainsi de suite. Il s'agit d'un phénomène d'avalanche.

Le courant d'origine photoélectrique est multiplié par un facteur (facteur de multiplication) dépendant de la tension inverse [14].

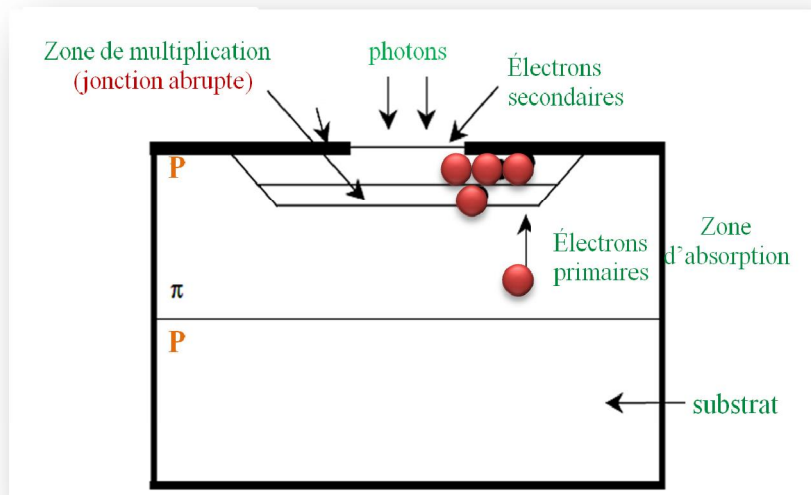


Figure I.14 : Structure d'une photodiode à avalanche

I.3. 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, on a vu le récepteur optique avec le principe de photodétection et une description de deux exemples de photodétecteurs : PIN et avalanche. Le chapitre suivant sera consacré à la technologie de multiplexage.



Chapitre II

Techniques de multiplexage

II.1. Introduction

Ce chapitre répond à la question de savoir comment exploiter les dizaines de térahertz de bande passante spectrale disponibles dans la fibre optique, La technique générale utilisée est le multiplexage dans le domaine optique ce qui signifie que la capacité de la fibre est divisée par des moyens optiques en plusieurs canaux accessibles individuellement et indépendamment.

La division de la bande passante en canaux peut être réalisée comme en électronique dans la dimension temporelle ou dans la dimension des fréquences (ou longueurs d'onde), le premier cas on parle de multiplexage temporel (Time Division Multiplexing, TDM), du PDH (Plesiochronous Digital Hierachy) et du SDH (Synchronous Optical Network). Le second cas de multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, WDM), et du DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) qui est la technologie la plus utilisée.

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) [15] est apparue dans les années 70 avec la numérisation des communications téléphoniques. Ses débits de transmissions limités (ne dépassant pas 140 Mbits/s), sa structure de multiplexage non flexible et l'apparition de la fibre optique sont autant de facteurs qui expliquent le passage à la hiérarchie numérique synchrone SDH (correspond à SONET aux Etats-Unis) afin de supporter la croissance accrue de demande en bande passante.

Le multiplexage en longueur d'onde (WDM,), est l'une des technologies qui a permis le rapide essor mondial de l'internet ces dernières années. Alors que le débits par canal en multiplexage temporel (TDM) a augmenté de 2.5 Gbits/s à 10 Gbits/s et va bientôt atteindre 40 Gbits/s, le WDM, basé sur la multiplication de la capacité de transmission des fibres optiques par la combinaison de 2 à 160 canaux sur une même fibre, a réduit fortement le coût par bit, favorisant l'augmentation de la capacité de transmission des réseaux à longue distance. [18]

II.2. Le multiplexage temporel

Le TDM (Time Division Multiplexing) consiste à découper la bande passante de la fibre optique en unités de temps, que vont se partager les différentes communications. Cela permet donc à un émetteur de transmettre plusieurs canaux numériques élémentaires à faible débit sur un même support de communication à plus haut débit. Les informations importantes à retenir sont :

- Répartition du temps d'utilisation entre les communications
- Chaque signal est commuté à tour de rôle à grande fréquence

Voici un schéma permettant d'illustrer le découpage en temps entre les différentes connexions :

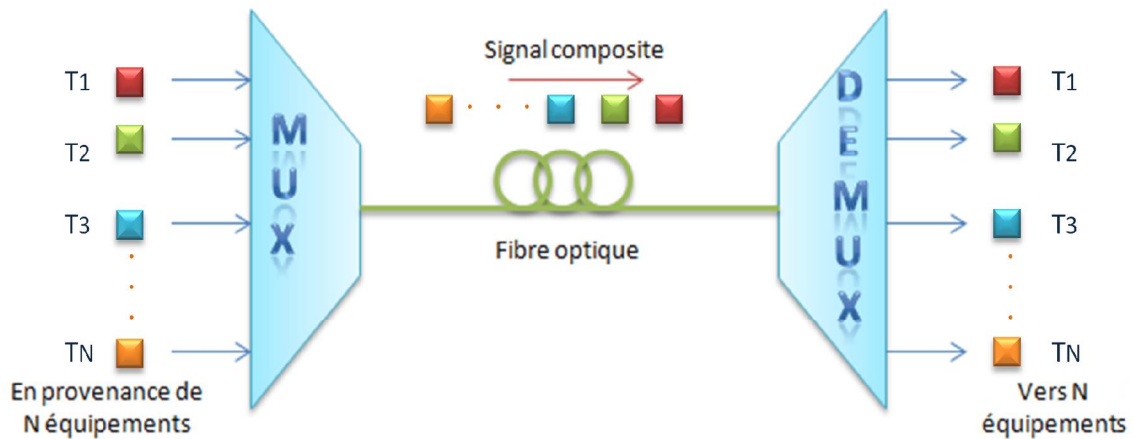


Figure II.1 : principe de multiplexage temporel

II.3. Le multiplexage en longueur d'onde

Le WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à mélanger plusieurs signaux optiques sur une même fibre optique (SDH signal, IP package, ATM cells, etc.), afin de multiplier la bande passante de celle-ci. [18]

Les signaux sont portés par des longueurs d'ondes différentes, et espacées assez largement afin de ne pas interférer les unes avec les autres. Ce procédé nécessite l'utilisation de matériel spécifique, en entrée : un multiplexeur ; et en sortie : un démultiplexeur.

Les informations importantes à retenir sont :

- Allouer des fractions de la bande passante à chaque communication
- Répartir les signaux dans un espace de fréquences (longueur d'onde)

Voici un schéma permettant d'illustrer le découpage en longueur d'onde entre les différentes connexions :

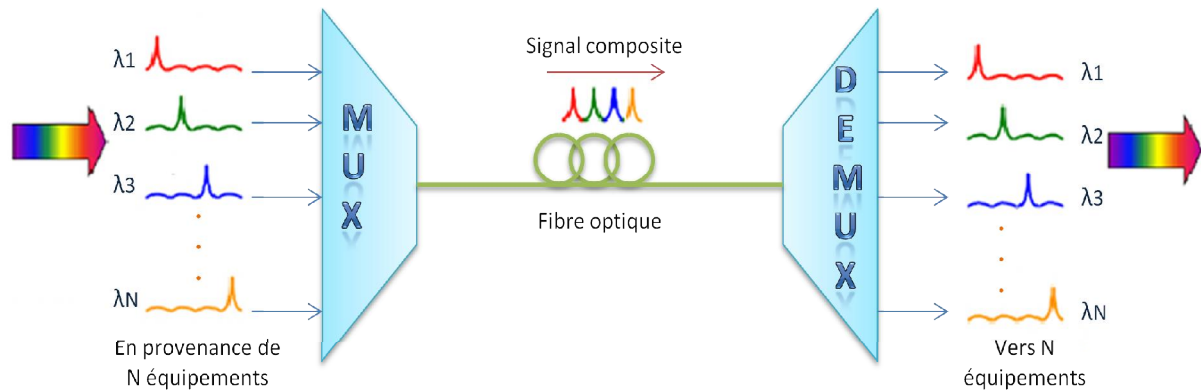


Figure II.2 : principe de multiplexage en longueur d'onde

II.3.1. Les types de multiplexeur WDM

Il existe plusieurs technologies WDM, elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploités dans une fibre.

La technologie WDM est dite dense (D-WDM) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz. Des systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques.

Pour des espacements encore plus faibles, on parlera de U-WDM (Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing). Ainsi, des systèmes à 10 GHz (0,08 nm) permettent d'obtenir 400 canaux optiques.

Les systèmes WDM / DWDM les plus commercialisés aujourd'hui comportent 8, 16, 32, 80 canaux optiques, ce qui permet d'atteindre des capacités de 80, 160, 320, 800 Gb/s en prenant un débit nominal de 10 Gb/s. On peut atteindre une capacité de 4 000 Gb/s (4 Tera b/s) avec 400 canaux optiques à 10 Gb/s, en technologie U-DWDM.

Le tableau II.2 indique les différentes caractéristiques des techniques de multiplexage WDM, DWDM, U-DWDM et CWDM.

Types	Fenêtres Spectrales	Espacements (nm)	Nombre de canaux	Débits potentiels
CWDM	1270-1610 nm	1,6 - 0.8	8 - 16	2.5 à 5 G
WDM	1530-1565 nm	0.6	32	320 G à 1.28 T
D-WDM	1530-1565 nm	0.4 - 0.2	80 - 160	3 T à 12 T
U-DWDM	1530-1565 nm	0.08	400	10 T à 40 T

Tableau II.1 : Propriétés de technique WDM

II.4. Le développement des multiplexeurs

La bande passante des fibres optiques permet théoriquement l'établissement de systèmes de transmission à des débits très élevés. Cependant, le traitement électronique des données, à l'émission et à la réception, impose des limitations en termes de débits, dues aux composants électroniques dont la bande passante reste bien en deçà de celle accessible par l'optique.

L'augmentation du nombre d'utilisateurs et de la quantité d'informations échangées dans les réseaux de communication a poussé au développement de solutions pour augmenter la capacité des réseaux, et profiter de l'avantage en bande qu'offre la fibre optique. Des techniques de multiplexage ont ainsi été développées, la première est la technique du PDH ensuite le SDH et en fin le D-WDM, chacune permettant de transmettre N signaux de débit D sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal global de débit $N \times D$.

II.4.1. Le multiplexeur PDH

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour la transmission de données dont le protocole s'occupera du contrôle. Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux 1 suivi d'un bit du 2, puis le 3 et enfin le 4. [15]

L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé. La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des

techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s (voir la figure III.2). Ces débits en Europe sont nommés E_i avec E_1 correspondant à 2 048 kbit/s, E_2 correspondant à 8 Mbit/s, E_3 correspondant à 34 Mbit/s, E_4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé) et E_5 correspondant à 560 Mbit/s mais n'ayant jamais été normalisé. L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH.

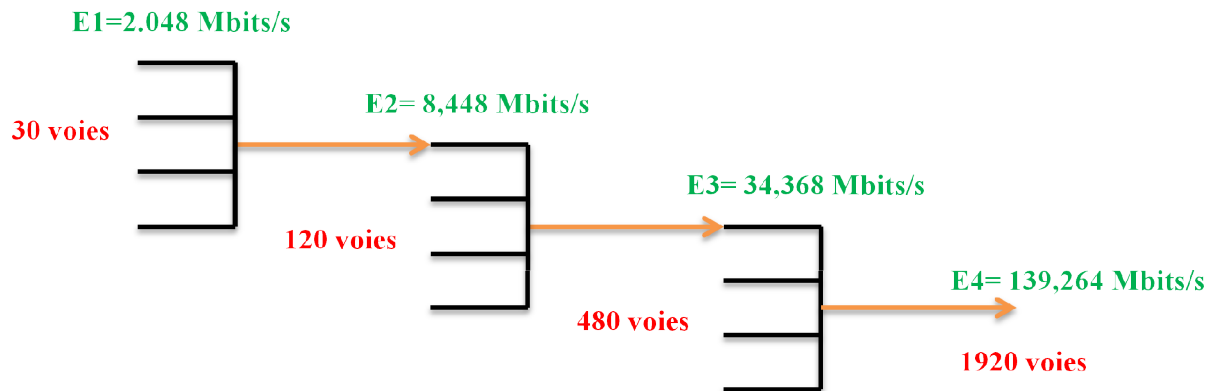


Figure II.3 : Multiplexeur PDH 140 Mbits/s

1. La trame à 2 Mbits/s

C'est le premier niveau hiérarchique dans le système PDH, elle correspond à 30 voies téléphoniques, plus deux voies de signalisation. Elle est généralement issue d'un équipement MIC de 30 voies. La durée d'une trame est de $125\mu\text{s}$, correspond à 32 intervalles de temps. La durée d'intervalle de temps (chaque voie) correspond à $3,9\mu\text{s}$ et a un mot de 8 bits, chaque trame a un mot de 256 bits. Son débit réel pour le système Européen est $d = 256 / 125\mu\text{s} = 2,048 \text{ Mbits/s}$.

Le multiplexage dit numérique est du multiplexage à répartition dans le temps. Le canal de transmission transmet séquentiellement les informations relatives à chacun des signaux multiplexés.

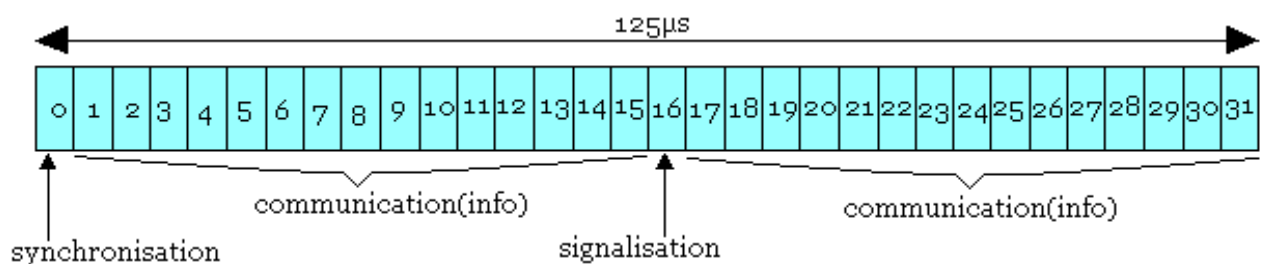


Figure II.4 : Structure de la trame E_1

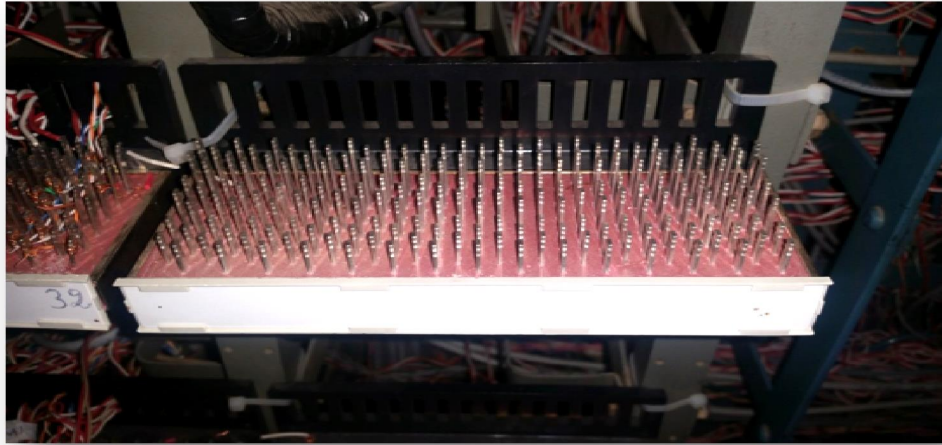


Figure II.5 : Réglette E1 de 32 IT

2. La trame à 8 Mbits/s

Le TN2 est couramment appelé train numérique à 8 Mbits/s. Il est composé de 4 trains de 2,048 Mbits/s nous donne 8,192 Mbits/s mais on y ajoute 256 Kbits/s qui nous donne 8448 Kbits/s, le TN2 possède 120 voies téléphoniques.

3. La trame à 34 Mbits/s

4 TN2 sont combinés à l'aide d'un multiplexeur appelé TNM 8/34 pour former une trame à 34 Mbits/s : le TN3, de 480 voies. Le débit réel est 34368 Kbits/s parmi lesquels on a 33792 Kbits/s de 4 trames à 8 Mbits/s et 576 Kbits/s de bourrage.

4. La trame à 140 Mbits/s

Pour l'entrelacement temporel, les signaux à 34 Mbits/s, on définit une trame qui contient 2928 bits et qui a une période de 2103 μ s. C'est le train numérique à 140 Mbits/s, ce train est obtenu par le multiplexage de 4 trains à 34 Mbits/s.

5. Inconvénients des systèmes PDH

- Il est difficile à identifier un canal PDH dans le système supérieur.
- La capacité est insuffisante pour administrer le réseau.
- La majorité des réseaux PDH sont propriétaires (tous les droits réservés)
- Il n'y a pas une définition standard pour les capacités de 140 Mbits/s.
- Il existe différentes hiérarchies en fonctionnement dans le monde donc les équipements spéciaux pour relier deux systèmes sont requis.

Ces différentes limitations ont conduit à des recherches aux Etats Unis d'une part et en Europe d'autre part pour créer un nouveau protocole pour le transport des données à très haut débit.

II.4.2. Le multiplexeur SDH

Les sigles "SONET" et "SDH" sont mis pour "Synchronous Optical Network" proposé par les Etats Unis en 1986, et pour "Synchronous Digital Hierarchy" proposé par les Européens en 1988. Ces termes désignent des ensembles de protocoles reliés à l'utilisation de la fibre optique dans les réseaux. [15]

Les réseaux SDH les plus déployés sont aujourd'hui des réseaux combinant les niveaux STM 1 (155 Mbit/s), STM 4 (622 Mbit/s), STM 16 (2,5 Gbit/s) et le STM 64 (10 Gbit/s), (voir la figure III.7).

La technologie SONET/SDH utilise un multiplexage temporel à travers des multiplexeurs appelés ADM (Add and Drop Multiplexer) ou MIE (Multiplexeur à Insertion/Extraction) Le multiplexeur terminal (TM, Terminal Multiplexer) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones (PDH) dans un signal de ligne STM-1 résultant. Les répéteurs-régénérateurs sont des équipements qui permettent, dans une transmission longue distance, d'amplifier et de remettre en forme le signal optique. La technologie SDH se retrouve aussi bien en topologie point à point, bus et surtout anneau. Il faut préciser que le principal support est la fibre optique sur laquelle il est possible d'utiliser un multiplexage WDM (multiplexage en longueur d'onde). La technologie SDH est donc, souvent, couplée à une technique WDM quand elle relie deux ADM distants. Ceci permet de ne pas avoir à multiplier le nombre de fibres entre 2 localités.

STM-1=155 Mbits/s

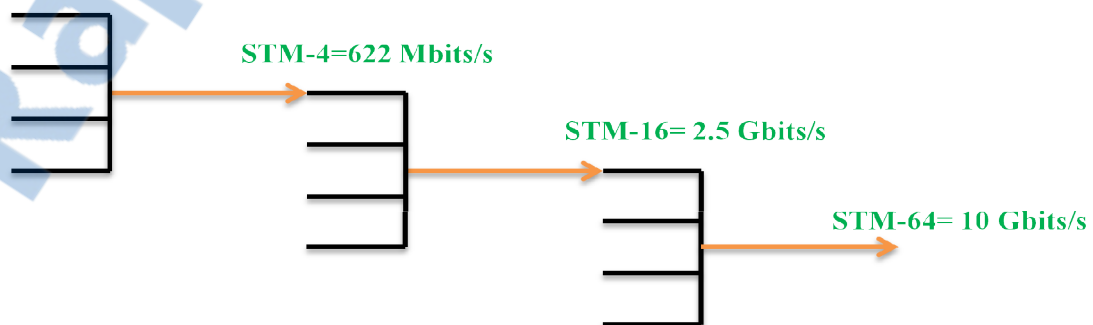


Figure II.6 : Multiplexeur SDH 10 Gbits/s

1. La trame STM-n

Les signaux à transporter proviennent des liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrone. Pour faciliter leur transport, on les accumule dans un conteneur virtuel (VC : Virtuel Contener). Ce paquetage est appelé adaptation. Il y'a différent conteneur virtuel dans chaque type de signaux à transmettre. [16][17]

À l'aide d'un logiciel « U2000 LCT Client », on peut configurer et contrôler les différentes cartes du SDH, les différents niveaux du STM, et le nombre des VC dans la trame.

Le tableau suivant, présente les différents conteneurs existants, leurs débits et le nombre qu'une trame de STM-1 peut prendre, le nombre change selon le besoin (exemple : 1 STM-1 peut prendre aussi 1 VC-3 et 34 VC-12).

Virtuel contener	Débits	Nombre dans une trame STM-1
VC-12	2 Mbits/s	63
VC-3	34 Mbits/s	3
VC-4	140 Mbits/s	1

Tableau II.2 : caractéristiques des conteneurs dans un STM-1 de 155 Mbits/s

2. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Les multiplexeurs insertion - extraction (add-drop) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est ".
- dérivation : insertion/extraction de signaux numériques plésiochrones et/ou Synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou "Est ".
- des fonctions de brassage de VC12 ont été introduites dans le MIE.

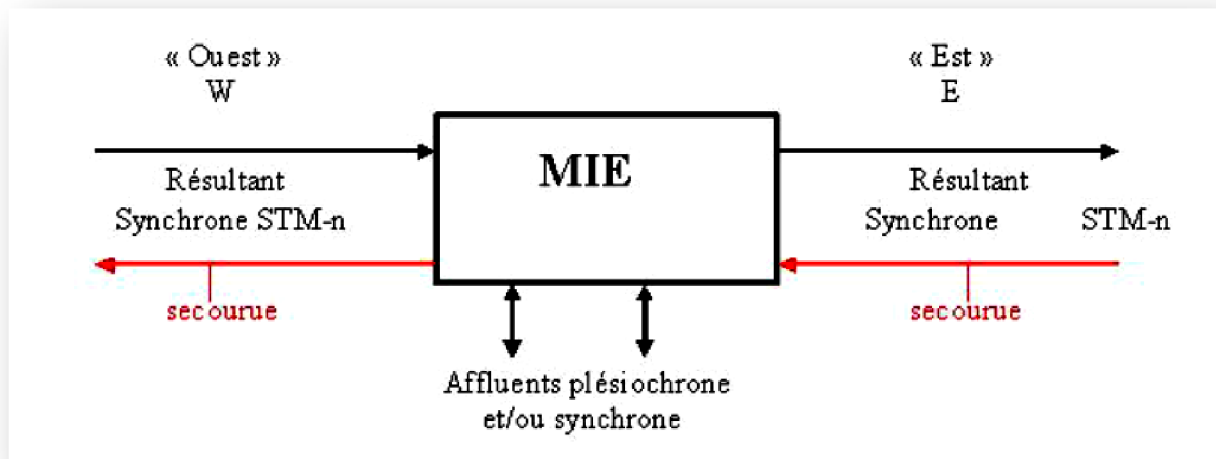


Figure II.7 : Les fonctions du multiplexeur MIE

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour longue distance, on n'installe un MIE sans cartes affluents pour régénérer le signal. L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2 Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

3. Multiplexeur Terminal Simplifié

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant. Dès lors on ne parle plus de configuration en anneau mais de configuration en point à point. Il existe deux configurations en point à point possible. La première reliant deux MTS et la seconde reliant un MTS à un MIE qui est lui en anneau.

La première configuration est utilisée pour une LS par exemple en optique ou pour une boucle optique STM-1 avec deux sites différents. La seconde solution est la plus employée au sein du réseau des Opérateurs tel que France Telecom car l'avantage du MTS est son nombre important d'entrée/sortie d'affluent 2 Mbit/s venant le plus souvent de la commutation pour relier les autocommutateurs publics entre eux et desservir des baies d'abonnées distantes de l'autocommutateur où l'anneau optique ne passe pas. Ceci correspond à une architecture présentée dans la figure suivante :

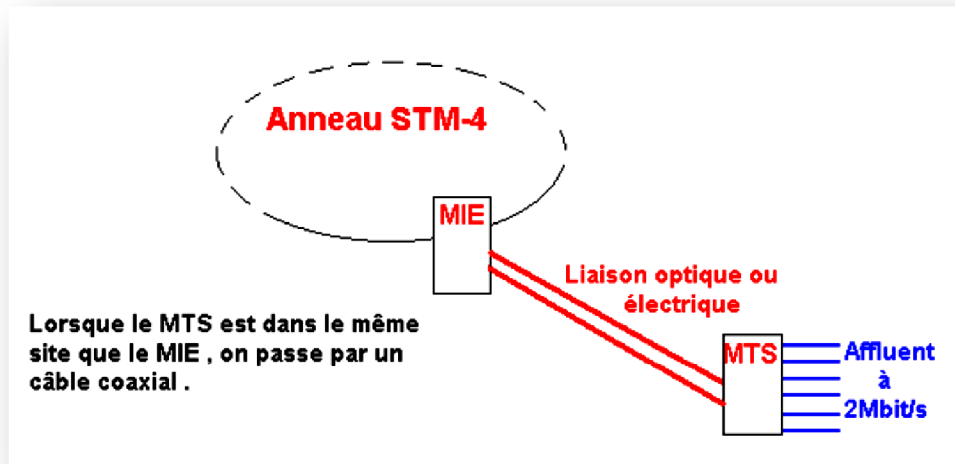


Figure II.8 : Architecture du MTS

4. Brasseur

Parmi les raisons qui ont conduit à définir un brasseur numérique basé sur les nouvelles normes de la hiérarchie numérique synchrone SDH figure celle d'utiliser plus efficacement la largeur de bande allouée. En technologie plésiochrone la réorganisation du trafic demande des démultiplexages successifs et coûteux jusqu'au niveau le plus bas de la hiérarchie. Par contre, grâce aux techniques simplifiées de multiplexage et démultiplexage synchrone, le brasseur peut apporter une grande souplesse dans la réallocation dynamique des ressources, ce qui optimise la capacité offerte par les artères de transmission. [17]

Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseau, les transferts de VC entre boucles ou sous réseaux. Ces brasseurs sont des équipements de forte capacité et ils sont donc situés aux nœuds importants du réseau. Le brasseur est composé de plusieurs modules : module d'entrée et de sortie, module de matrice, module d'horloge et module de commande.



Figure II.9 : équipement d'un brasseur optique

5. Avantages et inconvénients des systèmes SDH

Les avantages du système SDH, sont :

- La première raison pour la création de SDH a été pour donner une solution aux problèmes entre opérateurs pour que leur équipements puissent communiquer entre eux c'est-à-dire un "multi-vendor interworking", là où les équipements d'un réseau SDH sont compatibles avec un autre et même pouvant remplacer les interfaces différents.
- Le deuxième avantage est que le système SDH est synchrone, il supporte un seul niveau de multiplexage et de démultiplexage.
- Celui-ci élimine la complexité des équipements donc la réduction du coût et l'augmentation de la qualité du signal (il ne subit pas assez de transformation).

Parmi ces inconvénients, on cite :

- Limite du multiplexage synchrone atteinte (débits de 10 Gbits/s)
- Débit insuffisant pour les réseaux nationaux
- La capacité de la fibre peut être multipliée avec le multiplexage en longueur d'onde : D-WDM
- 40x2.5 Gbit/s : plus facile et moins cher que 1x40 Gbit/s.

II.4.3. Le multiplexeur D-WDM

Le multiplexeur a un double rôle. Il s'agit d'abord de changer les longueurs d'onde des signaux entrants en utilisant des transpondeurs, et ensuite les multiplexer sur un seul support physique. Lorsque des signaux clients arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même s'ils proviennent d'émetteurs différents (c'est le cas de SDH où tous les signaux sont envoyés sur une seule longueur d'onde de 1300 nm ou 1550 nm). Etant donné qu'il est inacceptable de transmettre deux fois la même longueur d'onde sur un même lien optique au risque d'interférence, c'est le transpondeur qui se charge du changement des longueurs d'onde. [18]

Les transpondeurs constituent les interfaces d'émission et de réception des signaux optiques dans un système WDM. Leur fonction consiste à transformer un signal client (SDH, PDH, Ethernet,...) en un signal optique associé à une longueur d'onde WDM. Une fois les signaux optiques définis, ils seront multiplexés sur un signal WDM qui est transmis sur le support physique. Ce signal peut subir des amplifications et régénérations pour faire face aux atténuations possibles tout au long de la liaison optique.

A la réception, le démultiplexeur agit comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'onde données. En connaissant les longueurs d'onde circulant dans le support optique, le démultiplexeur peut donc retrouver l'intégralité des signaux qui ont été multiplexés au départ. Des transformations de longueurs d'onde sont ainsi réalisées, grâce aux transpondeurs, pour récupérer les signaux clients originaux (signaux SDH par exemple).

Parmi les éléments constituant un réseau D-WDM, ou ce qu'on appelle NE (Network Element), on cite quatre éléments essentiels [19] [20] :

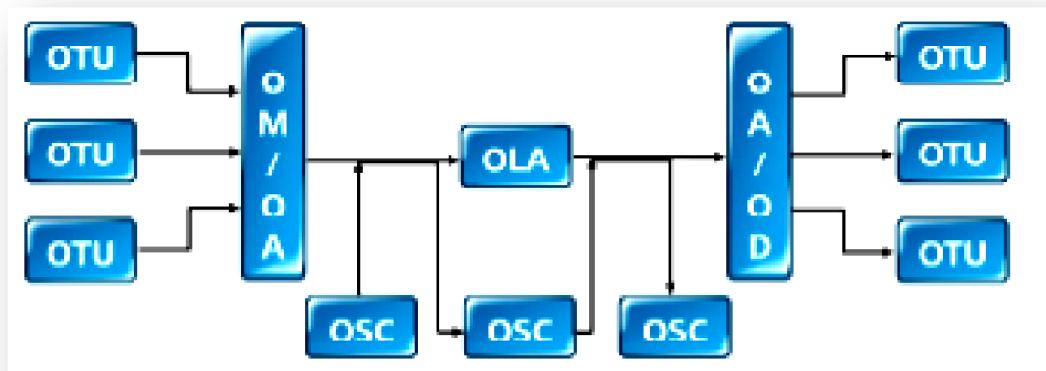


Figure II.10 : Composition du système D-WDM

1. Les multiplexeurs terminaux

Le multiplexeur terminal OTM (Optical Terminal Multiplexer) optique réalise le multiplexage de n signaux optiques ($n=4, 16, 32, \dots$) de longueurs d'ondes différentes.

A l'émission, l'OTM reçoit les signaux STM-N de n longueurs d'onde ($1 \leq n$) à partir d'un équipement client (ex : équipement SDH), convertit ces signaux, multiplexe, amplifie, ajoute le canal de supervision et puis les envoie sur la fibre optique.

A la réception, l'OTM traite d'abord le canal de supervision et ensuite démultiplie les n signaux dans des canaux individuels et les distribue à l'équipement client correspondant.

2. Les multiplexeurs Add-Drop

OADM (Optical Add-Drop Multiplexer), cet élément de réseau réalise le transfert ou l'insertion-extraction d'une ou plusieurs longueurs d'ondes. Il se constitue d'un ensemble de multiplexeurs qui rajoutent ou enlèvent une ou plusieurs longueurs d'ondes vers la destination appropriée sur le réseau, et toutes ces opérations sont faites sans passer par une conversion électrique du signal.

3. Les amplificateurs de ligne

OLA (Optical Line Amplifier), il consiste à réaliser en ligne une amplification de l'ensemble du spectre optique. Toutes les longueurs d'ondes du spectre se trouvent ainsi ré-amplifiées sans avoir besoin de démodulation individuelle. Les gains des amplificateurs optiques varient entre 20 et 30 dB, ce qui permet de récompenser les pertes de la liaison sur des distances de l'ordre de 100 km.

4. Les régénérateurs électriques (REG) :

Un REG met en œuvre la fonction 3R (reshaping ,re-timing ,regenerating). C'est-à-dire remodeler, resynchroniser et régénérer, afin d'améliorer la qualité du signal et étendre la distance de transmission. Une station REG contient :

- Unité de transpondeur optique (OTU) : Les fonctions principales pour OTU consistent à convertir la longueur d'onde entre les signaux clients et le wdm.
- Multiplexeur optique (OM) : Les fonctions principales pour OM sont de multiplexer les canaux individuels dans le chemin principal.

- Démultiplexeur optique (OD) : réalise la conversion inversée.
- Amplificateur optique (OA) : Est utilisé pour compenser les pertes de ligne ou les pertes d'insertion de composant pour réaliser une longue distance de transmission.
- Unité de canal de supervision optique ou électrique (OSC/ESC) : Il existe deux méthodes pour la gestion, la différence est que l'ESC dépend des cartes OTU et OSC dépend des cartes SC1 / 2.

5. Avantages du système D-WDM

- économie sur l'infrastructure optique.
- économie sur les équipements régénérateurs.
- solution économiquement favorable sur de longues distances uniquement.
- pas d'indicateur de qualité de transmission. Les couches supérieures s'en chargent : SDH ou IP.
- transparence de la transmission : signaux ATM, IP, SDH...
- solution en anneau de faible portée. Pour permettre des topologies avec redondance. Sur la longue distance, les couches supérieures s'en chargent. Les mécanismes de commutation du normal sur secours ou re-routage sur un autre chemin intégrés aux couches SDH, ATM ou IP réalisent le basculement.

II.5. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les systèmes de multiplexage, temporel « TDM » et en longueur d'onde « WDM », leurs caractéristiques, avantages et inconvénient. Nous avons décrit brièvement les réseaux de transport PDH, SDH et DWDM, et la construction de ces multiplexeurs à travers quelques concepts technologiques permettant de comprendre le fonctionnement de ces réseaux.

Nous avons également conclu que le débit maximal de transmission du multiplexeur PDH est de 140 Mbit/s, et du SDH 10 Gbits/s, ces limitations ont menés à l'apparition du multiplexeur DWDM qui est le multiplexeur le plus utilisable de nos jours, avec ces nombres de canaux qui atteints 80 avec un débit de 10 Gbit/s dans chaque canal.

Chapitre III

Installation d'une liaison optique

III.1. Introduction

L'étude théorique de la liaison par fibre optique du premier chapitre, nous a permis de comprendre le rôle majeur de ce moyen de transmission dans les réseaux de télécommunication modernes.

Ce chapitre présente la description d'un projet effectué par Algérie Télécom, qui consiste à installer une liaison par fibre optique reliant la wilaya de Tlemcen à la wilaya de Sidi Belabbes. On va commencer par la présentation de cette liaison, ensuite par les étapes d'installation de la fibre optique sur terrain, et enfin, on termine par le centre de transmission (CT) et les différents équipements utilisés dans cette liaison optique.

III.2. Liaison optique Tlemcen-Sidi Belabbes

En Algérie, l'institution responsable des communications est « Algérie Télécom », qui est une entreprise publique algérienne de télécommunication. Elle a été créée le 10 avril 2003 d'une séparation des activités postales et télécommunications des anciens services de PTT. Ses activités comprennent la téléphonie fixe, la téléphonie mobile, Internet et les télécommunications par satellite.

La réalisation d'un projet nécessite avant tout, une étude théorique, des calculs et des mesures sur terrain. Le projet est l'installation d'une liaison par fibre optique qui relie deux wilayas « Tlemcen et Sidi Belabbes », via la zone de « Ouled Mimoune » là où se divise la liaison pour relier d'autres zones possibles.

La liaison passe par des différentes stations, en route se fait l'installation de la fibre optique, 16 FO utilisées, chaque 2 Km on installe une chambre avec un joint optique pour raccorder les deux fibres optiques à la fin du projet (la méthode de raccordement sera présenté dans le dernier chapitre). La figure II.1 présente le schéma de cette liaison qui illustre toutes les informations nécessaires.

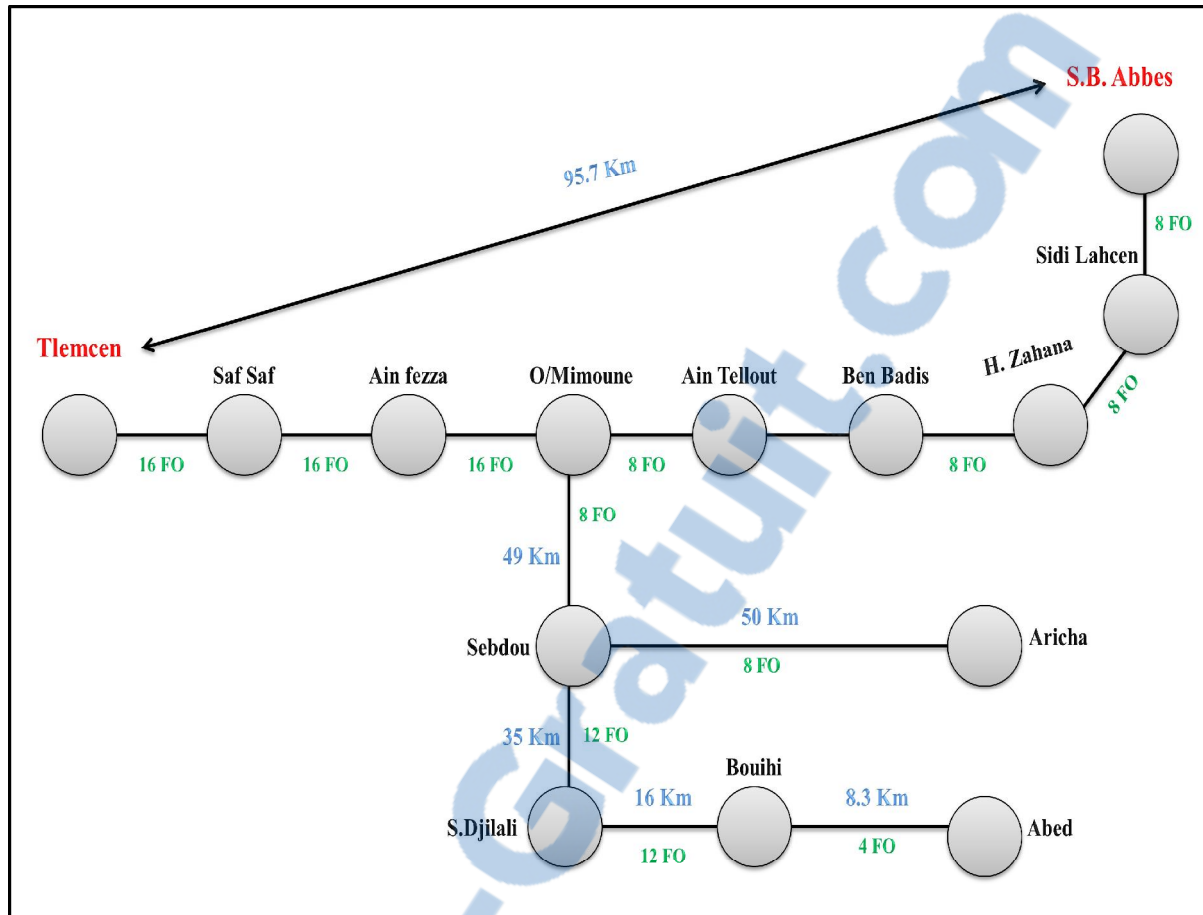


Figure III.1 : FO Tlemcen-S.B.Abbès via O/Mimoune

III.3. Installation de la fibre optique

Après l'étude du projet et du schéma de la liaison optique, l'étape suivante sont les travaux de construction de génie civil sur terrain, une infrastructure d'accueil de réseaux optiques est constituée de plusieurs éléments [24]:

- les fourreaux : conduites dans lesquels les câbles sont mis en place. [23]
- les chambres : regards de visite (espaces) aménagés dans le sous-sol, reliés entre eux par les fourreaux, depuis lesquels on accède aux dits fourreaux pour y dériver et raccorder les câbles.
- les locaux techniques : espaces d'hébergement des équipements passifs ou actifs d'interconnexion des réseaux.

III.3.1. Les fourreaux

III.3.1.1. Les types de fourreaux

Deux types de fourreaux sont possibles : ceux en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) et en PVC (Polychlorure de vinyle).

Le PEHD semble tout indiqué dans le déploiement de fourreaux sur de la longue distance (intra-commune, département) du fait de la mécanisation possible. Ensuite concernant le déploiement local, le choix peut se porter soit sur le PEHD soit sur le PVC, en fonction du budget ou de la mutualisation du matériel dans le cadre d'un enfouissement. En règle général la pose de PEHD se fait plutôt en campagne et la pose de PVC plutôt en ville.

a. Fourreaux PEHD

Ce type de fourreaux a plusieurs avantages, citons :

- Identification des tuyaux facile tous les mètres par un sigle au choix ou trait de couleurs, cela permet une
- facilité de gestion et de maintenance.
- Facilité de soudage par électrofusion donc fourreaux d'un seul tenant entre 2 chambres (ne pas oublier de
- laisser dépasser d'environ 30 cm dans les chambres pour mettre la chaussette).
- Très bon coefficient de glissement pour les sous tubage.
- Facilité de transport (tube enroulé et livré sur touret).
- Installation mécanisée possible (rapidité de mise en œuvre+ possibilité de tranchée de petites dimensions).
- Permet la pose de câble par portage grâce à son étanchéité des joints et sa résistance à la pression.
- permet la pose de câbles sur de plus longues distances.

Ces inconvénients sont :

- Surcoût direct (mais absorbé au moins en partie par le gain de main d'œuvre pour la pose).
- Mise en œuvre mal adapté pour les conduites de grosses capacités

- Mal adapté pour les courtes distances car cela repose une pose mécanisé qui perd son sens sur les courtes distances.



Figure III.2 : Fourreaux PEHD

b. Fourreaux PVC

Les avantages de ce type sont :

- Coût inférieur au PEHD,
- Pose maîtrisée par la plupart des entreprises,
- Bien adapté en milieu urbain car on fait de la pose sur des courtes distances.

Parmi les inconvénients, on cite :

- Pose délicate et longue car elle est non mécanisable,
- Matériaux cassant et déformable,
- Contrôle obligatoire de risque d'ovalisation ou de cassure,
- Portage de câble impossible donc limité à des distances courtes.





Figure III.3 : Fourreaux PVC

III.3.1.2 La Pose de fourreaux

Il faut en général (cf. norme NFP 98-332) respecter une distance d'au moins 20 cm en horizontal entre les réseaux, et au moins 10 cm entre un réseau et le bord de la tranchée. Toutefois il est à présent admis de poser un réseau de télécommunications à 5 cm seulement d'un réseau électrique, en utilisant des câbles diélectriques sous fourreau (arrêté du 10 mai 2006 sur les distributions d'énergie électrique). Lors de la pose de fourreaux de communications électroniques à côté d'un réseau électrique à une distance inférieure aux 20 cm réglementaires. Il est préférable de mettre deux grillages avertisseurs ; le rouge pour l'électricité et le vert pour le réseau de communication électronique, même si le rapprochement des deux réseaux fait chevaucher les grillages. [23]

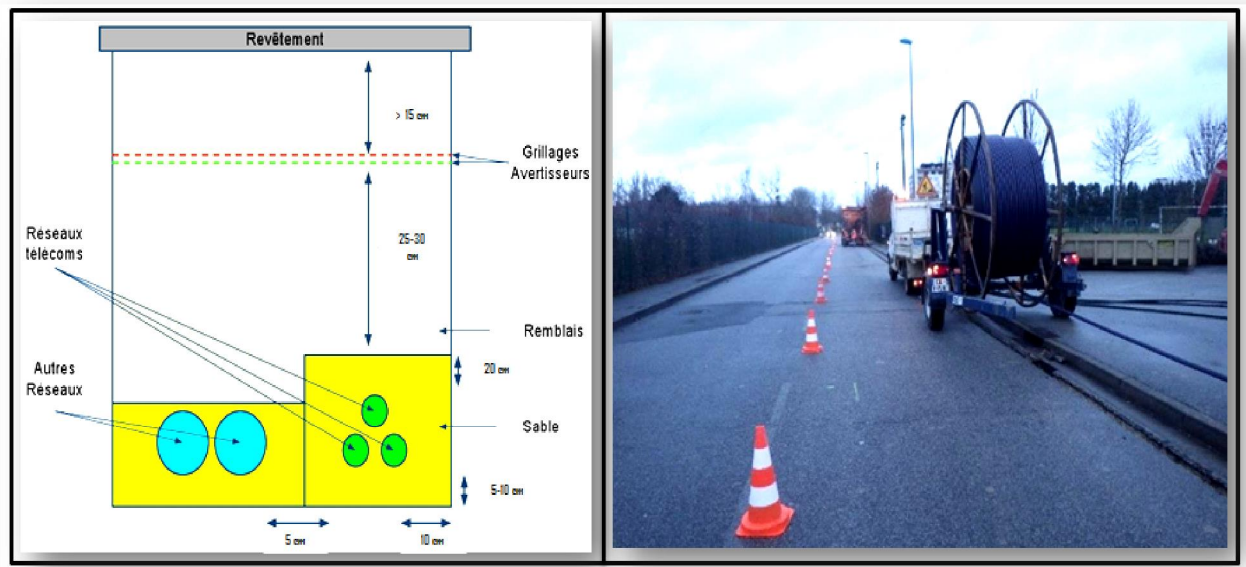


Figure III.4 : La pose de fourreaux

III.3.2. Les chambres de tirage

Lors de la pose de fourreaux, l'installation de chambres à intervalles réguliers est nécessaire. Ces chambres permettent :

- la mise en place des câbles dans les fourreaux, en offrant des points d'entrée et de sortie à ces derniers, ainsi qu'un espace de travail suffisant : ce sont les chambres de tirage/portage (on les désigne généralement par « chambre de tirage », indépendamment de la méthode qui sera réellement utilisée pour mettre en place les câbles).
- la réalisation des changements de direction des câbles, des dérivations et des raccordements, en offrant un espace de stockage pour des sur longueurs de câbles (lovage) et des boîtiers d'épissurage pour l'accessibilité aux câbles et fibres : ce sont les chambres de raccordement ou de dérivation. Les sur longueurs de câble permettent notamment d'intervenir sur les boîtiers d'épissurage dans de bonnes conditions matérielles, à l'intérieur d'un véhicule amené à proximité de la chambre.

En général dans le cadre d'un réseau de collecte, les chambres servent uniquement à effectuer du tirage, du portage de câble optique ou du raccordement de tronçons.

Le réseau de desserte nécessite la possibilité de raccordement ou de mise en place de matériel télécom comme des boîtiers d'épissurage ou des coffrets de brassage.

La distance nominale entre deux sites de chambres de raccordement du réseau de Collecte est de 4 800 m. Cette distance est liée :

- à la longueur des câbles,
- à la technique de portage (typiquement de 4 800 mètres en portage à l'air et 7 200 m en portage à l'eau).



Figure III.5 : Chambre de tirage de fibre optique

III.3.2.1. Les boîtiers de raccordement

Les boîtiers de protection de fibre optique, appelé aussi les joints optiques sont conçus pour fournir une solution flexible permettant de réaliser des raccordements et des dérivations de câbles à fibre optique dans tous les environnements. Ces boîtiers modulaires utilisables avec différentes capacités de cassettes de épissures, peuvent évoluer vers des boîtiers de plus grandes capacités, tout en conservant les accessoires déjà utilisés. Le concept de l'embase séparable en plusieurs ports indépendants de PLP, et sa large gamme de joints d'entrée Gomettes, unique en son genre, fournissent de grandes possibilités pour faire évoluer les réseaux. Ils réduisent le temps d'installation et d'intervention en cas de maintenance.

La figure III.6 ; nous présente ce boîtier installé dans une chambre de tirage, permet de faire le raccordement de deux fibres optiques



Figure III.6 : Un boîtier de raccordement dans une chambre de tirage

III.3.2.2. Les tampons de protection

Les Tampon de protection sont des plaques en fonte qui servent à couvrir les chambres et qui doivent être verrouillables (selon la figure III.6). Pour les chambres L2T/L3T :

Le tampon doit être de classe 125 kN (résistance à une charge de 12,5 tonnes) si la chambre est située dans un espace vert, et de classe 250 kN20 (25 tonnes) si la chambre est située sous un trottoir ou en accotement. Pour les chambres K2C (sous chaussée) : Tampon de classe 400 kN (40 tonnes). Si possible, le tampon sera identifié avec un logo portant le nom du bénéficiaire et/ou le type de réseau (ex. réseau télécom de la ville X).



Figure III.7 : Tampons de protection de chambre

III.3.3. La pose de la fibre optique

III.3.3.1. Le tirage

Le tirage est un mode de pose de la fibre optique dans les fourreaux. Cette méthode consiste à faire passer un câble de tirage dans le fourreau afin de pouvoir tirer ensuite le câble optique préalablement accroché, comme le montre la figure III.7. Le tirage ne peut pas se faire sur des distances trop importantes (au delà d'une centaine de mètres ça commence à devenir limite) car cette technique crée un effort de traction sur le câble, et donc un risque de dommages si la longueur (donc le poids) à tirer est trop élevée.



Figure III.8 : Méthode de tirage de fibre optique

III.3.3.2. Le Portage

Le portage est aussi un mode de pose de la fibre optique dans les fourreaux, il consiste à pousser le câble par air comprimé ou par eau (on appelle alors cette technique flottage) ce qui permet de poser le câble sur de longues distances et de façon rapide (le record actuel est de 3,6 km en un jet d'air). Même si sa performance est élevée, le portage reste une technique peu onéreuse mais qui nécessite d'avoir des fourreaux qui soient étanches et qui résistent à la pression comme le PEHD.

D'après les expériences des techniciens du CG22, la pose de câble fibre optique par flottage sur des longueurs pouvant atteindre 8000 mètres en une seule opération ; poussé dans le tube simultanément rempli d'eau, le câble fibre optique n'est ainsi soumis qu'à de faibles contraintes mécaniques, le flottage semble plus performant que le portage à l'air.

La figure III.9 montre les deux méthodes de portage ; la figure III.9. (a) pour la compression par eau (le flottage), et la figure III.9. (b) pour la compression par air (le soufflage).

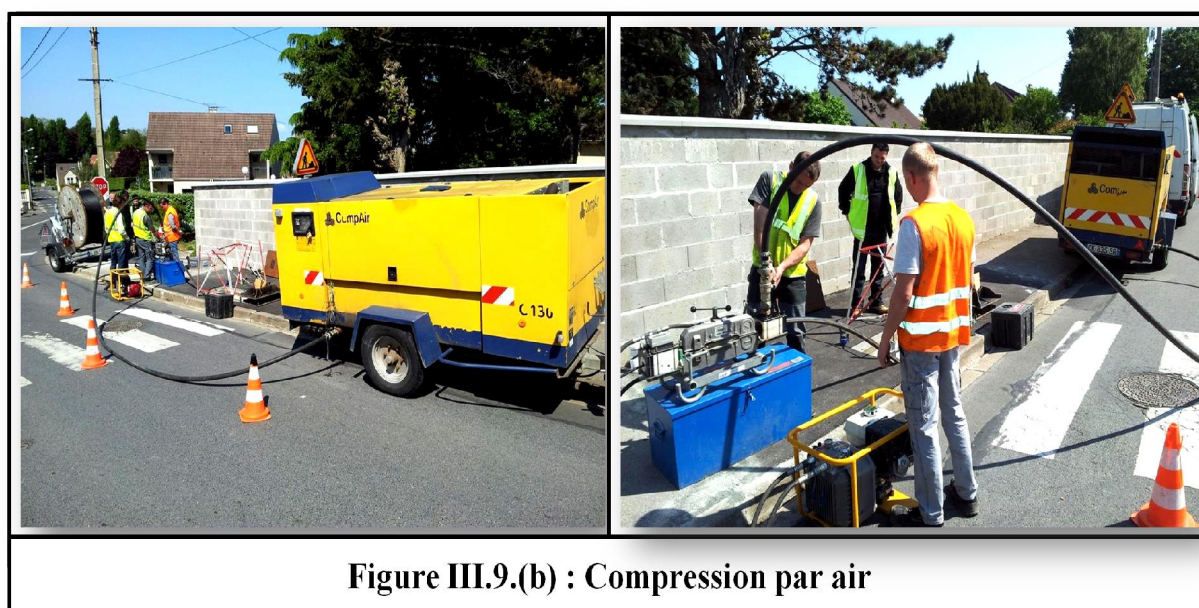
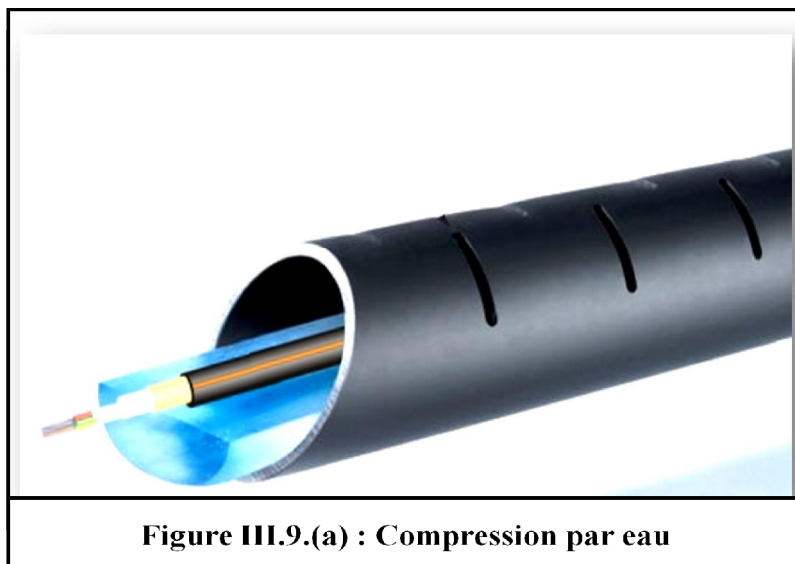


Figure III.9 : Méthode de portage de fibre optique

III.3.3.3. Les essais après les travaux

Généralement, la validation des travaux comprend 2 types d'essais :

- Essais de mandrinage : passage d'un mandrin dans chaque fourreau pour en garantir le diamètre.

- Essais d'étanchéité : Il s'agit de vérifier sur chaque tronçon (i.e. entre 2 chambres adjacentes) que les fourreaux sont étanches.

Cet essai est réalisé en mettant le fourreau sous une pression de 1 ou 2 bars et en vérifiant que la pression reste inchangée après 2 heures.

III.4. Le centre de transmission

Le centre de transmission de Tlemcen « CT » a été mis en service pendant la période de colonisation nommé « centre LGD » (ligne à grand distance). Il a devenu CAHN (centre d'amplification et hertzien numérique) à la fin d'année 1999, puis le centre de transmission « CT » en 2015, c'est le cœur d'Algérie Télécom ; Il assure :

- le bon fonctionnement de la liaison et des services de transmission,
- l'acheminement du trafic vers les localités (régions) de la wilaya de Tlemcen d'une part, d'autre part il assure des raccordements vers d'autres wilaya comme : Oran, Ain-temouchent, Sidi Belabess en utilisant deux supports de transmission FH (faisceaux hertziens) ou la FO (fibre optique).

Au niveau du centre de transmission on a fait un stage, on a assisté et on a vu les différents équipements de la transmission par fibre optique, qui seront présentés par suite.

Notons que les deux centres de transmission, de Tlemcen et de S.B.Abbes doivent avoir les mêmes types d'équipements pour assurer le bon fonctionnement de la liaison.

III.5. Equipements de la transmission

Dans le chapitre I on a étudié théoriquement le système de transmission par fibre optique, cette partie présente ce système en pratique dans le centre de transmission de Tlemcen et le rôle de chaque équipement pour faire cette liaison optique.

III.5.1. L'ODF

L'ODF (Optical Distribution Frame), premier équipement dans le centre, c'est un répartiteur optique conçu selon les solutions les plus récentes utilisées dans les réseaux de télécommunication. Lors de la conception de ces nouveaux répartiteurs, une attention particulière fut portée à l'adaptation fonctionnelle dans la construction de nouveaux réseaux

d'accès. C'est un tiroir qui pourrait être retiré et repositionné tranquillement dans le rack, utilisé pour faire l'interconnexion des câbles optiques primaires.

La figure III.10 ; présente l'armoire du répartiteur ODF, où se fait le raccordement de plusieurs fibres optiques en utilisant des connecteurs optique et des pigtaills.

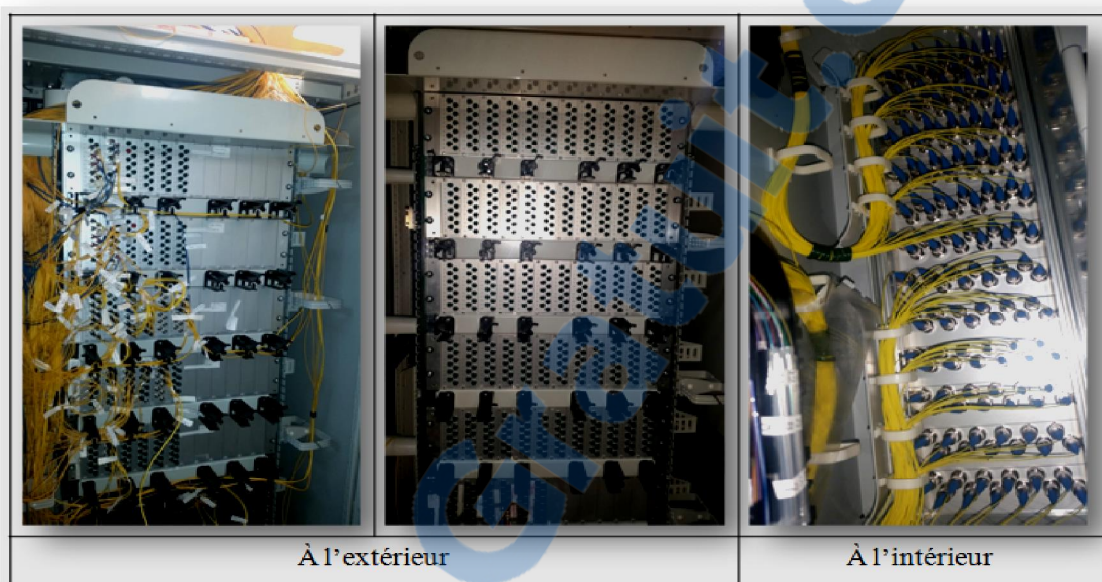


Figure III.10 : Armoire ODF

Dans le cas d'un nombre plus petits de fibres, on utilise les coffrets muraux (figure III.11) qui sont utilisé pour le raccordement et le logement de petites fibres optiques.



Figure III.11 : coffret optique mural

III.5.1.1. Connecteurs optiques

Les connecteurs optiques sont, peut-être, l'un des plus importants composants passifs nécessaires pour établir une liaison optique. Les connecteurs terminent la fibre, la protègent et la positionnent, en aboutissant, avec le raccord (traversée) au couplage de la lumière entre les fibres ; d'une façon efficace et répétitive. Chaque nouveau type est conçu pour offrir de meilleures performances (moins de perte de lumière et de réflectance) et une terminaison plus facile, plus rapide et/ou moins coûteuse.

Ces connecteurs ont de multiples fonctions. Ils connectent la fibre à l'aide d'émetteurs et de transmetteurs, reçoivent l'épissure de la fibre et sont dotés de photorécepteurs. Grâce au développement de divers connecteurs, chacun a ses propres avantages, inconvénients et capacités.[22]



Figure III.12 : construction d'un connecteur

La Figure III.12, nous montre les principaux composants d'un connecteur optique, dont plusieurs types existent, citons les plus courants :

- SC** (Suzanne-Catherine) : c'est un connecteur carré en plastique, il existe aussi en version Duplex (2 Fibres Optiques). On le retrouve souvent dans des installations réseau IP et plutôt dans sa version bifibre (1 port IP nécessitant brins optiques le signal IP étant bidirectionnel).
- LC** (Laurence-Catherine) : le connecteur LC est carré comme le SC, mais beaucoup plus petit (on le retrouve également en informatique).

- c. **FC** (Françoise-Catherine) : le connecteur FC est rond avec un système à vis (utilisé dans des réseaux fibre monomode).
- d. **ST** (Suzanne-Thérèse) : l'un des premiers connecteurs à utiliser des férules en céramique et est encore l'un des connecteurs les plus populaires pour les réseaux multimodes.

La figure III.13, montre les quatre différents types de connecteurs.

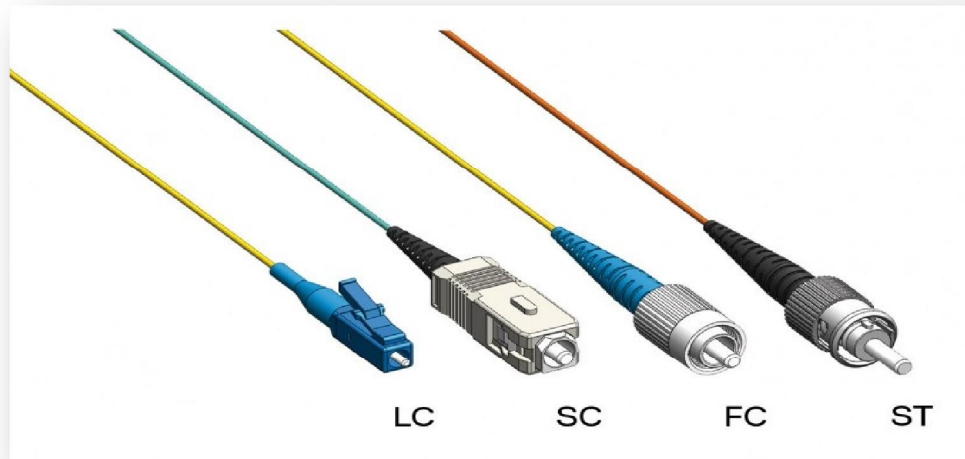


Figure III.13 : Types de connecteurs

III.5.1.2. Pigtaills optiques

Un pigtail est un brin optique (monomode ou multimode) protégé par une simple gaine 900 μ et équipé à une extrémité d'un connecteur (ST, SC...).

Il est utilisé surtout en terminaison de liaison fibre optique multibrins à l'intérieur des tiroirs ou coffrets optiques et nécessite une fusion avec l'un des brins optiques de votre câble fibre optique. Pour réaliser cette fusion il faut une fusionneuse qui va permettre l'alignement des deux cœurs de la fibre et le "collage" des deux fibres.

La technique de la fusion de pigtail, permet de bénéficier de la qualité d'un collage du connecteur en usine avec une réalisation sur site plus rapide. On l'utilise surtout sur des sites très importants.

Dans le dernier chapitre on va étudier la terminaison de la liaison et on va donner en détails le raccordement des pigtaills avec la fibre optique dans les armoires en utilisant la fusionneuse.

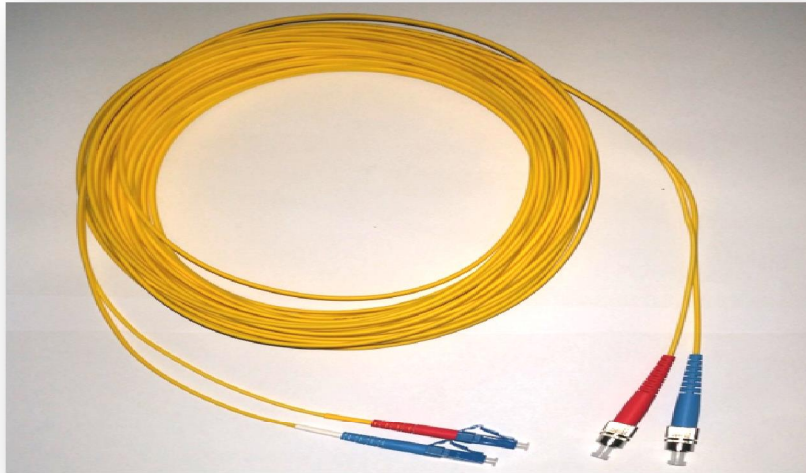


Figure III.14 : Un pigtail optique duplex

III.5.2. Equipements de multiplexage

Le réseau de transmission fournit les capacités de transport des flux voix, vidéo, données générés par les réseaux de commutation : IP, ATM, Frame Relay, RTC, GSM, etc.

Trois technologies sont considérées pour la transmission : PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

III.5.2.1. Le multiplexeur SDH

Architecture de multiplexage par entrelacement d'octets permettant la concentration et le multiplexage des voies de transmission numériques synchronisées. Présentons un exemple d'un équipement SDH « OSN 2500 ».

la OSN 2500 fonctionne à la 2.5 Gbit/s ou 622 Mbit/s niveau, hérite de toutes caractéristiques de la technologie STEPS MUNICIPAUX, maintient compatible avec réseaux SDH et MSTP traditionnel, et intègre le SDH, PDH, DDN, Ethernet, WDM, ATM, IMA, et RPR, ESCON, FICON, FC et DVB-ASI (Digital Video Broadcast-Interface Série Asynchrone).

OSN 2500 est utilisé dans agrégation couche et la couche d'accès, et son service board est compatible avec OSN 9560/7500II/7500/3500/2500/1500. OSN 2500 prend en charge des fonctions intelligentes, automatique fin-à-fin service configuration, SLA, régulation du trafic,

l'intervalle de temps de défragmentation, MAILLE horloge synchronisation à améliorer réseau utilisation.



Figure III.15 : Equipement du multiplexeur SDH

III.5.2.2. Le multiplexeur DWDM

La capacité de transport de la fibre optique continue d'augmenter régulièrement grâce au multiplexage en longueur d'onde. Dans le même temps, le débit de chaque longueur d'onde ne cesse de progresser. On estime qu'il a été multiplié par deux tous les six mois de 2000 à 2004, date à laquelle on a atteint près de 1 000 longueurs d'onde. Comme, sur une même longueur d'onde, la capacité est passée pour la même période de 2,5 à 40 Gbit/s et bientôt 160 Gbit/s, des capacités de plusieurs dizaines de térabits par seconde (Tbit/s, ou 10¹² bit/s) sont aujourd'hui atteintes sur la fibre optique.

Plusieurs équipements de DWDM existent, citons un exemple qui est l'OSN 3500, un produit de Huawei.

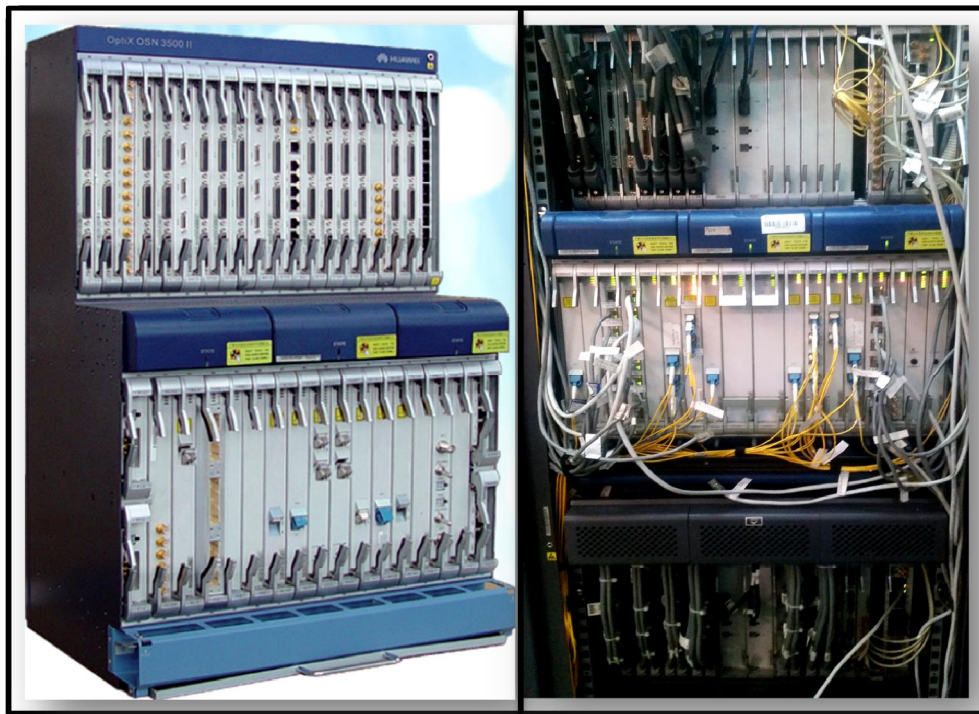


Figure III.16 : Equipement du multiplexeur DWDM

Le système de transmission optique intelligent OptiX OSN 3500 II, développé par Huawei est l'équipement de transmission optique intelligent de prochaine génération. Le OptiX OSN 3500 II transmet des services voix et données sur la même plate-forme à haut rendement. Il intègre les technologies suivantes :

- Hiérarchie numérique synchrones (SDH)
- Hiérarchie numérique plésiochrone (PDH)
- Ethernet
- Anneau élastique paquet (RPR)
- Mode de transfert asynchrone (ATM)
- Réseau de stockage (SAN)
- Multiplexage en longueur d'onde (WDM)
- Réseau de données numériques (DDN)

- Réseau optique automatiquement commuté (ASON)
- Technologie micro-ondes

III.6. Conclusion

Ce Chapitre a été fait à l'aide d'un stage pratique avec Algérie Télécom, dans le but de montrer les différentes étapes d'installation d'une liaison optique. Algérie Télécom nous a permis d'assister à un projet d'un réseau optique entre la wilaya de Tlemcen et la wilaya de Sidi Belabbes.

On a présenté dans un premier temps les différentes étapes des travaux de construction de génie civile et d'installation de la fibre optique sur terrain. La période du stage au niveau du centre de transmission (CT) nous a permis de présenter la seconde étape qui est les différents équipements de la liaison optique.

Chapitre IV
Terminaison dans une liaison
optique

IV.1.Introduction

Une terminaison de fibre optique est très importante lorsqu'on installe un réseau de fibre optique. Ce dernier ne pourra pas fonctionner si la terminaison n'est pas réalisée correctement. Par ailleurs, beaucoup d'attention est accordée à cette étape de nos jours et de nombreux produits apparaissent sur le marché pour permettre de réaliser des terminaisons plus facilement et de meilleur qualité qu'auparavant.

La terminaison est un raccordement qui permet de connecter une fibre avec un dispositif telle qu'une prise murale ou un équipement. Le but de la terminaison est de permettre la distribution de signal lumineux et s'il est correctement effectué, votre réseau sera efficace : vous n'aurez pas de perte excessive de signal et votre fibre sera protégée contre de la saleté et de l'endommagement.

Ce chapitre, se divise en deux parties : la première montre les différentes étapes de raccordement de la fibre optique, la deuxième partie présente les tests de mesures par l'OTDR de l'atténuation et de la dispersion de la liaison présentée dans le chapitre III.

IV.2. Préparation d'une terminaison de fibre optique

Cette étape suppose de préparer la fibre optique par des équipements dont on aura besoin, l'ensemble de matériel est appelé kit. Le kit de démarrage de raccordement optique proposé par la société ABSYS a été pensé de façon à fournir le matériel nécessaire au raccordement de fibre optique à destination des installateurs télécom. le kit de raccordement et mesures optiques propose en plus du kit de raccordement ; un réflectomètre, pour permettre de réaliser le recettage des installations.

La première méthode est d'utiliser un connecteur pour former un joint durable, pour dépouiller la gaine, couper les couches de fibre en Kevlar, on aura besoin de connecteurs de fibre optique et d'un raccord qui relit les deux connecteurs. (Voir figure IV.1).



Figure IV.1 : Kit de raccordement par connecteurs

L'épissure est la seconde méthode qui consiste à directement connecter deux fibres nues ensemble sans connecteur entre elles. Il existe deux façons pour épisser (ou coupler) des fibres optiques : épissure mécanique et épissure par fusion. Le kit de cette méthode est présenté dans la figure IV.2.



Figure IV.2 : Kit de raccordement par épissure

Ces deux méthodes, nécessitent un ensemble de matériel commun utilisé pour préparer la fibre optique avant le raccordement, ces accessoires sont :

1. **Un ciseau** : pour couper la fibre avec sa gaine de protection, les lames sont en kevlar. Comme présenter dans la figure suivante, on a coupé le toron de la fibre optique en utilisant un diamètre de 1.3 mm du ciseau.

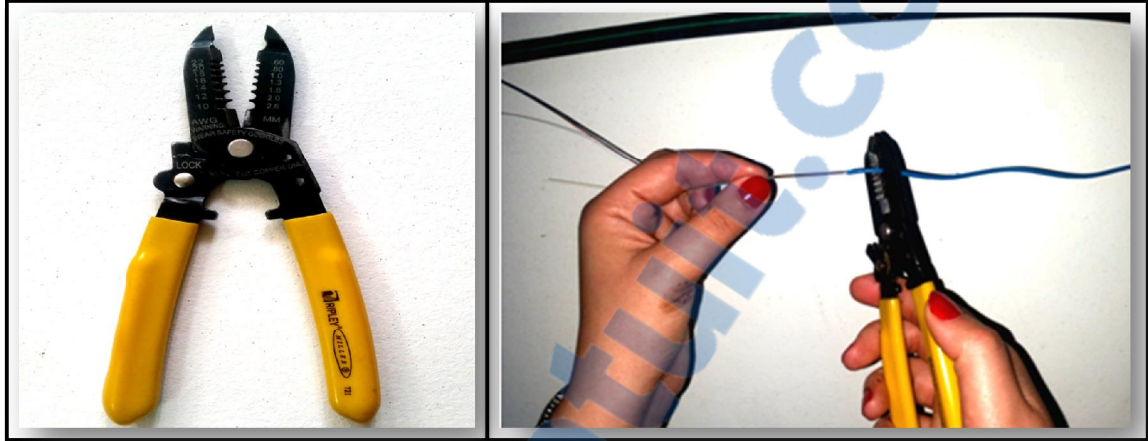


Figure IV.3 : un ciseau coupant

2. **Une pince à dénuder** : pour dénuder la gaine protectrice, les fibres optiques ayant un rayon d'environ inférieur à $900\mu\text{m}$ il est nécessaire d'avoir des pinces spécifiques.

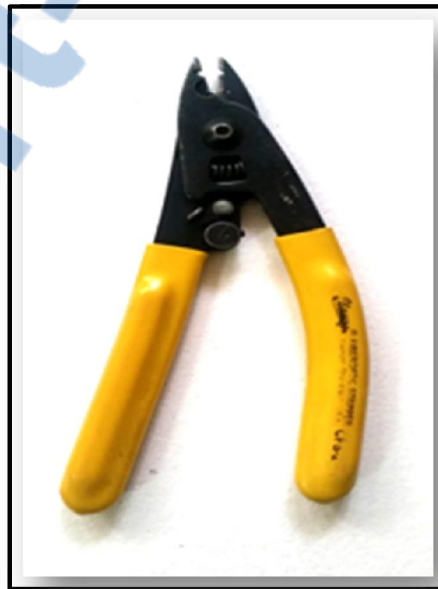


Figure IV.4 : une pince à dénuder

Comme le présente la figure IV.5, on a glissé la pince pour enlever sur l'extrémité de la fibre, toutes les gaines de revêtement sur une longueur de 30 à 40 mm afin de ne laisser que la partie en verre.

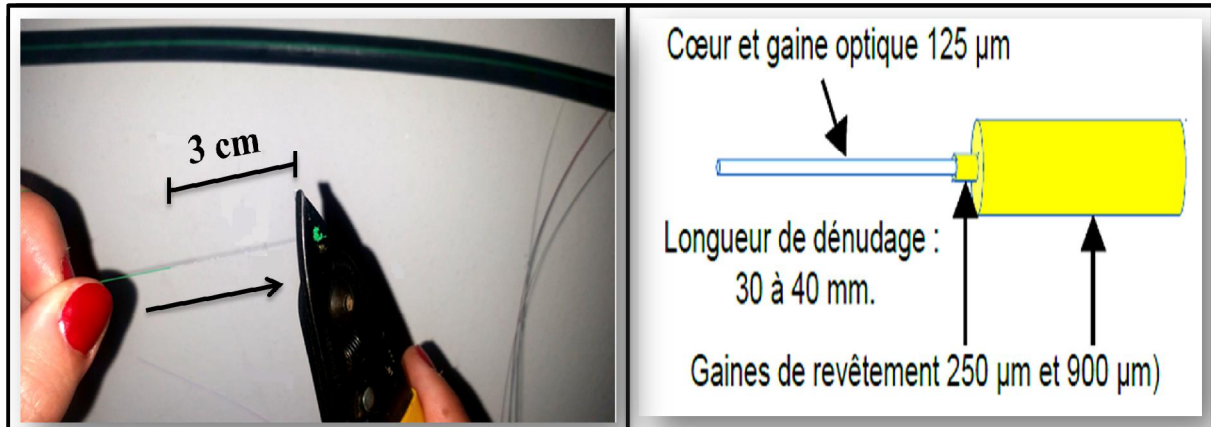


Figure IV.5 : Le dénudage de la fibre optique

3. Le nettoyage

Maintenant que la fibre est mise à nue, il est très important de la nettoyer. Nous avons utilisé ici un « distributeur d'alcool » contenant de « l'alcool isopropylique » avec des «lingettes non pelucheuses», mais il est aussi possible d'utiliser des « lingettes pré-imprégnées».

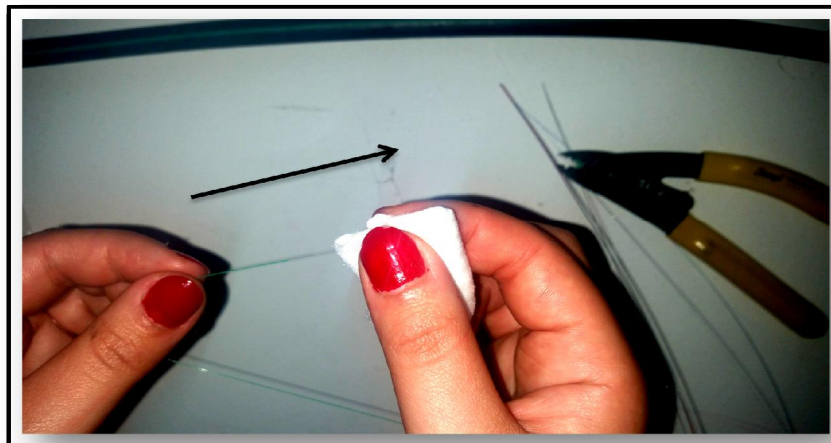


Figure IV.6 : Le nettoyage de la fibre optique

4. Le clivage

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 avec un angle le plus droit possible à l'aide d'une cliveuse, la méthode est présentée dans la figure suivante :

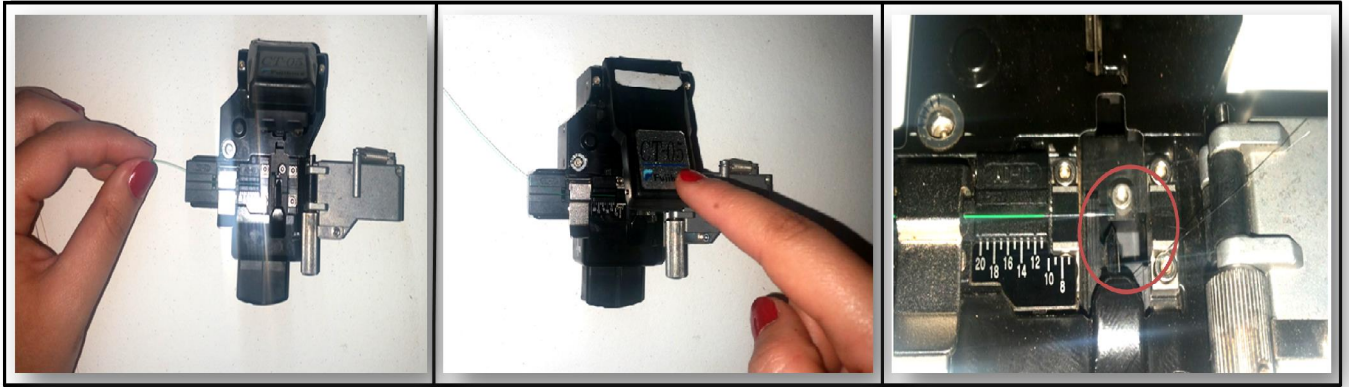


Figure IV.7 : Une cliveuse

On a :

- 1) Armé la cliveuse en enfonçant la pièce coulissante.
- 2) Positionné la fibre en respectant les longueurs de clivage
- 3) Appuyé sur le couvercle : la fibre est coupée et la chute est recueillie dans le réceptacle amovible.

IV.3. Les méthodes de raccordement de la fibre optique

IV.3.1. La méthode de connecteurs

Dans cette méthode, il faut réaliser le câblage d'un connecteur à chacune des extrémités des fibres à raccorder. On peut alors raccorder les deux fibres en raccordant les deux connecteurs. [22]

IV.3.1.1. Le câblage de la fibre optique

Quel que soit le type de connecteur choisi il faut toujours commencer par insérer la fibre dans un contact appelé fêrule, généralement en céramique. Cela permet ensuite de manipuler l'extrémité de la fibre beaucoup plus facilement. La figure IV.8 présente le montage d'un brin de fibre optique dans la fiche pour avoir un pigtail. [21]

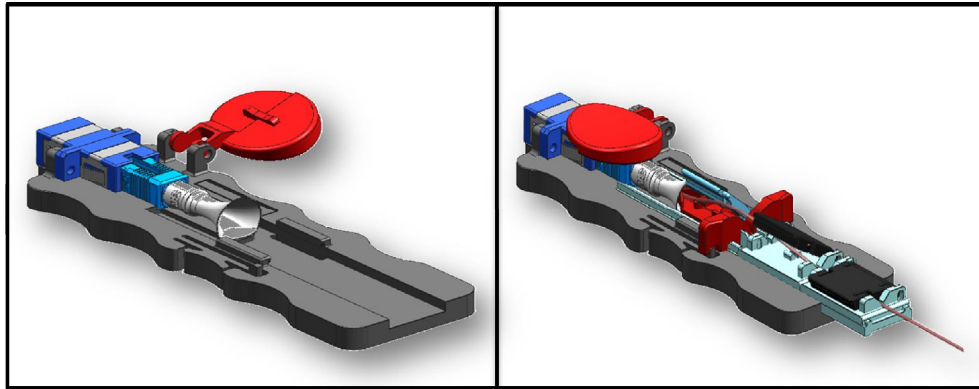


Figure IV.8 : Le montage du connecteur dans une férule

Les différentes étapes du câblage de la fibre dans la férule sont :

- **Le dénudage** de la fibre, pour ne garder que les deux couches actives (la gaine et le cœur).
- **Le collage** de la fibre dans la céramique. La fibre est introduite dans le trou de la céramique dont le diamètre est très précis, ajusté à celui de la fibre.
- **Le clivage** de la fibre à ras de la céramique.
- **Le polissage** de l'extrémité de la férule. Pour ce faire on utilise des toiles abrasives de grains de plus en plus fins, afin d'obtenir une surface de fibre parfaitement bien polie, et délimiter toutes les particules résiduelles gênantes.

IV.3.1.2. Le raccordement de la fibre optique

Pour raccorder les deux fibres optiques, il suffit juste de raccorder les deux connecteurs, la connexion optique est composée de deux fiches et d'un raccord, la figure IV.9 montre le raccordement des deux fibres.

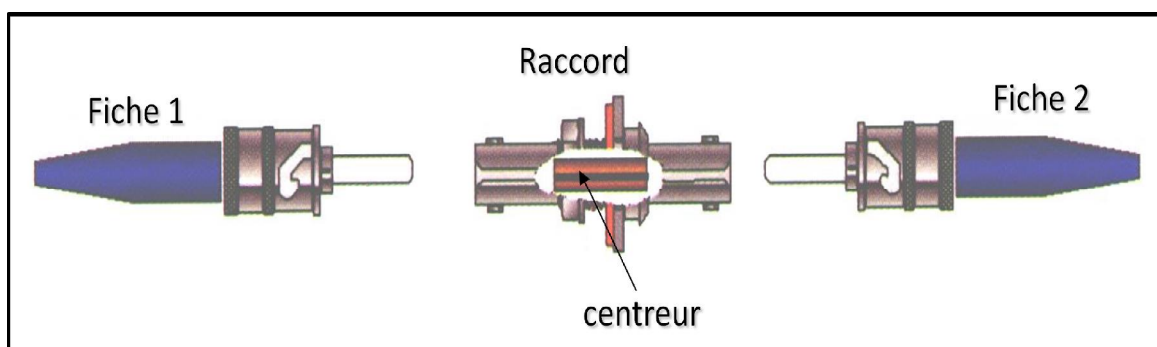


Figure IV.9 : Raccordement de deux connecteurs

- a. **La fiche** : elle est composée d'un embout optique appelé férule (ferrule) de diamètre 2,5 mm percée en son centre dans lequel est fixé la fibre. Elle termine la fibre, la protège, la positionne et la rend manipulable.

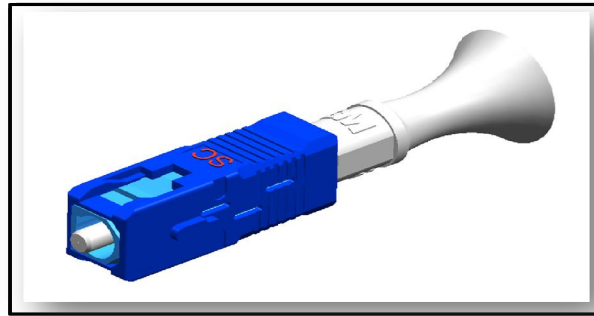


Figure IV.10 : Une fiche de connecteur optique

- b. **Le raccord** : c'est un coupleur composé d'un cylindre fendu ou centreur (sleeve) de diamètre 2,5 mm dont le rôle est d'auto-aligner les embouts optiques l'un en face de l'autre. Il réalise le guidage et le verrouillage des deux fiches pour assurer d'une part la continuité du signal optique d'une fibre à l'autre, et d'autre part l'attachement mécanique de l'ensemble.

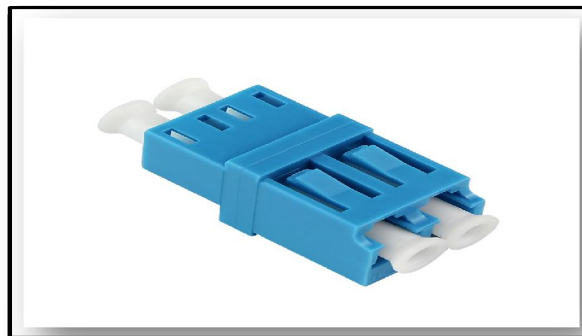


Figure IV.11 : Exemple d'un coupleur de connecteurs optiques

IV.3.1.3. Les défauts de raccordement

L'alignement des fibres n'est jamais parfait, il existe donc une perte de lumière lors du passage de celle-ci d'un côté à l'autre. Cette perte est plus ou moins importante suivant les défauts résiduels d'alignement ou de polissage (figure IV.12). [21]

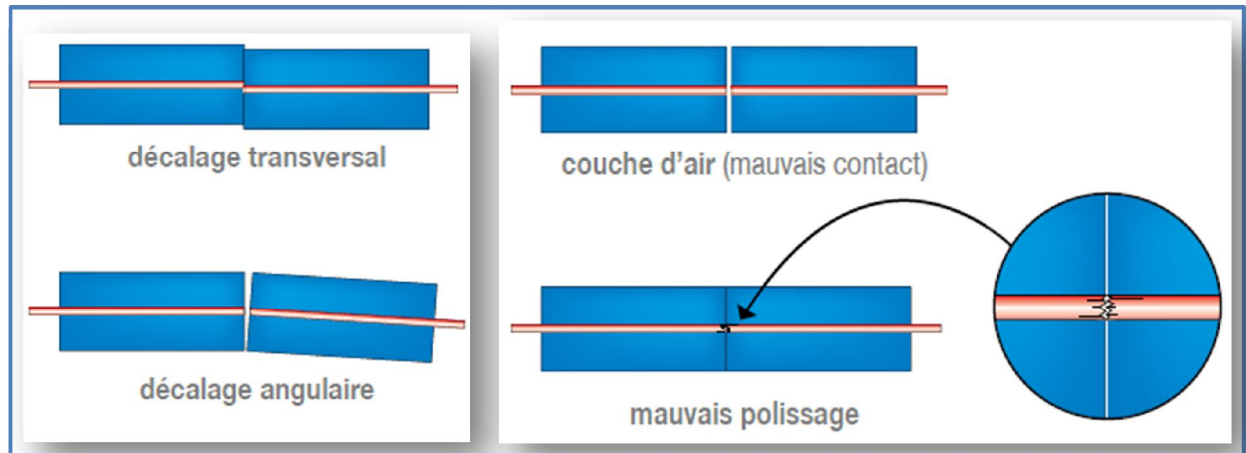


Figure IV.12 : Les différents défauts de raccordement par connecteurs

IV.3.1.4. Avantages et inconvénients du raccordement par connecteurs

Cette méthode a des avantages, sont :

- C'est un raccordement démontable
- Ce type de raccordement est robuste. On peut choisir le type de connecteur et la robustesse de celui-ci en fonction du domaine d'application du système.
- Le raccordement est amovible. On peut connecter et déconnecter les deux fibres plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois sans détérioration.

Ses inconvénients sont :

- La mise en œuvre est moins rapide que la fusion, et requiert une expérience ainsi que des outillages spécifiques.
- La perte de lumière due à la connexion est plus élevée que dans le cas d'une épissure.

IV.3.2. La méthode d'épissure

L'épissure est la mise en contact définitive de deux fibres optiques clivées et alignées, ils existent deux types d'épissure :

IV.3.2.1. Épissure mécanique

Les fibres sont raccordées mécaniquement par épissure. Plus exactement, les deux brins de fibres sont très exactement positionnés l'un en face de l'autre, puis immobilisés dans cette position par emprisonnement au sein d'un boîtier plastique. Cette épissure est réalisée à l'aide d'appareils pré-calibrés. Ce type nécessite deux principaux outils sont :

1. Le Fibrlok

Le FibrLok est d'un support d'épissure mécanique de précision qui permet de raccorder deux fibres sans réaliser de fusion. C'est une solution adaptée aux raccordements de fibres revêtues 250µm sur les réseaux FTTH, mais aussi aux interventions rapides sur les réseaux de transport. Facile et simple à mettre en œuvre, le montage se fait avec un kit d'assemblage et la coupe de la fibre à l'aide d'une cliveuse de précision. Perte d'insertion moyenne < 0,1 dB, perte de réflexion typique < 40 dB.

Ses caractéristiques sont :

- Élément de connexion en aluminium
- Gel d'indice
- Une seule référence pour fibres monomode et multimodes, en 250 à 900µm
- Taux de réflexion supérieur à 50 dB à 23°C
- Atténuation inférieure à 0,1 dB.

Ce type a aussi quelques avantages, sont :10

- Excellent alignement des cœurs de fibre, même en présence d'impuretés
- Faible perte d'insertion
- Gain de gestion de stock, simplification des références
- Intégrité du signal
- Excellente performance.



Figure IV.13 : Le support mécanique Fibrlok

2. Le boîtier de raccordement

C'est un boîtier en plastique, où se positionne l'outil du Fibrlok et qui permet le sertissage de ce dernier à fin de raccorder les deux fibres optiques, comme le montre la figure IV.14.

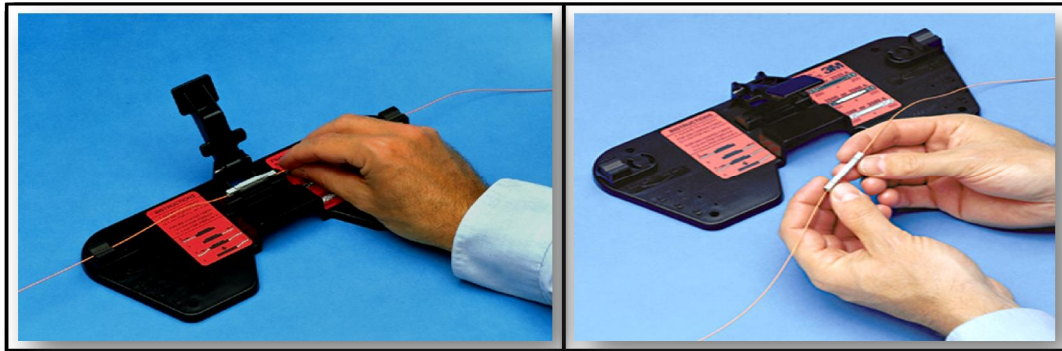


Figure IV.14 : Méthode de sertissage du Fibrlok

IV.3.2.2. Épissure par fusion

Algérie Télécom nous a permis d'avoir accès à la fusionneuse et d'effectuer différents essais avec. Son système vise à réduire au maximum les pertes et à optimiser les performances de la fibre optique. Cette épissure nécessite un appareil appelé fusionneuse ou soudeuse optique. (Voir figure IV.15).



Figure IV.15 : Une soudeuse de fibre optique

Les soudeuses fibre optiques permettent le raccordement de deux fibres optiques par la technique de fusion. Cette technique est à l'heure actuelle la technique qui assure les pertes les plus faibles. Après le clivage, les étapes de la soudure sont :

a. La mise en place de la protection d'épissure

L'épissure est la jonction des deux bouts de fibre nue. Il est nécessaire de protéger cette jointure par une protection d'épissure aussi appelée *smoove*, visant à remplacer la gaine sur la partie de fibre dénudée. La protection d'épissure est renforcée par une barre en métal pour rigidifier et ainsi protéger le raccordement. On place la protection dans un seul coté de la fibre, (voir figure IV.16).

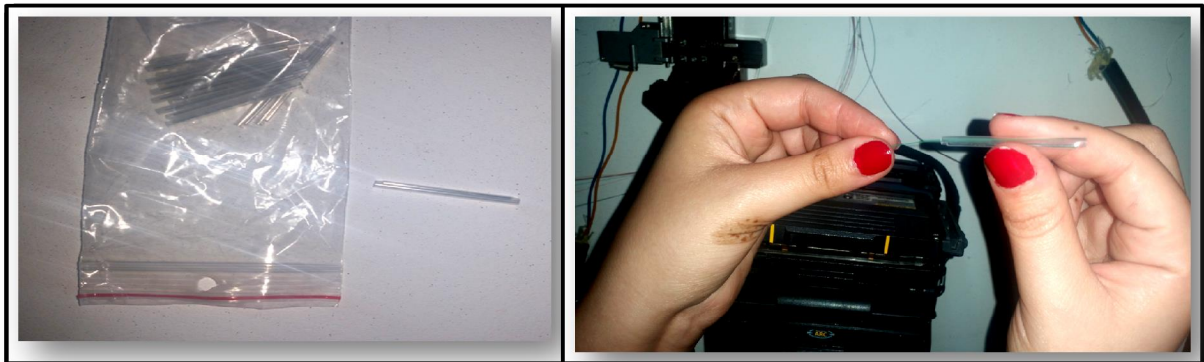


Figure IV.16 : la protection d'épissure

b. La mise en place de la fibre dans la soudeuse

Le positionnement de la fibre dans la soudeuse doit être aléatoire, on a placé la fibre dans les deux supports de la façon suivante, comme le montre la figure IV.17 :

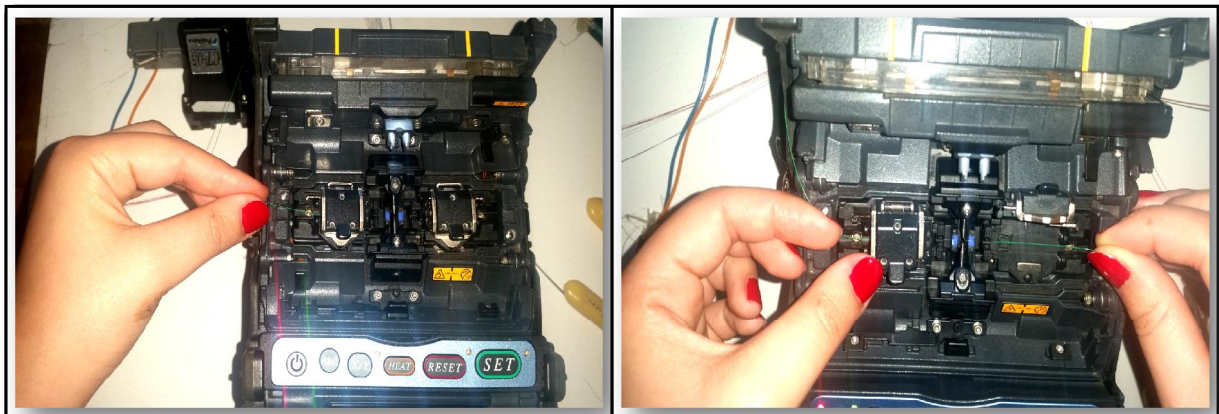


Figure IV.17 : Le placement de la fibre dans les supports de la fusionneuse

Tout d'abord il faut que la fibre repose dans l'un des deux V de part et d'autre des électrodes ensuite il faut que l'extrémité de la fibre soit positionnée au plus près des électrodes mais sans dépasser ces dernières afin de laisser la place de positionner la deuxième fibre, (voir figure IV.18).

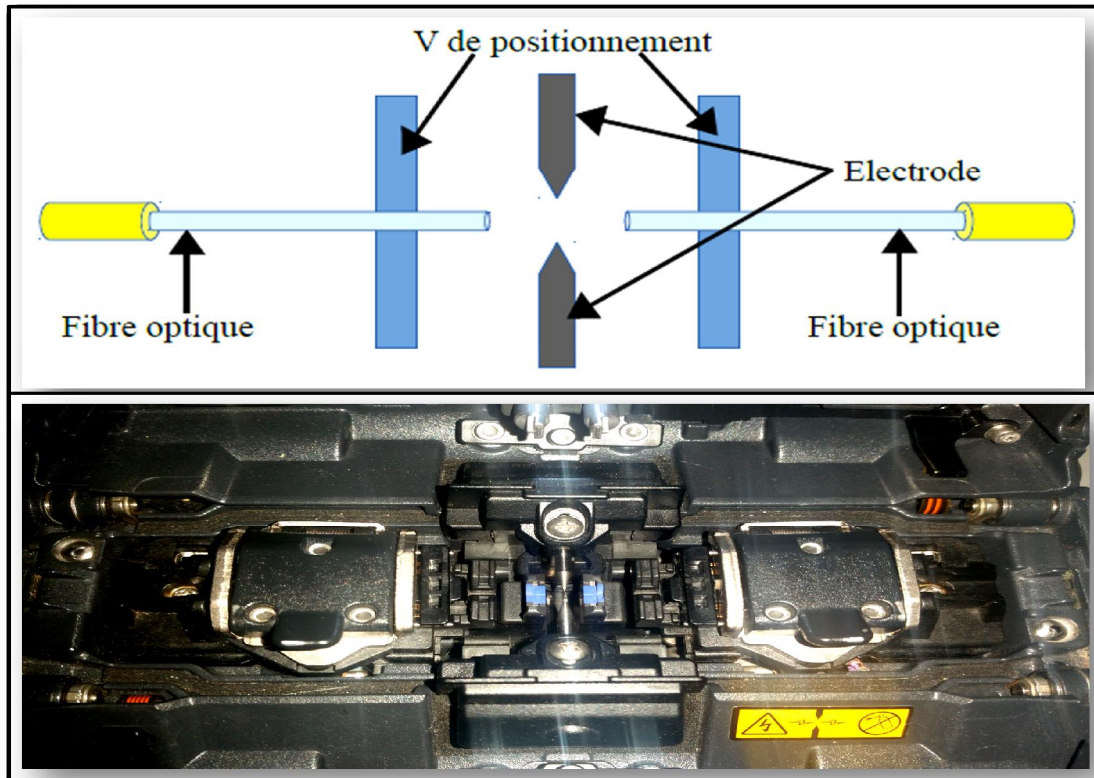


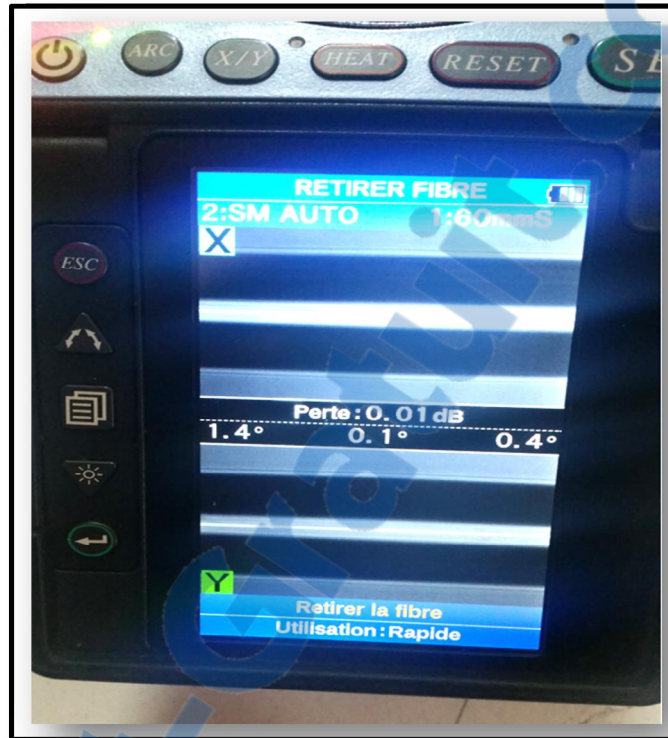
Figure IV.18 : L'alignement de la fibre optique dans la soudeuse

c. La fusion

La méthode de fusion est la même pour tous les modèles de soudeuse, mais les réglages de ces dernières varient d'un modèle à l'autre. Deux types d'alignements sont possibles : l'alignement cø ur à cø ur ou l'alignement gaine à gaine. Pour lancer la fusion il existe différents modes :

Soit en automatique (la fusion se lance automatiquement lorsque l'on ferme le capot de la soudeuse). Soit en mode manuel (la soudeuse attend l'appui sur le bouton de lancement pour effectuer la soudure), soit en mode semi-automatique (lorsque l'on ferme le capot la soudeuse fait apparaître les fibres à l'écran mais ne termine pas la fusion, pour terminer la fusion il faut appuyer sur le bouton de lancement) cette dernière méthode permet un contrôle visuel de l'état des fibres avant de lancer la soudure.

La figure IV.19 présente l'écran de la fusionneuse qui affiche l'état de la soudure et les pertes de pénétration après la fusion lors de notre essai, on a obtenu 0.01 dB. Pour un meilleur raccordement, les normes maximales des pertes ne doivent pas dépasser 0.02 dB.



La figure IV.19 : Résultats de la soudure

d. Réaliser un rétreint de la protection d'empissage

Dans cette étape, et comme le montre la figure IV.20, on a :

- Ramené la protection d'empissage au niveau du point de fusion en prenant soin de bien le centrer.
- Positionné la protection d'empissage 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'empissage. Laisser refroidir le smooth sur le support de manchon thermo rétractable situé à l'arrière de la soudeuse. Attention à ne pas toucher le smooth pendant cette opération pour ne pas créer de contrainte sur la fibre.

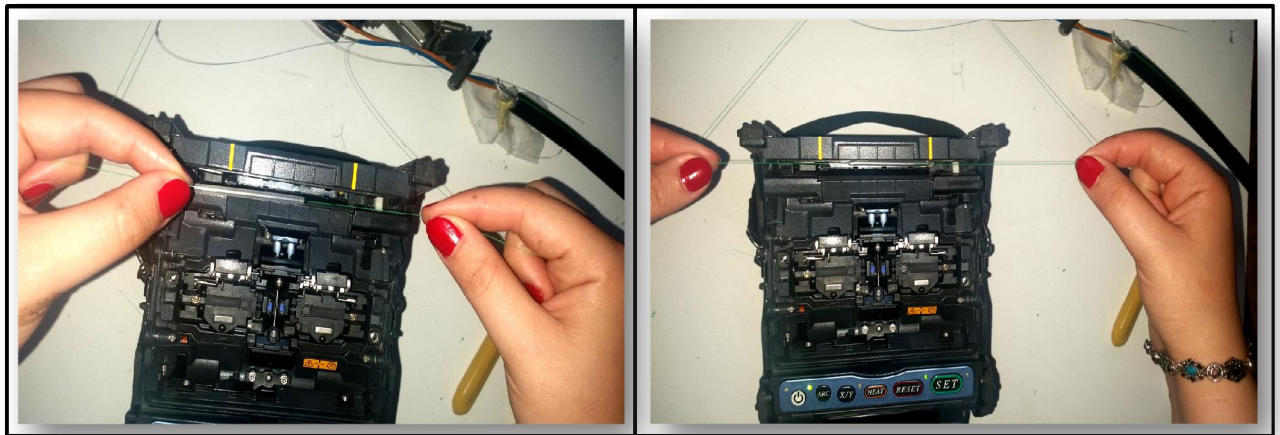


Figure IV.20 : La réalisation d'un rétreint de la protection d'épissure

e. Le refroidissement de la protection d'épissure

Une fois le cycle de chauffe terminé, un signal sonore est émis par la soudeuse (figure IV.21). Il est alors possible de sortir la protection du four, en faisant attention, car il est possible que cette dernière soit encore chaude du fait de la barre métallique présente. Il nous faut donc la placer sur un support de refroidissement en attendant de pouvoir la manipuler sans risque.

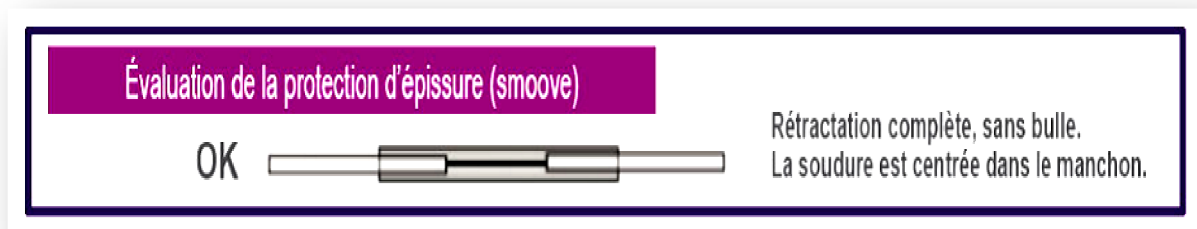


Figure IV.21 : Ecran de la soudeuse après la pose de la protection

Le résultat du raccordement qu'on a fait est bien présenté dans la figure IV.21 :

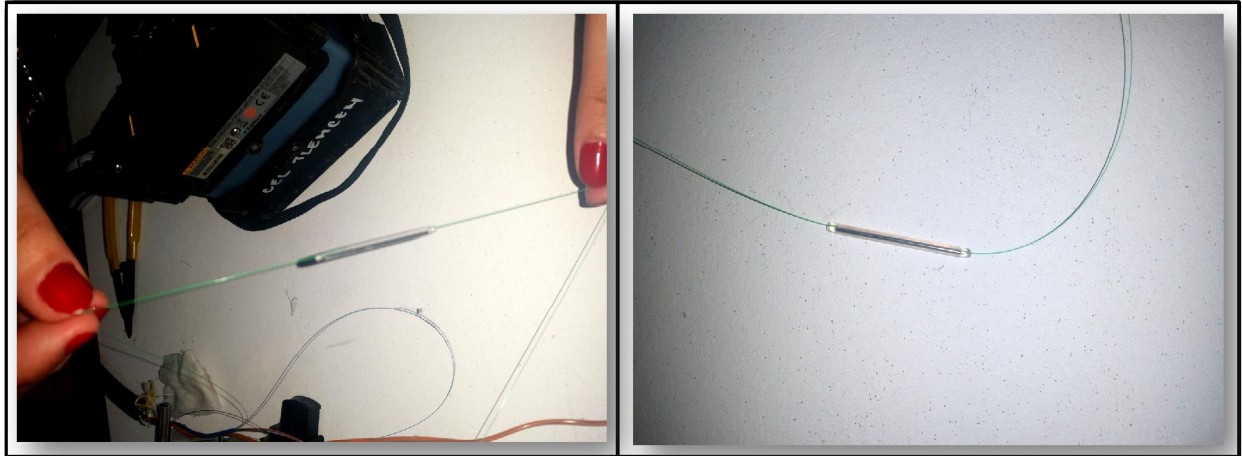


Figure IV.22 : Deux fibres optiques raccordées par fusion

IV.4. Le code couleurs du raccordement de la fibre optique

Une baguette de fibre optique contient 6 torons en 6 couleurs : bleu, orange, vert, marron, gris, blanc ; chaque toron contient 12 brins de différentes couleurs, cette baguette contient en tout 72 fibres optiques. (Voir figure IV.23).

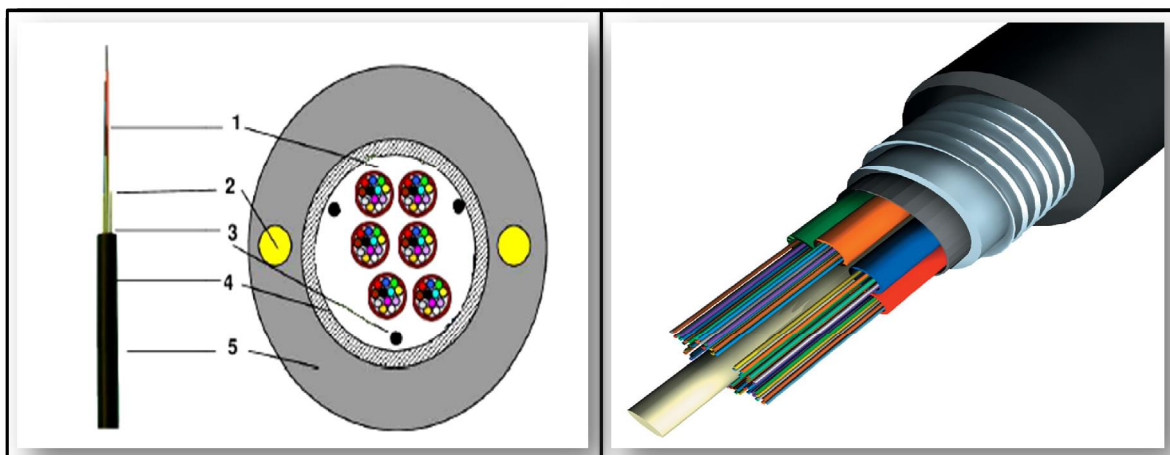


Figure IV.23 : Une baguette de 72 FO

La figure IV.24 présente l'ordre standard de ces 12 couleurs de brins optiques.

Chaque brin a ces propriétés, une atténuation et une dispersion chromatique à des différentes longueurs d'ondes.




N°	Couleur	
1	Bleu	
2	Orange	
3	Vert	
4	Marron	
5	Gris	
6	Blanc	
7	Rouge	
8	Noir	
9	Jaune	
10	Violet	
11	Rose	
12	Turquoise	

Figure IV.24 : code couleurs standard

Pour raccorder deux fibres optiques, il faut respecter l'ordre des couleurs selon le code standard de la fibre optique, quand on a raccordé deux fibres optiques on a soudé les mêmes couleurs. Au niveau du répartiteur ODF on a raccordé chaque brin de fibre optique avec le numéro qui le convient du brin de pigtail, après le raccordement on a lové les câbles dans des cassettes de l'ODF, comme le présente la figure IV.25.

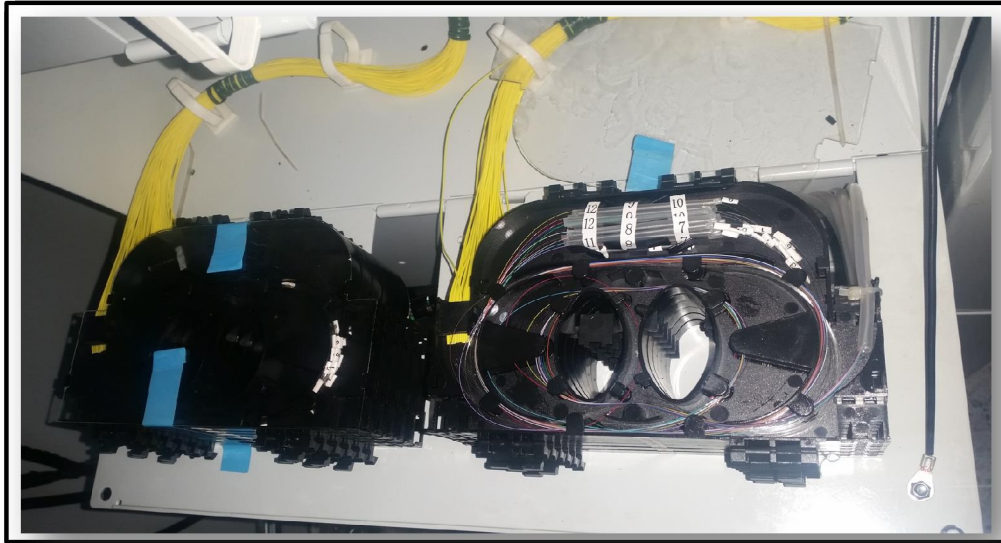


Figure IV.25 : Le lovage de la fibre optique dans les cassettes

La figure IV.26 présente le raccordement de deux fibres optiques dans un joint optique. Dans ce joint on a raccordé deux baguettes de 72 FO par la fusionneuse.

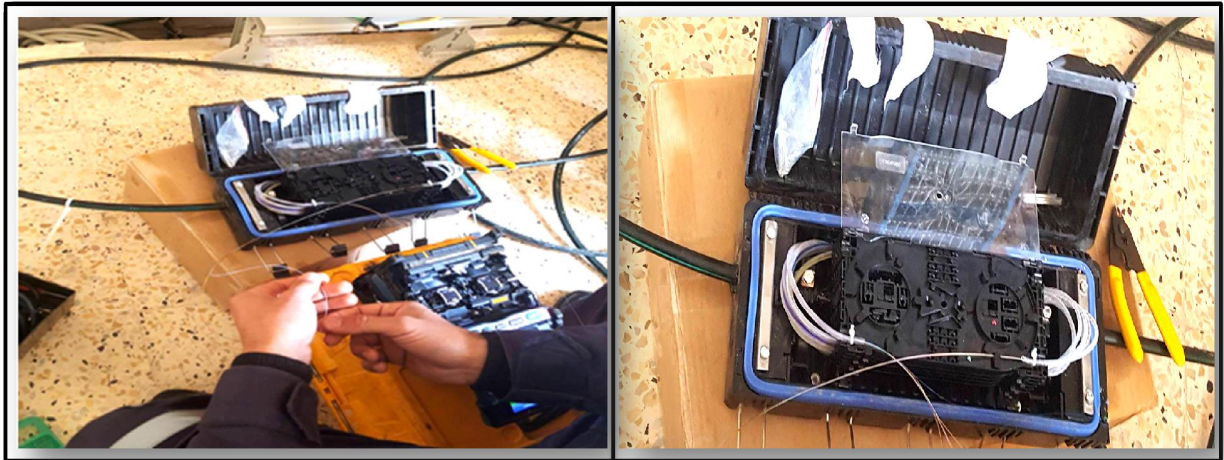


Figure IV.26 : Le raccordement de la fibre optique dans un joint

IV.5. Testes et mesures de la liaison optique

Comme tout support de transmissions, les fibres optiques apportent certaines distorsions aux signaux transmis, limitant par conséquent la portée et la capacité de transmission des systèmes envisagés. La portée est limitée par l'atténuation que subit la lumière porteuse de l'information durant sa propagation dans la fibre.

La capacité de transmission (ou bande passante de la fibre), qui concerne le signal modulant la porteuse optique est limitée par la dispersion intermodale et par la dispersion chromatique. Pour cela on a besoin de mesurer et tester la liaison à la fin du raccordement, on a fait deux types de tests :

1. La Photométrie

On a utilisé deux appareils, émetteur et récepteur (voir figure IV.27) :

➤ Source (émetteur)

- Simule l'émetteur du système final (LED, LASER, or VCSEL)
- Constitue une référence pour la continuité
- Fournit une référence stable pour la mesure de la perte due à la fibre et aux composants du lien

➤ Photomètre (récepteur)

- Permet de vérifier la continuité (Identifie la fibre active)
- Mesure la perte totale des liens (bout à bout)
- Permet l'optimisation des épissures mécaniques



Figure IV.27 : Tests par un émetteur et un récepteur

2. La Réflectométrie (OTDR)

Dans ce type de teste, on a utilisé un appareil appelé l'OTDR. C'est un réflectomètre optique instrument des tests optiques polyvalent effectuant des mesures de distance et de perte sur les événements des fibres optiques au moyen des tests réalisés depuis une extrémité de la fibre. Le réflectomètre optique envoie des impulsions lumineuses dans la fibre puis traite lumière diffusée et renvoyée au réflectomètre. Le réflectomètre optique affiche généralement une représentation graphique sous forme de courbe (comme le présente la figure IV.28). En outre, les réflectomètres optiques de la dernière génération analysent la courbe, puis localisent chaque événement et en donne les pertes correspondantes.

On a placé l'OTDR à l'extrémité de la liaison dans le répartiteur, cela nous a permis de :

- Localiser la fin de la fibre (extrémité ou fibre cassée)
- Localiser les épissures (événements)
- Une représentation graphique de l'Atténuation en fonction de la Distance
- Mesure de pertes à travers Épissures et Points de coupures
- Mesure de pertes totales du lien (d'une extrémité à l'autre)
- Mesure de réflexion (Perte de Retour Optique, ORL)

Les niveaux de rétrodiffusion permettent de déterminer les pertes à travers épissures, points de coupure et autres discontinuités de fibres optiques.

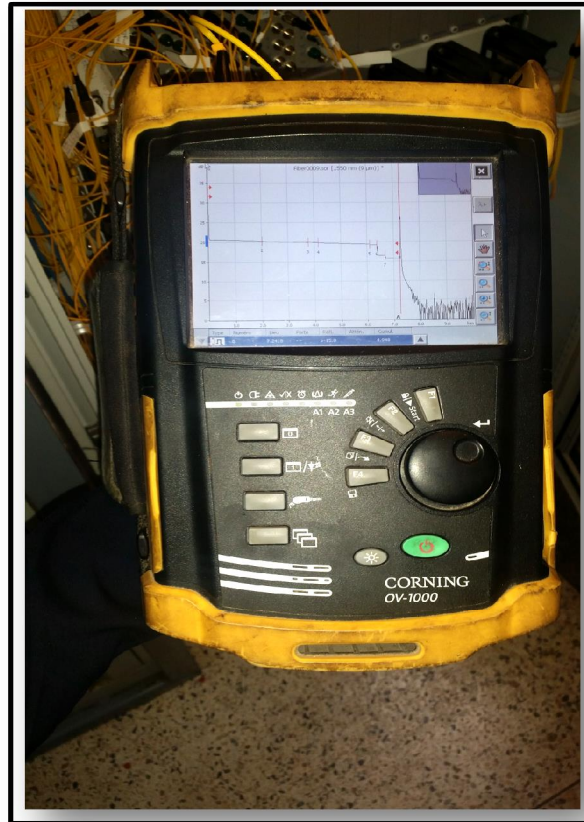


Figure IV.28 : Testes par l'OTDR

IV.6. Expérience sur terrain

Nous avons acquis une expérience importante lors de ce projet, qui nous a permis d'avoir accès à :

- L'installation d'une liaison par fibre optique entre deux Wilaya « Tlemcen et Sidi Belabbes », la figure IV.29 présente un schéma générale de tous les réseaux de la Wilaya de Tlemcen avec cette liaison étudiée.

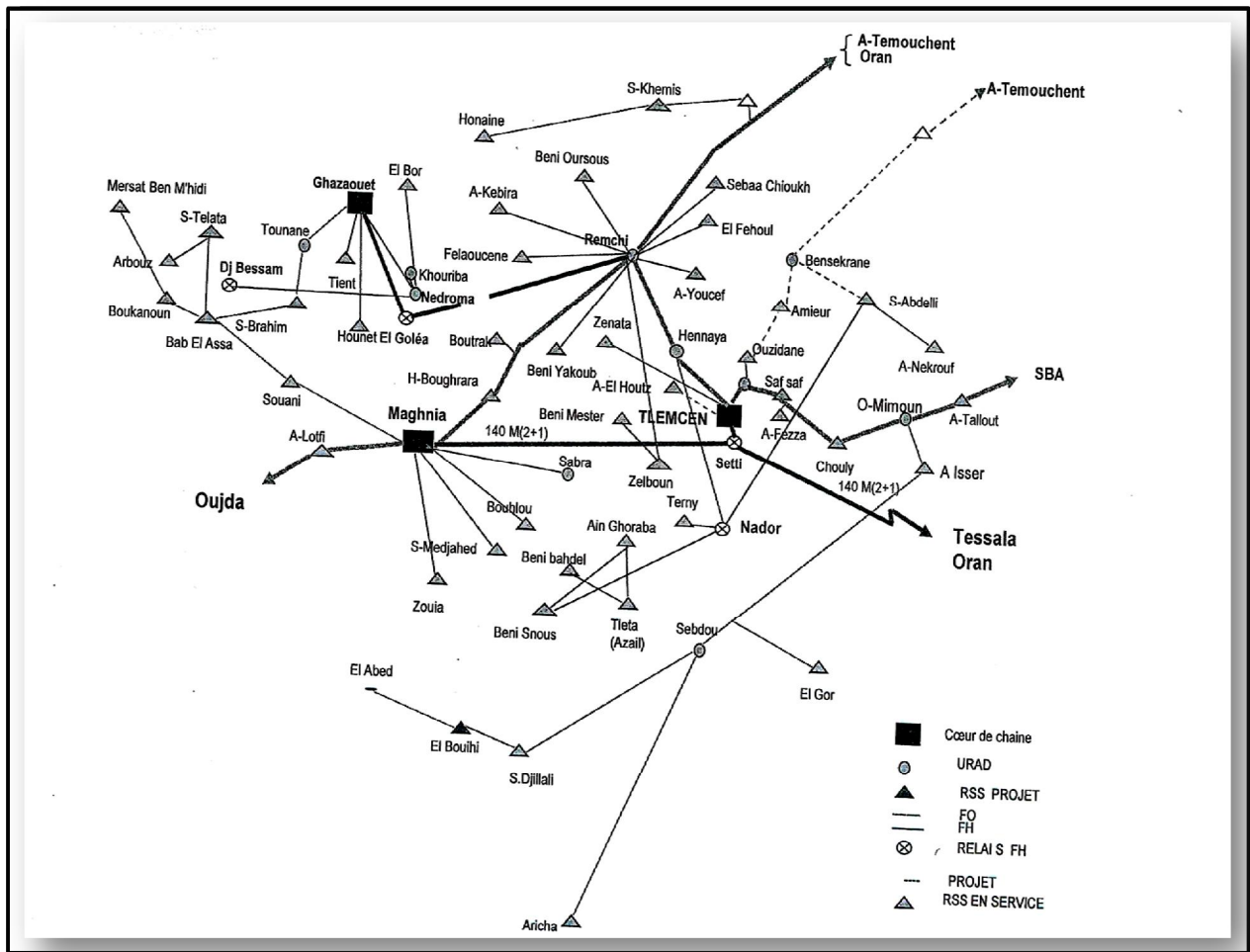


Figure IV.29 : Réseau de transmission de la wilaya de Tlemcen

- Un stage pratique au niveau du centre de transmission « CT », pour comprendre les différents équipements de la transmission par fibre optique (PDH ,SDH ,DWDM), et la configuration des systèmes de multiplexage.
- Un raccordement de la fibre optique par la fusionneuse au niveau du centre d'entretien des lignes « CEL ».
- Une baguette de 72 FO avec les caractéristiques de ces différentes couleurs. Le tableau suivant indique les propriétés correspondant aux différents codes couleurs.

- Des mesures par le réflectomètre OTDR.
- Un logiciel de gestion des tests de câble LinkWare nous a permis de gérer l'ensemble des résultats de tests effectués (figure IV.30).

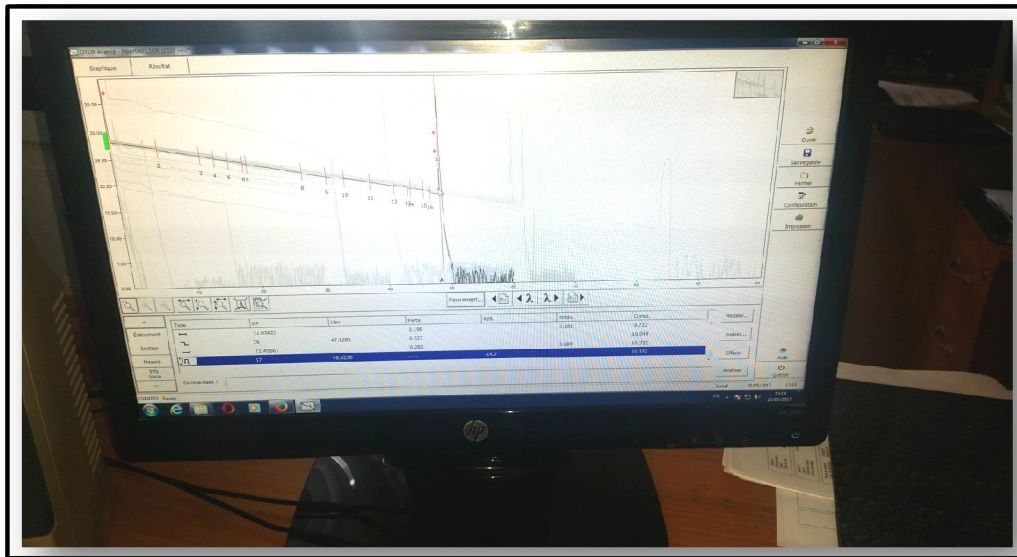


Figure IV.30 : Préparation du rapport d'OTDR

Dans les deux pages suivantes nous allons présenter le rapport OTDR de la liaison d'Algérie Télécom de 160 km avec un pic d'amplification à une distance de 95,7km, ce qui correspond à la distance d'installation entre Tlemcen et Sidi Belabbes. Les pertes moyennes (atténuation linéaire) sont de 0,283 dB/km, pour chaque épissure on a une perte de 0,254 dB.

Le tableau suivant indique les différentes normes à respecter de la liaison installée d'Algérie Télécom.

<u>TIA/EIA-568</u>	<u>ISO/IEC 11801 + Amd1.2</u> (Table 57 & 37)
<ul style="list-style-type: none"> • Perte par Paire de Connecteurs (Point de Coupure): $\leq 0.75 \text{ dB}^*$ • Perte par Épissure $\leq 0.3 \text{ dB}$ • Réflectivité Connecteurs: $\leq -20 \text{ dB}$ for MM $\leq -26 \text{ dB}$ for SM • Atténuation Fibre Optique • Multimode, OM3: $\leq 3.5/1.5 \text{ dB/km}$ @ 850/1300nm • Monomode, OS1/OS2 OSP: $\leq 0.5/0.5 \text{ dB/km}$ @ 1310/1550 nm 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte par Paire de Connecteurs (Point de Coupure): $\leq 0.75 \text{ dB}$ 100% $\leq 0.5 \text{ dB}$ 95% $\leq 0.35 \text{ dB}$ 50% • Perte par Épissure $\leq 0.3 \text{ dB}$ • Réflectivité Connecteurs: $\leq -20 \text{ dB}$ for MM $\leq -35 \text{ dB}$ for SM • Atténuation Fibre Optique • Multimode, OM3/OM4: $\leq 3.5/1.5 \text{ dB/km}$ @ 850/1300nm • Monomode, OS2: $\leq 0.4/0.4/0.4 \text{ dB/km}$ @ 1310/1383/1550 nm

Tableau IV.1 : Les normes standard des testes par OTDR

Lorsque le projet d'installation du réseau optique entre la Wilaya de Tlemcen et la Wilaya de Sidi Belabbes est terminé, on a commencé en premier de raccorder les baguettes de fibres optiques sur les routes dans les joints optiques qui se trouvent dans les chambres, avec la méthode du fusionneuse qu'on a présenté en détails avec les différentes étapes de son fonctionnement.

Dans le centre de transmission, la fibre optique est ramenée jusqu'au répartiteur « ODF », on a fait le deuxième raccordement par la fusionneuse en raccordant les brins de la fibre avec les pigtaills du répartiteur. Le troisième raccordement, en utilisant la méthode des connecteurs on a relié la fibre qu'on a soudé dans l'ODF avec les autres équipements (SDH, DWDM,...).

À la fin du raccordement, on a eu accès aux différents tests par l'OTDR de cette liaison optique, il nous a permis à l'aide d'un logiciel d'obtenir le rapport OTDR qui présente les résultats des mesures : les différentes pertes, les atténuations, et d'autres résultats qui sont aussi présentés dans le rapport.

IV.6. Conclusion

Notre expérience à Algérie Télécom nous a permis de connaître les différentes étapes d'installation d'une liaison par fibre optique, de l'émetteur jusqu'au récepteur.

Ce chapitre présente la terminaison de la liaison optique, c'est-à-dire le raccordement de la fibre optique. On a présenté de différentes méthodes de raccordement et les étapes nécessaires pour la préparation du câble optique, avec le code couleurs de la fibre qu'il faut suivre pour le raccordement. Pour finir, nous avons présenter les différents résultats des tests effectués avec l'OTDR.

CONCLUSION GENERALE

A l'heure où le marché des télécommunications haut débit est en pleine expansion, les liaisons optiques s'installent dans les réseaux de télécommunications et s'affirment comme une technologie d'accès au dernier kilomètre ayant la capacité de la fibre optique en termes de débit associée à une efficacité économique plus importante.

En même temps que les premiers systèmes apparaissent, la technologie se développe et avec le minimum d'atténuation se déplace l'information. Ces progrès offrent de nouvelles perspectives c'est ainsi qu'apparaissent les premières liaisons interurbaines et sous-marines.

C'est pourquoi il nous a paru intéressant de choisir ce thème de mémoire, vu les grands avantages qu'offre ces genre de liaisons par fibre optique. Et pour bien comprendre le système de transmission par fibre optique on a fait notre mémoire pratique avec Algérie Télécom, où on a fait un stage pratique au centre de transmission « CT » et au centre d'entretien de lignes « CEL » de Tlemcen. Algérie télécom nous a permis d'assister à un projet qui consiste à installer un réseau de transmission, entre la wilaya de Tlemcen et la wilaya de Sidi Belabbes avec une liaison par fibre optique de type monomode et avec le système du DWDM.

En effet, nous avons indiqué dans les deux premiers chapitres les notions théoriques sur la construction du système de transmission par fibre optique, nous avons présenté dans le premier, 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.

Au cours du deuxième chapitre, l'étude était portée sur la technique de multiplexage, dans cette section nous avons défini et présenté deux techniques : le multiplexage temporel « TDM » et le multiplexage en longueur d'onde « WDM ».

Exploitant une infrastructure optique, ces réseaux ont connu plusieurs évolutions technologiques majeures pour leur permettre de transporter des volumes de trafic en

perpétuelle croissance. La limitation de débit du PDH a donné la naissance des technologies SDH et DWDM qui sont les deux solutions de transport les plus déployées jusqu'à aujourd'hui dans de nombreux réseaux d'opérateurs à très grande capacité.

Le troisième chapitre a été consacré aux différentes étapes d'installation d'une liaison optique reliant Tlemcen à Sidi Belabbes. Une partie importante lors de chaque installation est la terminaison qui est décrite au dernier chapitre. Nous avons aussi abordé la maintenance avec utilisation de l'OTDR.

Cette expérience avec Algérie Télécoms a été très intéressante et riche en informations et nous a permis d'acquérir une grande connaissance pratique dans le domaine des télécommunications optiques.

GLOSSAIRE

ADM: Add and Drop Multiplexing

CAHN: Centre d'Amplification et Hertzien Numérique

DFB: Distributed Feed Back

DVB- ASI: Digital Video Broadcast à Interface Série Asynchrone

FH: Faisceaux Hertiens

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LGD: Ligne à Grande Distance

MIE : Multiplexeur à Insertion / Extraction

NE: Network Element

OADM: Optical Add- Drop Multiplexer

ODF: Optical Distribution Frame

OLA: Optical Line Amplifier

OTM: Optical Terminal Multiplexer

PEHD: Polyéthylène Haute Densité

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy

PVC : Polychlorure de Vinyle

REG: Reshaping- re à timing, regenerating

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SONET: Synchronous Optical Network

TDM: Time Division Multiplexing

TN: Train Numerique

TM : Terminal Multiplexer

U-WDM / D-WDM : Ultra/ Dense Wavelength Division Multiplexing

VC : Virtuel Contener

WDM: Wavelength Division Multiplexing

Références bibliographiques

- [1] Stephen Alexander, Optical Communication Receiver Design, IEE Telecommunications Series, SPIE press, Bellingham (Etats-Unis), 1997
- [2] Marie-Bénédicte Bibey, Transmission optique d'un signal hyperfréquence à haute pureté spectrale, Thèse présentée à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 1998
- [3] G. P. Agrawal, Non-linear Fiber Optics, Academic Press, Inc., deuxième édition, 1995.
- [4] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, Optical networks: practical perspective, second edition.
- [5] L. Coldren et Scott Corzine, Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, New York (Etats-Unis), 1995
- [6] N. BOUDRIOUA «Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique: vers une compensation électronique de la PMD»
- [7] Paul Vaugel, Technology for next generation core and metro networks, Telscom version1, octobre 31. 2002.
- [8] Marie-Bénédicte Bibey, Transmission optique d'un signal hyperfréquence à haute pureté spectrale, Thèse présentée à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 1998
- [9] Géraldine Dentelle. « Vitrocéramiques oxyfluorées transparentes dopées par des ions lanthanides matériaux nano composites luminescents à 1.5 μm », thèse de doctorat, université pierre et marie curie ; 09/10/2006.
- [10] P. Lecoy, Télécoms sur fibres optiques, Lavoisier, troisième édition revue et augmentée, 2008.
- [11] Irène et Michel Joindot et douze co-auteurs « Les télécommunications par fibre optique »-DUNOD et CENT-ENST, Paris, 1996.
- [12] D. K. Mynbaev et L. L. Scheiner, Fiber-optic communications technology, Prentice Hall, 2001.
- [13] Amar BDOUI ; Etude des éléments d'une liaison optique en microondes : Modèle de laser avec transposition du bruit 1/F autour de la fréquence de modulation- Nouvelle configuration de photodétecteur à cavité étendue microphotonique.
- [14] P. Mayé : "Optoélectronique industrielle : conception et applications", Paris, 2001.

- [15] G. Bouyer. Les reseaux synchrones ´etendus PDH et SDH ´. Hermes, 1997
- [16] Zylyz. fr.scribd.com/doc/13803721/SDH-Protection, 2009.
- [17] Network Hardware Outlet: <http://www.networkhardwareoutlet.com/products/cisco-15454-xc-vxc-10g.html#Quote>.
- [18] B. Mukherjee. Optical WDM networks. Springer, 2006
- [19] I.A.Katib. IP/MPLS over OTN over DWDM multilayer networks: Optimization models, algorithms, and analyses. PhD thesis, University of MissourióKansas City, 2011.
- [20] CiscoSystem:http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps2011/c2001/ccmigration_09186a00802342cf.pdf, 2001.
- [21] Optical communications essentials. Gerd Keiser, 2003 (ISBN 0071412042)
- [22] Connector Identifier : <http://www.thefoa.org/tech/connID.htm>
- [23] The FOA Online Reference Guide to Fiber Optics :
<http://www.thefoa.org/tech/ref/OSP/install.html>
- [24] GUIDE TECHNIQUE DE POSE DE FOURREAUX POUR LA FIBRE OPTIQUE: <http://www.bas-rhin.fr>

RÉSUMÉ

Les télécommunications optiques ont acquis une importance considérable dans les réseaux de communication longues distances et la conception de système de transmission à très grande capacité. L'un des principaux critères de la réussite des réseaux de communication tient à la grande bande passante de la fibre optique, mais surtout dans les très faibles pertes qu'elle présente.

Ce mémoire présente plusieurs expérimentations effectuées chez Algérie Télécom. La première a été de leur assister dans l'installation d'une liaison optique longue distance entre Tlemcen et Sidi Belabbes. La seconde est l'étude des raccordements optiques appelé terminaison. Enfin, la dernière partie est consacrée à la maintenance des liaisons optiques par OTDR.

Mots clés: liaison optique, terminaison, OTDR.

ABSTRACT

Optical telecommunications have acquired considerable importance in long distance communication networks and the design of very high capacity transmission systems. One of the main reasons for the success of communication networks is their high bandwidth and small losses.

This memory presents several experiments carried out at Algérie Télécom. The first one was to assist them in the installation of a long-distance optical link between Tlemcen and Sidi Belabbes. The second one is the study of optical connections called termination. Finally, the last part is devoted to the maintenance of optical links by OTDR.

Keywords: optical link, termination, OTDR.