

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل
Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel -

Faculté des Sciences et de la
Technologie
Département d'Electronique



كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الإلكترونيك

Mémoire de Master

Filière : Télécommunications

Option : Systèmes de Télécommunications

Thème

**Etude d'une Liaison optique pour les
Télécommunications**

Membres de Jury :

Président : Bouridah Hachemi Prof
Examineur : Kemih Karim Prof
Encadreur : Beghoul Mahmoud Riad MCA
Invité : Benyahia Himed (Directeur CT-Jijel)

Présenté par :

Lamine Bey

Dédicace

A

La mémoire de ma grande mère

Ma très chère mère

Mon très cher Père

Ma très chère femme

Mes deux petites filles Sara & Nessrine

Mes chers frères et sœurs

Toute ma famille

Tous mes collègues et mes amis

Tous ceux qui m'aime.

Lamine BEY

Remerciements

J'exprime ma sincère gratitude et remerciements à mon encadreur, ***Dr. Beghoul Mahmoud Riad***, maître de conférences à l'Université de Jijel, qui a accepté de diriger ce travail. Je tiens à lui adresser aussi, ma sincère reconnaissance pour sa disponibilité et son aide précieuse et inestimable, tout en lui témoignant de ma profonde considération pour l'intérêt qu'il a porté à ce projet.

Je remercie le *chef de département d'électronique M. Benkedideh Toufik*, le *directeur d'Algérie télécom Jijel*, le *directeur du centre de transmission de la DO de Jijel en l'occurrence M. Benyahia Himed* et *tout le personnel du centre, mon collègue au bureau M. Chebba Adel*, pour leurs aides et leurs compréhensions lors de la réalisation de ce travail.

Je remercie particulièrement les membres du jury, ***Prof Bouridah Hachemi*** et ***Prof Kemih Karim*** qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je remercie aussi, tout en exprimant ma gratitude aux enseignants du département d'électronique de l'université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel qui m'ont aidé durant cette année d'études et à toute personne qui a apporté un plus à ce travail.

Lamine BEY

-Sommaire-

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur la fibre optique et les liaisons optiques	
I. Introduction.....	2
II. Généralités sur la fibre optique.....	4
II.1. Avantages et inconvénients.....	4
II.2. Structure, principe et caractéristiques de la fibre optique.....	5
II.3. Principaux types de fibre optique.....	6
II.3.1. Les fibres optiques monomode.....	6
II.3.2. Les fibres optiques à saut d'indice multimodes.....	6
II.3.3. Les fibres optiques à gradient d'indice multimodes.....	7
II.4. Principe de propagation dans la fibre optique.....	8
II.4.1. Les équations de propagation Maxwell dans la fibre optique.....	9
II.5. L'atténuation dans la fibre optique.....	9
II.5.1. Dispersion.....	11
II.5.2. Bande passante.....	13
II.6. Fenêtre de transmission.....	14
III. Modules et composants d'émission /réception.....	15
III.1. Modules et composants d'émission.....	15
III.2. Modules et composants de réception.....	17
III.2.1. Les Photodétecteurs.....	18
III.2.2. Principe de la photodétection.....	18
III.2.3. Photodiodes PIN (Positive IntrinsicNegative Photodiode).....	19
III.2.4. Photodiode APD (Avalanche Photodiode).....	19
III.3. Les répéteurs et les amplificateurs optiques.....	19
III.3.1. Intérêts d'un amplificateur optique.....	20
IV. Câble à fibres optique.....	21
IV.1. Types de câble à fibre optique.....	21
IV.2. Différentes structures des câbles à fibre optique.....	21
IV.2.1. Câbles à fibres optiques à structure serrée.....	22
IV.2.2. Câbles à fibres optiques à structure libre.....	22
IV.3. Code couleur du revêtement extérieur de la fibre optique.....	23
IV.4. Normes spéciales de la fibre optique monomode.....	23
IV.5. Jonction de la fibre optique.....	24
IV.5.1. Raccordement mécanique.....	24
IV.5.2. Raccordement par fusion.....	24
IV.5.3. Techniques de pose des câbles à fibre optiques.....	25
V. Conclusion.....	25
CHAPITRE II : Réseaux optiques et équipements de transmission	
I. Introduction.....	29
II. Structure des réseaux optiques.....	29
II.1. Les réseaux dorsaux mondiaux (ou backbone).....	30
II.2. Les réseaux métropolitains.....	30
II.3. Les réseaux locaux (d'accès).....	31
III. Le multiplexage.....	32
III.1. La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy).....	33
III.2. Hiérarchie numérique synchrone SDH (SONET).....	33
III.2.1. Le Multiplexage SDH.....	34
III.2.2. Passage du SDH vers WDM.....	34
III.3. Le multiplexage temporel (TDM).....	35
III.4. Le multiplexage temporel optique (OTDM).....	35

III.5. Le multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing).....	36
III.6. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM, Wavelength Division Multiplexing).....	36
IV. Cas pratique pour un centre de transmission(CT).....	37
IV.1. Présentation de l'entreprise d'Algérie Telecom.....	38
IV.1.1. Historique.....	38
IV.1.2. Centres de transmission CT.....	38
IV.1.3. Missions du centre de transmission de Jijel.....	40
V. Présentation des équipements de transmission	40
V.1. ADR 155C (Add-drop multiplexer 155 Mbit/s Compact).....	40
V.2. OSN 6800 8800	41
V.2.1 Description des cartes.....	42
V.2.2. Mode de fonctionnement de la plateforme OSN 8800,6800	47
VI. Conclusion	49

CHAPITRE III : Bilan d'une liaison optique Etude des pertes

I. Introduction	51
II. Présentation d'une liaison par fibre optique	51
II.1. Affaiblissement globale de la propagation.....	52
II.2. Pertes totales dans un canal.....	52
III. Mesures sur fibre optique.....	52
III.1. Contrôle par Réflectométrie optique (OTDR).....	53
III.2. Principe de mesure avec un OTDR.....	53
III.3. Les événements dans les fibres.....	55
III.4. Description de l'appareil de mesure	60
IV. Mesure sur quelques liaisons optiques de Jijel	61
IV.1. Liaison CT Jijel URAD ZIAMA.....	63
IV.1.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm	63
IV.1.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310$ nm	65
IV.1.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel-Ziama Mansouriah.	67
IV.2. Liaison CT Jijel Cellule El Milia.....	68
IV.2.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm	68
IV.2.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310$ nm	70
IV.2.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel - Cellule El Milia.	72
IV.3. Liaison CT Jijel Site Rabta	73
IV.3.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm	73
IV.3.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310$ nm	74
IV.3.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel- Site AT Rabta.	75
V. Comparaison des trois liaisons traitées	76
VI. Conclusion	76
Conclusion générale et perspectives.....	

Introduction générale

En 1876 le physicien Alexander Graham Bell a pu mettre un système de transmission de la voix en utilisant des fils électriques avec un courant alternatif, et c'est à partir de ce moment que les chercheurs n'ont pas cessé de trouver de nouvelles techniques de télécommunication, dans le but de transmettre plus d'informations et à des débits importants.

À l'issue des résultats de ces recherches plusieurs techniques de télécommunications ont vues le jour, que nous pouvons classer selon le support de transmission de l'information en deux familles.

La première famille utilise les ondes radioélectriques pour la transmission, où l'émission et la réception du message se fait à l'aide d'un émetteur ou récepteur radio et d'une antenne.

La seconde famille qui utilise un support de transmission physique, tel que le câble en cuivre torsadé ou le câble coaxial. Bien que les câbles en cuivre aient donné des bilans de transmission assez satisfaisants, qui peuvent transmettre des informations à des débits intéressants, ces derniers présentent des pertes assez importantes pour les grandes distances.

En 1970, la première utilisation d'un câble en fibre optique a pu être réalisée dans le domaine des télécommunications, basée sur la transmission de l'information en utilisant un signal lumineux codé par une variation d'intensité. La fibre optique est capable de transmettre de très grande quantité d'information sur de très longue distance avec une atténuation assez faible et un débit très important. La fibre optique est donc une solution très optimale pour la transmission de l'information par rapport aux autres supports de transmission (paire torsadé, câble coaxial, radio etc.).

Avec l'augmentation du flux d'information à transporter et l'apparition de nouvelles techniques de compressions des données, du multiplexage et de codages, les paires en cuivre ont atteints

leurs limites, ce qui a engendré la saturation, au meilleur des cas on assure une liaison de 3 Gbit/s. L'utilisation d'autres supports de transmissions est devenue une nécessité primordiale si on veut assurer le transport des informations volumineux sur de très longues distances avec de meilleures qualités.

Cependant, avec l'apparition de nouveaux services dans le domaine des télécommunications tels que la téléphonie mobile 3G et 4G. Les fournisseurs d'accès internet (FAI) et les opérateurs des réseaux de télécommunications ont besoin de nouvelles infrastructures, tel est le cas pour Algérie télécom.

Algérie Télécom a commencé vers la fin des années 80 à moderniser progressivement son réseau backbone national qui relie les grands centraux (Alger, Oran, Constantine et Ouargla) avec des fibres à 04 brins par la suite elle a relié les stations inter-wilaya, et à la fin des années 90 ce sont les stations intra-wilaya (CT, RSS et URAD) qui ont été à leurs tour intégrées à la structure.

A partir des centres de transmissions, AT a créée un réseau mi-étoilé qui relie les quatre régions (Centre, West, Est et le Sud) pour former un nœud de convergence pour les wilayas de chaque région. Vers la fin des années 2000, Algérie Telecom a établi une nouvelle stratégie pour réaliser une structure maillée à travers le territoire qui peut lui assurer plus de sécurité en matière de coupure.

Dans ce travail, on s'intéressera à l'étude d'une chaîne de transmission optique pour les télécommunications qui a connu plusieurs avancés techniques depuis ces premières utilisations, dans le domaine des télécommunications.

Le manuscrit est organisé en trois chapitres avec une introduction générale et une conclusion et perspectives.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, on présentera des généralités sur la fibre et les composants optiques, qui nous permettrons d'exposer les différents éléments d'une chaîne de transmissions par fibre optique pour les télécommunications.

Dans le deuxième chapitre, on abordera les différents réseaux optiques et les équipements de transmission associés et les techniques de multiplexages utilisées, avec une présentation de quelques équipements utilisés au niveau du centre de transmission d'Algérie télécom de Jijel (CT-Jijel).

Au troisième chapitre, une étude des performances des liaisons optiques du CT de Jijel sera présentée grâce à la réalisation de bilans de liaisons optiques et de mesures des pertes de quelques liaisons du centre.

CHAPITRE I

Généralités sur la fibre et les composants optiques

I. Introduction

La fibre optique, mince cheveu de verre transparent, a révolutionné les télécommunications depuis sa découverte dans les années soixante. L'information n'est plus transmise sous forme électrique mais sous forme d'un signal lumineux, en raison de sa faible atténuation, son faible poids, sa très petite taille et sa résistance mécanique, elle s'est imposée au fil des années comme le média par excellence pour la transmission des données sur des longues distances.

La conception des systèmes de transmission à très grande capacité était désormais possible, de plus les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux, et la demande de services de plus en plus élevée. Son apparition a nécessité la conception et le développement de nouveaux composants optiques.

II. Généralité sur la fibre optique

II.1. Avantages et inconvénients

La lumière au sens large est une onde électromagnétique qui peut transporter de l'information, sa transmission guidée dans une fibre optique présente les avantages suivants [1] :

- Faibles pertes.
- Large bande passante.
- Insensibilité aux perturbations électromagnétiques.
- Possibilité de raccordement entre les fibres optiques.
- Robustesse, faible poids et faible encombrement.
- Possibilité de regroupages de plusieurs liaisons
- Repérage des défauts très précise (homogénéité du support).

Le tableau 1, résume ces divers avantages par rapport aux autres supports de transmission :

Support	Câble coaxial	Ondes radio	Fibre optique
Propagation	Guidée	Libre/dirigée	Guidée
Milieu de propagation	Cuivre	/	Silice
Bande passante	MHz	GHz	THz
Atténuation	Forte avec fréquence	Variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations Électromagnétiques	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Correcte	Nulle	Élevée
Applications	Réseaux locaux haut débit, vidéo	Mobiles, satellites, Hertzien	Haut débit longue distance, réseaux locaux.
Compatibilité avec les nouveaux équipements	dépassé	Nécessite des améliorations	Compatible

Tableau 1. Comparaison entre les supports de transmissions.

Toutefois avec les avantages sus indiqués la fibre optique présentent certains inconvénients :

- Le coût des équipements actifs ainsi que les équipements de tests.
- Des pertes peuvent être causées par des courbures du câble, des connecteurs mal positionné ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.
- Difficultés d'adaptation avec les émetteurs lasers.
- Exigences micromécaniques très importantes lors du raccordement ou de connexion (alignement).

II.2. Structure, principe et caractéristiques de la fibre optique

Une fibre optique est un cylindre en verre, qui est constitué d'une partie centrale, le cœur, d'indice de réfraction $n_{cœur}$, qui est entourée par une seconde partie, la gaine optique, d'indice de réfraction n_{gaine} plus faible ($n_{cœur} > n_{gaine}$). Ces deux régions essentielles pour le guidage de la lumière sont réalisées avec deux matériaux différents. La fibre optique est souvent recouverte d'un revêtement protecteur qui n'a aucun rôle dans le guidage de la lumière et le transport de l'information [2].

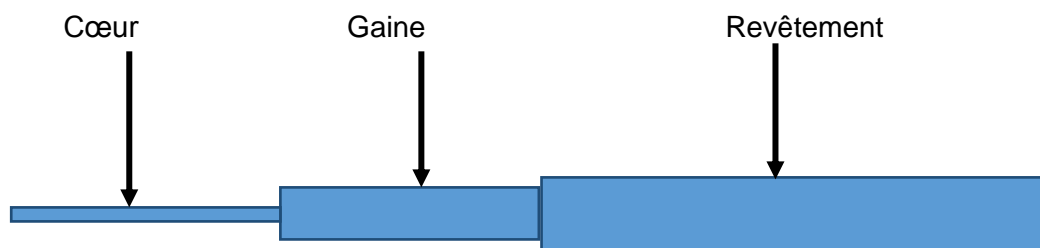


Figure 1. Constitution d'une fibre optique.

Généralement, on fabrique la fibre optique avec de la silice, un matériau qui ressemble au verre, la silice est un composé de silicium (Si) et d'oxygène (O) dont la formule chimique est SiO_2 [2].

L'indice de réfraction d'un milieu change selon les composants du milieu et il est défini comme étant le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré :

$$n = \frac{c}{c_{\text{matériau}}} \quad (I.1)$$

Les fibres optiques utilisées en télécommunication sont fabriquées en SiO_2 du fait de son faible coût et de la variation de son indice de réfraction [3].

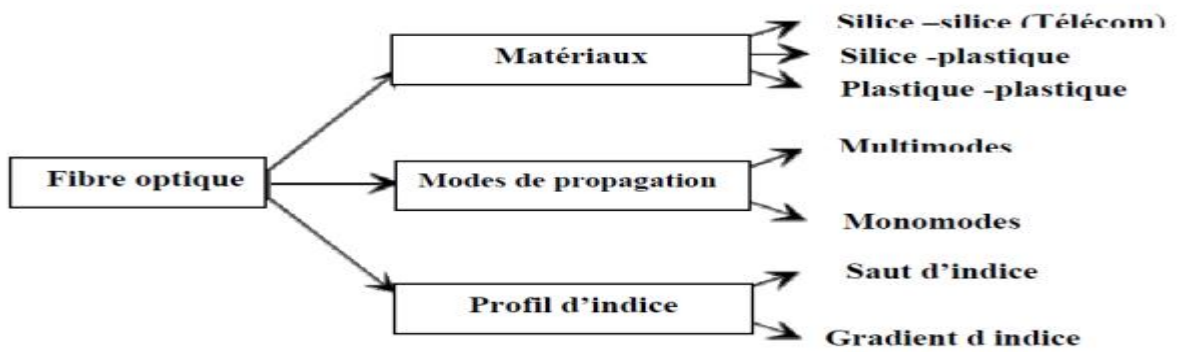


Figure 2. Classification des fibres optiques selon le matériau, le mode de propagation et le profil d'indice.

En fonction du mode de propagation, on peut classer les fibres en deux types principaux, la fibre monomode et la fibre multimode.

II.3. Principaux types de fibre optique

II.3.1. Les fibres optiques monomode

Elles se différencient avec les fibres optiques à saut d'indice multimodes en diamètres. Le diamètre de leurs cœurs varie entre 6 µm et 8 µm, tandis que le diamètre de leurs gaines est de 125 µm [3,4].

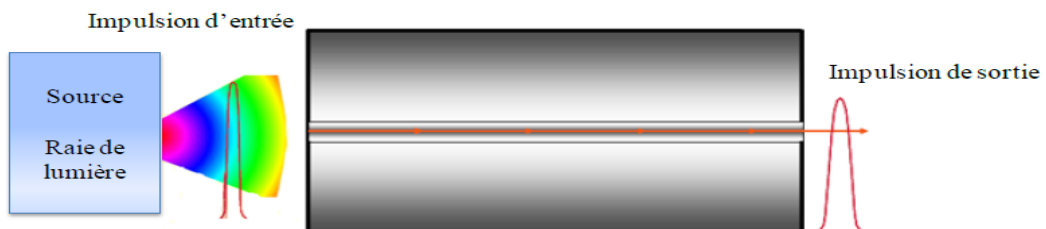


Figure 3. Fibre optique à saut d'indice monomode.

II.3.2. Les fibres optiques à saut d'indice multimodes

Dans ces types de fibres, le cœur est homogène de diamètre variant entre 100µm et 200µm tandis que celui de la gaine varie de 150 µm à 250 µm, leurs indices de réfraction sont donnés par [3] :

$$f(x) = \begin{cases} n_1, si & r < a(\text{cœur}) \\ n_2, si & r \geq a(\text{gaine}) \end{cases} \quad (1.2)$$

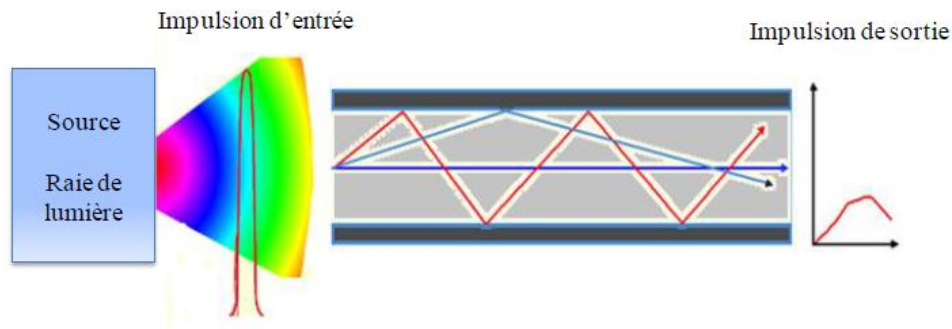


Figure 4. Fibre optique multimodes à saut d'indice.

II.3.3. Les fibres optiques multimodes à gradient d'indice

Dans ces types de fibres, l'indice du cœur diminue progressivement vers l'extérieur à partir de l'axe du cœur vers l'interface cœur-gaine. Le diamètre du cœur est de 50 µm et celui de la gaine est de 150 µm, leur indice de réfraction est donné par [3] :

$$f(x) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha}, & \text{si } r < a(\text{cœur}) \\ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta n_2}, & \text{si } r \geq a(\text{gaine}) \end{cases} \quad (1.3)$$

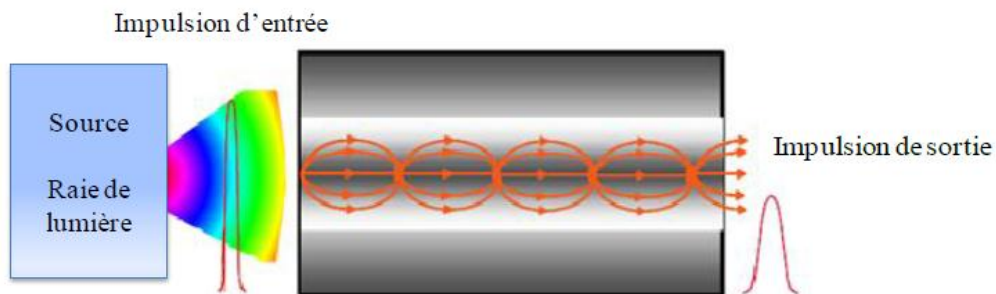


Figure 5. Fibre optique à gradient d'indice et son profil d'indice.

Le tableau 3, présente une comparaison des caractéristiques des deux familles de fibre

Fibre monomode	Fibre multimodes
Ouverture numérique faible (connexion difficile)	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (quelque dixième de db/km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
La bande passante supérieure à 10 GHz/km	Bande passante comprise entre 200 et 4700 MHz.km
Utilisation pour longues distances	Utilisation pour réseaux privés
Injection de type LASER (VCSEL)	Généralement injection de type LED

Tableau 2. Caractéristiques générales des fibres optiques [1].

II.4. Principe de propagation dans la fibre optique

Afin d'assurer une propagation du signal lumineux dans la fibre optique et réduire les pertes certaines conditions s'imposent. Vu que lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à travers l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre sans perte, en empruntant un parcours en zigzag.

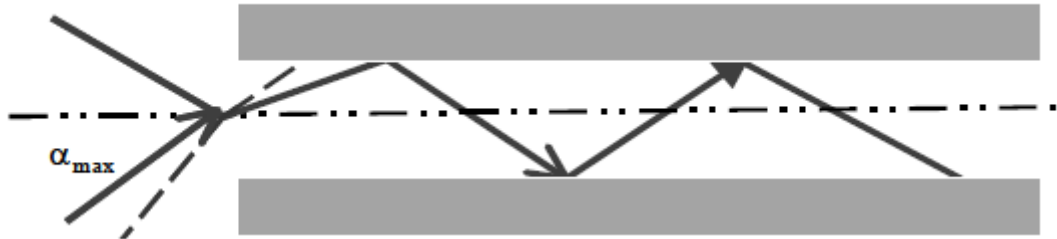


Figure 6. Guidage de la lumière dans la fibre optique.

L'ouverture numérique de la fibre ON représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre α_{max} , pour que la lumière puisse être guidée sans pertes, cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre [5].

$$ON = \sin \alpha_{max} \sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (1.4)$$

Un rayon hors du cône d'acceptance sera simplement réfracté à l'entrée dans la fibre puis à l'interface des deux couches, il passera alors dans la gaine et sera perdu.

Les rayons lumineux qui pénètrent dans le cœur, sous une incidence égale ou inférieure à l'angle limite sont guidés par la fibre. Si le diamètre du cœur est relativement grand, différents modes de propagation sont possibles et la fibre est de type multimode, ou MMF (*Multi mode Fibre*), le diamètre de son cœur varie entre 50 et 85 μm . Elle est principalement utilisée dans les réseaux locaux ne s'étendant pas sur plus de quelques kilomètres. Les données à transporter sont émises au moyen d'une diode électroluminescente (LED, *Light Emitting Diode*) d'une longueur d'onde de 850 ou 1300 nm, au contraire, si le cœur est petit par rapport à la longueur d'onde de la transmission, un seul mode de propagation est possible et la fibre est de type monomode, ou SMF (*Single Mode Fibre*), dont le cœur extrêmement fin a un diamètre de l'ordre de 9 μm . La transmission des données y est assurée par des lasers optiques émettant des longueurs d'onde lumineuses de 1300 à 1550 nm et par des amplificateurs optiques situés à intervalles réguliers.

Une fibre optique est caractérisée par deux paramètres. Le premier est la différence d'indice normalisée (*Relative Index Différence*) Δ , qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2}{2n_{coeur}} \simeq \frac{n_{coeur} - n_{gaine}}{n_{coeur}} \quad (1.5)$$

La valeur optimale de la différence d'indice normalisée est $\Delta \approx 3 \times 10^{-3}$ [4].

Le second paramètre est le paramètre V , la fréquence normalisée de la fibre.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a (n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)^{1/2} \quad (1.6)$$

a : est le rayon du cœur, λ est la longueur d'onde de la lumière. Si la valeur de V est inférieure à 2.405, la fibre à saut d'indice est dite monomode [4]

II.4.1. Les équations de propagation Maxwell dans la fibre optique

À partir des équations de Maxwell, nous pouvons développer un nouveau système d'équations d'onde en fonction de \vec{E} ou \vec{H} . Le principal intérêt de ces équations réside dans le fait qu'elles peuvent être découplées, c'est-à-dire que chacune d'elles ne fait intervenir qu'un seul champ (\vec{E} ou \vec{H}). Elles sont donc très utiles pour résoudre les problèmes liés aux conditions limites.

Dans un tel milieu, l'équation de propagation (équation de Helmholtz) s'écrit [5] :

$$(\nabla + k'^2) \begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

Avec $k' = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$.

$\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$: Opérateur Laplacien.

- **Solutions de l'équation de propagation**

La description et le calcul des champs dans la fibre optique, considérée comme un guide d'onde circulaire, consiste à chercher des solutions des équations de Maxwell qui satisfont les conditions aux limites et qui permettent la propagation la direction imposée. Compte tenu de la forme circulaire de la fibre optique, il est tout à fait naturel de choisir un système de coordonnées cylindriques [5].

- **Modes guidés et modes évanescents**

À ce niveau d'analyse, il est nécessaire de distinguer deux types de modes se propageant dans la fibre. Les premiers sont les modes guidés, les seconds sont les modes à fuites ou modes évanescents. Les modes guidés sont les modes tels que leurs indices effectifs soient supérieurs à l'indice de la gaine. Pour les modes évanescents, les indices sont inférieurs à celui de la gaine. Ces modes sont appelés aussi les modes de gaine où la constante de propagation est inférieure à $k_0 n_2$. Alors, le champ oscille également dans la gaine. Dans ce cas, la constante de propagation a une valeur complexe, ce qui entraîne une atténuation du mode [5].

II.5. L'atténuation dans la fibre optique

Au cours de la propagation de la lumière le long de la fibre optique la puissance décroît selon la loi :

$$P(z) = P_e e^{-\alpha z} \quad (1.8)$$

α : est le coefficient d'atténuation en Neper /m.

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime très souvent en décibels (dB). On définit un coefficient d'atténuation α pour une ligne de transmission de longueur L qui s'exprime en dB/Km tel que [6] :

$$A(\lambda)_{(dB/km)} = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_s}{P_e} \right]. \quad (1.9)$$

La relation entre A et α est : $A_{dB/km} = 4,34 \cdot 10^3 \alpha_{m^{-1}}$.

En comparant avec des autres supports de transmission comme le cuivre, l'atténuation de la fibre optique est faible, elle dépend en particulier de la longueur d'onde des impulsions lumineuses

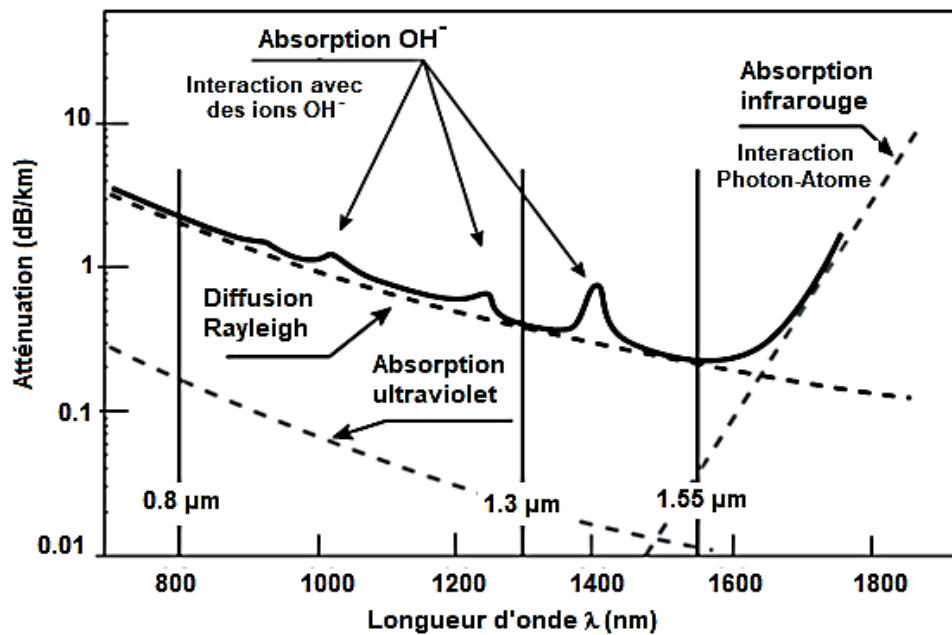


Figure 7. Pertes optiques dans une fibre standard.

L'atténuation spectrale consiste à mesurer l'affaiblissement de la fibre sur une plage de longueurs d'ondes.

- Diffusion de Rayleigh : Ce sont des pertes inévitables que l'on retrouve dans toutes les fibres. Dans les fibres dites de bonne qualité, la diffusion de Rayleigh est proportionnelle à $1/\lambda^4$ [6].
- L'absorption par les ions OH^- : principalement présents dans les fibres optiques, les ions hydroxyles peuvent, en fonction de leur concentration, créer une absorption supplémentaire significative autour de la longueur d'onde de $1,38 \mu\text{m}$.

On remarque un pic d'absorption autour de $1,37 \mu\text{m}$ lié à la présence d'ions OH^- et le minimum d'atténuation autour de $1,55 \mu\text{m}$. C'est essentiellement pour bénéficier de ce minimum d'atténuation que la plage de longueurs d'onde des télécommunications optiques s'est imposée autour de $1,55 \mu\text{m}$.

Les fibres actuelles possèdent une atténuation de l'ordre de 0,2 dB/km autour de cette longueur d'onde, ce qui est loin devant les autres milieux de propagation. Pour compenser les pertes de propagation, des amplificateurs optiques sont implantés régulièrement dans les liaisons optiques. L'espacement entre amplificateurs optiques est typiquement compris entre 40 et 100 km selon le type de liaison. L'introduction d'amplificateurs optiques dans la liaison ajoute du bruit aussi bien qu'il amplifié le signal [6].

D'une manière plus simple l'atténuation dans la fibre optique peut être classée en deux types [7].

- **Pertes intrinsèques** : dépendent des composants physico chimiques de la fibre optique.
 - Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
 - Les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion (diffusion Rayleigh).
- **Pertes extrinsèques** : dépendent du mode de couplage fibre-fibre ou fibre-composants.
 - Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.
 - Les micro-courbures sont des courbures très faibles, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles.

L'atténuation dans une fibre optique peut donc avoir plusieurs origines [8].

- L'hétérogénéité de la silice.
- L'absorption moléculaire.
- Le rayonnement des courbures.
- Les pertes dues au raccordement des épissures et aux connecteurs.
- Les pertes de couplage entre la fibre et les équipements connectés.
- La diffusion due aux irrégularités de l'interface cœur-gaine

II.5.1. Dispersion

La dispersion d'un signal optique est caractérisée une déformation qui se traduit par un élargissement des impulsions et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique.

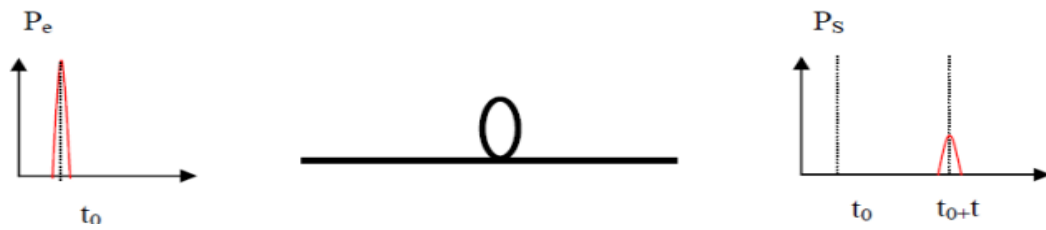


Figure 8. Propagation d'une impulsion le long d'une fibre optique.

Il existe trois types de dispersion :

- **Dispersion chromatique**

La dispersion chromatique est la combinaison de deux types de dispersion : La dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde. La première est causée par la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde [8].

En effet, le fait que la silice (SiO_2) dispose d'un indice de réfraction qui est fonction de la longueur d'onde, la dispersion du matériau est très petite par rapport à la longueur d'onde, toutes les fibres optiques sont caractérisées par ce type de dispersion soit monomode ou multimode. Par ailleurs La dispersion du guide d'onde est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le cœur et la gaine dépend de la longueur d'onde.

La dispersion totale elle englobe toutes les dispersions due au matériau et la dispersion du guide d'onde.

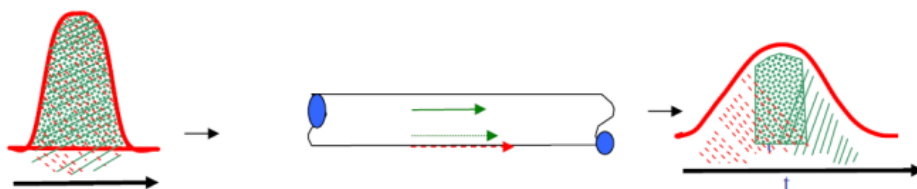


Figure 9. Dispersion chromatique

- **Dispersion intermodale**

Dans une fibre optique multimode, plusieurs ondes se propagent, chacun suit une trajectoire différente avec sa propre vitesse, au cours de leurs propagations ces ondes se séparent progressivement. L'ensemble des retards entre les différents rayons composant le signal lumineux introduit en réception une distorsion du signal électrique, cette distorsion est la dispersion intermodale [8].

L'impulsion en réception est la somme des composantes qui se propagent avec différentes vitesses suivant différents parcours (figure 10).

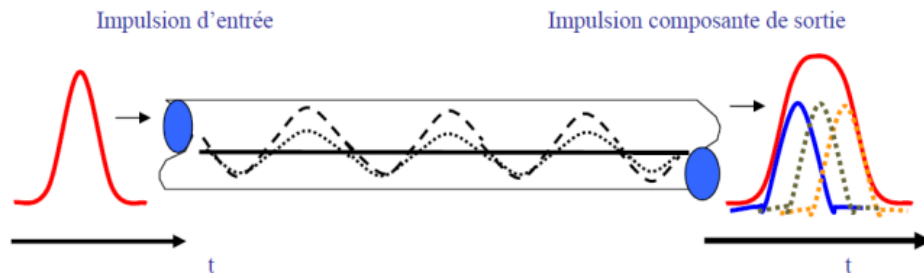


Figure 10. Dispersion modale

La dispersion intermodale est définie comme étant l'élargissement temporel maximum « t » d'une impulsion par unité de longueur de fibre

$$D_I = \frac{t_{max} - t_{min}}{L} = \frac{\tau}{L} \left(\frac{s}{km} \right) \quad (I.10)$$

Avec t_{max} et t_{min} respectivement le temps de parcours du mode le plus lent et celui du mode le plus rapide.

- **Dispersion modale due aux imperfections intrinsèques de la fibre**

En plus de la distorsion intermodale d'autres imperfections peuvent nuire à la qualité de la transmission, Les imperfections de la fabrication (intrinsèques) de la fibre, en particulier :

- La qualité de la gaine, la non homogénéité de sa surface provoque une perturbation dans la direction du rayon réfléchi.
- La forme du cœur, sa conicité, provoque une perturbation dans la direction du rayon réfléchi
- L'imperfection des épissures (joints de connexion) provoque également une perturbation dans la direction du rayon réfléchi.

Ces différentes imperfections causent un mélange de mode (chevauchement), qui induit une dispersion modale avec une allure linéaire avec la longueur de la fibre.

II.5.2. Bande passante

La bande passante est l'un des paramètres les plus importants pour définir la capacité maximale de transmission d'une fibre optique. Physiquement les limites d'une bande passante dépendent des facteurs atténuants la transmission qui sont la dispersion modale et chromatique, la bande passante d'une fibre n'est donc pas une caractéristique intrinsèque, elle peut être influencée par des paramètres externes qui dépendent des équipements de la source l'utilisation de la relation $(B_{Tot} \leq \frac{1}{2\sigma})$ et la connaissance de la variation du temps de groupe, permet de calculer les bandes passantes dues aux différentes dispersion chromatique $B^{(Chr)}$ et modale $B^{(Mod)}$ [8].

La définition de la bande passante totale (BT) qui dépend de l'effet des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique, permettra de stabiliser la fréquence maximale transmissible en ligne. La bande totale est définie par l'expression :

$$B_T = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{B(Chr)}\right)^2 + \left(\frac{1}{B(Mod)}\right)^2}} \quad (1.11)$$

B_{Mod} : Bande résultante de la dispersion modale

B_{Chr} : Bande dérivante de la dispersion chromatique

Dans les fibres multimodes, la bande totale dépend uniquement de la bande modale.

II.6. Fenêtre de transmission

Selon l'atténuation les fibres peuvent être utilisées pour la transmission essentiellement dans deux « fenêtres en longueur d'onde » : les fenêtres 1300 nm et 1500 nm, La fenêtre 800 nm étant pratiquement complètement abandonnée [9].

La fenêtre à 1300 nm a une largeur de bande de 50 nm et une atténuation moyenne importante d'environ 0,4 dB/km ; mais les composants optoélectroniques à ces longueurs d'onde (lasers et récepteurs) sont peu coûteux. Elle est utilisée pour les systèmes de télécommunications de courte distance (quelques dizaines de kilomètres) ou de faible capacité : réseaux urbains.

La fenêtre à 1550 nm a une largeur de bande de 100 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,2 dB/km. Elle est utilisée généralement pour les télécommunications longues distances et à haut débit car la faible atténuation dans cette fenêtre permet d'espacer bien davantage les coûteux régénérateurs et/ou amplificateurs nécessaires pour la compensation de l'atténuation dans la fibre de ligne [9].

Le tableau suivant nous montre principales différences entre les trois fenêtres de transmission des télécommunications optiques utilisées.

Fenêtre	La première fenêtre (0.8-0.9 μm)	La deuxième fenêtre (1.28-1.33 μm)	La troisième fenêtre (1.525-1.625 μm) :
Atténuation	Atténuation élevée (~ 3 dB/km)	Atténuation raisonnable (0,33 dB/km)	Atténuation minimale (0,2 dB/km)
Composants	Composants très bon marché (Diodes LED)	Lasers disponibles depuis longtemps et peu chers	Lasers et amplificateurs performants (mais assez chers)
Utilisation	N'est utilisée qu'en multimode.	Encore largement utilisée	C'est la fenêtre de choix pour quasiment toutes les applications modernes.
Particularités	/	Dispersion chromatique nulle	Existence de systèmes très performants (DWDM)
			Deux sous-bandes : C 1525-1565 nm, L 1565-1625 nm

Tableau 3. Caractéristiques des trois fenêtres de transmission optique.

III. Modules et composants d'émission /réception

Toute chaîne de transmission est constituée d'un émetteur (source), support de transmission et d'un récepteur pour la transmission optique, le principe de fonctionnement repose sur l'interaction de la lumière dans les matériaux semi-conducteurs dont la fibre est fabriquée, ainsi que sur les composants électriques utilisés et un amplificateur (répéteur) pour de grandes distances.

III.1. Modules et composants d'émission

Pour une transmission optique, on utilise des diodes électroluminescentes (DEL) et des diodes laser (DL). La source optique la plus utilisée dans les systèmes de communications optiques est la diode laser. Elle est composée d'une cavité comprise entre deux couches de semiconducteurs.

- **Diodes électroluminescentes (LED, Light Emission Diode)**

Une LED est une jonction PN polarisée en direct. Les électrons ou les trous, qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leurs recombinaisons donnent lieu à une émission de la lumière [10,11].

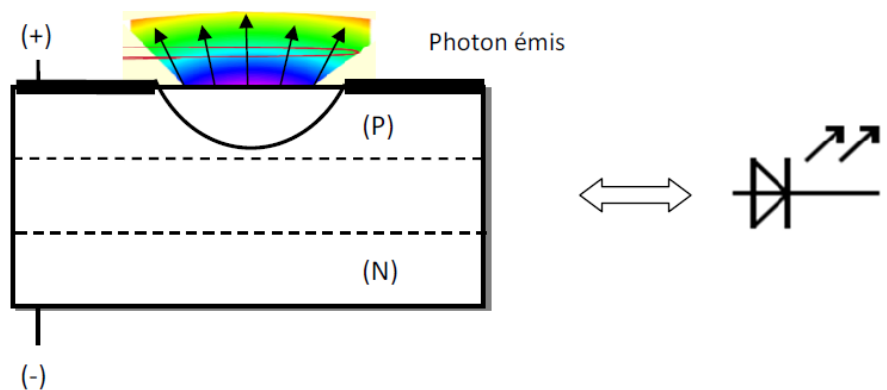


Figure 11. Diode électroluminescentes LED.

- **Les convertisseurs optiques**

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les graver sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Le dispositif optique qui module le faisceau LASER continu est appelé un modulateur. En fonction de la technologie et du taux de modulation, on utilise en général trois techniques : la modulation dite 'OOK', la modulation directe et la modulation externe [10,11].

- **La modulation par la technique du 'OOK' (On-Off-Keying)**

Dans cette technique, on utilise un obturateur rapide qui agit sur le faisceau LASER. Quand l'obturateur s'ouvre, il permet à la lumière de passer à travers la fibre ; quand il est fermé, la lumière est bloquée. L'obturateur optique affecte la puissance optique du faisceau LASER [10,11].

- **La modulation directe**

La méthode consiste à faire varier le courant de la source. Il en résulte une variation proportionnelle de la puissance émise qui suit le signal modulateur. Pour les communications optiques à moindre coût, ce type de modulateur est privilégié, car il utilise peu de composants [10,11].

- **La modulation externe**

La modulation externe consiste à graver les données électriques sur un signal optique continu en utilisant un modulateur. Ainsi, les défauts de la modulation directe qui sont liés au LASER, ne seront plus présents sur le signal optique. Le modulateur est commandé par une tension externe $v(t)$. Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en sortie.

En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon $v(t)$. Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les niveaux de $v(t)$ et choisir les modifications du facteur de transmission [10,11].

Dans l'industrie des télécommunications optiques, on utilise principalement deux types de modulateurs externes :

- **Le modulateur à électro-absorption**
- **Le modulateur de Mach-Zehnder**

- **Conversion optoélectronique**

Consiste à traduire le signal optique en signal électrique, puis émettre un nouveau signal optique avec une longueur d'onde différente. Cette technique est équivalente à la régénération du signal, c'est pourquoi on pourra profiter de la régénération du signal pour modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Des expérimentations pour des débits de 10 Gbp/s ont été réalisées [11].

- **La portée optique**

La portée optique est définie comme étant la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur, elle est donnée par l'équation suivante [9] :

$$\text{Portée de liaison optique} = \frac{\text{Atténuation disponible}}{\text{Atténuation linéique}} = \frac{a}{\alpha}$$

L'atténuation étant connue il reste à vérifier que la bande passante est suffisante

III.2. Modules et Composants de réception

Le système de réception est composé une photodiode qui convertit le signal optique reçu en signal électrique suivie d'un amplificateur, dont la réalisation doit être soignée car c'est en général le bruit de celui-ci qui limite la puissance optique minimale détectable, et donc la portée

du système. Suivant les applications, on trouve ensuite des circuits de filtrage ou de remise à niveau logique (convertisseur).

Les principaux paramètres qui interviennent pour caractériser la détection sont :

- La longueur d'onde de coupure.
- La sensibilité du détecteur.

De même que pour les modules d'émission, les modules de réception ont connu des avancées technologiques importantes. Le rôle du récepteur est de capter et convertir au principalement le signal optique en signal électrique (la réception est basée sur la technique de détection directe). Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. On y trouve trois parties indiquées sur la figure 12 [4,11].

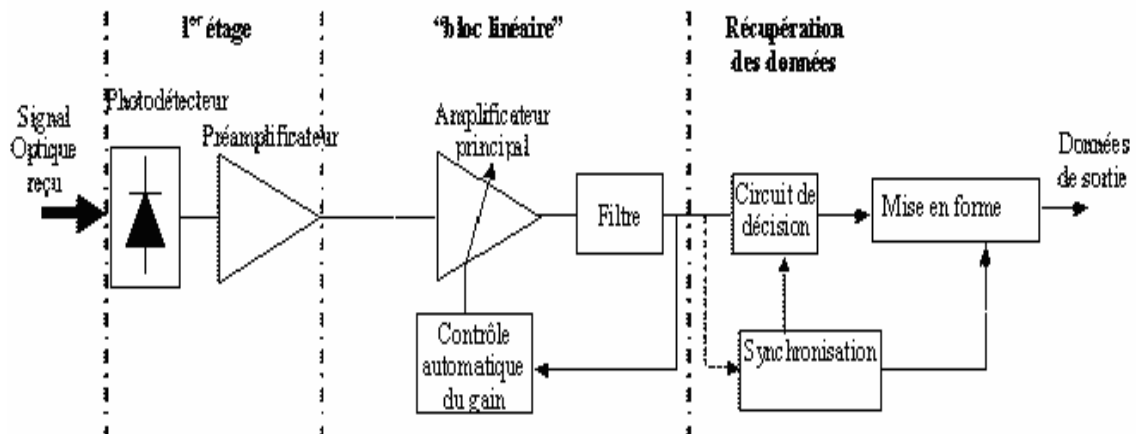


Figure 12. Schéma d'un récepteur de données à détection directe.

- Le bloc « premier étage » est composé du photodétecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photocourant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.
- Le bloc « linéaire », est composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre réducteur de bruit.
- le bloc « récupération des données » correspond au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme (circuit de synchronisation).

III.2.1. Les Photodétecteurs

Les photodétecteurs sont des composants à semi-conducteurs qui détectent les signaux optiques par des processus électroniques. Ces processus sont conditionnés par la transition optique des porteurs de charges d'un état liée à un état de conduction. Ce qui se traduit par l'augmentation de la conductivité du semiconducteur due à l'augmentation de la densité de

porteurs de charge libres et par conséquent la génération d'un courant électrique d'où la conversion des variations optiques en électriques [1,2].

La sensibilité à une gamme de longueurs d'ondes est imposée principalement par la bande d'absorption du matériau, notons que les effets thermiques ont un effet notable sur la performance du détecteur.

Sur le marché il existe plusieurs types de photo détecteur on va s'intéresser à deux types de photodiodes utilisées en télécoms optiques :

- Photodiode PIN
- Photodiode à avalanche APD

III.2.2. Principe de la photodétection

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur, constitué d'un matériau semiconducteur. Absorbés, ils peuvent provoquer le passage d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction. Dans cette dernière, les électrons moins liés deviennent libres. Le photon a donc laissé une place à une paire électron-trou. Une différence de potentiel est appliquée dans le but d'empêcher l'électron de retomber dans son plus stable état. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photocourant [3].

- Caractéristiques d'un photodétecteur

Lorsqu'on considère le bilan d'une liaison par fibre optique, les performances du système dépendent en partie de celles du photodétecteur. Ce composant intervient grâce à la puissance seuil qu'il peut détecter et au bruit qu'il introduit [7].

Lorsqu'on veut augmenter l'espacement entre répéteurs (régénérateurs) afin de réduire le coût total d'une liaison, il est nécessaire de choisir un détecteur de grande qualité. Pour cela on demande au photodétecteur :

- D'avoir une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement (1,3 μm et 1,55 μm).
- De posséder une bande passante convenable.
- D'introduire un bruit minimum (courant d'obscurité le plus faible).
- De reconstituer le signal original avec la plus grande fidélité.
- D'offrir un bon couplage avec la fibre.
- D'avoir une bonne stabilité en température.
- D'être facile à mettre en œuvre.
- D'avoir une grande fiabilité et un faible coût.

III.2.3. Photodiodes PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiode)

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée de trois couches Semi-conductrices : deux fortement dopées P+ et N+, entre lesquelles existe une couche de grande résistivité (presque

intrinsèque), ou il existe très peu de charges mobiles. Parce qu'elles sont peu coûteuses, simples à utiliser et de performance satisfaisante, les photodiodes PIN sont les plus utilisées [8].

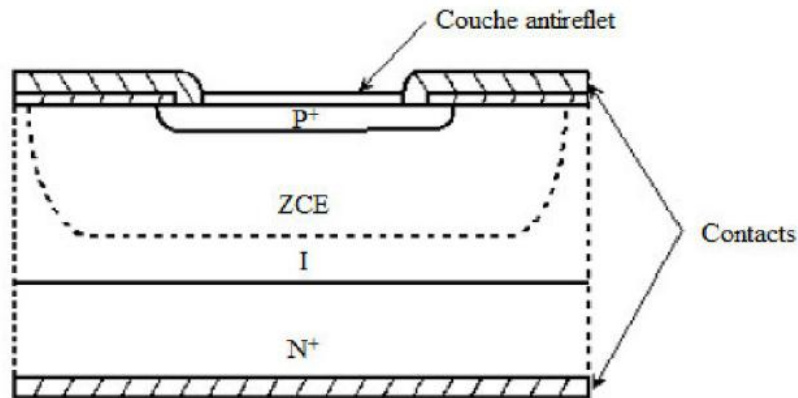


Figure 13. Coupe transversale d'une diode PIN.

III.2.4. Photodiode APD (Avalanche Photodiode)

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal à bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiodes, comme celles à gain interne de type avalanche (APD).

La photodiode d'avalanche est une PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance ; cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les APD sont aussi utilisées grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide, mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte [5].

III.3. Les répéteurs et les amplificateurs optiques

Lorsque la longueur de la liaison le nécessite, on insère un ou plusieurs répéteurs, qui contiennent des interfaces de réception et d'émission reliés par des circuits d'amplification, et de régénération pour les transmissions numériques. Plutôt que de ramener le signal sous forme électrique pour l'amplifier, on utilise de plus en plus l'amplification optique dans des fibres dopées erbium, pompées par laser.

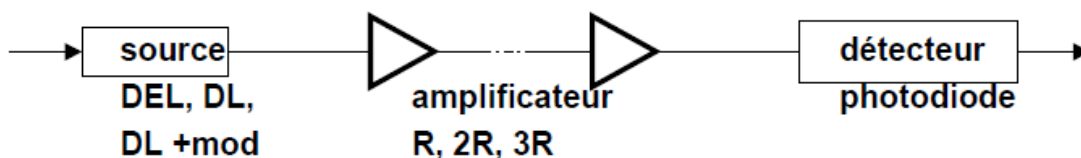


Figure 14. Exemple d'amplification optique.

Les amplificateurs placés à intervalles réguliers peuvent être de 3 types :

R : « régénération » (amplification seule)

2R : « régénération-reshaping » (amplification et remise en forme)

3R : « régénération-reshaping-retiming » (amplification et remise en forme et synchronisation)

- Le détecteur est constitué d'une photodiode PIN ou à avalanche.

Bien que l'atténuation des fibres optiques soit très faible, un signal qui s'y propage ne peut pas être détecté après, au grand maximum, quelques centaines de kilomètres de propagation. Pour pallier cela des répéteurs, essentiellement formés d'amplificateurs, doivent être placés périodiquement le long de la ligne optique pour redonner de l'énergie au signal pour qu'il puisse être détecté de manière optimale [12,18].

On distingue principalement trois types d'amplificateurs optiques :

- les amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA pour Erbium-Doped Fiber Amplifiers).
- les amplificateurs Raman.
- les amplificateurs à semi-conducteurs (SOA pour Semiconductor Optical Amplifiers).

III.3.1. Intérêts d'un amplificateur optique

La bande passante n'est plus limitée par l'électronique et peut atteindre plusieurs centaines de Gigahertz. Les amplificateurs offrent l'avantage d'amplifier les signaux de longueur d'onde correspondant à leur plage de sensibilité sans tenir compte du débit de transmission et du format de modulation utilisé. L'amplificateur optique n'effectue pas la mise en forme du signal à amplifier ; il amplifie le signal au même titre que son bruit associé [13,15].

Les techniques principales des amplificateurs optiques présentent un certain nombre de caractéristiques, qui sont :

- **Gain de l'amplificateur** (rapport en décibels (dB) de la puissance de sortie sur la puissance en entrée) : typiquement 20 à 50 dB ;

$$G_{dB} = 10. \text{Log} (P_s/P_e)$$

- **Niveau de puissance de saturation** P_s du gain de l'amplificateur, chiffrant la puissance de sortie pour laquelle le gain de l'amplificateur sature déjà : typiquement 1 à 10 mW ;
- **Bande spectrale d'amplification** $\Delta\lambda$: typiquement 25 à 40 nm ;
- **Facteur de bruit** F, chiffrant la dégradation du rapport signal à bruit à la traversée de l'amplificateur du fait de l'amplification de l'émission spontanée typiquement 6 à 8 dB.
- **Rendement** (en mW) : défini comme le rapport du gain (en dB) à la puissance de pompe injectée dans la fibre [15].

IV. Câble à fibres optique

Les câbles à fibres optiques sont constitués de brins optiques qui sont conditionnés avec un enrobage en plastique de forme cylindrique qui assure une protection mécanique, thermique et

chimique, sont faible poids et sa taille réduit permet d'effectuées des pose jusque à 2 km (avec technique de soufflage ou flottage) contre 300 m avec du câble en cuivre [16].

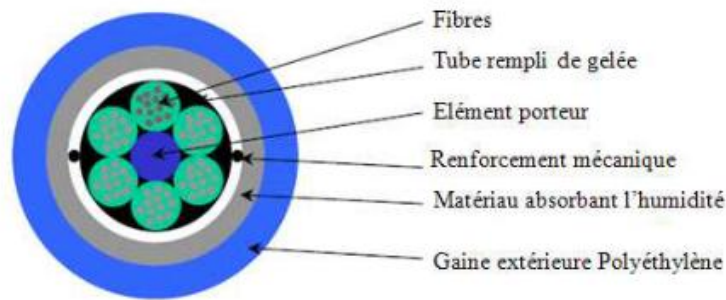


Figure 15. Câble optique standard.

IV.1. Types de câble à fibre optique

Il existe une très large gamme de câbles optiques répondant à tous les cas rencontrés [16] :

- Câbles d'extérieur, entre immeubles, installés en aérien, en souterrain ou en caniveaux.
- Câbles pour la distribution verticale entre étages.
- Câbles pour la distribution horizontale jusqu'au poste de travail, en apparent, en faux-plafond ou faux-plancher. – Cordons de liaisons et cordons de brassage.
- Câbles dotés de gaines particulières pour certaines protections contre les rongeurs, contre l'humidité, contre des agents corrosifs, contre des plombs de chasse, etc.
- Câbles dont les gaines sont sans halogène et à faibles dégagement de fumées (low smoke zero halogen - LSZH ou LSOH) pour les bâtiments recevant du public.
- Câbles pour les liaisons de très longues distances terrestres, fluviales ou sous-marines, etc.

IV.2. Différentes structures des câbles à fibre optique

Quel que soit le type de câble, il sera constitué selon une des deux possibilités de structure que sont la structure serrée ou la structure libre et il contiendra un nombre de fibres optiques très variable, de la fibre unitaire à plusieurs centaines de fibres [16].

IV.2.1. Câbles à fibres optiques à structure serrée

La structure élémentaire d'une fibre optique est dite structure serrée lorsqu'elle est recouverte de façon solidaire par un revêtement secondaire. Ce revêtement protecteur est extrudé directement sur la fibre optique et, généralement, son diamètre est de 900 microns. Puis, à chaque fibre on ajoute des renforts en polyamide de type Kevlar ainsi qu'une gaine supplémentaire. Tout cela confère à la fibre optique des avantages en maniabilité et en résistance mécanique. De plus, l'assemblage des fibres optiques de ce type autour d'un renfort central permet de constituer facilement un câble présentant une grande facilité de pose et de

raccordement car chaque fibre est directement connectable. Les coefficients de dilatation et de rétraction de la fibre en verre et des revêtements en plastique étant différents, cette structure se rencontre essentiellement dans des applications à l'intérieur des bâtiments [16].

IV.2.2. Câbles à fibres optiques à structure libre

En structure libre, la fibre élémentaire de 250 microns est logée librement dans un tube plus large afin de faire face aux risques de dilatation ou rétraction offrant ainsi des possibilités d'utilisation avec des plages de températures plus étendues. Un autre avantage de cette structure tient au fait que plusieurs fibres optiques peuvent être placées dans un même tube d'où un moindre encombrement qu'en structure serrée, à nombre de fibres égal. En revanche, le tube est rempli d'un gel spécial qui sert de barrière à l'humidité. Ceci nécessite une plus longue préparation du câble, un temps de raccordement plus long et une manipulation plus délicate. Cette structure libre se rencontre en rocares extérieures inter-bâtiments ou sur de longues distances mais aussi en distribution intérieure en version économique sans gel d'étanchéité [16].

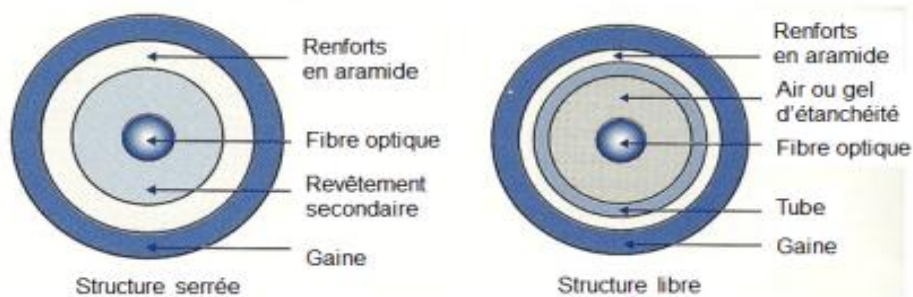


Figure 14. Structures serrée et libre d'un câble optique.

Une fibre optique élémentaire à structure serrée est aussi appelée fibre revêtue 900 microns ou souplisseau. Un câble constitué de telles fibres est nommé, en langue anglaise, buffer 900 microns ou structure light. Quant à la structure libre, les synonymes sont structure tubée ou câble à graisse et, en anglais, (loose tube fiber). On rencontre également une variante de la structure serrée : le principe appelé "micro-gaine" dans laquelle plusieurs fibres optiques sont étroitement enserrées par une enveloppe. Cette structure est fréquemment utilisée pour la pose de câbles en conduite.

IV.3. Code couleur du revêtement extérieur de la fibre optique

La couleur de la gaine est parfois utilisée pour distinguer les câbles multimodes de ceux monomodes. La norme TIA-598C recommande, pour les applications non militaires, la gaine jaune pour la fibre monomode et la couleur orange et aqua pour la fibre multimode selon les types. Certains fournisseurs utilisent la couleur violette pour distinguer les fibres de communication OM4 de performance supérieure des autres types [17].



Figure 15. Code couleur des fibres optiques.

IV.4. Normes spéciales de la fibre optique monomode

G652 Normalisation des fibres optiques monomodes standards (à dispersion non décalée).

G652a Version de base de la fibre G652, définie à 1310 nm et à 1550 nm.

G652b Version de la fibre G652, définie à 1625nm avec des affaiblissements améliorés à 1310nm et à 1550nm par rapport à la version a, et avec une meilleure PMD.

G652c Version de la fibre G652, définie à 1383nm (faible pic OH) avec un affaiblissement amélioré à 1550nm par rapport à la version b.

G652d Version de la fibre G652 la plus performante (meilleures caractéristiques des versions b et c).

G653 Normalisation des fibres optiques monomodes à dispersion décalée (peu utilisée aujourd'hui).

G655 Normalisation des fibres optiques monomodes à dispersion décalée non nulle (NZDF : Non Zero Dispersion Fiber). Utilisation à 1550nm pour les infrastructures longues distances en DWDM.

G657 Fibre à faible rayon de courbure.

G657a Fibre G657 compatible avec la fibre optique G652d.

G657b Fibre G657 non compatible avec la fibre optique, G652 mais avec des meilleures caractéristiques d'insensibilité aux courbes que la version a.

G657a2 Fibre G657 compatible à la fibre G652d et offrant une meilleure caractéristique d'insensibilité aux courbes que la version a1.

Une Comparaison entre les normes G652, G653, G655 et G657 de la fibre optique monomode est illustrée dans le tableau 5, en terme de : l'année de mise en service, la longueur d'onde de coupure, l'affaiblissement et la dispersion.

Type de fibre monomode	G652	G653	G655	G657
Année de mise en service	1983	1985	1994	2005
Longueur d'onde de coupure en nm	1310	1550	1550	1260-1625
Affaiblissement 123.5 - 1330 nm en dB/Km	<0.4	<0.5	<0.5	<0.35
Affaiblissement 15.50 nm en dB/Km	<0.25	<0.25	<0.25	<0.21
Longueur d'onde de coupure en câble	1150/1280	1050/1350	1450	1260

Tableau 5. Tableau comparatif entre les différentes normes G65X de la fibre monomode [17].

IV.5. Jonction de la fibre optique

Il existe aujourd'hui deux méthodes principales pour raccorder entre elles deux fibres optiques :

IV.5.1. Raccordement mécanique

Le raccordement mécanique comprend le plus souvent le couplage de deux connecteurs mis bout à bout. Le raccordement par "Splice" mécanique est utilisé pour les réparations suite à une rupture de la fibre. Les tiroirs optiques permettent de brasser les fibres provenant des différents câbles au moyen de jarretières en jaune (pigtail) et de connecteurs optiques.

Cette opération est nécessaire pour effectuer les différentes dérivations dont certaines constituent les points de sortie vers le réseau du client. Ces connexions peuvent engendrées un affaiblissement du signal qui est insignifiant (ex : 2 connecteurs et 1 jarretière) une atténuation inférieure à 0.7dB (à 1300 nm et 1550 nm) [17].

IV.5.2. Raccordement par fusion

Cette opération est réalisée avec l'aide d'une fusionneuse automatique qui assure notamment :

- L'alignement par le cœur de la fibre dans les 3 axes.
- La visualisation en temps réel de la fusion des 2 fibres.
- Le test de traction après soudure (50 g à 500 g).
- La mesure de l'affaiblissement à 1310 et 1550 nm (en moyenne de 0,03 à 0,1dB avec pour valeur maximale 0,15 dB).

IV.5.3. Techniques de pose des câbles à fibre optiques

La pose des câbles à fibre optique ce fait de trois techniques :

1. Par soufflage du câble : par la pression de l'air en fait le drainage du câble dans des fourreaux en PHD (Poly Ethylène-Haute Densité) de diamètre de 43 mm, pratiquement pour des distances continue inferieur à 2 km.

2. Par flottage : on utilise la pression de l'eau pour des distances continue inferieures à 2 km.
3. Tirage par jeux d'aiguilles : on utilise des baguettes d'aiguilles pour drainer le câble pour des distances continues inferieures à 150 m [18].

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur la fibre et les composants optiques utilisés dans les systèmes de transmissions optiques en télécommunications. Nous nous sommes intéressés aux différents modules d'émission et de réception utilisés dans une chaine de transmission nécessaires pour aborder l'étude d'une liaison optique. Au prochain chapitre nous abordons les techniques et les équipements de transmission opérants dans les liaisons optiques existantes au niveau du Centre de Transmission (CT) de Jijel.

Références

- [1] C.Servin, " Réseau et Télécoms ", Edition Dunod, (2008).
- [2] Dossier technique "Les Fibres optiques", AT, (1999).
- [3] J. Sewter, "Electronic equalization of polarization mode dispersion in 40 Gb/s optical systems", thèse de doctorat, université de Toronto, (2005).
- [4] N. Boudrioua, "Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD", Thèse de doctorat, université Paul Verlaine, Metz, France, (2007).
- [5] L.Cherbi "Propagation et caractérisation des fibres optiques "Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique Alger, (2007).
- [6] K. P. Ho, C. Lin, "Performance analysis of optical transmission system with polarization mode dispersion and forward error correction", IEEE Photon. Technol. Lett., 9 1288–1290, (1997).
- [7] M.R. Beghoul, "Cour de communications optiques", master 1 systèmes de télécommunications, université de Jijel, (2107).
- [8] K. Beldjilali, M. Khelladi, "Étude pratique sur la maintenance des fibres optiques monomodes", Master, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, Algerie, (2018).
- [9] M.Rouha, S.Bouncer, "Etude et simulation des pertes dans une liaison fibre optique avec application", Master, Université de Bejaia, Algérie, (2016).
- [10] J-L. Verneuil, "Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique a 40 Gbits/s", thèse doctorat, université de Limoges, France, (2003).
- [11] J.Laurent, "Communications optiques a très haut débit", Conservatoire National des Arts et Métiers, France, (2004).
- [12] P. Lecoy, "Telecoms sur fibres optiques", 2^{ème} éditions. Hermès, (1997)
- [13] V. Laur., " Contribution à la réalisation de circuits hyperfréquences reconfigurables à partir de couches minces ferroélectriques : des matériaux aux dispositifs" Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, France, (2007).
- [14] M. Lefrançois, "Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 gbit/s", thèse de doctorat, université paris-sud, France (2007).
- [15] M. Joindot, I. Joindot, "Fibres optiques pour télécommunications" E7 110, (2000).
- [16] J-M.Mur "Notions fondamentales (Câbles, Connectique, Composants, Protocoles, Réseaux...)" 2^{ème} édition eni, (2012).
- [17] P. Lecoy, " Télécoms sur fibres optiques ", 3^{ème} édition Hermès, (2008).
- [18] Manuel Algérie Télécom "manuelle de pose", (2012).

CHAPITRE II

Réseaux optiques et équipements de transmission

I. Introduction

La veille technologique avec la demande de nouveaux services pour les systèmes de télécommunications, n'a pas cessé de mettre des challenges pour les leaders du domaine, effectivement de nouvelles techniques de télécommunications ont fait leurs apparitions dans le but d'offrir de nouveaux services avec une qualité meilleure.

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux réseaux de télécommunications avec support en câble à fibre optique, tout en donnant des exemples concrets des liaisons assurées par le centre de transmission (CT) de la wilaya de Jijel avec une description des équipements les plus utilisés au niveau du centre.

II. Structure des réseaux optiques

Du point de vue couverture on peut classer les réseaux de télécommunications en fibre optique en trois catégories [1] :

- Le réseau d'accès - couvrant des dimensions de l'ordre de quelques kilomètres à quelques dizaines, aussi appelé réseau local (Local Area Network : LAN).
- Le réseau métropolitain (Metropolitan Area Network : MAN), ayant des dimensions de l'ordre de la centaine de kilomètres.
- Le réseau cœur - s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres.

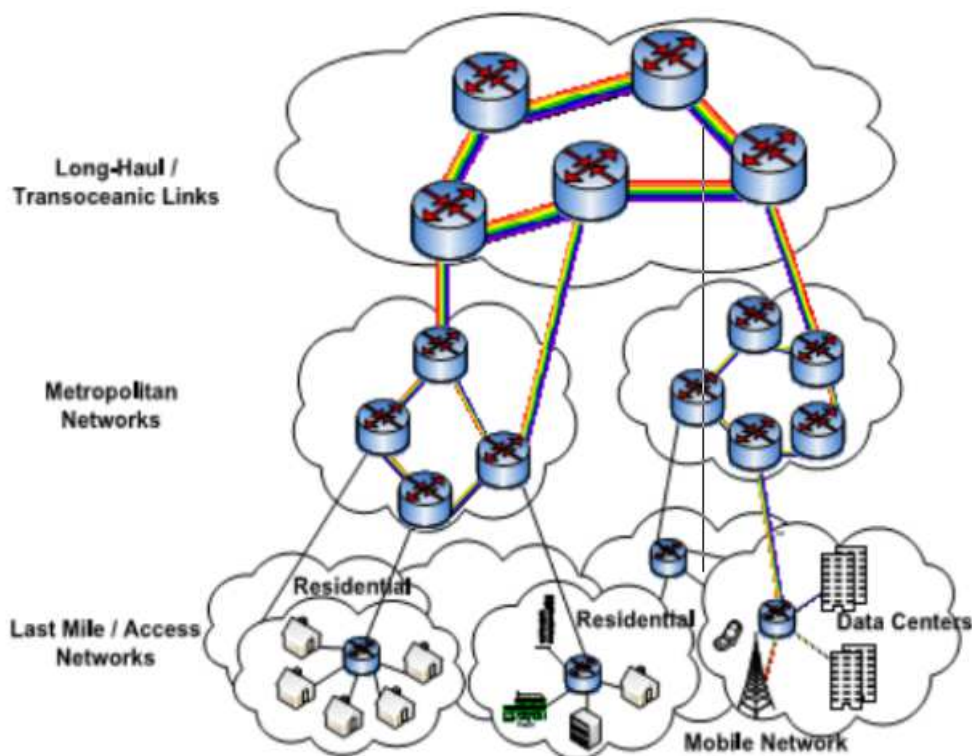


Figure 1. Architecture d'un réseau optique.

Chacun de ces sous-réseaux à différentes fonctions à accomplir auxquelles sont associées différents enjeux, besoins techniques et exigences de recherche. Il doit répondre à la demande croissante de capacité des réseaux de télécommunications.

II.1. Les réseaux dorsaux mondiaux (ou backbone)

On les appelle également les réseaux WAN (Wide Area Network). Ce sont généralement des réseaux dotés d'une structure maillée ou en anneaux où les débits de transmission de données sont supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexions varient entre la centaine de kilomètres et plus de mille kilomètres. Couvrant ainsi des zones géographiques à l'échelle des continents. Ils sont constitués par toutes les artères majeures de transmission au niveau mondial et supportent donc les échanges internationaux. Ils utilisent en partie les liaisons fibrées ultra-haut débit transocéanique comme exemple de dimension de ces artères, nous pouvons citer les liaisons transpacifiques entre le Japon et les USA qui atteignent une longueur de 9000 km, ou les liaisons transatlantiques entre l'Europe et les USA sur des distances de transmission de 6000 km. Dans ces applications les réseaux optiques sont omniprésents avec des débits de transmission compris entre 2.5 et 10 Gbit/s par canal et, en atteignant une capacité totale au tour des 640 Gbit/s présente une étude détaillée sur l'évolution de ces réseaux [1-3].

II.2. Les réseaux métropolitains

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain est déployé pour faire le lien entre le réseau d'accès et le réseau de transport. Il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès. Les réseaux métropolitains sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit nœuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants. Les topologies logiques (profils de trafic) des réseaux métropolitains diffèrent radicalement de celles des réseaux longue distance.

En effet. Ils correspondent pour l'essentiel à des lignes interurbaines point à point avec tout au plus un ou deux multiplexeurs d'insertion-extraction optiques (OADM) pour insérer et extraire le trafic en des points intermédiaires. Les réseaux métropolitains introduisent une infrastructure optique à haut degré de connectivité. Les anneaux métropolitains se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès, à la différence collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant. La complexité de ce réseau ne se traduit pas uniquement par le haut degré de connectivité. A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains

doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou du réseau optique synchrone (SONET) ou d'autres encore. Pour supporter cette diversité, ces réseaux sont souvent équipés de cartes "transpondeur multi-débits universelles", acceptant n'importe quel débit de 100 Mbit à 2.5 Gbit/s. pouvant assurer ultérieurement le trafic à 10 Gbit/s sans modification [1,4,5].

II.3. Les réseaux locaux (d'accès)

Le réseau local comprend tout ce qui est situé entre le réseau métropolitain et le terminal de l'abonné, Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain. Le réseau local optique est souvent constitué par une partie en fibre Optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Selon la localisation de la terminaison du réseau optique, différentes configurations sont envisageables :

- **FTTH/ FTTO** (Fiber To The Home /Fiber To The Office) : La terminaison du réseau optique, propre à un abonné, est implantée dans ses locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau. Pour effectuer le raccordement terminal des clients, on peut utiliser soit un câble Ethernet, soit la terminaison en cuivre traditionnelle équipée en VDSL 2 (Very high speed Digital subscriber Line). Le VDSL 2 (nouvelle norme DSL) autorise des débits de 40 Mbits/s descendant et 15 Mbit/s ascendant, mais seulement pour des clients très proches du DSLAM « Digital Subscriber Line Access multiplexer », (quelques centaines de mètres au plus), avec des débits variant selon la distance, à la différence de la fibre qui ne présente pas ces contraintes.
- **FTTB** (Fiber To The Building) : La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.
- **FTTC** (Fiber To The Curb) : La terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire du sous répartiteur sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau.

Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique [3,4,6,7].

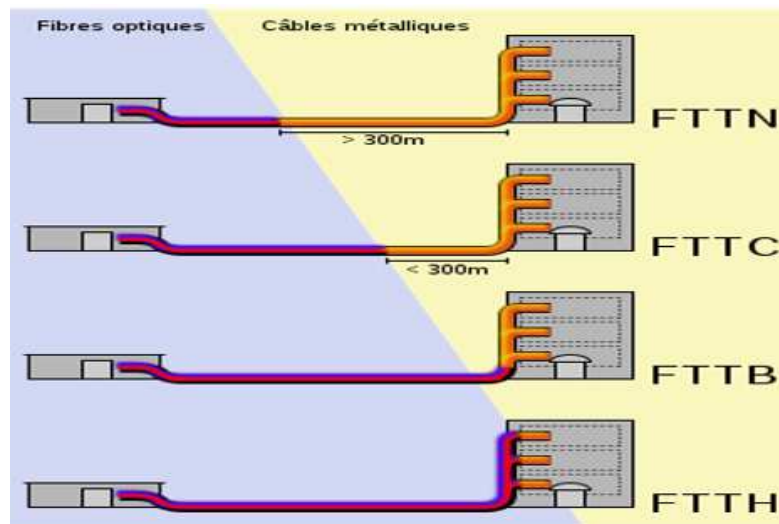


Figure 2. Architecture des réseaux FTTX.

Pour les technologies FTTX uniquement FTTH assure un support de transmission uniquement optique.

III. Le multiplexage

Un réseau peut être modélisé de la manière suivante (Figure 3) :

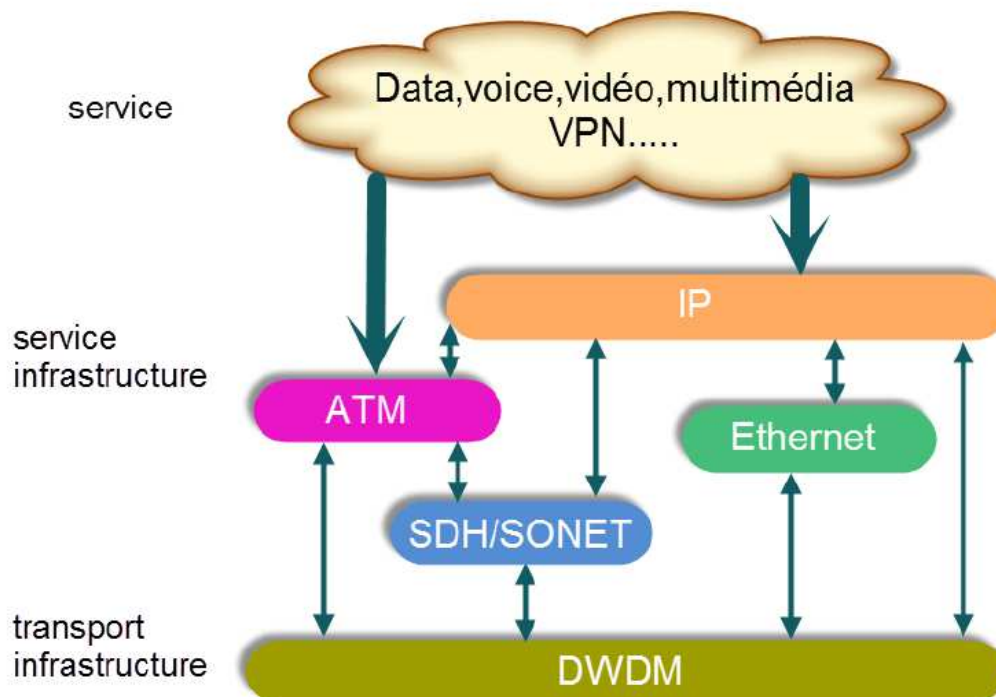


Figure 3. Couches réseaux (modèle actuel) [8].

Une couche service qui fournit les fonctions nécessaires aux communications de l'utilisateur final [8].

- Une couche infrastructure : ATM, IP,

- Une couche transport qui fournit la connectivité entre les équipements (ATM, IP...) sur un média physique : fibre optique, radio, hertzien, cuivre.

On distingue trois grandes classes de scénarios :

- Scénario reposant sur PDH, SDH.
- Scénario reposant sur SDH / WDM.
- Scénario reposant sur WDM

III.1. La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy)

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 de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle d'où on peut avoir un débit de 2Mbit/s.

Ces débits en Europe sont nommés E_i.

Norme	Européenne E _i	Américaine T _i
E1/T1	2 048 kbit/s	1,544 Mbit/s
E2/T2	8 Mbit/s	6,312 Mbit/s
E3/T3	34 Mbit/s	44,736 Mbit/s
E4/T4	140 Mbit/s	274,176 Mbit/s

Tableau 1. Normes et débits de transmission PDH [7-8].

III.2. Hiérarchie numérique synchrone SDH (SONET)

À la fin des années 80 (1988) une nouvelle hiérarchie de transmission appelée SDH (Synchronous Digital Hierarchy), c'est-à-dire la hiérarchie numérique synchrone. Cette hiérarchie de transmission est fondée sur les concepts de SONET (Synchronous Optical Network) proposés par l'organisme de normalisation américain BELLCORE (conçue en 1986, elle est utilisée en Amérique du Nord. Cette hiérarchie est basée sur des principes comparables aux principes de la SDH). Elle repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte une facilité de brassage et d'insertion/extraction des niveaux inférieurs, cela à surmonter les inconvénients du PDH. En 1988 le C.C.I.T.T. élabore une série de recommandations qui sont écrites en s'inspirant du réseau optique américain (SONET) et des normes européennes. Le débit de la trame de base STM1 (Synchronous Transport Module) est le 155,520 Mbit/s compatible avec le premier ordre de multiplexage des hiérarchies américaines (1544 kbit/s) et le premier ordre européen (2048 kbit/s) [8].

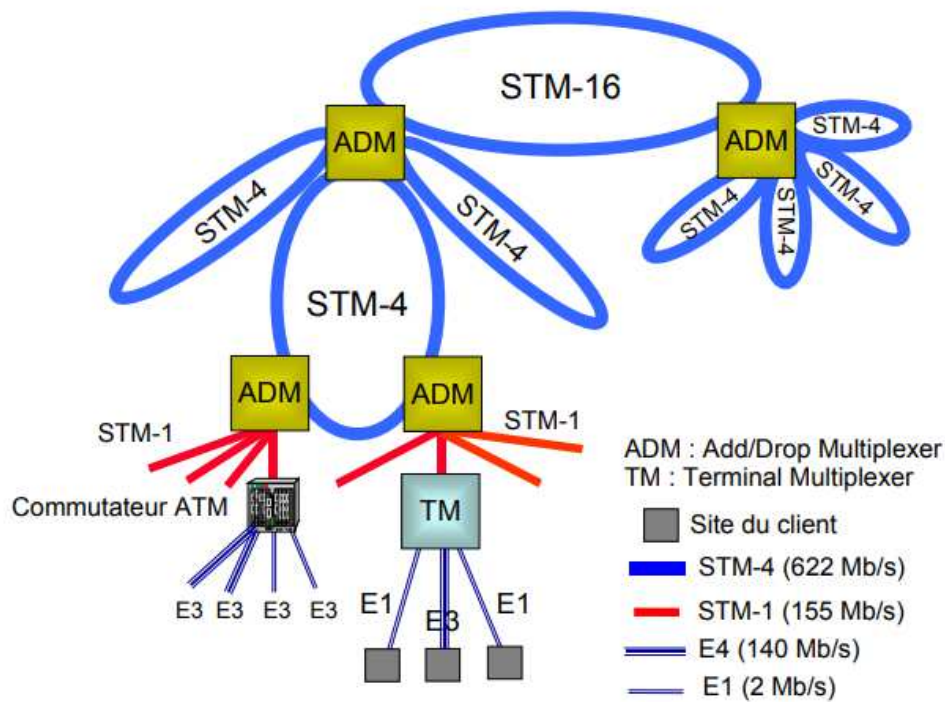


Figure 4.Exemple de réseau SDH.

III.2.1. Le Multiplexage SDH

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n). Pour SONET ils sont organisés en STS-n (Synchronous Transport signal, niveau n). La hiérarchie SDH de l'UIT-T est récapitulée au tableau suivant [8,10] :

STM-n	Débits/s	Support
STM-1	155 Mbit/s	FO, radio, coaxial
STM-4	622 Mbit/s	Fibre optique
STM-16	2,5 Gbit/s	Fibre optique
STM-64	10 Gbit/s	Fibre optique
STM-256	40 Gbit/s	Fibre optique

Tableau 2. Répertoire des débits de la Hiérarchie SDH.

III.2.2. Passage du SDH vers WDM

Le débit transporté dans les réseaux des télécommunications ne cesse d'augmenter, le transport de la voix et des données en sont les causes principales. De plus, avec l'expansion de l'Internet à l'échelle mondiale, de nombreuses nouvelles techniques de communications optiques à haut débit ont été développés à la fois. L'introduction du multiplexage en longueurs d'onde dans le but d'augmenter les capacités de transmission et d'acheminement mais également la flexibilité et la rentabilité des systèmes conduit de plus en plus à une optimisation

des systèmes existants et à une meilleure intégration des systèmes de nouvelle génération, et là où le WDM est introduit pour remplacer le SDH petit à petit.

Les réseaux optiques ont commencé avec WDM (Wavelength Division Multiplexing) puis ont évolué vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ces technologies fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes. Les réseaux optiques sont basés sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes ; les composantes d'un réseau définiront comment les longueurs d'onde sont transmises, assemblées, mises sur le réseau. Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins de IP et ATM et transporter SDH, PDH (Figure 4), chacun de ces protocoles peut être associé à une longueur d'onde.

III.3. Le multiplexage temporel (TDM)

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing), ou Multiplexage à Répartition Temporelle (MRT) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un intervalle de temps, à tour de rôle pour chaque utilisateur (Figure 5). L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminées [9,10].

Le multiplexage TDM permet alors de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé (par exemple. conception d'un débit 40 Gbits/s à partir de 4 séquences à 10 Gbits/s).

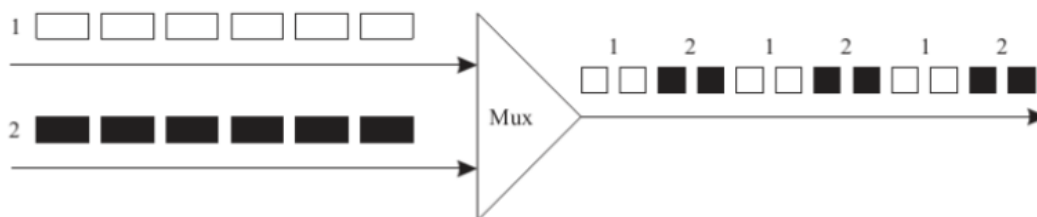


Figure 5. Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM pour 2 Utilisateurs.

III.4. Le multiplexage temporel optique (OTDM)

Le multiplexage temporel peut être réalisé optiquement (OTDM, Optical Time Division Multiplexing). L'émetteur est constitué de N sources optiques en parallèle modulées au débit bit/s. Cette technique nécessite un codage de type RZ pour que les impulsions codées aient durée inférieure à T_b/N et que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique. Le multiplexage optique temporel fournit une technique d'accès utilisable dans les réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs : chacun d'eux dispose d'une tranche temporelle pour émettre. Les différents signaux sont "assemblés" pour être transmis sur une porteuse optique unique [11-13].

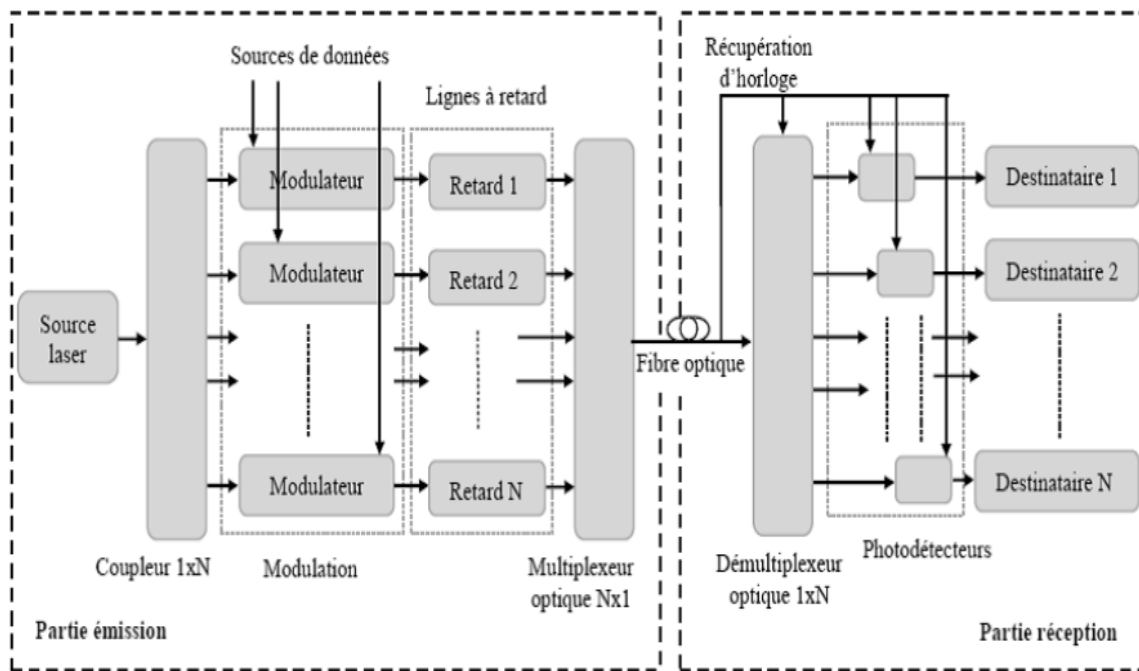


Figure 6. Système d'émission et de réception de la technique OTDM.

III.5. Le multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing)

C'est la plus ancienne technique et seule lorsque le téléphone était purement analogique, telle qu'à chaque interlocuteur (ou message) est alloué une bande de fréquence. Elle consiste à découper la bande passante d'un canal en plusieurs sous-bandes dont chacune est affectée à une voie de transmission (figure 7) [12].



Figure 7. Schéma de principe de Multiplexage fréquentiel.

III.6. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM, Wavelength Division Multiplexing)

Son principe consiste à envoyer plusieurs ondes de longueurs différentes sur la même fibre. La modulation d'une onde se fait d'une façon classique. Les ondes sont ensuite multiplexées par des systèmes optiques passifs. L'avantage de la technique WDM est qu'elle n'est pas tributaire de la vitesse des équipements électroniques. Cependant le nombre de longueurs d'onde qu'une fibre peut transporter est limité : d'une dizaine de longueurs d'ondes il y a quelques années, on est passé à plusieurs centaines aujourd'hui. De plus, en WDM, un seul amplificateur optique se

substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec la longueur de la liaison, et le nombre de canaux [13-14].

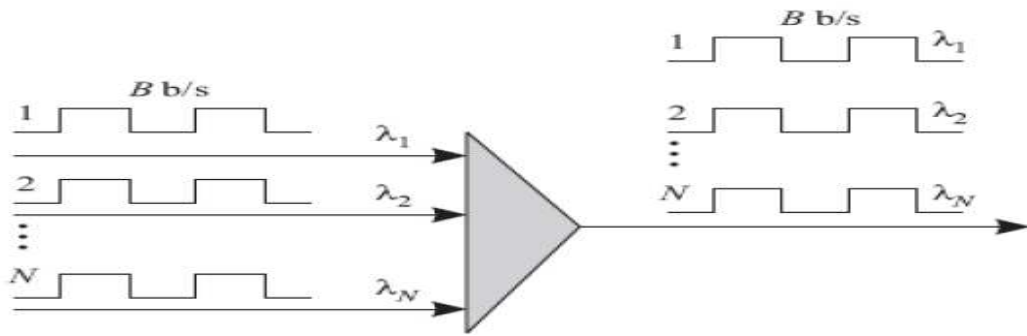


Figure 8. Technique de multiplexage WDM [13].

La technologie WDM est dite dense (DWDM) pour Dense WDM lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz. On parlera des systèmes U-DWDM (Ultra – Dense Wavelength Division Multiplexing) lorsque l'espacement utilisé est à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm).

Technologie	Caractéristique	Applications
DWDM (Dense)	Espacement < 0,8 nm 80 λ	Longue distance >100 km
CWDM (Coarse)	Canaux de 20 nm La température du laser n'est pas contrôlée 16 λ	Man < 70 km

Tableau 3. Comparaison entre DWDM et CWDM [14].

IV. Cas pratique pour un centre de transmission(CT)

Les centres de transmission ont pour mission d'assurer le bon fonctionnement des liaisons de transmission entre les différents équipements et la mise en place des nouvelles liaisons.

Pour notre étude nous avons choisi le centre de transmission de Jijel, vu l'importance de ce centre CTJijel qui s'occupe de la création et la gestion des liaisons de transmission (liaisons MIC, liaisons spécialisées, liaisons de transit dans le réseau backbone etc....), de la mise en place et de la maintenance des équipements multiplex.

IV.1. Présentation de l'entreprise d'Algérie Telecom

IV.1.1. Historique

Algérie télécom, est une société par action à capitaux publics opérante sur le marché des réseaux téléphonique et services de communication électronique.

Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restructuration du secteur des Postes et Télécommunications, qui sépare notamment les activités postales de

celles des Télécommunications. Ses activités connaissent un développement intense qui se caractérise par la diversification des produits et service qu'elle offre à ces clients.

Algérie télécom est une société de proximité elle est implantée dans toutes les wilayas à travers toute l'Algérie. Elle possède une infrastructure qui couvre tout le territoire avec un backbone national, Nous nous intéressons dans notre travail au réseau géré par la wilaya de Jijel.

Au niveau de chaque wilaya, il existe une structure qui assure la bonne marche des liaisons optiques existantes.

- **Services offerts par Algérie télécom :**

Algérie assure une large gamme de produit à ses clients :

1. Voix :
 - Téléphonie.
 - Un autocommutateur téléphonique privé (PABX).
 - Wireless local loop (WLL).
2. Vidéo :
 - Système de visioconférence.
3. Données :
 - Internet à haut débit
 - Liaisons spécialisées.
 - Hébergement de site web.

IV.1.2.Centres de transmission CT :

Toutes les liaisons optiques transitent par les centres de transmission soit en interne ou en externe, ils gèrent principalement toutes les liaisons et les équipements de transmission existants en local et national pour injection et amplification.

- **Centres de transmissions JJEL**

La wilaya de Jijel dispose de deux centres de transmissions, le premier est le plus important ce situe au chef lieux de la wilaya et le second se situe à la daïra d'El-Milia.

Le centre de transmission de Jijel créé en 1971, assure la transmission des paquets des données en général vers les liaisons rattachées au centre à l'aide des équipements de transmission.

- **Liaisons Nationale**

Deux directions :

Jijel ↔ El Milia ↔ Constantine
Jijel ↔ Ziama Mansouriah ↔ Bejaia

- **Communes et Localités rattachées au Centre**

Soixante-deux (62) **Communes** et Localités

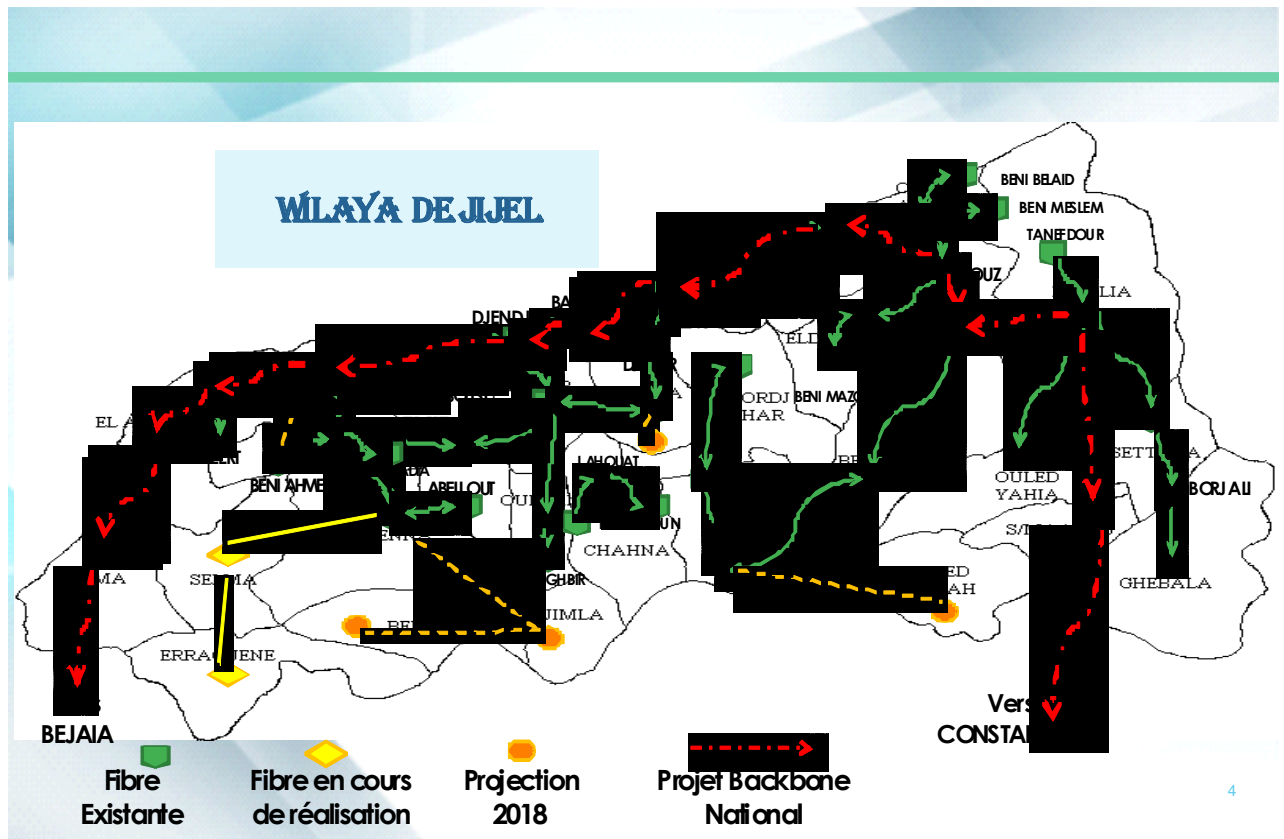


Figure 9. Schéma synoptique du réseau fibre optique

La wilaya de Jijel dispose d'un réseau de transport FO d'une longueur de 533Km, avec 23 communes qui sont déjà reliées en fibre optique.

Liaisons inter wilaya

- Nombre de liaison FHN : 0
- Nombre de liaison FO : 4

Liaisons intra wilaya

- Liaisons par fibre optique 20 G bit/s : 04
- Liaisons par fibre optique 2.5 G bit/s : 04
- Liaisons par fibre optique 622 Mbit/s : 10
- Liaisons par fibre optique 155 Mbit/s : 19
- Liaisons par fibre optique 16x2 Mbit/s : 01
- Liaisons par fibre optique 4x2 Mbit/s : 02
- Liaisons par FHN : 26

IV.1.3. Missions du centre de transmission de Jijel

Le centre de transmission assure les liaisons suivantes :

L'exploitation des liaisons DWDM, 20 G bits/s, 10 G bits/s, 2.5 G bits/s, 622 Mbits/s 155, 1,4 T bits/s sur fibre optique.

V. Présentation des équipements de transmission

Chaque localités ou communes est rattachées au centre de transmission à travers un équipement de transmission spécifié par sa capacité et les services adéquats au besoin de chaque localité.

Au niveau du CT Jijel on y trouve plusieurs équipements numériques de transmission, les plus importants seront exposés dans ce qui suit :

V.1. ADR 155C (Add-drop multiplexer 155 Mbit/s Compact)

SAGEM ADR 155C est un multiplexeur SDH compact de nouvelle génération, pièce maîtresse dans la mise en œuvre des services qui accompagnent l'émergence d'Internet dans le monde des télécommunications [15].



Figure 10. ADR 155C.

SAGEM ADR 155C peut être employé comme :

- Multiplexeur- démultiplexeur terminal
- Multiplexeur à insertion-extraction
- Convertisseur optique électrique ou inverse.

Il est composé d'une carte mère supportant les fonctions principales et detrois (03) carte de communication. Chaque carte Fournir 21 lignes d'exploitation (E1). Il peut ainsi être équipé de cartes traditionnelles (2, 34, 45 Mbit/s, STM 1) mais aussi de cartes d'accès LAN (Ethernet 10 et 100, V.11). Il permet le transport de flux de données (IP, ATM,...) au travers d'infrastructures SDH ce qui constitue une innovation majeure.

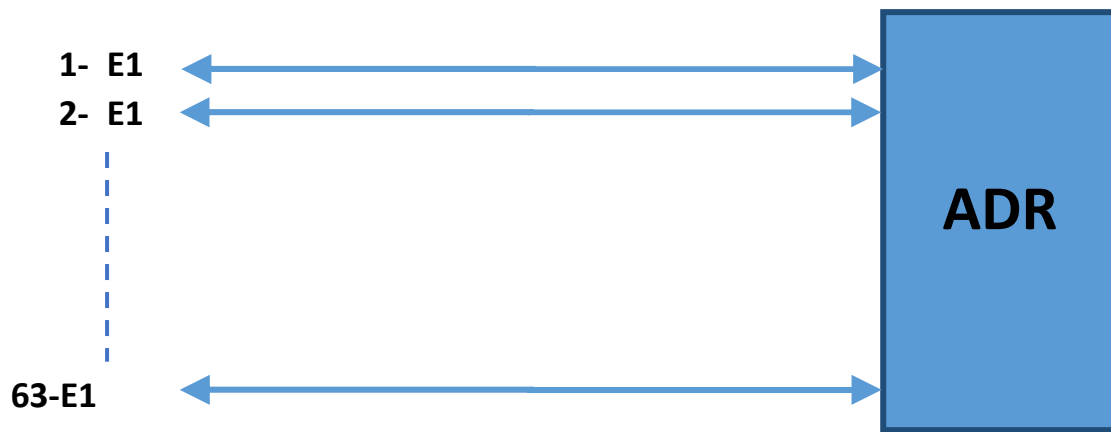


Figure 11. Principe ADR 155C.

V.2. OSN 6800 8800

Huawei a fourni à Algérie Télécom sa plateforme OSN 8800,6800 NGWDM, Celle-ci intègre les technologies optiques les plus récentes dont le multiplexage optique reconfigurable à plusieurs degrés [16].



Figure 12. Structure d'équipement HUAWEI OSN 6800 et 8800.

1.indicator and interface area	2.board area	3.fiber cabling area
4.fan tray assembly	5.air filter	6.fiber spool
7. mounting ear		

8.board area	9.fiber cabling area	10.fan tray assembly
11.air filter	12.fiber spool	13. mounting area

L'OSN 8800,6800 constitue une plateforme de transport WDM administrable et flexible basée sur les architectures OTN (Optical Transport Network, réseau de transport optique) et ASON (Automatically Switched Optical Network réseau optique à commutation automatique).

Ce système utilise des technologies avancées permettant aux opérateurs de construire un réseau de transport flexible supportant IP et Ethernet et permettant des évolutions à moindre coût. Cette solution aide les opérateurs à absorber des trafics réseau en croissance rapide, ainsi qu'à répondre aux défis de l'extension de leurs réseaux, grâce à une plateforme agnostique hautement évolutive. L'OSN 8800,6800 a été déployée avec succès au cœur des réseaux d'opérateurs de premier plan dans la région Asie Pacifique, en Europe, et en Amérique Latine [16].

V.2.1. Description des cartes

- Carte FIU (Fiber Interface Unit)

Comme toutes les cartes de multiplexage/démultiplexage, la carte FIU réalise le multiplexage et le démultiplexage du signal optique utile (signal client) avec le signal de supervision. La figure suivante montre le principe de fonctionnement de la carte :

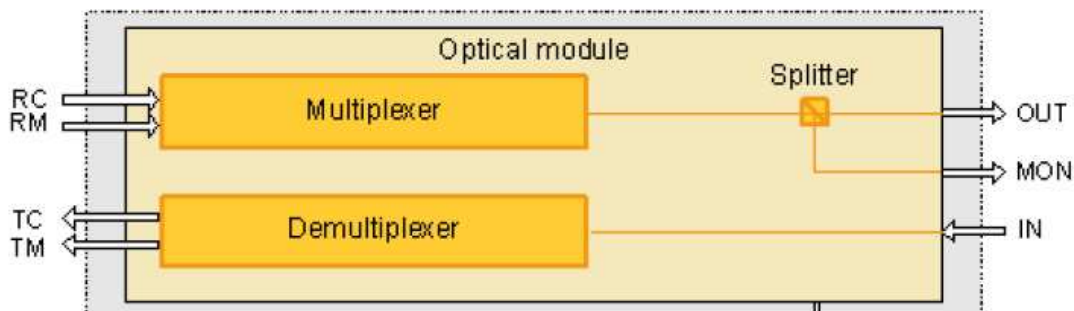


Figure 13.Principe de fonctionnement de la carte FIU.



Figure 14. Carte FIU (Vue de face).

- Carte TOX

Comme toutes les cartes tributaires, la carte TOX réalise la conversion entre huit signaux optiques 10GE LAN/10GE WAN/STM-64/OTU2 et huit signaux électriques ODU2 à travers la crose connexion électrique.

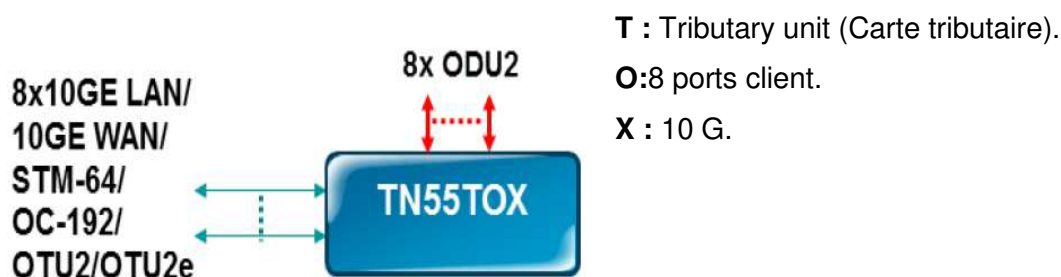


Figure 15. Principe de fonctionnement de la carte TOX.



Figure 16. Carte TQX (vue de face).

- **Carte D40/D40V**

Comme un type d'unité de démultiplexage optique, la D40V démultiplexe un canal de signaux en un maximum de 40 canaux de signaux conformes aux Recommandations de l'UIT-T connexes et ajuste la puissance optique de sortie de chaque canal.

La Figure 17. montre le principe de démultiplexage de la carte :

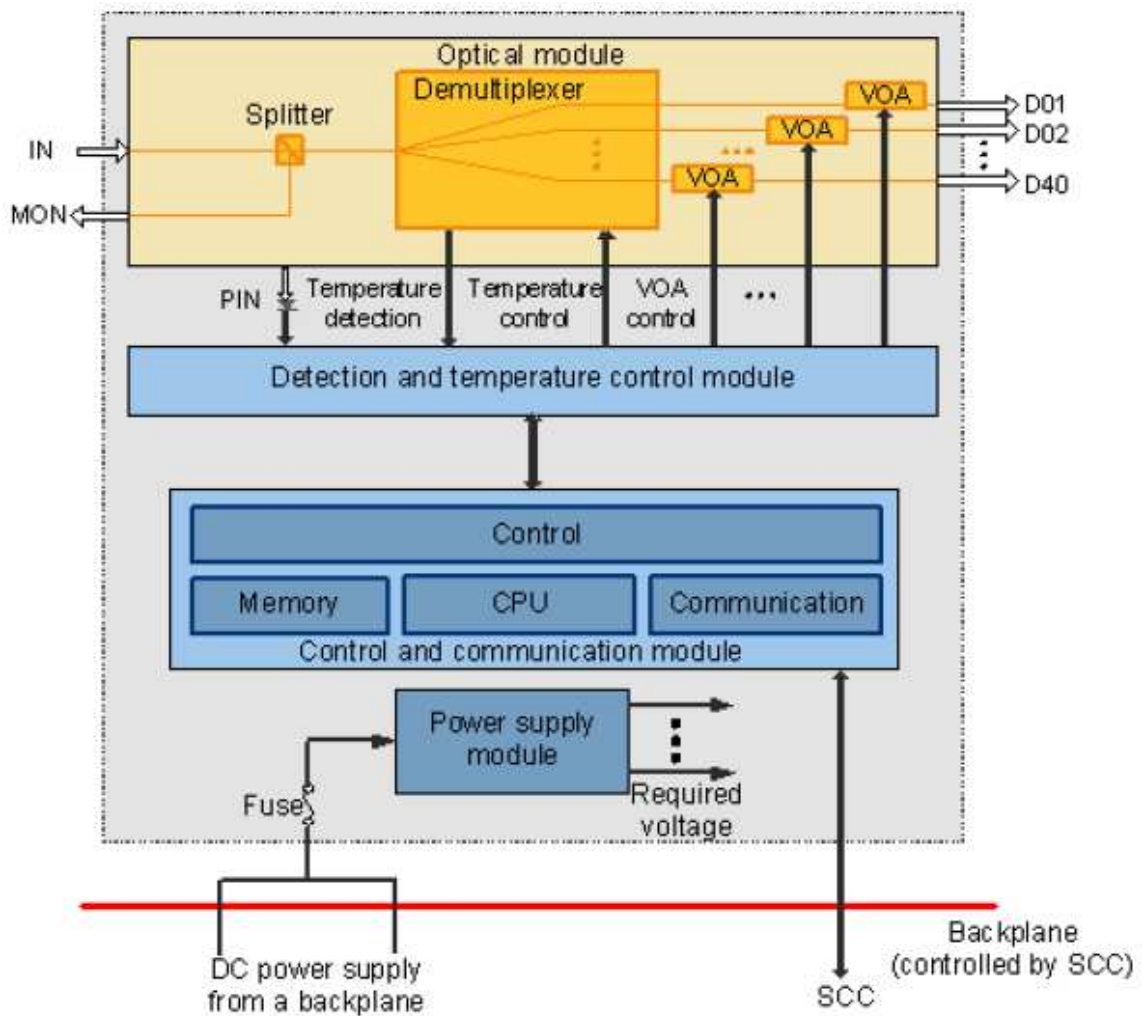


Figure 17. Principe de démultiplexage de la carte D40V.

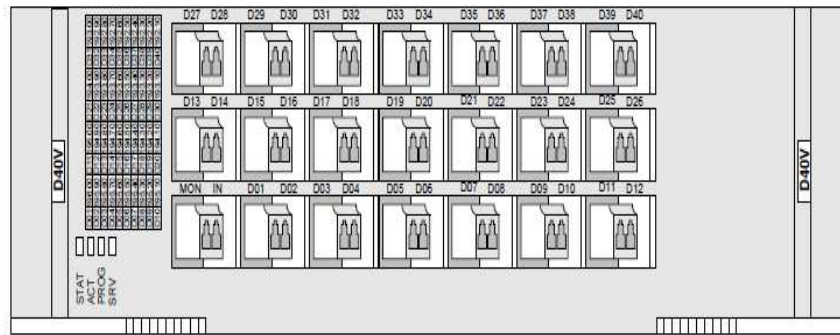


Figure 18. Carte D40V (Vue de face).

- **Carte M40/M40V**

La carte M40, c'est une carte de multiplexage de 40 canaux maximum en un canal de signal WDM normalisé suivant les recommandations de l'ITU-T,

La figure 19 montre le principe de multiplexage de cette carte :

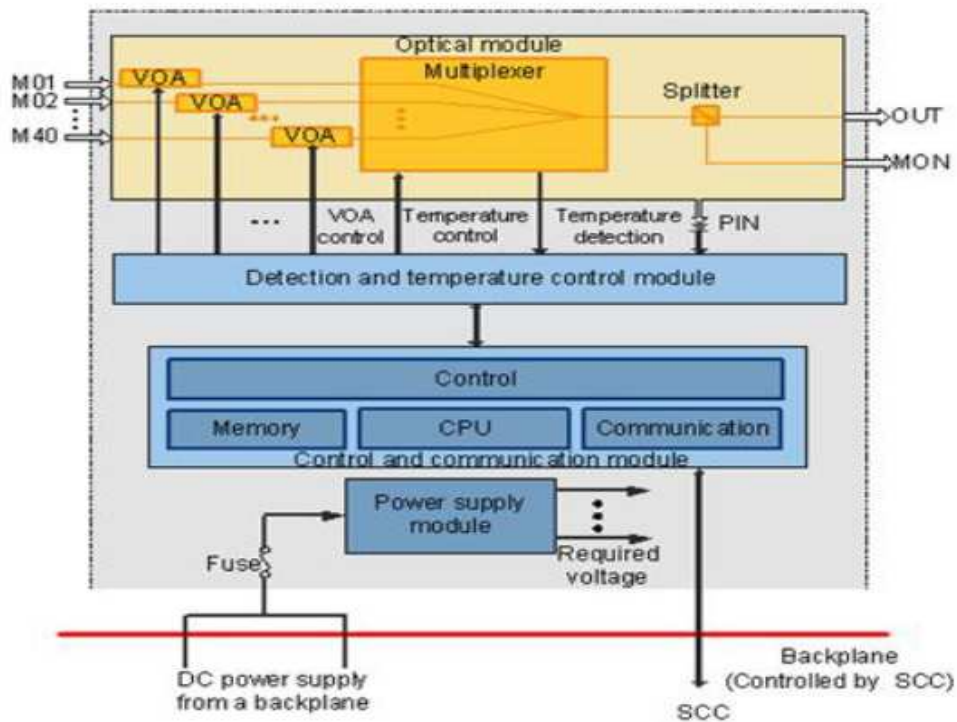


Figure 19.Principe de multiplexage de la carte M40V.

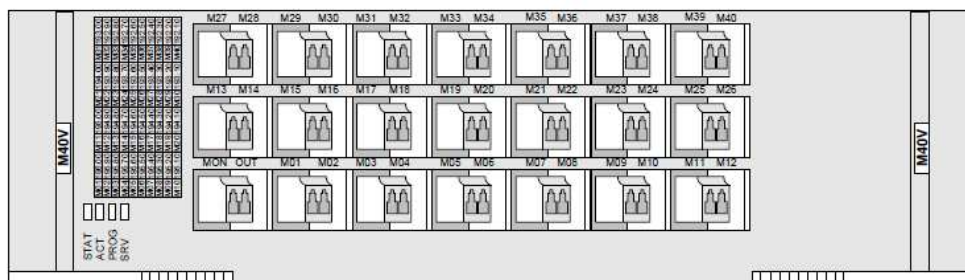


Figure 20. Carte M40V (Vue de face).

- **Carte SC2(Bidirectional Optical Supervisory channel unit)**

La carte SC2 est une carte de supervision, elle traite deux signaux de supervisions dans deux sens. La longueur d'onde opérationnelle est : 1550 nm.



Figure 21. Carte SC2 (Vue de face).

- **Carte OAU 101 (Optical Amplifier Unit)**

C'est une carte d'amplification, la figure suivante montre le principe de fonctionnement de cette carte.

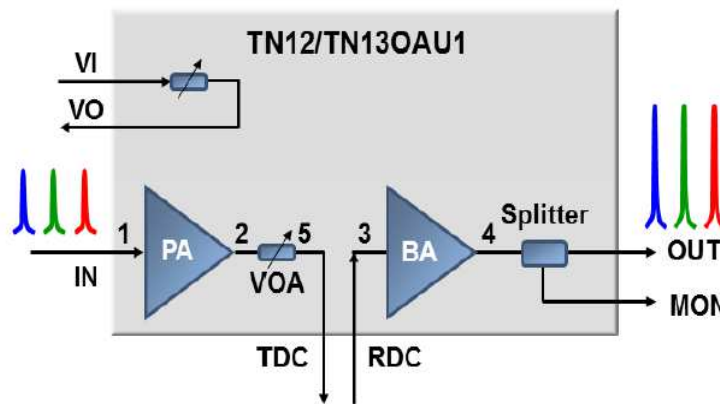


Figure 22. Principe de fonctionnement de l'OAU.

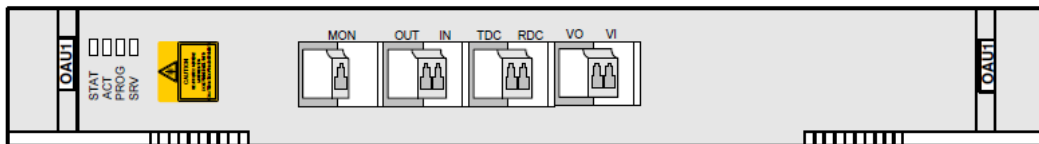


Figure 23. Carte OAU101 (Vue de face).

- **OBU 103 (Optical Booster Unit)**

La carte OBU est une carte d'amplification, comme la carte OAU, la seule différence qu'elle ne contient pas le module de compensation de la dispersion DCM. La figure 24 illustre le principe de fonctionnement de la carte :

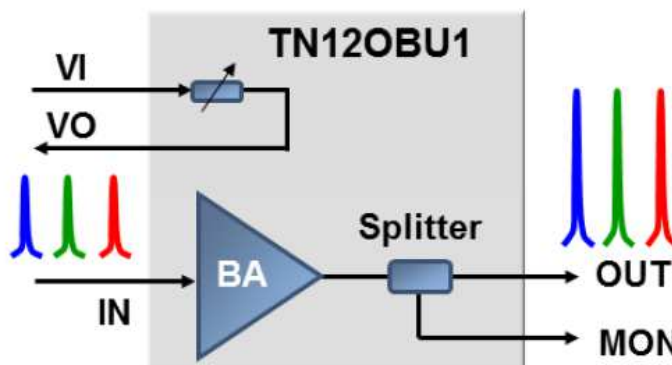


Figure 24. Principe de fonctionnement de l'OBU103.

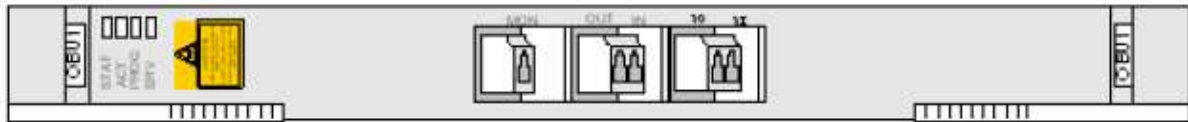


Figure 25. Carte OBU103 (Vue de face).

• Carte WSMD4

C'est une carte de multiplexage/démultiplexage à 4 ports. Parmi les rôles de cette carte :

- Le filtrage des certaines longueurs d'ondes.
- L'acheminement des longueurs d'ondes.
- Suspension temporairement de certaines fréquences.

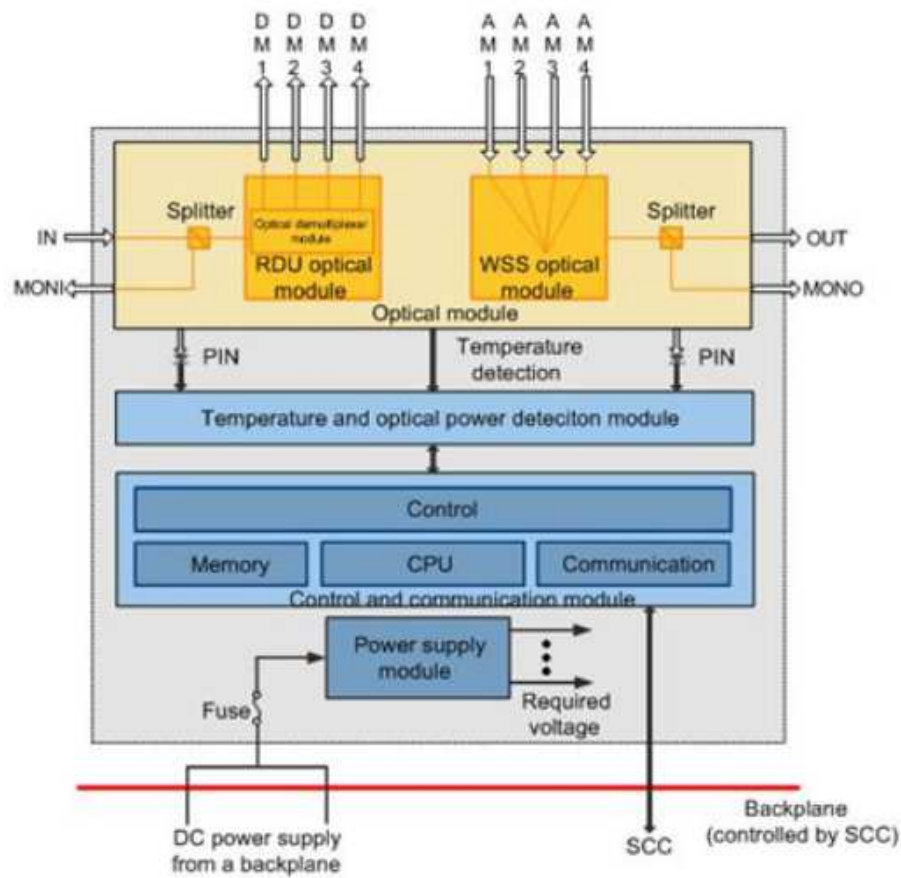


Figure 26. Principe de fonctionnement de la carte WSMD4.



Figure 27. Carte WSMD4 (Vue de face).

V.2.2. Mode de fonctionnement de la plateforme OSN 8800,6800

Pour mieux comprendre le principe de fonctionnement La plateforme OSN 8800,6800, on va prendre comme exemple l'intégration du service internet avec un flux de données de 10 Gbits/s dans la plateforme OSN 8800,6800 dans une boucle au niveau du centre de transmission de Jijel.

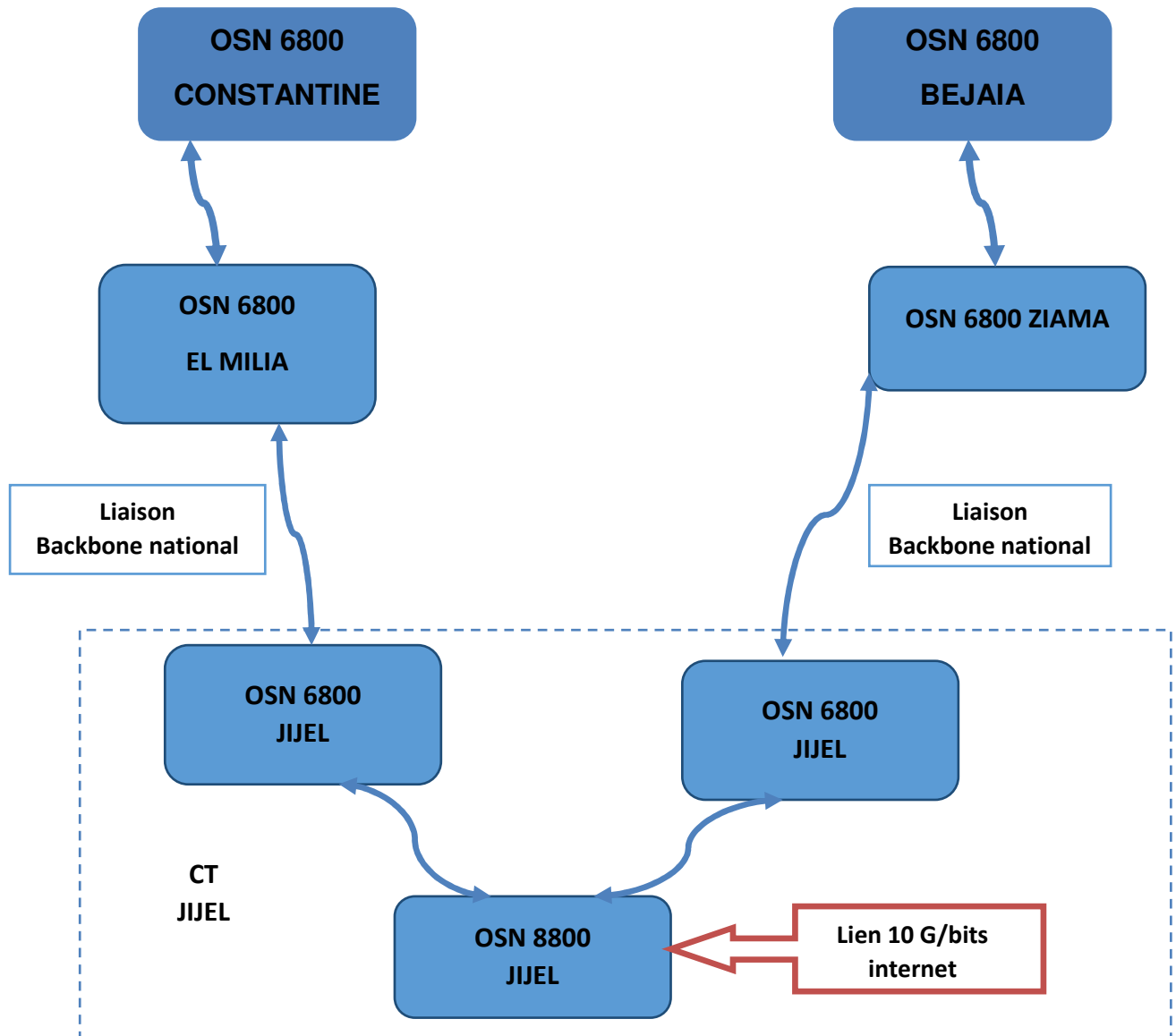


Figure 28. Structure de la plateforme OSN 8800/6800 de la wilaya de Jijel.

L'OSN 8800 est un équipement de transmission à grande capacité allant jusqu'à 1.4 T bits/s. L'OSN 8800 utilise la technologie DWDM, il unifie tous les services à injecter (voix, Data) à travers des cartes services déjà citées et les multiplexeurs en longueur d'ondes λ avec un max de 100 Go par λ , et les acheminer vers la cartes multiplexeur M40 et démultiplexeur D40 pour les transporter au backbone DWDM [16].

- **Scenario d'intégration du service 10Gbit :**

Description du lien 10Gservice internet :

A partir du multiplexage OTDM de 10 liens de 10 MSANs à capacité de 1 G Ethernet chacun au niveau du métro switch, on aura à la sortie un lien 10 Gbits/s à intégrer à la plateforme OSN 8800,6800 (figure 29).

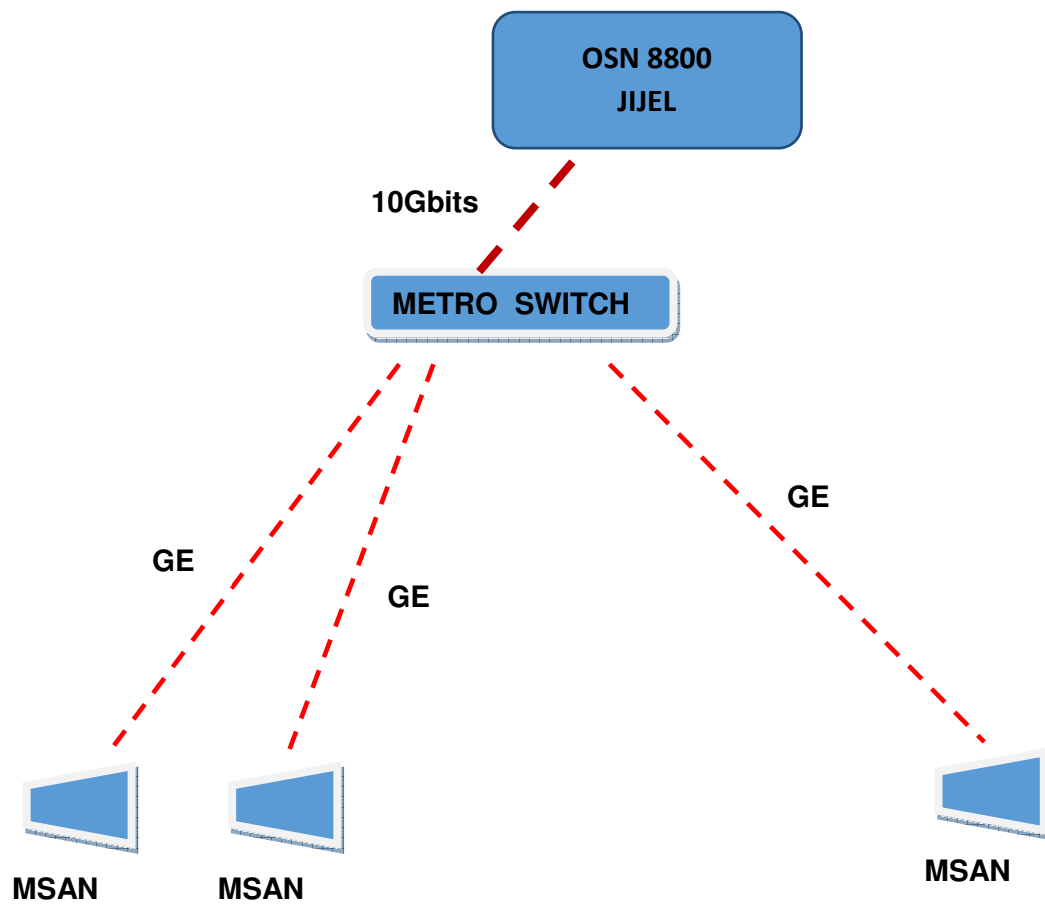


Figure 29. Réseau Msan METRO SWITCH.

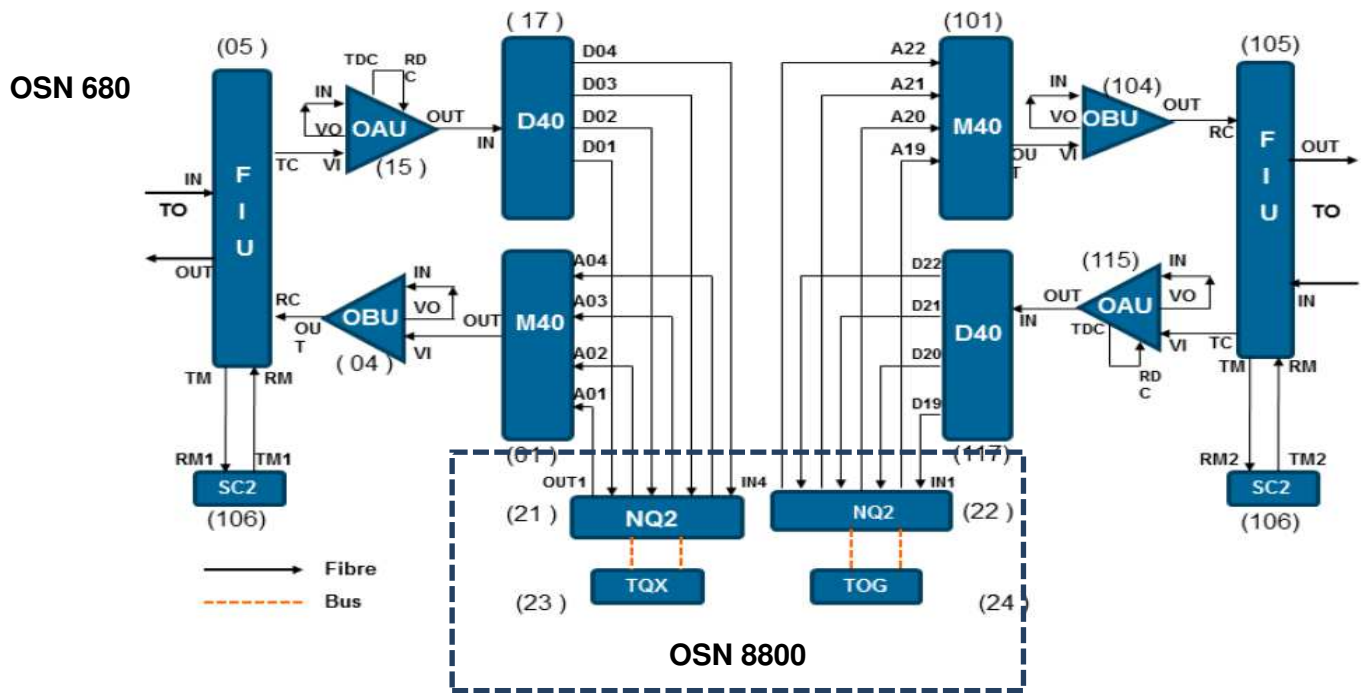


Figure 30. Les connexions entre les cartes [16].

- 1- La carte FIU qui est une carte de multiplexage /démultiplexage
 - Démultiplexe les signaux transmis le long du chemin principal avec le signal de supervision optique pour avoir le signal utile.
 - Démultiplexe le signal utile en des longueurs d'onde λ avec une capacité maximale de 100 Go par λ .
- 2- La carte D40 va démultipléxer un canal de signaux utiles en 40 canaux au maximum.

Une fois le signal est démultipléxé.

- 3- La carte TQX réalise la conversion entre les signaux optiques en des signaux électriques, pour y ajouter dans la matrice une nouvelle longueur d'onde. (intégration du lien 10 Gbits)
- 4- De retour à l'OSN 6800 la carte M40 va multiplexer les 40 canaux en un canal avec un nouveau signal WDM utile normalisé.
- 5- Ce signal est amplifié par la carte OBU
- 6- La carte FIU réalise un multiplexage du signal utile avec le signal de supervision et l'amplifier pour le transmettre aux différents réseaux.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité les différents composants d'un système de transmission optique ainsi que les techniques de multiplexages utilisées avec la description de quelques équipements de transmission utilisés par Algérie Télécom au niveau du centre de transmission de Jijel. Ces différents équipements représentent les extrémités des différentes liaisons entre les CT de wilaya qui permettent de se connecter au réseau national. Enfin le troisième chapitre va nous permettre d'évaluer les performances de ces différentes liaisons optiques.

Références

- [1] J-L. Verneuil, "Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s", thèse doctorat, université de Limoges, France, (2003).
- [2] S. Guizani, H. Hamam, Y. Bouslimani and A.Cheriti, "High bit rate optical communications: Limitations and perspectives ", IEEE Canadian Review. N°50, pp. 11-15, (2005).
- [3] C le Brun, Er Guillard, and Jacques Citerne. "Communication systems interactive software COMSIS: modeling of components and its application to the simulation of optical communication systems", Applied Optic S Vol. 37, N°26. pp. 6059-6065, (1998).
- [4] M. Joindot, I. Joindot, "Les télécommunications par fibre optique", Edition Dunod, (1996).
- [5] M. Lefrançois, "Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s", thèse de doctorat, université paris-sud, France (2007).
- [6] Aihan Yin, Li Li. Xinliang Zhang, "Analysis of 2.5 Gbit/s GPON downlinks optical receiver performance", Optics Communications Vol. 282. N°2. pp. 198-203, (2009).
- [7] B. Chomyez, " Planning Fiber' Optic Networks", The McGraw-Hill Companies, inc (2009).
- [8] SDH Principle HUAWEI, (2006).
- [9] Y.K. Chen, C.J. Hu, C.C. Lee, K.M. Feng, M.K. Lu, C.H. Chung, Y.K.Tu, S.L. Tzeng, "Low cross talk and compact optical add-drop multiplexer using a multiport circulator and fiber Bragg gratings", IEEE Photon. Technol. Lett., 12, p 1394 –1395, (2000).
- [10] P. Lecoy, "Télécoms sur fibres optiques", 2^{ème} éditions. Hermès, (1997)
- [11] S. Calvez "Laser a fibre pour les télécommunications multiplexées en longueur d'onde : étude de l'accordable en longueur d'onde et de la génération de trains multi-longueurs d'onde d'impulsions par voie electro-optique", thèse de doctorat de l'université de Franche-Comté, (2002).
- [12] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, "Optical networks: practical perspective", Morgan Kaufmann Series. (2010).
- [13] S. Benameur, "La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission optique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable", Thèse de doctorat, Université De Limoges, France, (2015).
- [14] M.Sumant Ku, R.Choudhury, "Performance analysis and monitoring of various advanced digital modulation and multiplexing techniques of F.O.C within and beyond 400 Gb/s", international journal of computer networks & communications (IJCNC) Vol.6, No.2, (2014).
- [15] Guide d'Installation et d'Utilisation" multiplexeur add-drop à 155 Mbit/s compact ADR 155c", Sagem, (2000).
- [16] Optix "OSN 68008800 100G Cohetent Operation and maintenance training", Tome 2, Huawei, (2013).

CHAPITRE III

Bilan de liaisons optiques

Etude des pertes

I. Introduction

L'analyse des performances d'une liaison de transmission par fibre optique nécessite la réalisation d'un bilan optique, ce qui permet d'identifier le degré d'imperfection de la ligne pour un système de communication, des techniques de mesures ont été mises en place dans le but d'avoir un maximum d'informations sur ces liaisons.

Le bilan de liaison nous permet d'obtenir des informations tels que :

- La distance maximale de transmission avec moins de pertes.
- L'évolution de la bande passante tout au long de la fibre.
- La position des phénomènes inhabituels (coupure, courbure).

II. Présentation d'une liaison par fibre optique

Une liaison de transmission en fibre optique est dite directe si c'est une liaison entre deux équipements terminaux. Elle est constituée d'une source lumineuse (DL ou LED) qui convertie un signal électrique en un signal optique, par la suite ce signal est injecté dans une fibre où il se propage tout en subissant des déformations dues aux différents phénomènes d'atténuation. A la fin de la liaison, ce signal optique est reconverti en signal électrique à l'aide d'un photodétecteurs (PIN ou APD). Actuellement les câbles à fibres optiques existant sur le marché sont de longueur maximale de quatre (04 km), de ce fait pour de longue distance on utilise des joints de connexion (épissures) ce qui induit d'autres pertes qui s'ajoutent.

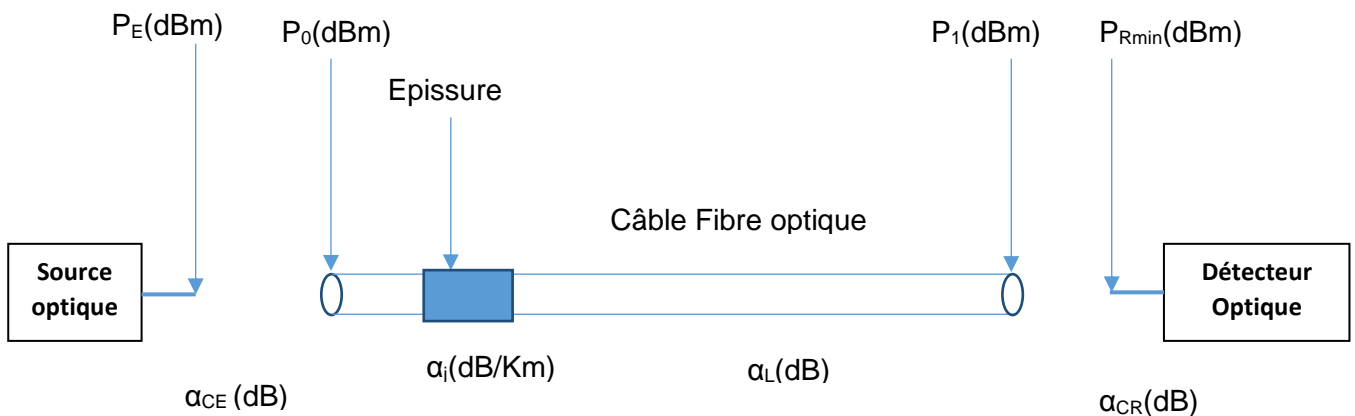


Figure 1. Schéma synoptique d'une liaison optique point à point sans répéteur

Avec :

- P_E : Puissance rayonnée par la source optique.
- P_0 : Puissance injectée dans la fibre.
- P_1 : Puissance à la sortie de la fibre.
- P_{Rmin} : Puissance minimal capté par le détecteur.
- α_{CE} : Affaiblissement du couplage source/fibre.

- α_j : Affaiblissement des jonctions(Épissures).
- α_L : Affaiblissement Linéaire (caractéristique de fabrication).
- A_{CR} : Affaiblissement du couplage fibre/détecteur.

II.1. Affaiblissement globale de la propagation

Pour calculer l'affaiblissement on prend les conditions où notre canal n'est pas dispersif (conditions théorique), c'est à dire une fibre parfaite, qui ne présente aucun défaut (pas de dispersion). Avec une connaissance préalable de la puissance émise par la source ainsi que la puissance reçus, on est capable de déterminer les pertes totales admises qui seront réparties entre les différents éléments du canal de transmission (couplage, fibre et épissures).

L'affaiblissement total peut être calculé :

$$\alpha_{Tot} = 10 \log \frac{P_E}{P_R} \quad (III.1)$$

II.2. Pertes totales dans un canal

La perte totale exprimée en décibel (dB) est la somme de toutes les pertes des différents éléments du canal elle est donnée par la relation suivantes :

$$\alpha_{Tot} = \sum_{j=1}^N \alpha_j + \alpha_L \cdot L + A_{CR} \quad (III.2)$$

Avec, L : Longueur du câble.

N : Nombre d'épissure.

III. Mesures sur fibre optique

Il ne fait aucun doute que l'évolution rapide de la technologie n'a pas encore permis une maîtrise complète du domaine des mesures dans la fibre optique. Cependant, la mesure de l'affaiblissement et des pertes associées donne des résultats de plus en plus précis.

La qualité d'une fibre optique peut être mesurée par la réflectométrie. L'OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), permet des mesures sur la continuité du câble à fibre optique et de localiser les défauts avec les pertes associées sur des distances importantes.

Le principe de la méthode OTDR est basé sur l'analyse temporelle (donc spatiale, de l'indice de réfraction, avec la connaissance de la vitesse de propagation) des « échos » générés par les impulsions injectées dans la fibre optique. L'OTDR est disponible pour des lasers opérant à des longueurs d'onde de 1310, 1550 et 1625 nm, Mais il reste difficile d'avoir des mesures précises pour de longues distances.

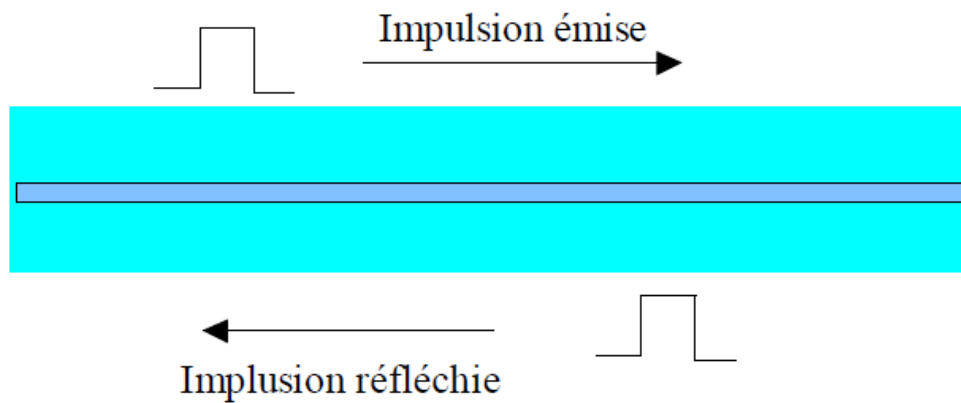


Figure 2. La rétrodiffusion d'une impulsion.

III.1. Contrôle par Réflectométrie optique (OTDR)

La mesure par réflectométrie optique consiste à utiliser les propriétés de diffusion localisée de la lumière dans le matériau qu'est le verre (constitutif de la fibre optique), pour en déterminer les propriétés optiques en termes d'atténuation et les positions relatives à des événements rencontrés sur le passage de la lumière. C'est une analyse par échométrie optique sur la fibre. Le réflectomètre optique est avant tout une source lumineuse capable d'émettre des impulsions lumineuses calibrées et répétitives, de les injecter dans la fibre optique à tester, et, est capable de chronométrer le temps mis par la lumière pour aller jusqu'à la fin de la fibre et pour en revenir. Les mesures effectuées sont discriminatoires et donnent les pertes de chacun des éléments de l'installation [1].

Deux types de signaux sont analysés par le réflectomètre optique :

- Les signaux les plus forts, liés aux réflexions de Fresnel engendrées par les fractures et autres cassures de la fibre (connecteurs optiques, fractures dans les fibres, etc.).
- Les signaux les plus faibles, mais les plus importants, liés à la rétrodiffusion de la lumière par la matière [1].

III.2. Principe de mesure avec un OTDR

Le principe consiste à injecter des impulsions de lumière dans le réseau de fibre et analyser la lumière diffusée par la fibre. Lorsqu'on envoie une impulsion de lumière de grande puissance dans une fibre, on constate que la puissance transmise en sortie est plus faible que la puissance d'entrée : une partie de l'énergie lumineuse est diffusée par le matériau constituant le guide chaque section élémentaire de fibre renvoie vers la source une partie infime de la lumière incidente.

En détectant cette lumière rétrodiffusée, on recueille un signal qui est, une fois analysé, il permet d'évaluer l'atténuation de la fibre, sa longueur, la présence, la position d'un défaut et l'atténuation due à un connecteur. La figure 3 donne le principe de mesure de l'OTDR [2].

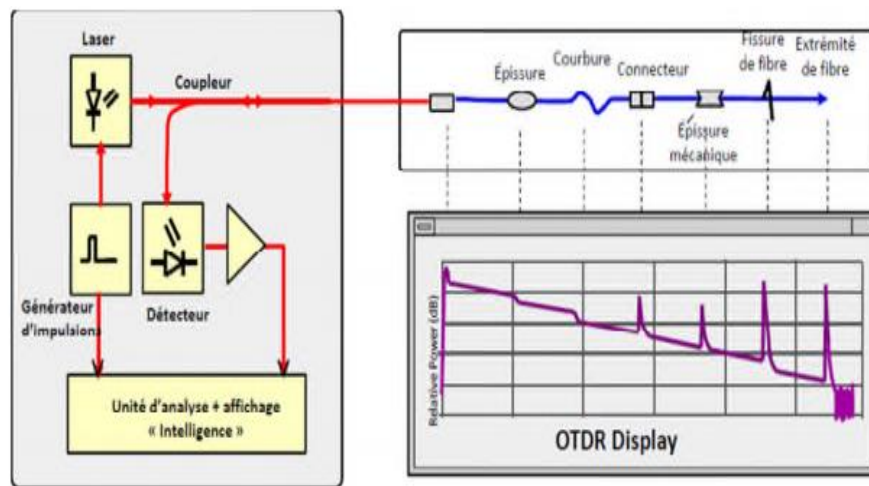


Figure 3. Principe de mesure (OTDR)

Un OTDR utilise les effets de dispersion de Rayleigh et de réflexion de Fresnel pour analyser l'état des fibres, mais la réflexion de Fresnel est de plusieurs dizaines de milliers de fois supérieure à la rétrodiffusion en termes de puissance [2].

- La dispersion de Rayleigh se produit lorsqu'une impulsion se déplace sur la fibre et que de petites variations dans le matériau, telles que les variations et discontinuités de l'indice de réfraction, provoquent la dispersion de la lumière dans toutes les directions. Cependant, le phénomène de petites portions de lumière se réfléchissant directement vers le transmetteur est appelé rétrodiffusion [2].
- Les réflexions de Fresnel se produisent lorsque la lumière traversant la fibre rencontre des changements brusques dans la densité du matériau qui peuvent survenir lors des connexions ou de coupures en présence d'un entreraît. Une très grande quantité de lumière est réfléchiée par rapport à la dispersion de Rayleigh. L'intensité de la réflexion dépend du degré de changement dans l'indice de réfraction [2].

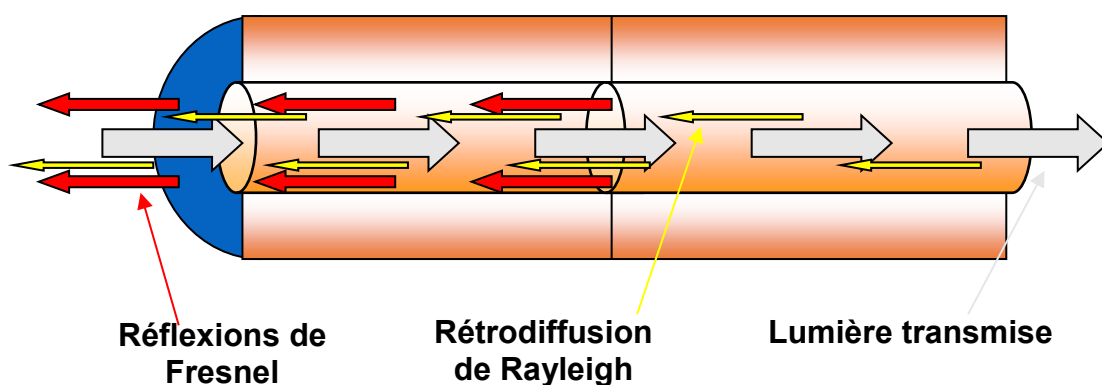


Figure 4. Rétrodiffusion de Rayleigh et réflexion de Fresnel.

Les rétrodiffusions étant dues à la fibre elle-même et ne pouvant être modifiées, seules les réflexions de Fresnel peuvent être minimisées.

III.3. Les événements dans les fibres

Tout problème qui provoque sur une fibre une perte ou des réflexions autres que la diffusion normale du matériau lui-même est considéré comme un événement. Ceci s'applique à tous types de connexions, ainsi qu'à toutes sortes de dommages : torsions, fissures ou ruptures.

La trace d'un OTDR représente le résultat d'une mesure sous forme graphique à l'écran. L'axe vertical correspond à l'axe de la puissance et l'axe horizontal à l'axe de la distance.

Dans Cette section on présentera des traces correspondant à la plupart des événements courants [3].

- **Fibres uniques**

Une fibre unique produit la trace suivante. On remarque le niveau de puissance légèrement décroissant (atténuation) et les fortes réflexions aux deux extrémités de la fibre.

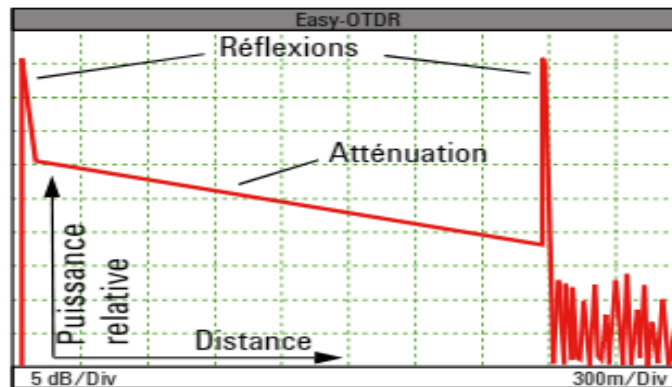


Figure 5. Fibre unique.

- **Liaisons complètes**

Le tracé d'une liaison complète (par exemple entre deux villes) peut avoir cet aspect. Outre l'atténuation normale, notez les événements et le bruit après l'extrémité de la liaison.

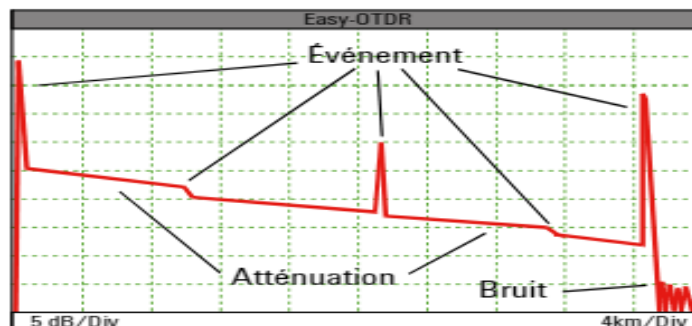


Figure 6. Liaison complète.

- **Le début de fibre**

Présente toujours une forte réflexion au connecteur.

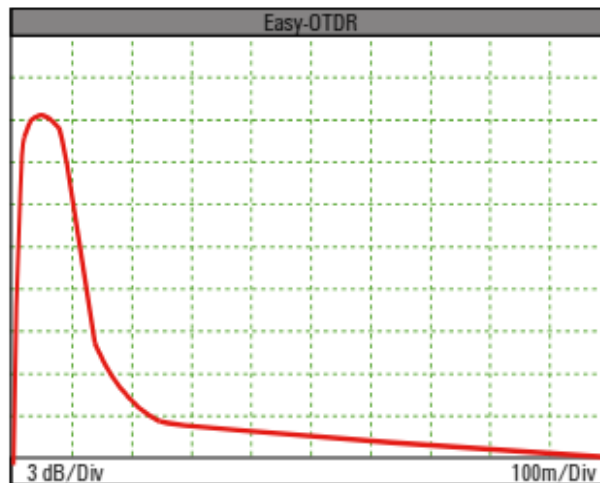


Figure 7. Le début de fibre.

- **Fin ou rupture de fibre**

Dans la plupart des cas, on a une forte réflexion à la fin de la fibre avant que la trace ne retombe au niveau du bruit.

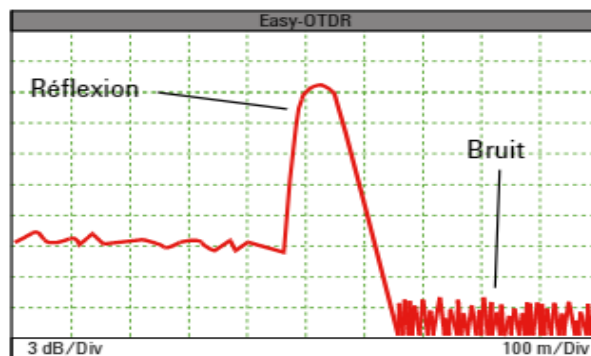


Figure 8. Fin de fibre.

- L'interruption ou la cassure d'une fibre est appelée rupture, les ruptures sont des événements non réfléchifs. La trace tombe au niveau du bruit.

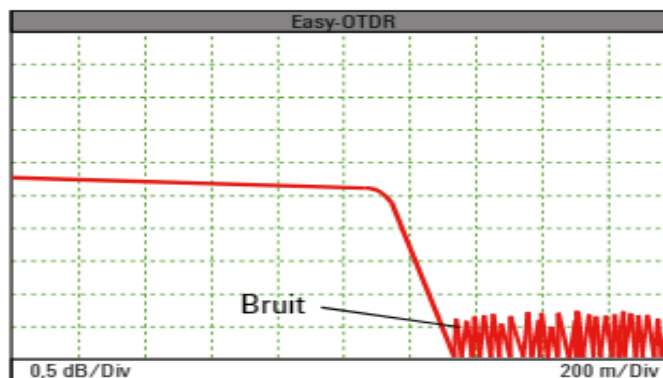


Figure 9. Rupture de Fibre.

- **Connecteur ou épissure mécanique**

Les connecteurs insérés dans une liaison provoquent réflexion et perte.

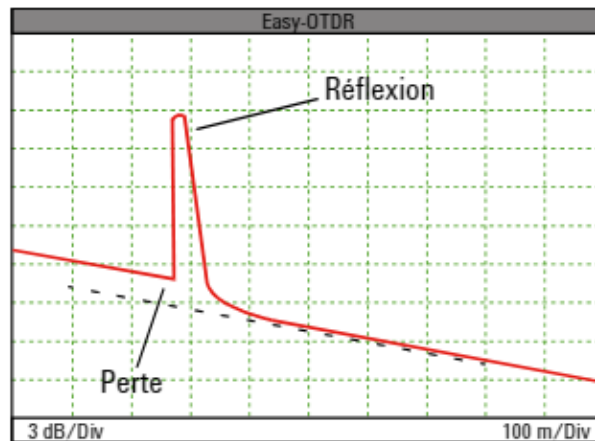


Figure 10. Connecteur.

Une épissure mécanique a une signature semblable à celle d'un connecteur. Généralement, elle génère des valeurs de réflexion et de perte plus faibles

- **Épissure de fusion**

Une épissure de fusion est un événement non réfléchissant, seule la perte peut être détectée. Les épissures de fusion modernes sont si parfaites qu'elles sont pratiquement invisibles

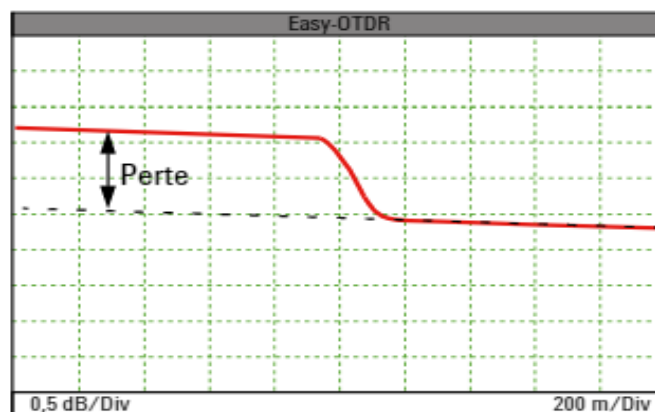


Figure 11. Épissure de fusion.

On peut classer les événements courants en deux types : non réfléchissant et réfléchissant, Le tableau 1, résume les différents éléments exposés.

	Événement	Caractéristiques
Événement réfléchissant Figure 12	Début de fibre	Caractérisée par la présence toujours d'une forte réflexion due à la première connexion
	Connecteur ou épissure mécanique	Les connecteurs insérés dans une liaison provoquent de la réflexion et perte. Par contre une épissure mécanique génère des valeurs de réflexion et de pertes plus faibles. Avec une mauvaise épissure, on peut avoir aussi de la réflectance.
	Fissures	Une fissure qui endommage partiellement une fibre provoque perte et réflexions
	Cordons de raccordement	Les cordons de raccordement sont utilisés pour relier l'OTDR à la fibre l'objet du test il provoque une réflexion initiale qui n'est pas couvert
	Fin de fibre	Dans la plupart des cas, on observe une forte réflexion avec une baisse brusque au niveau du bruit
Événement non réfléchissant Figure.13	Épissure de fusion	Une épissure de fusion est un événement non réfléchitif. Uniquement les pertes sont observer mais pour certains cas pour de mauvaise épissure on peut avoir de la une certaine Les torsions dans une fibre provoquent une perte mais ce sont des évènements réfléchitifs.
	Rupture de fibre	La coupure d'une fibre optique ou la rupture sont des événements réfléchitifs.

Tableau1. Classement des différents événements de l'OTDR [4].

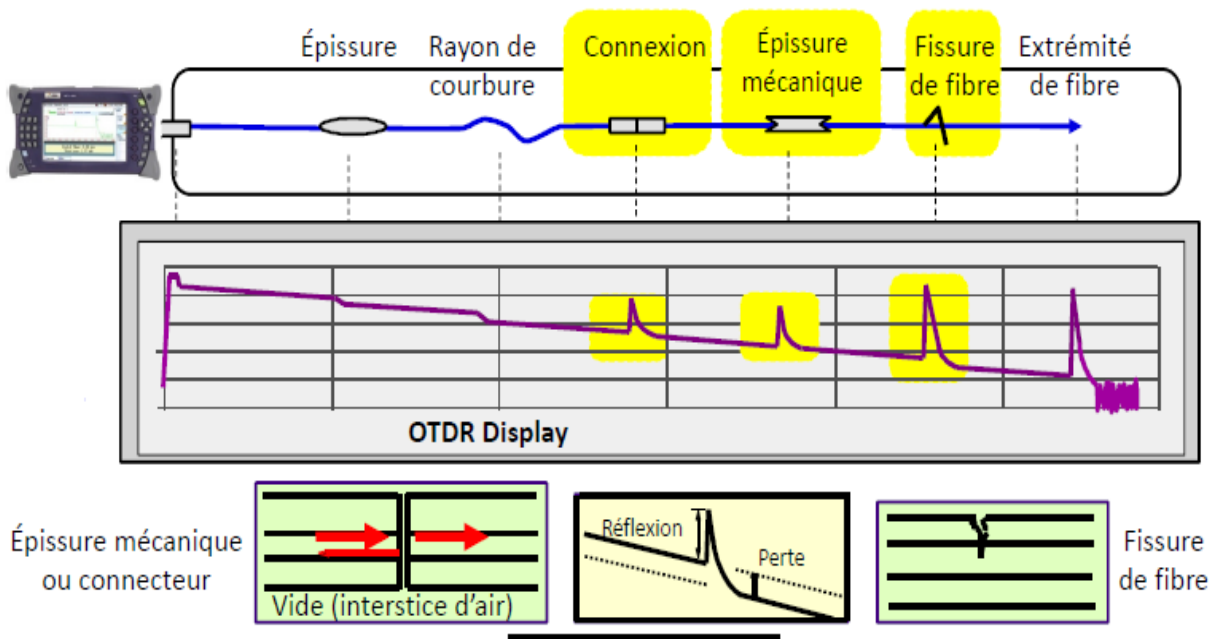


Figure 12. Événement causant une réflexion [3]

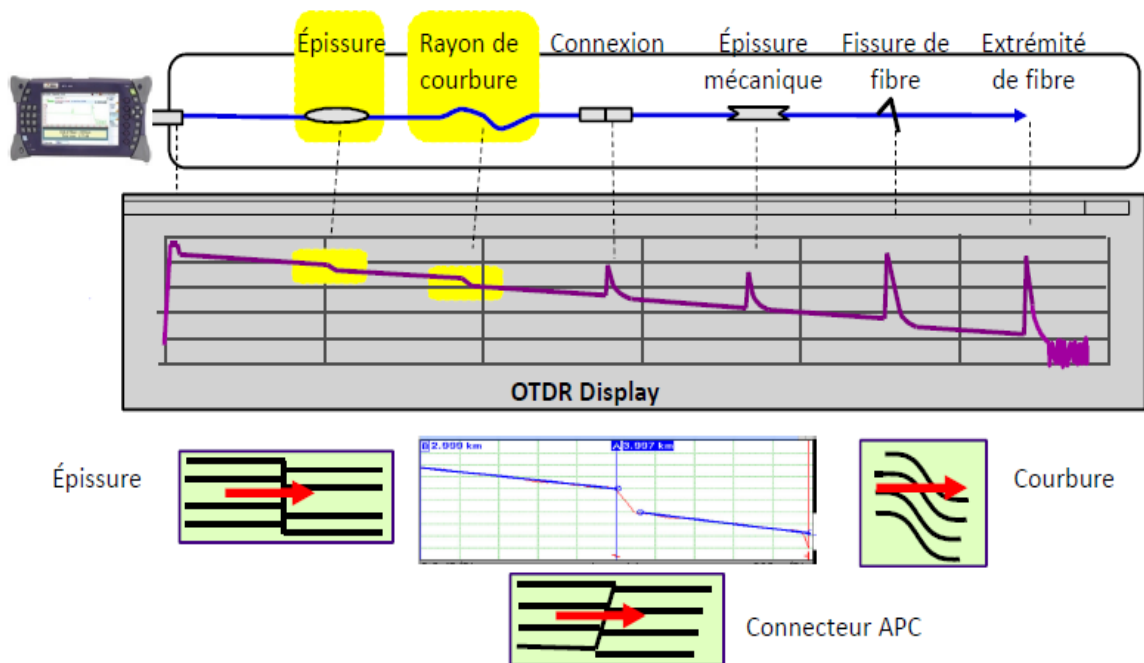


Figure 13. Événement ne causant pas une réflexion [3].

- **La signification des différents événements dans l'OTDR**

L'événement	Le symbole
Début de section	
Niveau d'injection	
Fibre continue	
Événement non réfléchissant	
Événement réfléchissant	
Fusionné	
Événement réfléchissant (écho possible)	
Événement positif	
Écho	
Fin d'analyse	
Fin de section	

Tableau 2. Les symboles des différents événements [2].

III.4. Description de l'appareil de mesure

Le centre de transmission Jijel CT-Jijel dispose d'un appareil de mesure de réflectométrie de marque «EXFO» Max Tester réf 735B, il est utilisé pour faire des tests de continuité et évaluer la qualité des épissures, lors de la réception des travaux neufs et pour la détection d'éventuel défaut sur des liaisons [5].



Figure 14. EXFO Max Tester.

Il a comme caractéristiques principales :

- ✓ Écran tactile couleur de 18 cm (7 po).
- ✓ Deux ports USB 2.0 (hôte).
- ✓ Port Ethernet (10/100 Base-T).
- ✓ Module Wi-Fi et Bluetooth interne en option.
- ✓ Système d'exploitation Windows Embedded Compact.
- ✓ LVD et wattmètre intégré en option.
- ✓ Autonomie des piles de 12 heures.
- ✓ Possibilités de fonctionnement multitâche.
- ✓ Accès à distance à votre appareil (via VNC).
- ✓ Accès direct au Web depuis votre appareil.
- ✓ Possibilité de créer des captures d'écran.
- ✓ Affichage de fichiers PDF depuis votre appareil.
- ✓ Transfert facile de fichiers et de dossiers sur un périphérique de stockage externe.
- ✓ Mises à jour faciles du logiciel.

Principales fonctions

- ✓ Dynamique de 30 dB à 1310 nm, 28 dB à 1550 nm, 28 dB à 1625 nm.
- ✓ Longueurs d'ondes : 1310, 1550, 1625 nm
- ✓ Logiciel de traitement embarqué : localisateur de macro courbures, indicateur succès/échec, vue linéaire.
- ✓ Zone morte d'évènement : 1 m
- ✓ Gamme de puissance (dBm) de 27 à -50
- ✓ Incertitude (%) e $\pm 5\% \pm 10$ nW
- ✓ Résolution d'affichage (dB)

0,01 = max à -40 dBm
0,1 = -40 dBm à -50 dBm

IV. Mesure sur quelques liaisons optiques de Jijel

L'OTDR est utilisé comme appareil de mesure dans le but d'avoir le maximum d'information sur la qualité des liaisons, puisque, il va nous permettre de visualiser les différents évènements qui caractérisent la liaison objet de la mesure à savoir :

- ✓ L'affaiblissement (pertes).
- ✓ La réflectance.
- ✓ La distance exacte de chaque évènement (coupure, courbure, épissures et, jonction).

Pour l'étude de cas pratiques, nous nous sommes intéressés aux trois (03) liaisons suivantes ;

- Liaison CT Jijel → URAD ZIAMA.
- Liaison CT Jijel → Cellule EL-MILIA.

- Liaison CT Jijel → Site AT Rabta.

Avant de faire des mesures sur un lien optique, il est primordial d'inspecter les extrémités des fibres, avant de les insérer dans le port du réflectomètre [5].

Pour connecter le câble à fibre optique au port de l'OTDR, on inspecte la fibre et l'aide du microscope d'inspection de la fibre optique.

- Si la fibre est propre, on la connecte au port.
- Si la fibre est sale, on procède alors comme suit :

Nettoyage des extrémités de la fibre selon le protocole suivant :

- 1- Nettoyage en douceur des extrémités de la fibre à l'aide d'un chiffon pelucheux trempé dans de l'alcool isopropylique ;
- 2- Séchage du connecteur dans son intégralité en utilisant du coton-tige sec.
- 3- Inspection visuelle de l'extrémité pour s'assurer de sa propreté ;

Après l'étape de nettoyage, on procède à l'alignement du connecteur avec le port pour éviter que l'extrémité de la fibre ne touche l'extérieur du port ou ne frotte d'autre surface.

Positionnement du connecteur dans le port de sorte que le câble à fibre optique soit correctement aligné, garantissant ainsi un bon contact assurant le meilleur couplage possible.

Dans ce qui suit, nous avons effectué des mesures pour les deux longueurs d'ondes $\lambda=1550$ nm et $\lambda=1310$ nm pour la même liaison à étudier.

Paramètres des tests effectués dans ce travail sont résumés dans le tableau 3.

Longueur d'onde (nm)	1550 nm (9 μ m) & 1310 nm (9 μ m)
Plage (km)	80,0000
Durée (s)	30
Impulsion (ns)	100
Seuil perte d'épissure (dB)	0,020
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72,0
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5,000
Diffusion Rayleigh (dB)	-81.87

Tableau 3. Configuration test OTDR.

Après la configuration des paramètres, on lance le test et on procède à l'acquisition du tracé pour vérification et analyse.

IV.1. Liaison CT Jijel - URAD ZIAMA

C'est une liaison appartenant au réseau backbone national, conçue par un câble caractérisé par :

- Câble à 72 fibres de marque : Fujikjura. (Tourets de 02 Km)
- Applications : téléphonie, Data et liaisons spécialisées.
- Longueur de la liaison estimée : 41,6 Km.

IV.1.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm

La mesure représentée en figure 15 obtenue avec le réflectomètre, nous fournit les informations sur la liaison Jijel-Ziama,

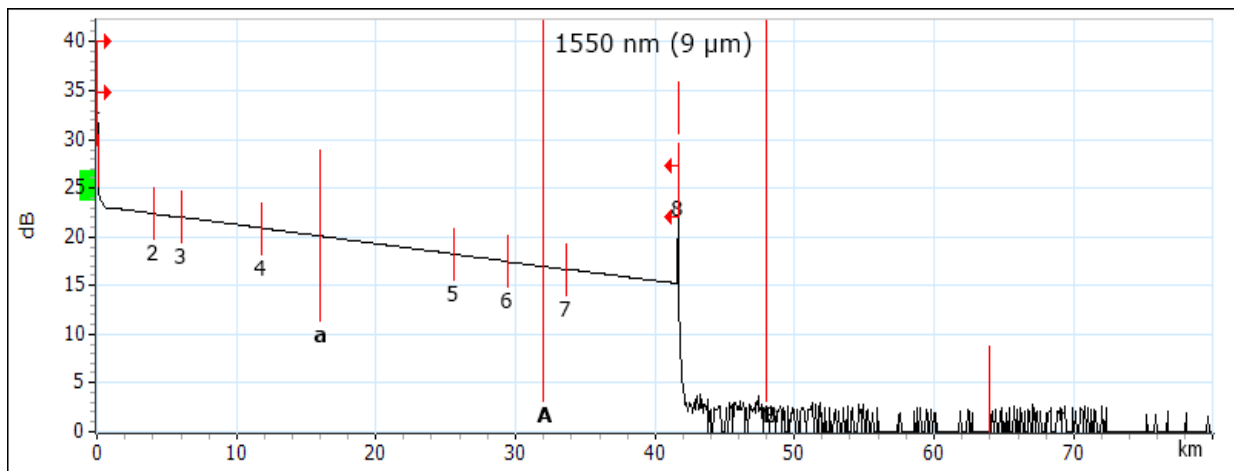


Figure 15. Caractéristiques du lien CTJIJEL – Ziama Mansouriah $\lambda = 1550$ nm.

• Analyses et Interprétations

La figure 15, nous permet d'observer la courbe de rétrodiffusion résultante des signaux rétrodiffusés, et des signaux réfléchis par des discontinuités et des irrégularités (en particulier la réflexion sur les connecteurs d'entrée et à la fin de la section).

On observe deux événements réfléchissants, le premier au début de la courbe et le second à une distance de $\approx 41,6$ Km, ce qui nous indique la fin de la fibre. La courbe présente aussi une pente assez régulière, pour la vérification, nous traitons deux sections sur le graphe.

• Exemple

1^{er} Cas

Point A = 3 Km avec une puissance = 22.614 dB

Point B = 4 Km avec une puissance = 22.421 dB

Ce qui donne une atténuation moyenne de 0,193 dB/Km

2^{ème} Cas

Point A = 3 Km avec une puissance = 22.614 dB

Point B = 6 Km avec une puissance = 22.005 dB

Ce qui donne une atténuation moyenne de 0,609/3 Km (distance entre les points A et B) = 0,203 dB/Km

- **Vérification de l'analyse**

Le tableau 4 obtenu par le réflectomètre nous donne plus de détails sur les différents évènements tout au long de la liaison.

Type	N°	Pos./Long (km)	Perte (dB)	Reflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Événements fusionnés	1	0,0000	---	>-24,1		0,000
Section		4,0694	0,854		0,210	0,854
Non réfléchissant	2	4,0694	0,025			0,879
Section		2,0022	0,367		0,183	1,246
Positif	3	6,0716	-0,040			1,206
Section		5,7015	1,089		0,191	2,295
Non réfléchissant	4	11,7731	0,036			2,331
Section		13,8263	2,662		0,193	4,993
Non réfléchissant	5	25,5995	0,053			5,046
Section		3,8972	0,689		0,177	5,735
Non réfléchissant	6	29,4966	0,086			5,821
Section		4,1077	0,761		0,185	6,582
Positif	7	33,6043	-0,045			6,537
Section		8,0597	1,496		0,186	8,033
Événements fusionnés	8	41,6641	---	-15,3		8,033

Tableau 4. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1550$ nm

Sur le tableau 4, on observe les deux événements réfléchissants détectés auparavant sur la courbe.

Les résultats de cette première mesure sont résumés en tableau 5.

Longueur de la section	41,6729 km	Perte moyenne	0,193 dB/km	Niveau d'injection	23,8 dB
Perte de la section	08,33 dB	Perte d'épissure moyenne	0,019 dB		
ORL de la section	<14,79 dB	Perte d'épissure maximale	0,086 dB		

Tableau 5. Tableau des résultats.

L'observation du graphe fait ressortir deux phénomènes distingués :

- La réflectance.
- Les pertes.

Une micro courbure à une distance de 41,6641 km avec une perte de 4,871 dB.

La réflectance : du signal (événements 1 et 8) est dû à la réflexion de la lumière par des surfaces ce qui fait augmenter subitement le niveau de puissance du signal pour notre cas ce sont les jonctions (connecteurs) qui sont la source de la réflectance.

La réflectance totale dans une fibre est le cumule de toutes les réflectances.

Les pertes : ce traduit par une baisse de puissance dans notre situation, ils sont dû à l'affaiblissement linéaire qui caractérise le câble fibre optique.

Calcul de la l'atténuation :

$$A \text{ (dB/Km)} = \frac{\alpha_{\text{Tot}} \text{ (dB)}}{L \text{ (Km)}}$$

Application: $\alpha_{\text{Tot}} = 8,033 \text{ dB}$.

$$A \text{ (dB/Km)} = 8,03/41,664 = 0,19 \text{ dB/Km} \approx 0,2.$$

La valeur de l'atténuation correspond à la valeur théorique fournis par le constructeur de $A = 0,2 \text{ dB/Km}$.

IV.1.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310 \text{ nm}$

La mesure pour la même liaison précédente avec la longueur d'onde $\lambda = 1310 \text{ nm}$ est représenté sur la figure 16.

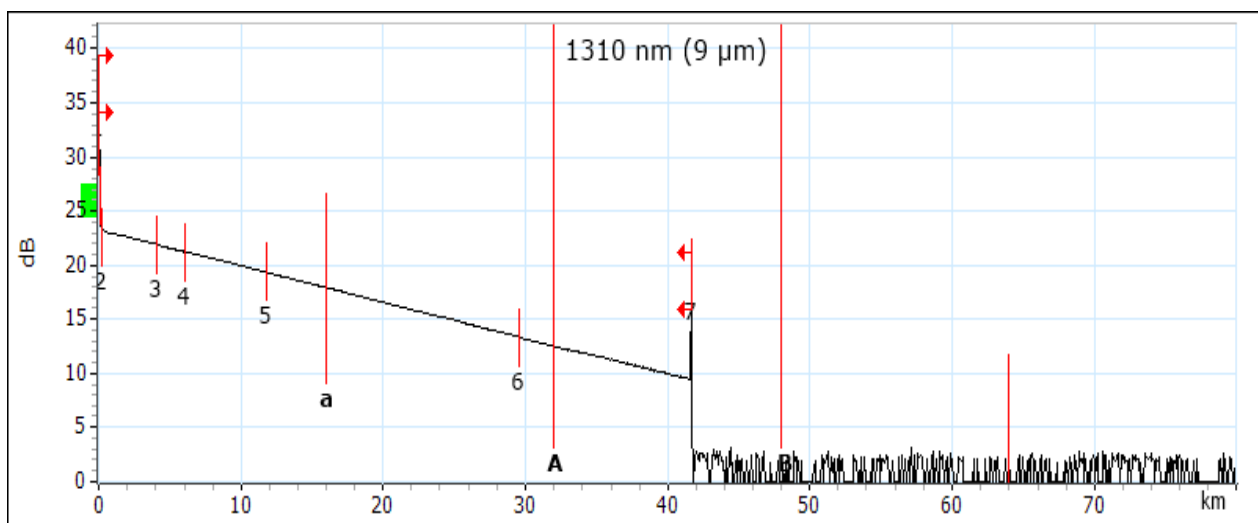


Figure 6. Caractéristiques du lien CTJIJEL – Zياما Mansouriah $\lambda = 1310 \text{ nm}$

On observe une différence apparente pour le degré de l'inclinaison de la pente du signal optique comparativement à celle mesurée avec $\lambda = 1550 \text{ nm}$.

- **Analyses et Interprétations**

Nous observons toujours sur la courbe de rétrodiffusion pour la longueur d'onde $\lambda = 1310 \text{ nm}$, deux événements réfléchissants, le premier au début de la courbe et le second à une distance de $\approx 41,6 \text{ Km}$, ce qui nous indique la fin de la fibre.

La courbe présente aussi bien une pente assez régulière, pour la vérification des résultats, on prend deux points de deux sections différentes du graphe.

- **Exemple**

- 1^{ère} Section

Point A = 3 Km avec une puissance = 22.287 dB

Point B = 4 Km avec une puissance = 21.993 dB

Donc l'atténuation moyenne est évaluée à 0,294 dB/Km

- 2^{ème} Section

Point A = 3 Km avec une puissance = 22.287 dB

Point B = 6 Km avec une puissance = 21.253 dB

Donc l'atténuation moyenne est de $1,034/3 = 0,357 \text{ dB/Km}$

- **Vérification de l'analyse**

Le tableau ci-dessous fourni par le réflectomètre nous donne les informations relatives aux événements surgissant tout au long du câble à fibre optique mesuré, on observe les deux événements réfléchissants au début et à la fin du tableau

Le cumule des pertes 15,269 dB sur une distance de 41,6729 Km soit 0,366 dB/Km

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Événements fusionnés	1	0,0000	---	>-22,8		0,000
Section		0,2323	1,047		4,505	1,047
Non réfléchissant	2	0,2323	0,513			1,560
Section		3,8286	1,207		0,315	2,767
Non réfléchissant	3	4,0609	0,075			2,842
Section		2,0209	0,659		0,326	3,501
Positif	4	6,0818	-0,053			3,448
Section		5,6708	1,884		0,332	5,332
Non réfléchissant	5	11,7526	0,038			5,370
Section		17,7655	5,949		0,335	11,319
Non réfléchissant	6	29,5181	0,101			11,420
Section		12,1547	3,849		0,317	15,269
Réfléchissant	7	41,6729	---	-15,5		15,269

Tableau 6. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1310 \text{ nm}$.

Les résultats de cette deuxième mesure sont résumés en tableau 7.

Longueur de la section	41,6729 km	Perte moyenne	0,366 dB/km	Niveau d'injection	23,8dB
Perte de la section	15,269 dB	Perte d'épaisseur moyenne	0,019 dB		
ORL de la section	<13,69 dB	Perte d'épaisseur maximale	0,513 dB		

Tableau 7. Tableau des Résultats $\lambda = 1310$ nm.

IV.1.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel-Ziama Mansouriah.

Mesure	1		2		3	
	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)
Longueur de la section (km)	41,6641	41,6729	41,6653	41,6742	41,6679	41,6780
Niveau d'injection (dB)	23,2	23,8	25,7	26,1	25,7	26,1
Perte de la section (dB)	8,033	15,269	8,250	14,149	8,076	13,877
ORL de la section (dB)	<14,79	<13,69	<21,91	<20,92	<21,89	<20,91
Perte moyenne (dB/km)	0,193	0,366	0,198	0,340	0,194	0,333
Perte d'épaisseur moyenne (dB)	0,019	0,019	0,036	0,049	0,022	0,024
Perte d'épaisseur maximale (dB)	0,086	0,513	0,091	0,128	0,110	0,137

Tableau 8. Comparaison des mesures de la liaison CTJIJEL – Ziama Mansouriah.

Les mesures montrent que les pertes dans la section sont inversement proportionnelles à la longueur d'onde par contre les pertes causées par la réflexion optique (ORL), elles sont proportionnelles à la longueur d'onde.

IV.2. Liaison CT Jijel - Cellule El Milia

C'est une liaison appartenant au réseau backbone national, conçue par un câble caractérisé par

- Câble à 72 fibres de marque : Fujikjura. (Tourets de 02 Km).
- Applications : téléphonie, Data et liaisons spécialisées.
- Longueur de la liaison estimée : 61,6 Km.

IV.2.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm

La mesure réalisée par le réflectomètre sur la liaison CTJijel – Cellule El Milia, nous fournit les informations représentées en figure 17.

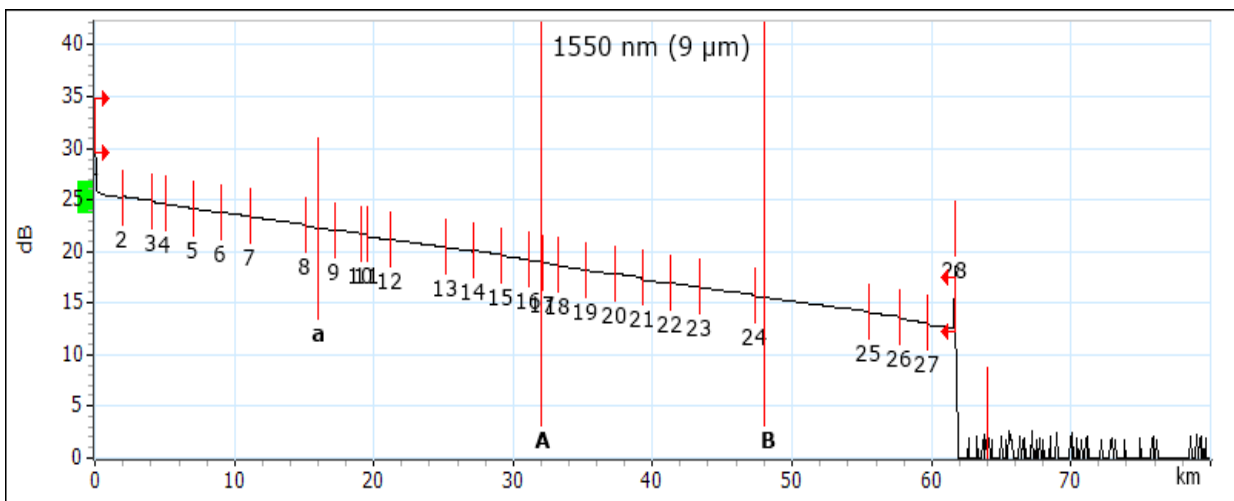


Figure 17. Caractéristiques du lien CT_JIJEL – El Milia $\lambda=1550$ nm

• Analyses et Interprétations

Nous observons sur la figure 17 la courbe de rétrodiffusion résultante des signaux rétrodiffusés, et des signaux réfléchis pour $\lambda = 1550$ nm du lien CTJIJEL – El Milia, cette courbe est caractérisée par deux réflectances l'une au début de la courbe et l'autre à une distance de $\approx 61,7$ Km, ce qui nous indique la fin de la fibre.

La courbe présente une pente assez régulière, pour la vérification on va considérer deux points sur le graphe (point 2 et point 9 sur la figure).

Section

Point A = 2.01 Km avec une puissance = 25.217 dB

Point B = 17.18 Km avec une puissance = 22.044 dB

Donc on aura une atténuation de $3.173/15.17 = 0.209$ dB/Km

• Vérification de l'analyse

On distingue sur le tableau 9

- Un événement réfléchissant au premier connecteur au début de la section du câble, qu'on a pu observer sur la courbe de la figure 17.

- L'absence des pertes par épissures (inférieure au seuil de détection < 0.02dB) ce qui nous informe sur la qualité des épissures réalisées par les équipes d'Algérie Télécoms.

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-23,9		0,000
Section		2,0175	1,142		0,566	1,142
Positif	2	2,0175	-0,213			0,929
Section		2,0251	0,381		0,188	1,310
Non réfléchissant	3	4,0426	0,119			1,429
Section		0,9979	0,189		0,189	1,618
Non réfléchissant	4	5,0405	0,066			1,684
Section		2,0188	0,380		0,188	2,064
Non réfléchissant	5	7,0593	0,048			2,112
Section		2,0392	0,381		0,187	2,493
Positif	6	9,0985	-0,036			2,457
Section		2,0213	0,380		0,188	2,837
Non réfléchissant	7	11,1198	0,052			2,889
Section		4,0452	0,749		0,185	3,637
Non réfléchissant	8	15,1650	0,179			3,816
Section		2,0213	0,384		0,190	4,200
Positif	9	17,1863	-0,079			4,122
Section		1,9192	0,367		0,191	4,489
Non réfléchissant	10	19,1055	0,056			4,545
Section		0,4313	0,079		0,184	4,624
Non réfléchissant	11	19,5368	0,186			4,811
Section		1,6219	0,299		0,185	5,110
Positif	12	21,1587	-0,032			5,078
Section		3,9992	0,748		0,187	5,826
Non réfléchissant	13	25,1580	0,024			5,850
Section		1,9550	0,374		0,191	6,224
Positif	14	27,1129	-0,087			6,137
Section		2,0239	0,383		0,189	6,520
Non réfléchissant	15	29,1368	0,131			6,652
Section		2,0354	0,386		0,190	7,038
Non réfléchissant	16	31,1721	0,061			7,099
Section		0,9277	0,176		0,189	7,275
Non réfléchissant	17	32,0998	0,064			7,339
Section		1,1102	0,206		0,185	7,544
Non réfléchissant	18	33,2100	0,110			7,654
Section		2,0328	0,380		0,187	8,034

Non réfléchissant	19	35,2428	0,050			8,084
Section		2,0251	0,386		0,190	8,470
Positif	20	37,2680	-0,102			8,368
Section		2,0175	0,375		0,186	8,742
Non réfléchissant	21	39,2855	0,266			9,008
Section		2,0124	0,367		0,182	9,374
Positif	22	41,2978	-0,086			9,289
Section		2,0315	0,390		0,192	9,678
Non réfléchissant	23	43,3294	0,050			9,729
Section		4,0490	0,712		0,176	10,440
Non réfléchissant	24	47,3784	0,131			10,571
Section		8,0942	1,460		0,180	12,031
Non réfléchissant	25	55,4726	0,138			12,169
Section		2,1936	0,359		0,164	12,527
Non réfléchissant	26	57,6661	0,241			12,768
Section		2,0226	0,379		0,187	13,147
Non réfléchissant	27	59,6887	0,176			13,323
Section		2,0086	0,418		0,208	13,742
Réfléchissant	28	61,6973	---	-15,4		13,742

Tableau 9. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1550$ nm

On observe que la liaison CT Jijel – Cellule El Milia présente plusieurs événements (28) du fait de la longueur de la section qui dépasse les 50 Km.

Résultats

Longueur de la section	61,6973 km	Perte moyenne	0,223dB/km	Niveau d'injection	26,1dB
Perte de la section	13,742 dB	Perte d'épissure moyenne	0,058 dB		
ORL de la section	<23,14 dB	Perte d'épissure maximal	0,266 dB		

Tableau 10. Tableau des Résultats $\lambda = 1550$ nm.

IV.2.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310$ nm

La figure18, nous fournit des informations pour le même lien avec $\lambda = 1310$ nm où on observe

- Deux événements réfléchissants le premier au début du graphe et le deuxième à une distance de 61 Km.
- Des événements réfléchissants à partir du 56 Km ce qui peut être traduit par des épissures mécaniques de mauvaises qualités

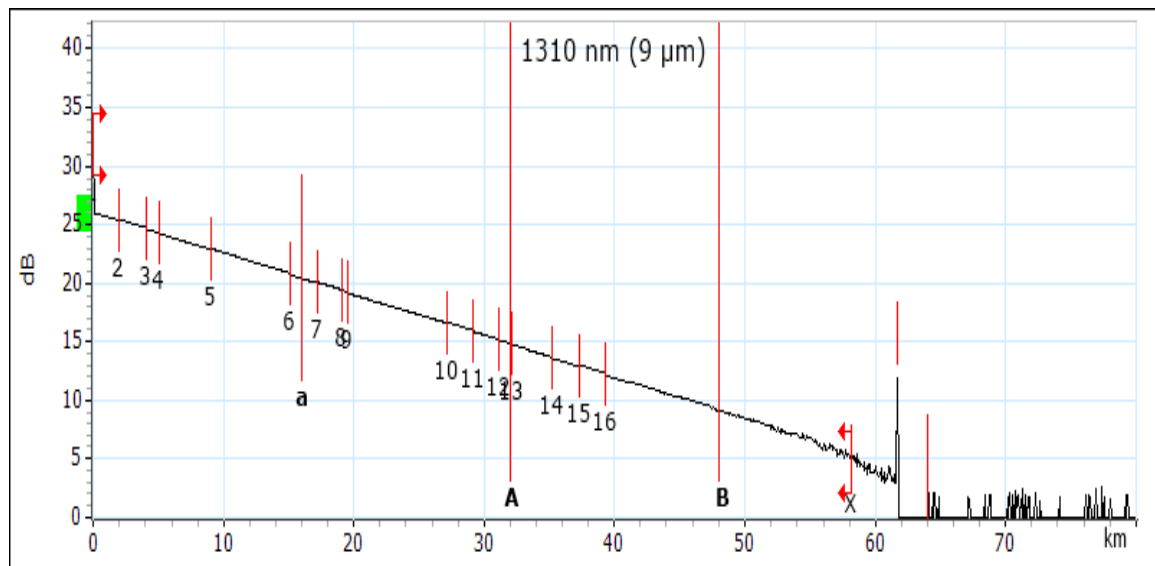


Figure 18. Caractéristiques du lien CTJIJEL – El Milia $\lambda = 1310$ nm.

L'évènement 15 du tableau 11 présente une réflectance brusque avec des pertes et un saut de 14 dB à 20 dB sur une section de 6,839 Km.

Type	N°	Pos./Long.(km)	Perte(dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-21,3		0,000
Section		2,0260	0,936		0,462	0,936
Positif	2	2,0260	-0,167			0,769
Section		2,0171	0,670		0,332	1,439
Non réfléchissant	3	4,0431	0,124			1,563
Section		1,0022	0,338		0,337	1,901
Non réfléchissant	4	5,0452	0,063			1,964
Section		4,0392	1,353		0,335	3,317
Positif	5	9,0845	-0,054			3,263
Section		6,0742	2,066		0,340	5,329
Non réfléchissant	6	15,1586	0,173			5,502
Section		2,0196	0,670		0,332	6,172
Positif	7	17,1783	-0,074			6,097
Section		1,9239	0,641		0,333	6,739
Non réfléchissant	8	19,1021	0,053			6,792
Section		0,4417	0,152		0,345	6,944
Non réfléchissant	9	19,5439	0,115			7,059
Section		7,5857	2,520		0,332	9,579
Positif	10	27,1296	-0,066			9,514
Section		2,0081	0,662		0,330	10,176
Non réfléchissant	11	29,1377	0,134			10,310
Section		2,0362	0,672		0,330	10,982
Non réfléchissant	12	31,1739	0,058			11,040
Section		0,9090	0,300		0,331	11,341
Non réfléchissant	13	32,0829	0,065			11,405

Section		3,1596	1,124		0,356	12,530
Non réfléchissant	14	35,2425	0,088			12,618
Section		2,0273	0,664		0,328	13,283
Positif	15	37,2698	-0,128			13,154
Section		2,0209	0,682		0,338	13,837
Non réfléchissant	16	39,2907	0,218			14,054
Section		18,8736	6,839		0,362	20,893
Fin de l'analyse	17	58,1643	---			20,893
Section		3,5439	---		---	---
Réfléchissant		61,7082	---	-15,1		---

Tableau 11. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1310$ nm.

Résultats

Longueur de la section	58,1643 km	Perte moyenne	0,359 dB/km	Niveau d'injection	26,2 dB
Perte de la section	20,893 dB	Perte d'épissure moyenne	0,040 dB		
ORL de la section	<21,14 dB	Perte d'épissure maximale	0,218 dB		

Tableau 12. Tableau des Résultats $\lambda = 1310$ nm

Le tableau suivant (Tableau 13) va nous permettre de faire une comparaison entre les mesures du même lien pour $\lambda = 1550$ nm et $\lambda = 1310$ nm.

IV.2.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel - .Cellule El Milia.

Mesure	1		2		3	
	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)
Longueur de la section (km)	61,6973	58,1643	41,6653	41,6742	41,6679	41,6780
Niveau d'injection (dB)	26,1	26,2	25,7	26,1	25,7	26,1
Perte de la section (dB)	13,742	20,893	8,250	14,149	8,076	13,877
ORL de la section (dB)	<23,14	21,14	<21,91	<20,92	<21,89	<20,91
Perte moyenne (dB/km)	0,223	0,359	0,198	0,340	0,194	0,333
Perte d'épissure moyenne (dB)	0,058	0,040	0,036	0,049	0,022	0,024
Perte d'épissure maximale (dB)	0,266	0,218	0,091	0,128	0,110	0,137

Tableau 13. Comparaison des mesures liens CT JIJEL – El Milia.

La comparaison entre les différentes mesures prises montre encore une fois que les pertes sont inversement proportionnelles à la longueur d'onde, et les pertes dues à la réflexion optique (ORL) sont proportionnelle à la longueur d'onde.

IV.3. Liaison CT Jijel - Site AT Rabta

La liaison CTJijel – Site AT Rabta appartenant aussi au réseau backbone national, réalisée par un câble caractérisé par

- Câble à 72 fibres de marque : Fujikjura. (Tourets de 02 Km)
- Applications : téléphonie, Data et liaisons spécialisées.
- Longueur de la liaison estimée : 1,9 Km.

IV.3.1. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1550$ nm

Le graphe de la figure19 fournit les informations caractéristiques de Liaison CT Jijel - Site Rabta.

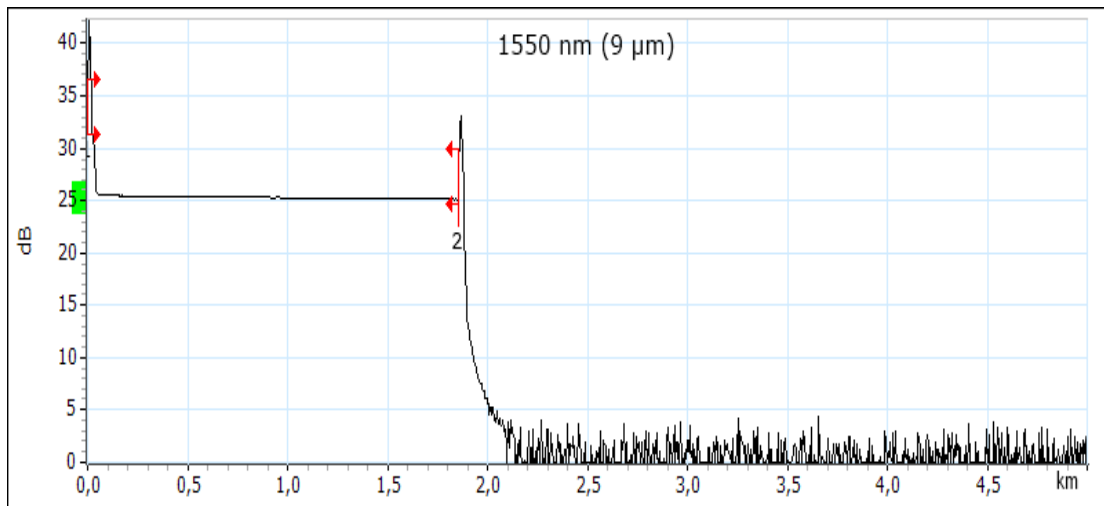


Figure 19. Caractéristiques du lien CTJIJEL –Site AT Rabta $\lambda = 1550$ nm.

A partir de la figure figure19, on observe la présence de :

- Deux événements réfléchissants le premier au début du graphe et le deuxième a une distance de 1.9 Km,
- Une pente difficile à identifier.

Notons la présence uniquement de deux évènements réfléchissants avec une atténuation totale de 0.383 dB à la fin de la section au point 1.8573 Km (pas d'épissures).

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-26,3		0,000
Section		1,8573	0,383		0,206	0,383
Réfléchissant	2	1,8573	---	-45,3		0,383

Tableau 14. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1550$ nm.

Résultats

Longueur de la section	1,8573km	Perte moyenne	0,206 dB/km	Niveau d'injection	25,5dB
Perte de la section	0,383 dB	Perte d'épissure moyenne	/		
ORL de la section	<26,18 dB	Perte d'épissure maximale	/		

Tableau 15. Tableau des Résultats $\lambda = 1550$ nm.

IV.3.2. Mesure à la longueur d'onde $\lambda = 1310$ nm

La Figure 20 représente la mesure réalisée avec $\lambda = 1310$ nm qui nous fournit les informations caractéristiques de la Liaison CT Jijel – Site AT Rabta

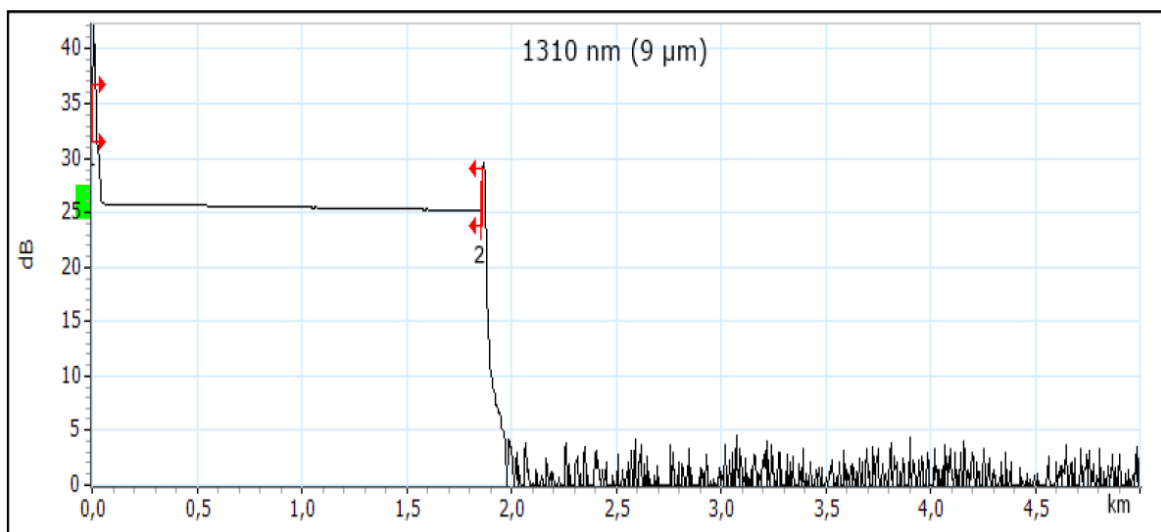


Figure 20. Caractéristiques du lien CTJIJEL – site AT Rabta $\lambda = 1310$ nm.

Cette mesure présente un graphe avec une pente moins importante que les mesures précédentes ce qui peut être expliqué par l'absence des épissures de jonction et de la courte distance < 02 Km (longueur maximale du câble).

Le tableau des événements confirme l'absence des épissures du fait de la non détection des événements réfléchissants par le réflectomètre.

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	-24,8		0,000
Section		1,8581	0,619		0,333	0,619
Réfléchissant	2	1,8581	---	-50,7		0,619

Tableau 16. Tableau des événements OTDR $\lambda = 1310$ nm.

Résultats

Longueur de la section	1,8581 km	Perte Moyenne	0,333 dB/km	Niveau d'injection	25,8dB
Perte de la section	0,619 dB	Perte d'épissure moyenne	/		
ORL de la section	24,90 dB	Perte d'épissure maximale	/		

Tableau 17. Tableau des Résultats $\lambda = 1310$ nm

Mesure de trois (03) brins du même câble

IV.3.3. Comparaison des mesures entre trois brins pour le même câble de la liaison CT Jijel- Site AT Rabta.

Mesure	1		2		3	
	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)	$\lambda = 1550$ (nm)	$\lambda = 1310$ (nm)
Longueur de la section (km)	1,8573	1,8581	1,8580	1,8575	1,8580	1,8581
Niveau d'injection (dB)	25,5	25,8	25,9	26,3	26,0	26,6
Perte de la section (dB)	0,383	0,619	0,534	0,594	0,373	0,603
ORL de la section (dB)	<26,18	24,90	<21,88	<20,30	<27,28	26,32
Perte moyenne (dB/km)	0,206	0,333	0,288	0,320	0,201	0,324
Perte d'épissure moyenne (dB)	/	/	/	/	/	/
Perte d'épissure maximale (dB)	/	/	/	/	/	/

Tableau 18. Comparaison des mesures liens CTJIJEL – Site AT Rabta.

La comparaison entre les mesures des trois brins pour le même câble optique démontre aussi bien que les pertes sont toujours proportionnelles avec la longueur d'onde et que pour de courtes distances l'atténuation totale \approx l'atténuation linéique du câble.

V. Comparaison des trois liaisons traitées

Mesure	Liaison CT Jijel - Cellule El Milia		Liaison CT Jijel - URAD ZIAMA		Liaison CT Jijel - Site AT Rabta	
	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)
Longueur de la section (km)	61,6973	58,1643	41,6641	41,6729	1,8573	1,8581
Niveau d'injection (dB)	26,1	26,2	23,2	23,8	25,5	25,8
Perte de la section (dB)	13,742	20,893	8,033	15,269	0,383	0,619
ORL de la section (dB)	<23,14	21,14	<14,79	<13,69	<26,18	24,90
Perte moyenne (dB/km)	0,223	0,359	0,193	0,366	0,206	0,333
Perte d'épissure moyenne (dB)	0,058	0,040	0,019	0,019	/	/
Perte d'épissure maximale (dB)	0,266	0,218	0,086	0,513	/	/

Tableau 19. Comparaison des mesures des trois (03) liaisons.

Les mesures effectuées pour les trois liaisons étudiées (liaison CT Jijel - Cellule El Milia, Liaison CT Jijel - URAD ZIAMA et Liaison CT Jijel - Site AT Rabta) montrent la présence permanente des pertes linéaires et des pertes causées par la réflexion optique (ORL), même pour les petites distances, aussi la longueur du câble est proportionnelle avec les pertes, et inversement proportionnelle aux pertes causées par la réflexion optique (ORL).

Notons que les épissures pour les longues distances induisent des pertes si on compare une courte distance (moins de 2 km : Liaison CT Jijel - Site AT Rabta) avec une distance importante (liaison CT Jijel - Cellule El Milia), ce qui implique que la qualité des épissures réalisées par les techniciens d'AT est très importante pour minimiser au maximum les pertes d'épissure.

VI. Conclusion

Les mesures effectuées sur plusieurs brins de fibre optique pour différentes longueurs de câble pour les longueurs d'onde $\lambda = 1550$ nm et $\lambda = 1310$ nm, mettent en cause la qualité des éléments de connexions du câble optique aussi bien que la propreté de la fibre, il est également très important de protéger les fibres non utilisées par des capuchons dans l'armoire optique.

Les tests effectués ont démontré que les brins optiques du même câble n'ont pas forcément les mêmes caractéristiques. Pour des distances importantes qui nécessitent des joints de connexions la qualité des épissures réalisées est très importante pour minimiser au maximum les pertes dans la fibre.

Références

- [1] H. Itgarets, N. Rezkellah, "Optimisation Des Paramètres D'une Liaison A Fibre Optique", Thèse de doctorat, Université Abderrahmane Mira Bejaia, Algérie, (2015).
- [2] OTDR pour OV-1000 Guide d'utilisation, document CT JIJEL (2017)
- [3] G. Richard,"Detection et analyse des événements optiques dans les réseaux FTTx", ISATEL Electronic AG (2014).
- [4] Guide de poche de l'OTDR, Agilent Technologies GmbH, (2001).
- [5] EXFO, "OTDR Réflectomètre optique temporel", Guide d'utilisateur, (2010).

Conclusion générale et perspectives

L'utilisation de la fibre optique et en particulier la FO monomode pour les longues distances dans le domaine des télécommunications, a permis d'atteindre de nouvelles perspectives en ce qui concerne la bande passante et le débit de transmission de l'information. L'analyse des bilans des liaisons optiques et l'interprétation des mesures obtenues par la technique de réflectométrie au niveau du centre de transmission (CT) de Jijel ont montré que la qualité d'une transmission en fibre ne dépend pas uniquement de la qualité de la fibre, mais aussi des composants d'émissions et de réceptions et des jonctions réalisées.

La mise en œuvre et le choix des composants optiques et optoélectronique d'une chaîne de transmission doit être assez méticuleux pour pouvoir exploiter aux maximum les qualités des fibres optiques des différentes liaisons réalisées.

Les résultats de notre étude ont permis d'évaluer les performances d'une liaison optique toute en appréhendant les facteurs majeurs et leurs influences sur la qualité d'une transmission optique. Les mesures effectuées pour différentes longueurs de câble pour les longueurs d'onde télécoms, montrent que la qualité des éléments de connexions est très importante pour concevoir un réseau de transmission performant qui répond aux besoins du cahier de charge d'Algérie Télécoms.

L'utilisation des équipements de transmissions fournis par l'opérateurs Huawei tel que la plateforme OSN 68008800, qui peut atteindre une bande passante de 1,4Tb, a offert au réseau de transmission une souplesse pour l'intégration de nouveaux services en utilisant les infrastructures déjà existantes, avec la possibilité de moderniser progressivement son réseau à fibre optique.

Conclusion générale et perspectives

Algérie télécom et dans le but d'assurer un service Triple Play qui offre l'accès à l'internet très haut débit, la téléphonie fixe et l'IP TV, a procédé à la modernisation et au développement de son réseau local en utilisant des techniques FTTx (Fiber To The x) qui permettent d'offrir des services avec un débit qui peut atteindre 100 Mbits/s au client , où même assurer un lien optique point au point jusqu'au client par la technique FTTH (Fiber To The Home).

Annexe

Rapport OTDR (1550 nm (9 μm))

Informations générales

Nom de fichier : Fiber13.trc
 Date du test : 03/06/2019
 Heure du test : 09:02:34
 ID du câble :
 ID de la tâche:
 Commentaires :

Client :
 Société :
 ID de la fibre: Fiber13

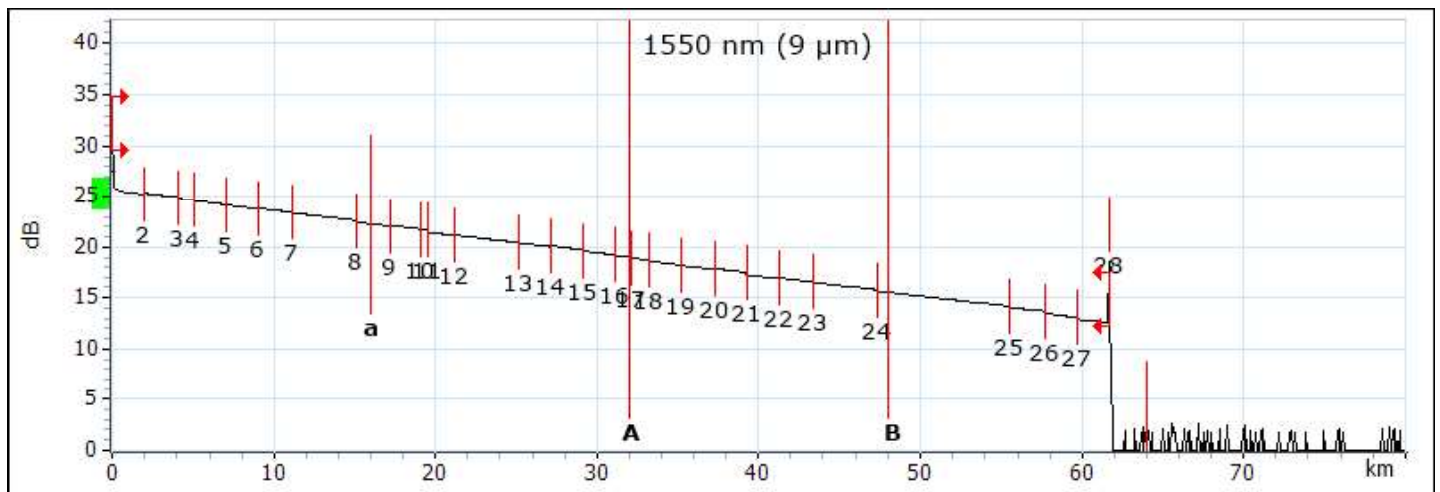
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Opérateur		
Modèle	FTB-735C-SM1-EI	
Numéro de série	1135866	
Date d'étalonnage	25/06/2018 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section : 61,6973 km Perte moyenne : 0,223dB/km Niveau d'injection: 26,1dB
 Perte de la section : 13,742 dB Perte d'épaisseur moyenne : 0,058 dB
 ORL de la section : <23,14 dB Perte d'épaisseur maximale : 0,266 dB

Graphique



Marqueurs

Marqueur	Position (km)	Valeur (dB)	Atténuation LSA A-B :	0,205dB/km	Perte moyenne A-B:	0,213 dB/km
a	15,9995	22,269	Perte LSA A-B:	3,282dB	Perte d'événement 4 points:	-4,575 dB
A	32,0003	18,993	ORL A-B:	33,01dB	Réflectance maximale:	---
B	47,9998	15,592				
b	64,0006	0,000				

Rapport OTDR (1550 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-23,9		0,000
Section		2,0175	1,142		0,566	1,142
Positif	2	2,0175	-0,213			0,929
Section		2,0251	0,381		0,188	1,310
Non réfléchissant	3	4,0426	0,119			1,429
Section		0,9979	0,189		0,189	1,618
Non réfléchissant	4	5,0405	0,066			1,684
Section		2,0188	0,380		0,188	2,064
Non réfléchissant	5	7,0593	0,048			2,112
Section		2,0392	0,381		0,187	2,493
Positif	6	9,0985	-0,036			2,457
Section		2,0213	0,380		0,188	2,837
Non réfléchissant	7	11,1198	0,052			2,889
Section		4,0452	0,749		0,185	3,637
Non réfléchissant	8	15,1650	0,179			3,816
Section		2,0213	0,384		0,190	4,200
Positif	9	17,1863	-0,079			4,122
Section		1,9192	0,367		0,191	4,489
Non réfléchissant	10	19,1055	0,056			4,545
Section		0,4313	0,079		0,184	4,624
Non réfléchissant	11	19,5368	0,186			4,811
Section		1,6219	0,299		0,185	5,110
Positif	12	21,1587	-0,032			5,078
Section		3,9992	0,748		0,187	5,826
Non réfléchissant	13	25,1580	0,024			5,850
Section		1,9550	0,374		0,191	6,224
Positif	14	27,1129	-0,087			6,137
Section		2,0239	0,383		0,189	6,520
Non réfléchissant	15	29,1368	0,131			6,652
Section		2,0354	0,386		0,190	7,038
Non réfléchissant	16	31,1721	0,061			7,099
Section		0,9277	0,176		0,189	7,275
Non réfléchissant	17	32,0998	0,064			7,339
Section		1,1102	0,206		0,185	7,544
Non réfléchissant	18	33,2100	0,110			7,654
Section		2,0328	0,380		0,187	8,034
Non réfléchissant	19	35,2428	0,050			8,084
Section		2,0251	0,386		0,190	8,470
Positif	20	37,2680	-0,102			8,368
Section		2,0175	0,375		0,186	8,742
Non réfléchissant	21	39,2855	0,266			9,008
Section		2,0124	0,367		0,182	9,374
Positif	22	41,2978	-0,086			9,289
Section		2,0315	0,390		0,192	9,678
Non réfléchissant	23	43,3294	0,050			9,729
Section		4,0490	0,712		0,176	10,440

Rapport OTDR (1550 nm (9 µm))

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Non réfléchissant	24	47,3784	0,131			10,571
Section		8,0942	1,460		0,180	12,031
Non réfléchissant	25	55,4726	0,138			12,169
Section		2,1936	0,359		0,164	12,527
Non réfléchissant	26	57,6661	0,241			12,768
Section		2,0226	0,379		0,187	13,147
Non réfléchissant	27	59,6887	0,176			13,323
Section		2,0086	0,418		0,208	13,742
Réfléchissant	28	61,6973	---	-15,4		13,742

Macrocourbure

Aucune macro courbure détectée.

Seuils succès/échec

	1550 nm (9 µm)
Perte d'épissure (dB)	0,300
Perte du connecteur (dB)	0,750
Réflectance (dB)	-40,0
Atténuation de la section de fibre (dB/km)	0,400
Perte de la section (dB)	20,000
Longueur de la section (km)	0,0000
ORL de la section (dB)	15,00

Paramètres du test

	A → B
Longueur d'onde (nm)	1550 nm (9 µm)
Plage (km)	80,0000
Impulsion (ns)	100
Durée (s)	30

Réglages du test

	A → B	Longueurs d'onde de la Macro courbure	Perte delta de Macro courbure (dB)
IR	1,468325		
Rétrodiffusion (dB)	-81,87	1310 nm - 1550 nm	0,500
Facteur hélicoïdal (%)	0,00		
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0,020		
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72,0		
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5,000		

Rapport OTDR (1310 nm (9 μm))

Informations générales

Nom de fichier : Fiber13.trc
 Date du test : 03/06/2019 Client :
 Heure du test : 09:03:04 Société :
 ID du câble : ID de la fibre: Fiber13
 ID de la tâche:
 Commentaires :

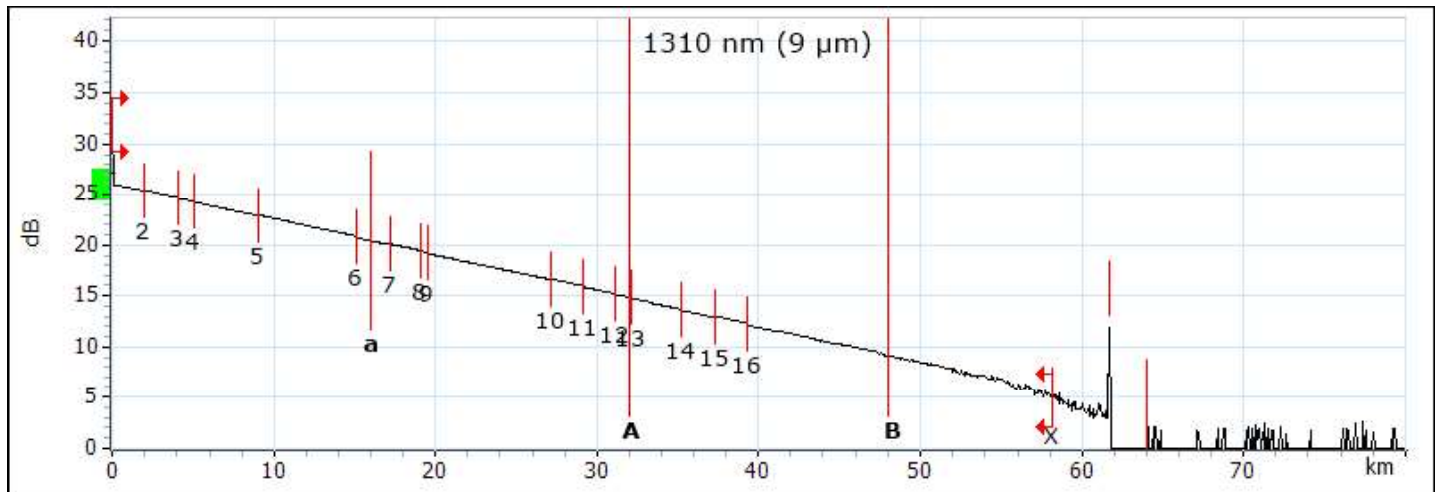
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Opérateur		
Modèle	FTB-735C-SM1-EI	
Numéro de série	1135866	
Date d'étalonnage	25/06/2018 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section : 58,1643 km Perte moyenne : 0,359dB/km Niveau d'injection: 26,2dB
 Perte de la section : 20,893dB Perte d'épaisseur moyenne : 0,040 dB
 ORL de la section : <21,14 dB Perte d'épaisseur maximale : 0,218 dB

Graphique



Marqueurs

Marqueur	Position (km)	Valeur (dB)	Atténuation LSA A-B :	Perte moyenne A-B:	Perte d'événement 4 points:	Réflectance maximale:
a	15,9995	20,398	0,348dB/km	0,357 dB/km	-1,694 dB	---
A	32,0003	14,880	Perte LSA A-B:			
B	47,9998	9,163	5,565dB			
b	64,0006	0,000	ORL A-B:	32,10dB		

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	>-21,3		0,000
Section		2,0260	0,936		0,462	0,936
Positif	2	2,0260	-0,167			0,769
Section		2,0171	0,670		0,332	1,439
Non réfléchissant	3	4,0431	0,124			1,563
Section		1,0022	0,338		0,337	1,901
Non réfléchissant	4	5,0452	0,063			1,964
Section		4,0392	1,353		0,335	3,317
Positif	5	9,0845	-0,054			3,263
Section		6,0742	2,066		0,340	5,329
Non réfléchissant	6	15,1586	0,173			5,502
Section		2,0196	0,670		0,332	6,172
Positif	7	17,1783	-0,074			6,097
Section		1,9239	0,641		0,333	6,739
Non réfléchissant	8	19,1021	0,053			6,792
Section		0,4417	0,152		0,345	6,944
Non réfléchissant	9	19,5439	0,115			7,059
Section		7,5857	2,520		0,332	9,579
Positif	10	27,1296	-0,066			9,514
Section		2,0081	0,662		0,330	10,176
Non réfléchissant	11	29,1377	0,134			10,310
Section		2,0362	0,672		0,330	10,982
Non réfléchissant	12	31,1739	0,058			11,040
Section		0,9090	0,300		0,331	11,341
Non réfléchissant	13	32,0829	0,065			11,405
Section		3,1596	1,124		0,356	12,530
Non réfléchissant	14	35,2425	0,088			12,618
Section		2,0273	0,664		0,328	13,283
Positif	15	37,2698	-0,128			13,154
Section		2,0209	0,682		0,338	13,837
Non réfléchissant	16	39,2907	0,218			14,054
Section		18,8736	6,839		0,362	20,893
Fin de l'analyse	17	58,1643	---			20,893
Section		3,5439	---		---	---
Réfléchissant		61,7082	---	-15,1		---

Macrocourbure

Aucune macro courbure détectée.

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Seuil succès/échec

	1310 nm (9 µm)
Perte d'épissure (dB)	0,300
Perte du connecteur (dB)	0,750
Réfectance (dB)	-40,0
Atténuation de la section de fibre (dB/km)	0,400
Perte de la section (dB)	20,000
Longueur de la section (km)	0,0000
ORL de la section (dB)	15,00

Paramètres du test

	A → B
Longueur d'onde (nm)	1310 nm (9 µm)
Plage (km)	80,0000
Impulsion (ns)	100
Durée (s)	30

Réglages du test

	A → B	Longueurs d'onde de la Macro courbure	Perte delta de Macro courbure (dB)
IR	1,467700		
Rétrodiffusion (dB)	-79,45	1310 nm - 1550 nm	0,500
Facteur hélicoïdal (%)	0,00		
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0,020		
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72,0		
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	5,000		

Résumé

Les techniques de transmission actuelles n'ont pas cessé d'évoluer dans le but de transmettre le maximum d'informations, afin d'ajouter de nouveaux services aux utilisateurs, La fibre optique est devenue ces dernières années le support de transmission qui assure un meilleur rapport qualité prix pour les opérateurs de télécommunications.

L'objectif de ce travail de master est l'étude de la transmission sur des supports optiques pour les télécommunications. Pour cela nous avons présenté une chaîne de transmission à fibre optique et les composants d'émission/réception nécessaires à la mise en place d'une liaison optique.

Les mesures du bilan optique des liaisons étudiées par le réflectomètre l'OTDR, nous ont montré que les performances d'une liaison optique ne dépendent pas uniquement de la qualité de la fibre mais aussi des modules d'émission et de réception et des jonctions réalisées le long de la liaison qui ont une influence importante sur la qualité de la transmission optique.

Mots clés : Fibre optique, OTDR, Bilan optique, Algérie Télécom.