

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

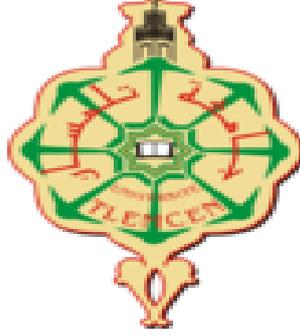
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Par : Mr BELDJILALI Khaled  
Mr KHELLADI Mohammed

Sujet

# Etude pratique sur la maintenance des fibres optiques monomodes

Soutenu publiquement, le **21 juin 2018**, devant le jury composé de :

Mr CHIKH BLED Mohammed El Kebir	Professeur	Univ.Tlemcen	Président
Mr SEDDIKI Omar	Professeur	Univ.Tlemcen	Examineur
Mr KARIM Fethallah	Maître de conférences	Univ.Tlemcen	Encadreur

Année Universitaire  
2017/2018

# SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures et des tableaux	
Introduction Générale .....	1

## ***CHAPITRE I: Généralités sur la fibre optique***

1.Introduction .....	3
2.L'optique.....	3
3.Définition et structure générale de la fibre optique .....	3
4.Classification des fibres optiques .....	5
5.Caractéristiques des fibres optiques .....	6
5.1.Les effets linéaires .....	6
5.1.1.L'atténuation .....	6
*Pertes intrinsèques.....	6
*Pertes extrinsèques.....	6
5.1.2.Dispersion .....	7
*Dispersion chromatique.....	7
*Dispersion intermodale.....	8
*Dispersion de polarisation PMD.....	9
5.1.3.La bande passante .....	9
*Bande modale.....	10
*Bande chromatique.....	10
5.2.Les effets non linéaires .....	10
5.2.1.Les effets Raman et Brillouin .....	10
5.2.2.L'effet Kerr .....	11
6.Avatges et inconvénients des fibres optiques .....	11
6.1.Les avantages .....	11
6.2.Les inconvénients .....	12
7.Les fenêtres utilisées dans les télécommunications optiques .....	12
*0,85 $\mu\text{m}$ (première fenêtre optique).....	12
*1,31 $\mu\text{m}$ (deuxième fenêtre optique).....	12
*1,55 $\mu\text{m}$ (troisième fenêtre optique).....	12
8.Performances des fibres optiques .....	13
8.1.Atténuation optique .....	13
8.1.1.Définition .....	13
8.1.2.Calcul de l'atténuation linéique .....	13
8.1.3.Causes de l'atténuation .....	14
8.1.3-a. Pertes dues aux raccordements .....	14
8.1.3-b. Pertes dues à la jonction air-verre-air .....	15
8.2.Dispersion .....	16
8.2.1.Dispersion modale .....	16
8.2.1.Dispersion chromatique .....	17
9.La notion de diamètre de champ de mode .....	19
10.Conclusion .....	21

## ***CHAPITRE II : Caractéristiques de la fibre optique monomode***

1.Introduction .....	22
2.Fabrication de la fibre optique.....	22
3.Code couleur du revêtement extérieur de la fibre optique .....	24
*Code couleur des connecteurs optiques.....	24
4.Les normes spéciales de la fibre optique monomode .....	24
4.1.Comparaison entre les normes de la fibre optique monomode .....	25
4.2.Quelques types de fibres monomodes .....	25
4.2.1.Fibre standard .....	25
4.2.2.Fibre à dispersion décalée .....	26
4.2.3.Fibre à dispersion décalée non nulle.....	26

5. Les différents types de connecteurs optiques .....	27
5.1. Construction de connecteur .....	27
5.2. Câblage de la fibre dans une fêrulle .....	27
5.3. Le principe de raccordement fibre à fibre .....	28
5.3.1. Défauts possibles lors du raccordement .....	28
5.3.2. Comment raccorder deux fibres .....	29
5.3.2-a. L'utilisation de connecteurs .....	29
*Avantages.....	29
*Inconvénients.....	29
5.3.2-b. Exemple de connecteurs fibre à fibre .....	29
*Le connecteur ST (Straight Tip).....	29
*Le connecteur SC.....	30
*Le connecteur MU.....	30
*Le connecteur LC (Little Connector).....	30
*Le connecteur FC (Ferrule Ceramic).....	30
*Le connecteur MT-RJ.....	30
*Le connecteur VF45.....	30
*Le connecteur MTP/MPO.....	30
*Le connecteur SMA.....	30
6. Réflectance (Return Loss) .....	31
7. les connecteurs APC et UPC .....	31
7.1. Signification de UPC et APC .....	31
7.2. Différence entre UPC et APC .....	32
7.3. Application importante des connecteurs APC et UPC .....	32
8. Maintenance de la fibre optique .....	33
8.1. Clivage .....	33
8.1.1. Qu'est-ce qu'une cliveuse ? .....	33
8.1.2. Les cliveuses Sumitomo .....	33
8.1.2-a. La cliveuse FC-6S-C .....	33
8.1.2-b. La cliveuse FC-6RS-C .....	33
8.1.2-c. La cliveuse FC-7R-F .....	34
8.2. L'épissure .....	34
*Avantages.....	34
*Inconvénients.....	34
8.2.1. Types d'épissure .....	34
8.2.1-a. Epissure par fusion .....	34
8.2.1-b. Les épissures mécaniques.....	35
8.2.2. Faire de bonnes épissures .....	36
8.2.3. Protection des épissures .....	36
8.3. La soudure optique .....	36
8.3.1. Différents types de soudeuses optiques .....	36
8.3.2. Exemples de soudeuses optiques .....	37
8.3.2-a. La soudeuse fibre optique haute gamme le modèle AbsySplicer-AV6472 .....	37
8.3.2-b. La soudeuse optique imbattable en rapport qualité prix modèle AbsySplicer-AV6471 .....	37
8.3.2-c. La soudeuse modèle AbsySplicer-AYFS-1 à alignement gaine à gaine rapide et faible coût .....	38
8.3.2-d. La soudeuse modèle AbsySplicer-AYSA-2 à alignement manuel .....	38
9. Conclusion .....	39

### ***CHAPITRE III: Etude pratique sur la maintenance de la fibre monomode***

1. Introduction .....	40
2. Présentation de l'entreprise "THORLABS" .....	40
3. Caractéristiques physiques de la fibre monomode (P1-SMF-28-FC-1) .....	40
4. Caractéristiques techniques des appareils de mesure .....	43
4.1. Source laser/testeur de pertes optiques du fabricant ANRITSU .....	43
4.2. Description de mode de fonctionnement .....	45
4.3. Test de pertes de boucle avec la source laser/testeur de pertes .....	46
4.3.1. Définition de la perte d'insertion .....	46
4.3.2. Procédure de mesure .....	46
4.4. Wattmètre optique (Optical Power Meter) .....	48
4.4.1. Caractéristiques .....	48
4.4.2. Description .....	48

5.Mesure de l'affaiblissement à l'aide des appareils de mesure .....	<b>49</b>
5.1.Mesure de l'affaiblissement en utilisant le testeur de perte optique et le wattmètre optique .....	<b>49</b>
5.2.Mesure de l'affaiblissement en utilisant deux fibres monomodes .....	<b>51</b>
5.3.L'intérêt du gel d'adaptation d'indice .....	<b>52</b>
5.3.1.Caractéristiques du gel d'adaptation d'indice (G608N3) de thorlabs .....	<b>52</b>
5.3.2.Mesure de la puissance reçue et la perte optique en utilisant le gel G608N3 .....	<b>52</b>
5.4.Liaisons entre trois fibres optiques en utilisant deux adaptateurs .....	<b>54</b>
6.Etapes de préparation de la fibre optique .....	<b>54</b>
6.1.Introduction .....	<b>54</b>
6.2.Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique .....	<b>55</b>
Première partie : dénudage de la fibre optique .....	<b>55</b>
Deuxième partie : nettoyage de la fibre optique .....	<b>57</b>
Troisième partie : Clivage de la fibre optique .....	<b>57</b>
7.Etude pratique sur les supports et câbles de fibres optiques utilisés par les industriels .....	<b>59</b>
7.1.Fourreaux PEHD .....	<b>59</b>
7.2.Câble souple .....	<b>59</b>
7.3.Câble semi-rigide à 4 brins .....	<b>60</b>
7.4.Câble semi-rigide à 64 brins .....	<b>61</b>
8.Préparation d'une terminaison de fibre optique à l'aide du dispositif BFT1 .....	<b>61</b>
8.1.Présentation des étapes d'utilisation du BFT1 .....	<b>61</b>
Etape 1 .....	<b>62</b>
Etape 2 .....	<b>62</b>
Etape 3 .....	<b>62</b>
Etape 4 .....	<b>63</b>
8.2.Mesure de l'affaiblissement de la terminaison avec le BFT1 .....	<b>63</b>
9.Soudure et fusion de la fibre optique .....	<b>64</b>
9.1.Fusion automatique .....	<b>64</b>
9.2.Réalisation d'une épissure mécanique pratiquement à l'aide d'un joint mécanique .....	<b>64</b>
Etape 1 .....	<b>65</b>
Etape 2 .....	<b>65</b>
Etape 3 .....	<b>66</b>
Etape 4 .....	<b>66</b>
10.Techniques de polissage des connecteurs optiques .....	<b>66</b>
11.Conclusion .....	<b>69</b>
Conclusion Générale .....	<b>71</b>

Liste des acronymes

Glossaire optique

Résumé

## Introduction générale

Les télécommunications optiques ont acquis une importance considérable dans les réseaux de communication longue distances, et la conception de système de transmission à très grande capacité avec les développements croissants des télécommunications optiques et des nouvelles technologies.

Nous entendons beaucoup parler des fibres optiques, mais qui sait vraiment à quoi qu'elles servent. L'un des principaux critères de la réussite des réseaux de communication tient à la grande bande passante de la fibre optique, mais surtout dans les très faibles pertes qu'elle présente.

Si l'on excepte la « transmission » d'information par des signaux lumineux tels que la fumée ou le feu, l'utilisation de la lumière comme moyen de communication reste relativement récente. Avant l'optique, ni les systèmes à câbles coaxiaux, ni les systèmes micro-ondes, ne permettaient de transmettre un débit supérieur à 100 Mb/s en moyenne. Le système coaxial le plus évolué était capable de transmettre un débit de 274Mb/s, mais à condition de prévoir l'installation de répéteurs tous les kilomètres ... une amélioration substantielle des performances était pressentie si l'on réussissait à transmettre l'information sur une porteuse optique de l'ordre de centaines de THz, au lieu de dizaines de Ghz des porteuses micro-ondes.

Cependant, malgré la démonstration dès 1962 du premier laser à semi-conducteur, il a fallu attendre les 70 pour lui trouver une application dans le domaine des télécommunications. Cette époque a vu simultanément l'apparition des lasers à GaAs émettant dans le proche infrarouge ( $0.8\mu\text{m}$ ) et des fibres optiques dites à « faibles pertes », qui allaient constituer la base de la première génération de systèmes optiques. Depuis, l'augmentation des débits comme des distances de propagation a été interrompue et a gagné plusieurs ordres de grandeur en moins de 20 ans.

Dans les années 80, l'utilisation de fibres monomodes dans les systèmes de seconde génération opérant à  $1.3\mu\text{m}$  a permis la commercialisation et l'installation dans le monde entier de systèmes à 1.5 Gb/s. ce débit a été élevé à 2.5Gb/s dès le début des années 90 dans les systèmes de 3ème génération opérant à  $1.55\mu\text{m}$ , la longueur d'onde où l'atténuation de la fibre est minimale ( $0.2\text{db/km}$ ).

Le formidable développement des télécommunications par fibre optique ne s'explique pas seulement par le fait que la fibre permette le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission. En fait, le meilleur argument en faveur de la fibre optique est son moindre coût, en comparaison avec autres supports de transmission. Pour que ce fameux support de transmission transporte les informations avec un débit maximal, il faut minimiser tout d'abord les pertes intrinsèques liées fortement aux étapes de préparation de la fibre optique (dénudage, nettoyage de la gaine, polissage) ,

aux différents connecteurs utilisés, aux méthodes de raccordement et aux méthodes d'évaluation de la qualité de transmission. Pour toutes ses raisons, nous avons choisi dans ce mémoire de travailler sur la maintenance de fibres optiques.

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

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

Dans le deuxième chapitre, on définit les caractéristiques physique et technique de la fibre monomode avec les différents types de connexion.

Dans le dernier chapitre, nous avons acquis des connaissances dans la préparation de la fibre optique, notamment le dénudage, le clivage, le polissage et la connectique. Nous avons aussi, grâce aux outils de préparations de la fibre, décortiqué ce support de transmission, avec ses différents diamètres optiques et ses différents revêtements intérieurs et extérieurs. Nous avons aussi étudié les performances (perte d'insertion) d'une fibre monomode de marque Thorlabs à l'aide d'une source laser, et un wattmètre optiques de marque Anritsu.

## 1. Introduction

Toute étude doit impérativement passer par un parcours de généralités afin d'apporter les éléments de base. Dans les systèmes de télécommunications modernes, le support de transmission privilégié est la fibre optique. Il apparaît donc intéressant de rappeler ses propriétés et son influence sur les réseaux de communications optiques.

## 2. L'optique

L'optique est la partie de la physique consacrée à l'étude des phénomènes lumineux. Mais aussi par extension, l'étude des moyens de transmission des informations par la lumière et plus largement par l'ensemble des radiations électromagnétiques.

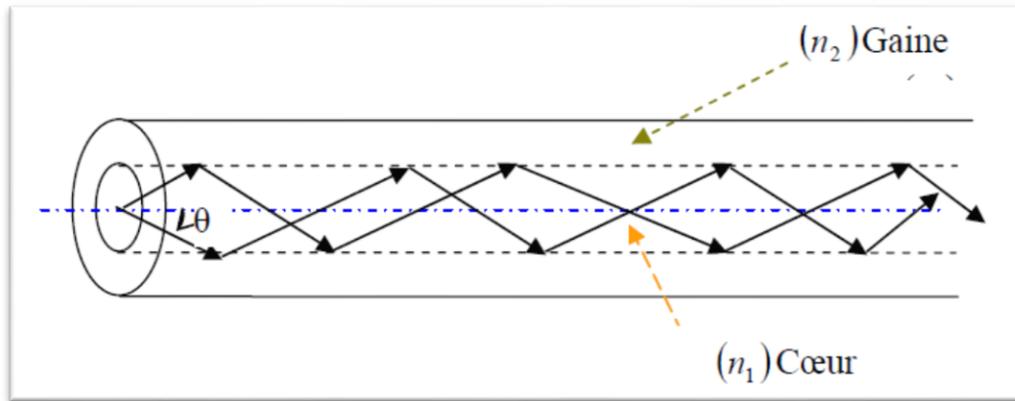
On peut faire une distinction entre l'optique géométrique traitant le trajet des rayons lumineux, dont les applications sont les instruments optiques traditionnels (lentilles, prismes, etc.), et l'optique physique traitant la nature de la lumière, de son émission, de sa propagation dans divers milieux, de son absorption par le milieu traversé, des influences subies par la propagation de champs électriques et magnétiques



**Figure I.1** : Spectre de la lumière

## 3. Définition et structure générale de la fibre optique

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique qui possède une symétrie circulaire. Elle est constituée de deux couches de matériaux transparents à base de silice appelés le cœur, d'indice de réfraction  $n_1$ , et la gaine optique qui entoure le cœur, d'indice  $n_2$  (voir figure. I.2), L'indice  $n_1$  est supérieur à  $n_2$  ce qui garantit la réalisation de la condition de réflexion totale sur la gaine d'un rayon se propageant dans le cœur et qui permet le guidage.

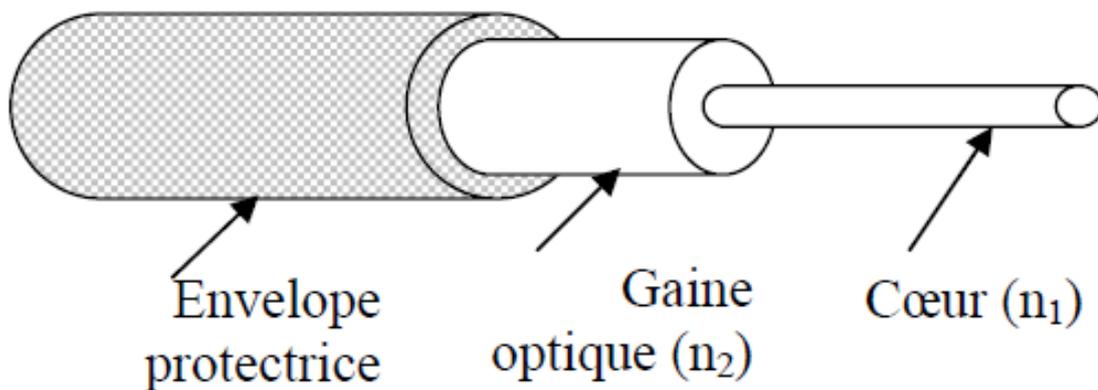


**Figure I.2 :** Structure générale d'une fibre optique.

On réalise cet écart d'indice entre le cœur et la gaine en incorporant des dopants, tels que :

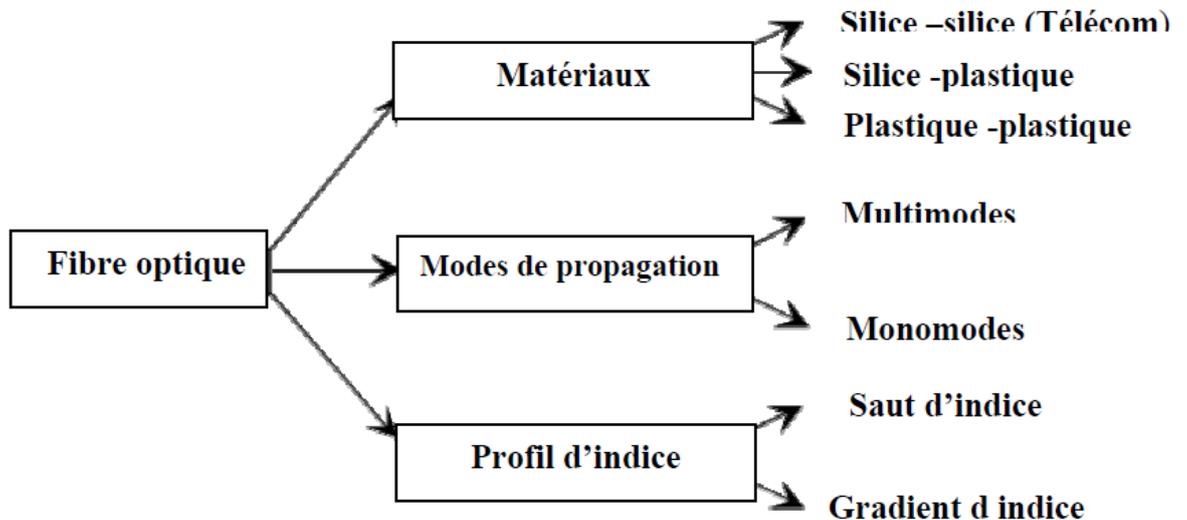
- Le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le cœur.
- Le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine.

En outre, telle que le montre la figure (I.3), la gaine est elle-même recouverte d'une enveloppe, généralement en plastique, qui a le double rôle de protéger la fibre mécaniquement et de piéger la lumière qui se propage dans la gaine optique, en général indésirable. Si l'on dénude la fibre, le milieu extérieur est l'air.



**Figure I.3:** Fibre optique avec revêtement.

#### 4. Classification des fibres optiques



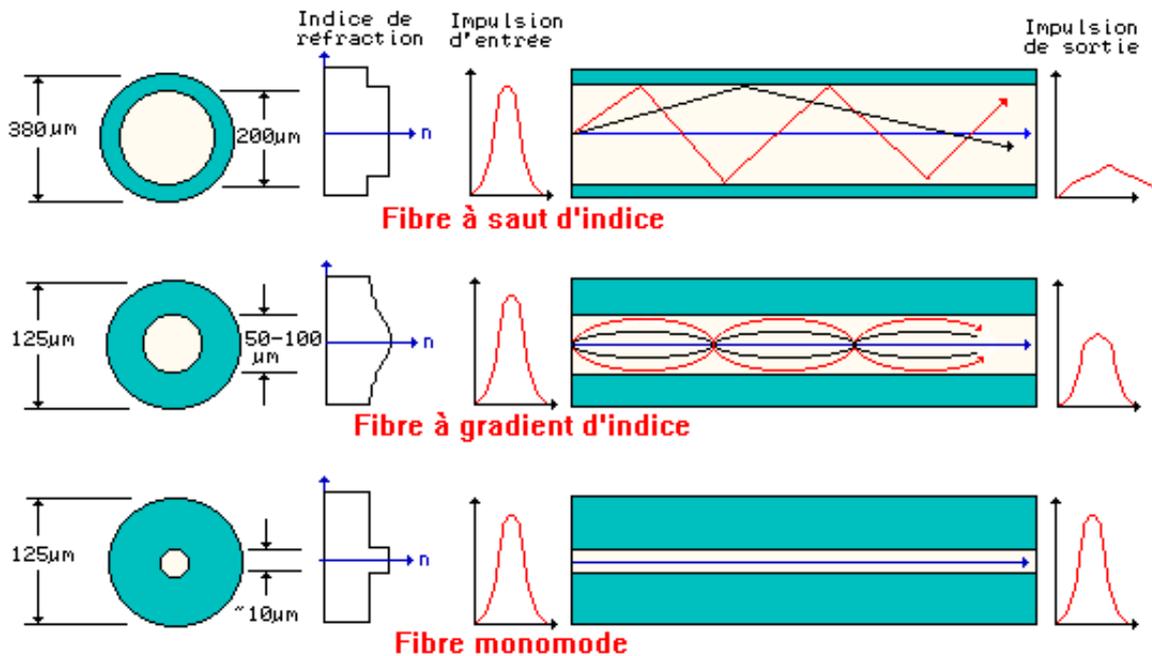
**Figure I.4 : Classification des fibres optiques selon le matériau, le mode de propagation et le profil d'indice**

En fonction de la distribution radiale de l'indice de réfraction du cœur, on peut classer les fibres en deux types principaux :

- **Les fibres à faible indice ou à saut d'indice** (débit limité à 50 Mb/s), dans lesquelles l'indice de réfraction du cœur est homogène dans toutes les directions.
- **Les fibres à gradient d'indice** (débit limité à 1 Gb/s), dans lesquelles l'indice de réfraction du cœur décroît transversalement à partir de l'axe longitudinal.

Selon le diamètre du cœur on peut parler de :

- **Fibre multimode** dont le diamètre du cœur est de  $50\mu m$  environ, valeur supérieur à la valeur de la longueur d'onde du signal lumineux d'où les trajets multiples que peuvent avoir ces signaux lumineux. En utilisant une fenêtre de transmission de  $1.3\mu m$ , la portée est de  $30km$  entre deux répéteurs.
- **Fibre monomode** caractérisée par un faible diamètre du cœur de l'ordre de  $10\mu m$ , valeur voisine de la longueur d'onde du signal lumineux qui, de ce fait, est transmis suivant l'axe de la fibre. La propagation ne subit pas beaucoup de perturbation ; de plus, la bande de fréquences peut atteindre plusieurs dizaines de  $GHz$ .



**Figure I.5 :** Comparaison des diamètres du cœur, de la gaine et de la propagation du signal pour les fibres multimodes et monomodes.

## 5. Caractéristiques des fibres optiques :

### 5.1. Les effets linéaires

#### 5.1.1. L'atténuation

En effet, lorsqu'on injecte à l'entrée d'une fibre optique une puissance  $P_e$  sous forme d'onde électromagnétique cette puissance décroît avec la longueur  $L$  de la fibre en fonction de l'atténuation  $\alpha$ . A la sortie, on récupère une puissance  $P_s$  vérifiant la relation suivante [1]:

$$\alpha \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_e}{P_s} \quad \dots(1)$$

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes.

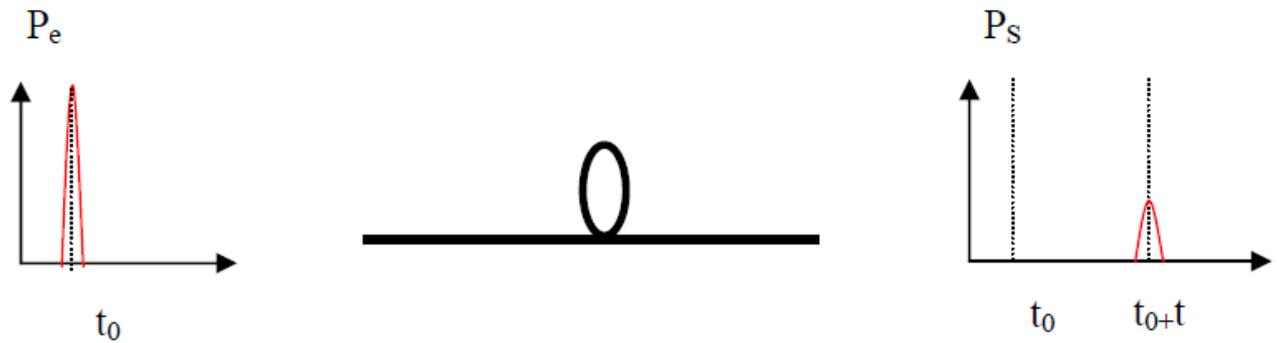
**Pertes intrinsèques :** dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique.

- 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 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.

- Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.



**Figure I.6 : Phénomène d'atténuation**

### 5.1.2. Dispersion

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique.

Il existe trois types de dispersion :

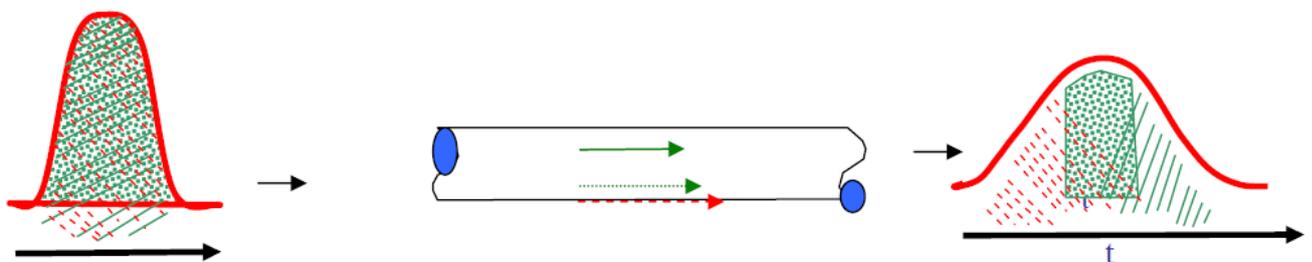
- **Dispersion chromatique**

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.

En effet, la dispersion du matériau est très petite par rapport à la longueur d'onde d'environ 1300nm, cette dispersion existe dans toutes les fibres optiques qu'elle soit monomode ou multimode. 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.

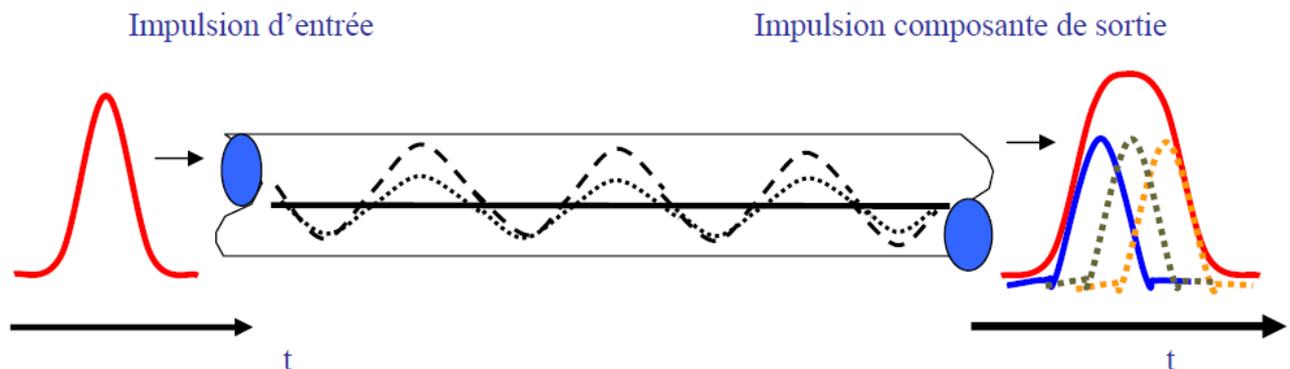
La dispersion totale est la somme des dispersions due au matériau et la dispersion du guide d'onde.



**Figure I.7 : Dispersion chromatique**

- **Dispersion intermodale**

Dans une fibre optique multimode, plusieurs modes se propagent, chacun suit une trajectoire différente. L'énergie lumineuse transmise se répartie entre les différents modes qui se propagent dans le cœur. 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.



**Figure I.8 : Dispersion modale**

L'impulsion en réception est la somme des composantes qui se propagent avec différentes vitesses suivant différents parcours (figure.I.8).

La dispersion intermodale est définie comme étant l'élargissement temporel maximum «  $t$  » d'une impulsion par unité de longueur de fibre [2]

$$D_i = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{L} = \frac{\tau}{L} \quad (\text{ps / km}) \dots(2)$$

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

Dans une fibre à saut d'indice, le rayon le plus rapide est celui dont le trajet est parallèle à l'axe de la fibre. Ce rayon est associé à l'angle  $\theta$  égal à 0 et au mode appelé « mode fondamental » (Linearly Polarized)  $LP_{01}$ . De même, le rayon le plus lent fait un angle  $\theta_{\max}$  par rapport à l'axe de la fibre avec  $\theta_{\max}$  défini par [3]:

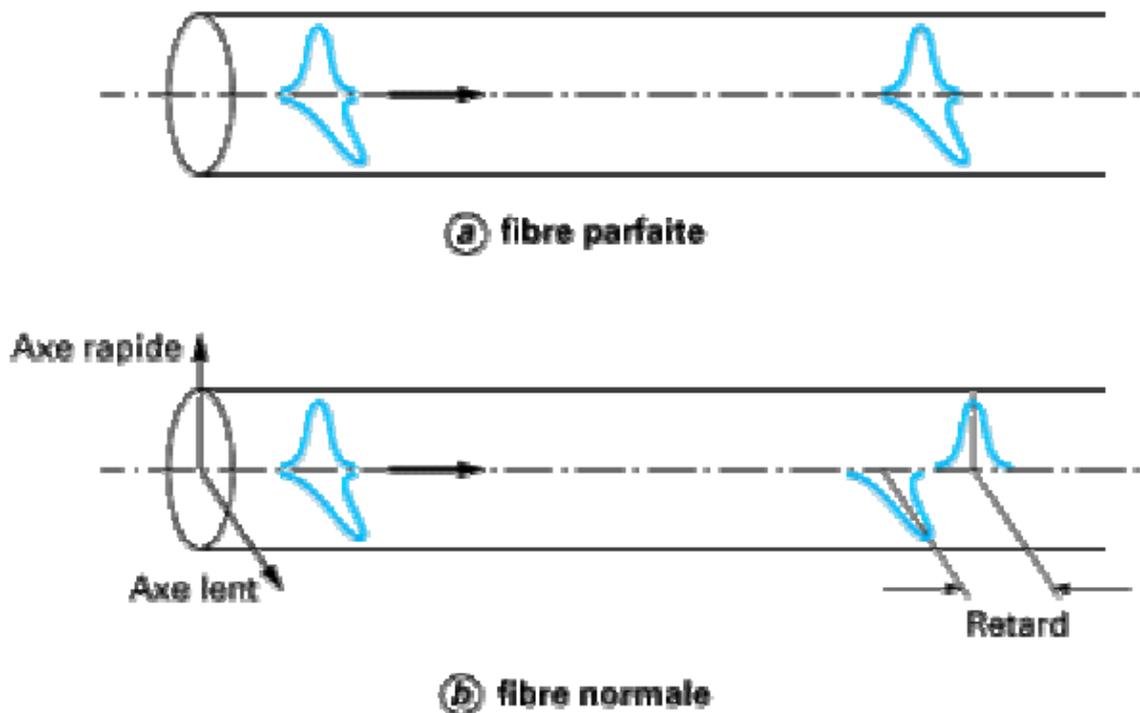
$$\theta_{\max} = \arcsin \left( \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \right) \dots(3)$$

Dans le cas d'une fibre optique monomode, cette dispersion est nulle.

- **Dispersion de polarisation : PMD**

Cette dispersion due à la biréfringence de la fibre, provoque une déformation des impulsions lumineuses par le fait que les deux principaux états de polarisation ont des constantes de propagation légèrement différentes.

Pour pouvoir compenser avec précision la dispersion de polarisation de la fibre installée, il est nécessaire de l'avoir préalablement mesurée. (Voir figure I.9).



**Figure I.9 :** Illustration des effets de la dispersion modale de polarisation (PMD).

### 5.1.3. La bande passante

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique.

La définition de la bande passante totale (BT) qui dépend de l'effet conjonctif 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 [4]:

$$BT = \sqrt{\frac{1}{1/B_m^2 + 1/B_c^2}} \dots(4)$$

$B_m$  : Bande résultante de la dispersion modale

$B_c$  : Bande dérivante de la dispersion chromatique

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

Elle s'écrit comme suit [5]:  $BT = B_m \dots(5)$

Dans la fibre monomode, la bande totale est déterminée uniquement par la bande chromatique [6]. Tel que :

$$BT = B_c \dots(6)$$

- **Bande modale**

La valeur de la bande modale normalement référencée à 1 km de longueur notée  $B_{m_0}$  est donnée par le constructeur. Pour calculer la bande modale ( $B_m$ ) d'une liaison en fibre optique on doit appliquer la relation [7]:

$$B_m = \frac{B_{m_0}}{L^\gamma} \dots(7)$$

$B_{m_0}$  : Bande modale par unité de longueur.

$L$  : Longueur de la liaison optique.

$\gamma$  : Facteur de concaténation des modes, il renseigne sur le degré de couplage.

- **Bande chromatique**

La dispersion chromatique est d'autant plus importante quand la largeur du spectre lumineux de la source est plus large. Pour cela on doit en tenir compte dans le calcul de la bande chromatique  $B_c$ . [8]

$$B_c = \frac{0,44 \cdot 10^{-6}}{\mu \cdot \Delta\lambda \cdot L} \dots(8)$$

$\Delta\lambda$  : Largeur spectrale de la source à mi-amplitude.

$L$  : Longueur de la liaison optique.

$\mu$  : Coefficient de dispersion chromatique.

## 5.2. Les effets non linéaires

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire et les effets non-linéaires sont alors des effets parasites qui en dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées. Aujourd'hui, les systèmes de transmission à haut débit et grande distance utilisent des amplificateurs de puissance à l'émission, ce qui conduit à des puissances très élevées injectées dans la fibre, ce qui conduit à générer des effets non linéaires. [9]

### 5.2.1. Les effets Raman et Brillouin

L'effet Raman est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau. L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des photons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques.

Ces effets sont sensibles dès que la puissance injectée dépasse un certain seuil. Une solution mise en œuvre pour les combattre consiste à moduler en amplitude à très basse fréquence le courant d'injection du laser par un signal sinusoïdal, ce qui provoque une modulation de fréquence du signal optique émis et élargit le spectre jusqu'à quelques GHz.

### 5.2.2. L'effet Kerr

Cet effet prend une importance considérable dans l'industrie des télécommunications. L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique.  $n = n_0 + n_2$  ; avec  $n_0$  une constante et  $n_2$  une fonction quadratique de la puissance.

Une première conséquence de l'effet Kerr se traduit par un phénomène d'auto-modulation de phase. L'impulsion est affectée d'une modulation de phase parasite qui croît avec la distance. La modulation de phase, combinée à la dispersion chromatique, conduit à un élargissement temporel des signaux se propageant dans la fibre.[9]

La combinaison des effets linéaires et non-linéaires joue un rôle essentiel. En effet, l'automodulation de phase se traduit par une modulation de fréquence parasite, avec augmentation (respectivement diminution) de la fréquence instantanée à l'avant (respectivement à l'arrière) de l'impulsion. Dans les conditions de dispersion normale ( $D > 0$ ), la tête de l'impulsion se propage encore plus rapidement tandis que l'arrière se propage encore plus lentement. La dispersion chromatique et l'effet Kerr se conjuguent donc pour élargir l'impulsion. En revanche, dans les conditions de dispersion anormale ( $D < 0$ ), l'avant de l'impulsion se trouve ralenti tandis que l'arrière est accéléré : les deux effets jouent en sens inverse et on peut imaginer que s'ils se compensent exactement, l'impulsion ne se déformera pas au cours de la propagation.

Les autres conséquences de l'effet Kerr sont visibles si plusieurs ondes se propagent dans la fibre. Alors, la non-linéarité induit une modulation de phase croisée (cross phase modulation), ainsi que des phénomènes connus sous le nom de mélange à trois ou quatre ondes, sources d'intermodulations entre les différents canaux d'un système de transmission utilisant plusieurs longueurs d'onde.

## 6. Avantages et inconvénients des fibres optiques

### 6.1. Les avantages

La fibre optique en tant que support de transmission, présente plusieurs avantages :

Une faible atténuation, une très grande bande passante, multiplexage de plusieurs signaux (Fibre multimodes); Un faible poids, une très petite taille et une grande souplesse.

Un câble optique peut négocier des transferts allant jusqu'aux Téra bits/seconde. Les distances dépassent alors plusieurs kilomètres, ce qu'aucun câble de cuivre ne permet de faire. Aujourd'hui, c'est la meilleure solution pour des grandes distances et des gros débits. Relativement facile à installer, étant donné sa technologie, il permet surtout de connecter des backbones entre eux. Le gros avantage de ce type de câble est qu'il est indifférent aux

perturbations électromagnétiques puisqu'il transporte de la lumière. De plus, il échappe complètement aux écoutes clandestines, puisqu'en l'occurrence il faudrait se pointer directement sur le câble ce qui couperait la connexion.

## 6.2. Les inconvénients

La fibre n'est pas dénuée d'inconvénients. Les plus fréquemment mentionnés sont :

- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques
- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement)
- Coûts d'exploitation élevés et personnel spécialisé

## 7. Les fenêtres utilisées dans les télécommunications optiques

La fibre en silice (Si), actuellement utilisée pour les télécommunications optiques, présentes trois bandes d'intérêts appelées fenêtres optiques : [10]

### ❖ 0.85 $\mu\text{m}$ (première fenêtre optique) :

- Composants électro-optiques bon marché.
- Transport d'informations sur de courtes distances (5 Km pour une perte par absorption de 90% du signal et grande dispersion  $>25 \text{ ps}^2/\text{Km}$ ).

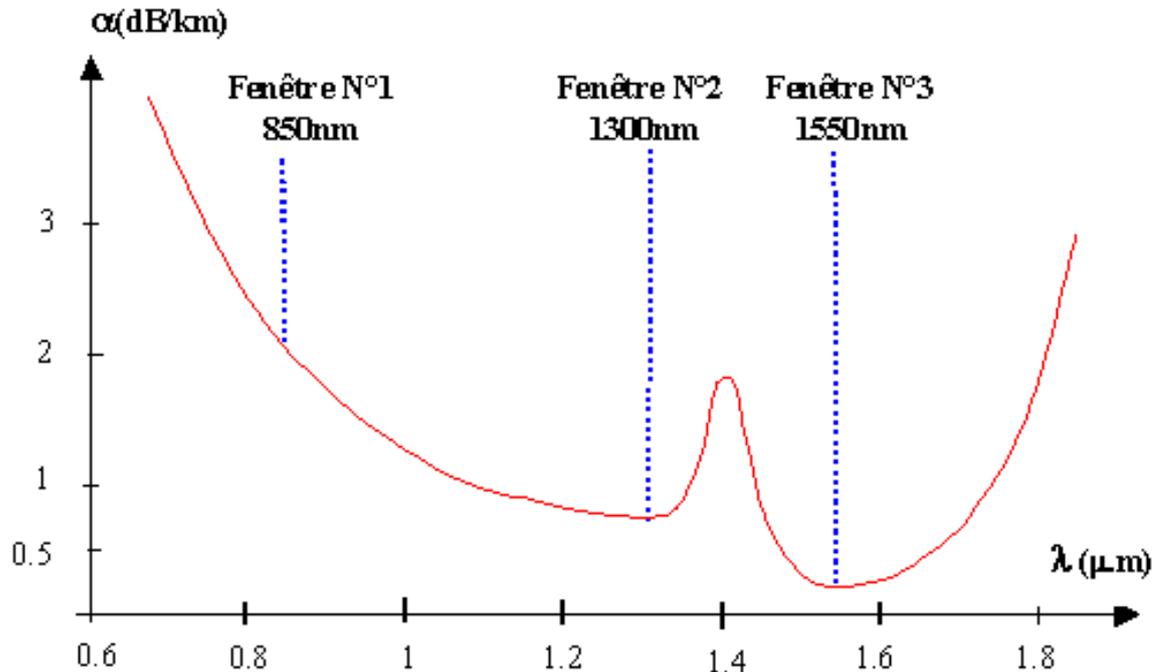
### ❖ 1.31 $\mu\text{m}$ (deuxième fenêtre optique) :

- Réseau de communication standard (80 Km).
- Dispersion nulle dans la fibre.
- WDM (multiplexage en longueur d'onde).

### ❖ 1.55 $\mu\text{m}$ (troisième fenêtre optique) :

- Réseau de communication longue distance (105 km avec une dispersion de  $(-20 \text{ ps}^2/\text{km})$ ).
- Amplificateur optique à fibre dopée en erbium.
- DWDM (WDM dense).

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



**Figure I.10:** Atténuation linéique d'une fibre optique (cœur en silice) dans les différentes fenêtres [10]

## 8. Performances des fibres optiques

Pour ne transporter qu'un seul mode, les cœurs des fibres monomodes sont beaucoup plus étroits. Le diamètre n'est que de 4  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ , alors que le diamètre de la gaine reste 125  $\mu\text{m}$ . Elles sont utilisées pour les transmissions à très longues distances en raison de leur faible atténuation et dispersion.

### 8.1. Atténuation optique

#### 8.1.1. Définition

L'atténuation optique est la perte de puissance que subit la lumière au cours de sa propagation dans la fibre optique. Cette perte est soit locale (due à un défaut ou à un connecteur), soit régulièrement répartie sur toute la longueur de la fibre. Dans le premier cas, l'atténuation s'exprime en décibels (dB), alors que dans le deuxième cas, la perte se mesure en dB/km pour une longueur de fibre traversée.

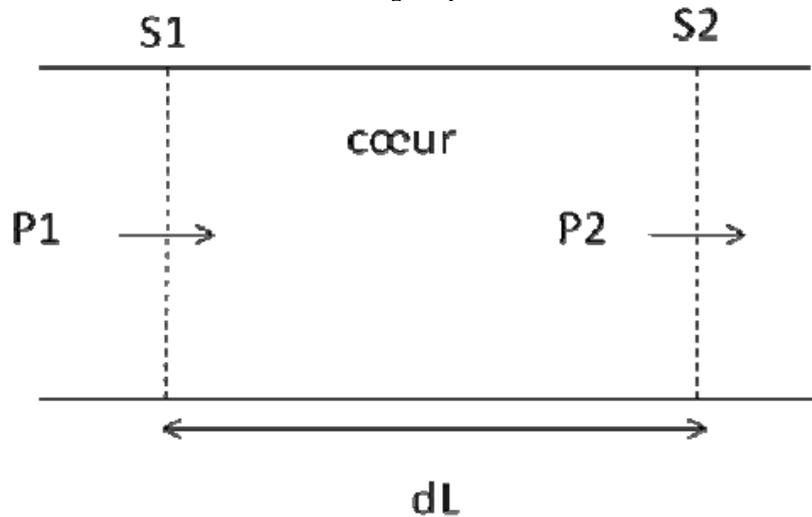
#### 8.1.2. Calcul de l'atténuation linéique

Pour calculer l'atténuation linéique on choisit deux sections droites (perpendiculaires à la direction de propagation) distantes d'une petite distance  $dL$  appelée distance élémentaire (voir figure I.11).

Soit  $P_1$  la puissance lumineuse traversant la section  $S_1$ , et  $P_2$  la puissance lumineuse traversant la section  $S_2$ . La variation élémentaire de puissance  $dP = P_2 - P_1$  est négative. L'atténuation linéique «  $\alpha$  » de la fibre s'exprime en dB/m ou en dB/km. En utilisant

le logarithme décimal, l'atténuation s'écrit comme suit [11]:

$$\alpha = \frac{10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}}{L_2 - L_1} \dots (9)$$



**Figure I.11** : Calcul de l'atténuation linéique

Avec  $\frac{P_2}{P_1} = 10^{-\alpha \frac{L_2 - L_1}{10}}$  (si  $L_2 - L_1$  est exprimée en km, l'unité de  $\alpha$  sera le dB/km).

### **Exemple**

A l'entrée d'une fibre, on injecte une puissance  $P_1 = 10^{-6}$  W. Au bout d'un km, on récupère une puissance  $P_2 = 10^{-7}$  W. Calculer le coefficient d'atténuation de la fibre, puis la puissance  $P'_2$  à la sortie de la fibre de longueur totale de 2.5 km (en W et en dBm).

### **Solution**

$$A = \frac{10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}}{L_2 - L_1} = \frac{10 \log_{10} \frac{10^{-6}}{10^{-7}}}{1} = 10 \text{ dB/Km.}$$

$$P'_2 = P_1 \times 10^{-\alpha \frac{L_2 - L_1}{10}} = 10^{-6} \times 10^{-10 \frac{2.5}{10}}$$

$$P'_2 = 10^{-6} \times 10^{-2.5} = 10^{-8.5} \text{ W} = 3.16 \times 10^{-9} \text{ W}$$

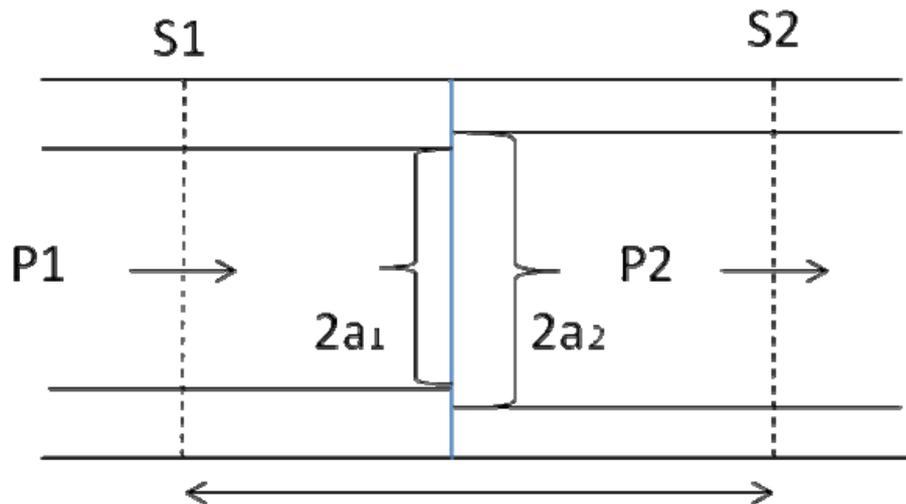
$$P'_2 \text{ (dBm)} = 10 \log_{10}(P'_2 \text{ (mW)}) = 10 \log_{10}(3.16 \times 10^{-12}) = -55 \text{ dBm}$$

## **8.1.3. Causes de l'atténuation**

### **8.1.3-a. Pertes dues aux raccordements**

#### **✓ Pertes dues aux dimensions différentes de la fibre**

A partir de la figure (I.12), cherchons les pertes dues au raccordement de deux fibres de dimensions voisines, de même diamètre de cœur ( $2a = 50 \mu\text{m}$ ).



**Figure I.12 : Pertes dues aux dimensions de la fibre**

Sachant qu'il existe une tolérance sur la dimension du cœur d'environ  $2 \mu\text{m}$ , on suppose donc que :

- Le diamètre  $2a_1$  de la première fibre vaut  $52 \mu\text{m}$
- Le diamètre  $2a_2$  de la deuxième fibre vaut  $48 \mu\text{m}$

S1 est la surface de la section transverse du cœur de la 1<sup>ère</sup> fibre

S2 est la surface de la section transverse du cœur de la 2<sup>ème</sup> fibre

La perte locale vaut alors (en dB) [12]:

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{S_2}{S_1} = 10 \log_{10} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^2 = 10 \log_{10} \left( \frac{48}{52} \right)^2 = -0.7 \text{ dB} \dots (10)$$

On rappelle que la surface d'une section circulaire est de  $a^2 * \pi$  (a rayon du cercle).

### 8.1.3-b. Pertes dues à la jonction air-verre-air

Soient deux fibres de même dimensions de cœur jointes par un connecteur suppose parfait (voir la figure (1.13)). Une mince épaisseur d'air les sépare. Au niveau de chaque dioptré séparant l'air de la fibre, la lumière subit une réflexion de Fresnel.

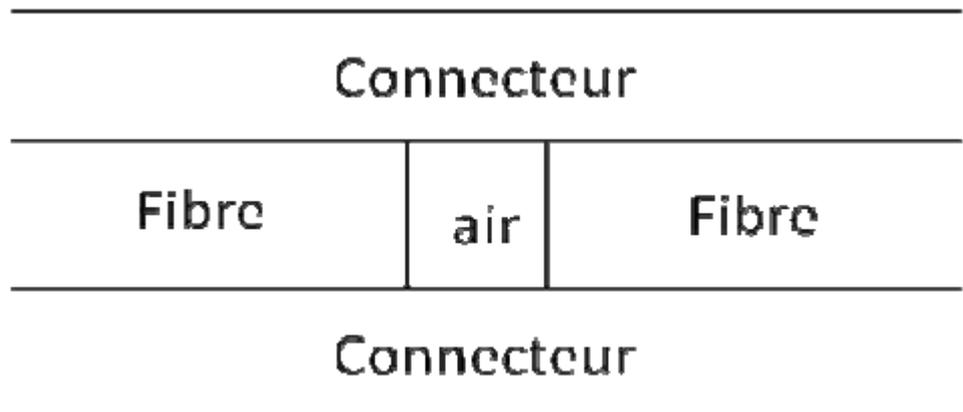
A l'interface air-verre, le facteur de réflexion en intensité s'exprime comme suit [13]:

$$R = \left( \frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right)^2 \dots (11)$$

Pour un indice du cœur ( $n_1=1.5$ ),  $R=4\%$  à chaque dioptré. Le coefficient de transmission en intensité T vaut  $1-R=96\%$ .

Soient  $P_1$  la puissance lumineuse sortante de la 1<sup>ère</sup> fibre et  $P_2$  la puissance entrante dans la 2<sup>ème</sup> fibre. En négligeant l'épaisseur de la couche air, l'atténuation locale A (ou bien la perte) en dB due à la réflexion vaut [14]:

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} T = A = 10 \log_{10} (1 - R) = -0.18 \text{ dB} \dots (12)$$



**Figure I.13 : Utilisation d'un connecteur pour joindre deux fibres**

En supposant que la seule cause d'atténuation est due aux réflexions de Fresnel, la perte totale lors du raccordement de deux fibres (deux dioptries à traverser) est deux fois plus importante. La perte avoisine -0.36 dB. En raison des différents facteurs de pertes, on tolère un affaiblissement de l'ordre de 0.6 dB par connecteur.

Pour atténuer les pertes de Fresnel par réduction du coefficient de réflexion R, on introduit « un liquide adaptateur d'indice » entre les deux fibres à raccorder.

## 8.2. Dispersion

### 8.2.1. Dispersion modale

La dispersion modale vient du fait que les différents modes d'une fibre ont leurs vitesses propres, et donc au bout d'un certain temps de propagation les différents modes seront décalés les uns par rapport aux autres, ce qui a pour effet d'élargir l'impulsion à la sortie de la fibre optique. On note que ce type de dispersion se produit seulement dans les fibres multimodes. La dispersion modale pour une fibre à saut d'indice s'écrit comme suit [15]:

$$D_m = \frac{n_1}{c} \times \Delta \text{ (s/Km)} \dots (13)$$

Avec  $n_1$  : indice de réfraction du cœur,  $n_2$  : indice de réfraction de la gaine,  $c$  : vitesse de la lumière  $3 \times 10^5$  km/s. Le paramètre du guidage est défini par [16]:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \dots (14)$$

Le taux d'élargissement d'une impulsion dispersée est égal à [17]:

$$\delta_t = d_m \times \Delta L \text{ (ns)} \dots (15)$$

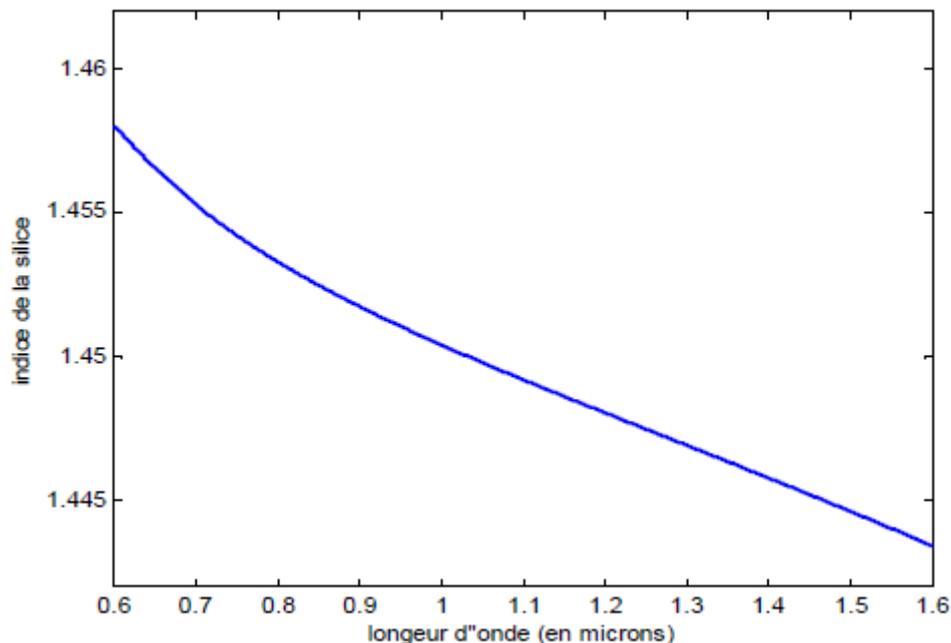
### 8.2.2. Dispersion chromatique

La dispersion chromatique vient du fait que l'indice de réfraction d'un milieu dépend de la longueur d'onde et que les sources utilisées pour transmettre le signal ne sont pas monochromatiques. Ce type de dispersion est appelée aussi dispersion matérielle.

En traçant l'indice de réfraction de la silice (SiO<sub>2</sub>) ou bien dioxyde de Silicium en fonction de la longueur d'onde en utilisant la relation de Sellmeier qui s'écrit comme suit [18]:

$$n(\lambda)^2 = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2} \dots (16)$$

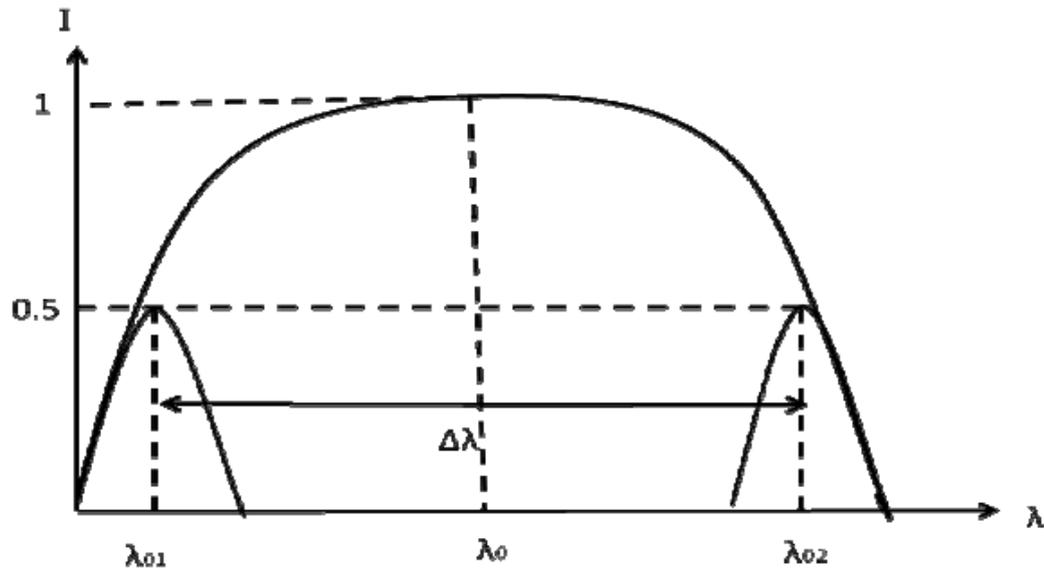
La figure (I.14) montre le tracé de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde. D'après cette figure, nous remarquons que la valeur de l'indice de réfraction décroît en allant vers les grandes longueurs d'onde.



**Figure I.14** : Variation de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde

Réellement une source laser n'est pas monochromatique, ça veut dire quand on envoie un signal lumineux centrée sur une longueur d'onde  $\lambda_0$ , réellement ce signal contient d'autres longueurs d'onde supplémentaires. Supposons qu'on a une source laser centrée sur  $\lambda_0=1550$  nm et prenons par exemple deux longueurs d'onde  $\lambda_{01}=1549.8$  nm et  $\lambda_{02}=1550.8$  nm qui sont réparties à gauche et à droite de la longueur d'onde centrale, respectivement (voir figure I.15).

L'objectif du calcul mathématique suivant est de déterminer le retard temporel  $\Delta_t$  entre l'impulsion 1 et l'impulsion 2.



**Figure I.15 :** Calcul du retard temporel entre deux impulsions situées aux extrémités de la largeur spectrale d'une source laser

Sachant que  $t_1$  est le temps de parcours de l'impulsion 1 sur une distance  $L$  et  $t_2$  est le temps de parcours de l'impulsion 2 sur une distance  $L$ . Le retard temporel s'écrit comme suit [19]:

$$\Delta t = |t_2 - t_1| \dots (17)$$

Supposons que  $\Delta\lambda$  est l'espacement en longueur d'onde entre les deux impulsions, l'expression de  $\Delta t$  devient [20]:

$$\Delta t = \left| t \left( \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2} \right) - t \left( \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2} \right) \right| \dots (18)$$

D'autre part, le temps de parcours «  $t$  » s'exprime en fonction de la vitesse de groupe (vitesse de transmission des impulsions) «  $V_g$  » et la distance «  $L$  » comme suit [21]:

$$t = \frac{L}{V_g} \dots (19)$$

La vitesse de groupe  $V_g$  s'écrit comme suit [22]:

$$V_g = \frac{c}{N_g} \dots (20)$$

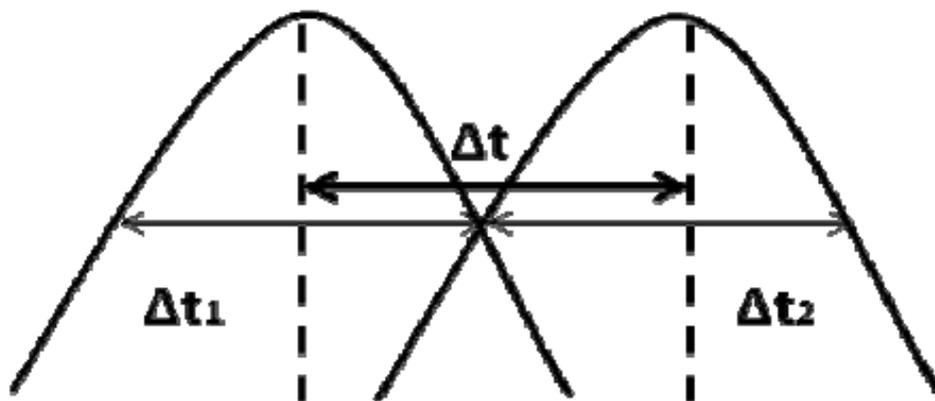
Avec «  $c$  » la vitesse de la lumière dans le vide et «  $N_g$  » l'indice de groupe. Cet indice s'exprime comme suit [23]:

$$N_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \dots (21)$$

En remplaçant les équations (19), (20), (21) dans l'équation (18), le retard temporel devient[22]

$$\Delta t = \frac{L}{c} \left| N_g \left( \lambda_0 + \frac{\Delta \lambda}{2} \right) - N_g \left( \lambda_0 - \frac{\Delta \lambda}{2} \right) \right| \dots (22)$$

En présence de deux longueurs d'onde différentes, l'indice de réfraction «  $n$  » et par conséquent l'indice de groupe «  $N_g$  » subissent un changement, ce qui entraîne une variation de la vitesse de transmission de chacune des impulsions lumineuses. Le temps de parcours «  $t$  » varie donc pour chaque impulsion, ce qui diminue le retard temporel entre elles. En raison de cette diminution, les deux impulsions peuvent se chevaucher entre elles, ce qui explique le phénomène de dispersion matérielle (voir figure I.16).



**Figure I.16 : Illustration de deux impulsions dispersées**

On définit le coefficient de dispersion chromatique du matériau comme suit [23]:

$$\gamma_m = \left( \lambda^2 \frac{d^2 n}{d \lambda^2} \right)_{\lambda=\lambda_0} \dots (23)$$

Le taux d'élargissement d'une impulsion lumineuse égal à [24]:

$$\Delta t = \gamma_m \times \Delta \lambda \times L \dots (24)$$

Avec  $\gamma_m$  dispersion (ps/nm/km),  $\Delta \lambda$  largeur spectrale de la source (nm),  $L$  distance de transmission (km).

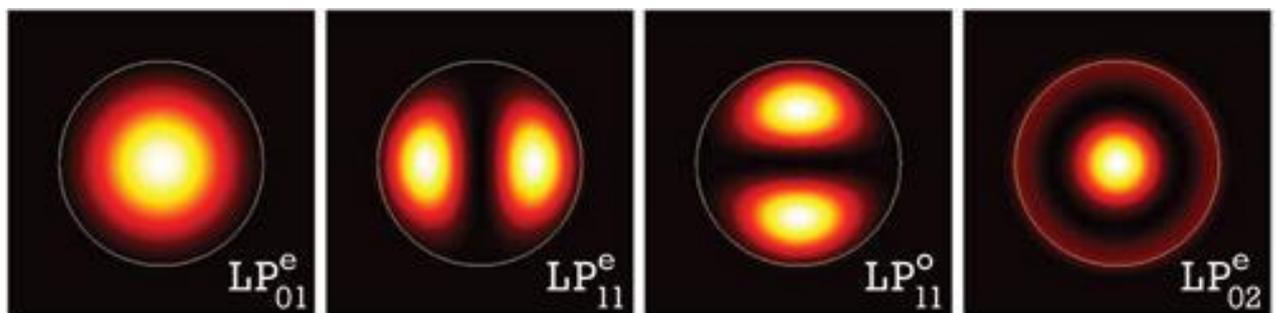
## 9. La notion de diamètre de champ de mode

Une fibre se caractérise par son caractère uni modal ou multimodal, c'est-à-dire le nombre de modes transverses qui peuvent être guidés dans le cœur de la fibre. Pour une fibre monomode, seul le mode fondamental LP01 est guidé, ce mode est représenté dans la majorité des cas par une fonction gaussienne.

Pour déterminer le caractère uni ou multimodal de la fibre, il faut calculer la fréquence normalisée  $V$  dont la formule, donnée par la suite, dépend du diamètre de cœur ( $a$ ), de l'ouverture numérique (ON) et de la longueur d'onde du signal se propageant dans la fibre ( $\lambda_0$ ) [25].

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot \text{ON}}{\lambda_0} = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots (25)$$

Pour  $V < 2.405$  la fibre est dite monomode (seul le mode fondamental se propage), au-dessus de cette valeur, d'autres modes (autre que le mode fondamental LP01) peuvent se propager (LP11, LP12, voir figure I.17). Dans ce cas, la fibre est dite multimode et ne convient pas à nos applications.



**Figure I.17** : Représentation des 4 premiers modes de propagation, le mode fondamental correspond au LP01

La relation précédente fait clairement apparaître le lien entre le diamètre du cœur et l'ouverture numérique. Si l'on souhaite conserver une fibre monomode, un accroissement du cœur doit s'accompagner d'une diminution de l'ouverture numérique et donc une réduction de la différence entre l'indice du cœur et celui de la gaine.

Il est possible de déterminer le diamètre du mode (MFD, Mode Field Diameter) se propageant dans la fibre. En approximant le mode propagatif par un mode gaussien, cette relation empirique déterminée par [Marcuse 1991] dépend du diamètre du cœur de la fibre ( $a$ ) et de sa fréquence normalisée ( $V$ ), donc de son ouverture numérique (ON).[26]

$$\text{MFD} = 2a \left( 0.65 + \frac{1.619}{V^{3/2}} + \frac{2.879}{V^6} \right) \dots (26)$$

Il est important d'avoir des gros diamètres de modes dans les fibres optiques pour pouvoir extraire de la puissance en sortie. L'accroissement du MFD est relié au diamètre du cœur de la fibre. Or nous venons de voir que pour conserver un caractère uni-modal, l'ouverture numérique doit être diminuée, par conséquent la différence d'indice entre le cœur et la gaine est réduite aussi. Avec les techniques classiques de conception de fibre (MCVD Modified

Chemical Vapor Deposition, OVD Outside Vapor Deposition), il est difficile de créer une différence d'indice optique inférieure à  $10^{-3}$  entre le cœur et la gaine, donc d'obtenir un faisceau monomode dont le diamètre de mode en sortie est supérieur à 30  $\mu\text{m}$ .

Pour accroître la dimension du diamètre de mode tout en restant strictement monomode en sortie, il faut réduire la différence d'indice optique entre la gaine et le cœur de la fibre, en ajoutant des composants qui modifient les indices optiques du matériau.

## 10. Conclusion

Pour conclure, on peut dire que La fibre optique avec toutes ses qualités présente un support de transmission idéal de l'information dans les réseaux des télécommunications.

*Le chapitre qui suit va entamer l'étude des caractéristiques physique et techniques des fibres optiques monomodes ainsi que les types de connexions.*

### *Bibliographie chapitre*

[1],[8] et [10] Touileb Hind, « Etude d'une liaison numérique par fibre optique », l'institut national de télécommunications –Oran , juin 2007 , pages 2 à 11.

[9] Benhadja Mohammed , « La dispersion chromatique en transmission WDM », l'institut national de télécommunication – Oran, juin 2007.

[11],[12],[13] et [14] Florence WEIL, « Optique Moderne : Polarisation, Lasers, Fibres Optiques », Editions Ellipses, France, 2006.

De [15] jusqu'à [24] Eugene HECHT, «Optique », Editions Pearson Education, France, 2005.

[25],[26] Florian PREVOST « Combinaison cohérente dans une fibre multi-cœurs pour des applications Lidar », Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay par Juin 2015.

## 1. Introduction

La transmission optique est devenue une technique courante et éprouvée dans le domaine des télécommunications. La fibre optique, après avoir supplanté le câble coaxial, est devenue un des moyens le plus fiable et le plus économique lorsqu'il s'agit de transporter des débits élevés sur des grandes distances. Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques physiques et techniques de la fibre monomode. En outre, nous allons évoquer les techniques de fabrication, la connectique, et comment maintenir la fibre optique en utilisant les différentes structures d'épissurage, clivage et soudure...

## 2. Fabrication de la fibre optique

La première étape est la réalisation d'une préforme : barreau de silice très pure, d'un diamètre de plusieurs centimètres. Il existe un grand nombre de processus pour concevoir une préforme, des internes comme la méthode PCVD (*plasma chemical vapor deposition*), ou externes comme la méthode VAD (*vapor axial deposition*). Le paragraphe suivant décrit la méthode MCVD (*modified chemical vapor deposition, dépôt chimique en phase vapeur modifié*) qui est la plus utilisée. [1]



**Figure II.1 : Fabrication de la fibre optique (réalisation d'une préforme)**

Un tube substrat est placé en rotation horizontale dans un tour verrier. Des gaz sont injectés à l'intérieur et vont se déposer à l'intérieur sous l'effet de la chaleur produite par un chalumeau. Ces gaz vont modifier les propriétés du verre (*par exemple l'aluminium permet d'augmenter l'indice*). Les couches déposées sont ensuite vitrifiées au passage du chalumeau. Ensuite le tube est chauffée à haute température, et va se refermer sur lui-même pour former la préforme.

L'opération de manchonnage permet par la suite de rajouter une couche de silice autour de la préforme pour obtenir le ratio cœur/gaine voulu pour la future fibre.

La société ALCATEL a développé une technologie propriétaire APVD (*Advanced Plasma and Vapour Deposition*) pour remplacer l'opération de manchonnage qui est très coûteuse. Le procédé APVD (*communément appelé recharge plasma*) consiste à faire fondre des grains de quartz naturel très pur sur la préforme primaire à l'aide d'un chalumeau plasma inductif. L'association du procédé MCVD et de la recharge plasma pour la fabrication de fibres optiques monomodes a fait l'objet d'une publication en 1994 par la société ALCATEL. Le procédé concerné consiste essentiellement à nourrir le plasma en grains de silice naturels ou synthétiques avec un composé additionnel fluoré ou chloré mélangé à un gaz porteur. Ce procédé de purification constitue la seule alternative connue rentable aux techniques de dépôt externe.[1]



**Figure II.2 : 2<sup>ème</sup> étape de fabrication (le fibrage)**

Lors de la **seconde étape**, la préforme est placée en haut d'une tour de **fibrage** d'une quinzaine de mètres de hauteur. Cette étape va permettre de transformer la préforme en fibre optique. Le cœur est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. Ainsi, on réalise un écart d'indice entre le cœur et la gaine en incorporant des dopants, tels que le germanium et le phosphore. En conséquence, ils font augmenter l'indice dans le cœur ou le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine. A titre d'exemple, une préforme de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 10 cm. Cela permet d'obtenir par étirement une fibre monomode d'une longueur d'environ 150 Km.

### **le polissage**

Afin d'avoir une surface d'obtenir d'entrée et de sortie parfaitement plane, certains procédés de fabrication de la fibre optique nécessite une phase de polissage. Cette étape a pour but d'éviter toute réflexion non souhaitée qui viendrait grever la qualité optique de la fibre. Une fois que la fabrication est terminée, plusieurs tests seront effectués. Afin de tester : le débit, la résistance à la traction, la température de fonctionnement, la géométrie, l'atténuation, la dispersion chromatique et l'indice de réfraction. Pour des fibres sous-marines, on effectuera aussi des tests de conductivité.

### 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.



**Figure II.3 : Code couleur des fibres optiques**

- **Code couleur des connecteurs optiques:**

Depuis les premiers jours de la fibre optique, les couleurs orange, noir ou gris renvoient au multimode, et le jaune au monomode. Cependant, l'avènement de connecteurs métalliques comme le FC et ST ont rendu le codage par couleur difficile, de sorte que les éléments de réduction des tractions de couleur sur la fibre ou le câble étaient le plus souvent utilisés pour identifier les connecteurs. Parfois, la couleur du connecteur est ignorée, ce qui oblige l'utilisateur à identifier le type de fibre à partir du câble.

Le code de couleur TIA 568 pour le corps des connecteurs et/ou les éléments de réduction des tractions est : beige pour la fibre multimode, sauf pour la fibre optimisée par laser (turquoise), bleu pour la fibre monomode et vert pour les connecteurs APC.

### 4. Les 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.

#### 4.1. Comparaison entre les normes de la fibre optique monomode

Le tableau (II.1) fait une comparaison entre les normes G652, G653, G655 et G657 de la fibre optique monomode, en terme de : l'année de mise en service, la longueur d'onde de coupure, l'affaiblissement et la dispersion.

Type de fibre monomode :	G 652	G 653	G 655	G 657
<i>Année de mise en service</i>	1983	1985	1994	2005
<i>Longueur d'onde de coupure en nm</i>	1310	1550	1550	1260 - 1625
<i>Affaiblissement 1285 - 1330 nm en dB/km</i>	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,35
<i>Affaiblissement 1550 nm en dB/Km</i>	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,21
<i>Dispersion chromatique 1285 - 1330 en ps/nm.km</i>	< 3,5	< 23	< 23	< 3,5
<i>Dispersion chromatique 1550 nm en ps/nm.km</i>	< 19	< 3,5	< 3,5	< 18
<i>Dispersion du mode de polarisation en ps/km p1/2</i>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2
<i>Longueur d'onde de coupure en câble</i>	1150 / 1280	1050 / 1350	1450	1260

**Tableau II.1 : Comparaison entre les différentes normes G65X de la fibre monomode**

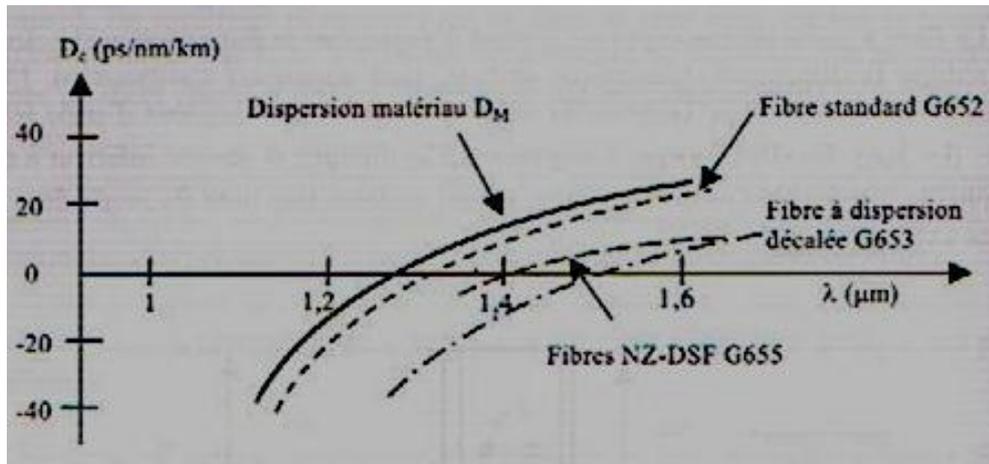
#### 4.2. Quelques types de fibres monomodes

L'Union Internationale des Télécommunications (UIT-T) a normalisé plusieurs types de fibres monomodes pour les télécommunications [2].

##### 4.2.1. Fibre Standard

Sous le standard G 652 de l'UIT, la fibre standard est la plus ancienne, de diamètre de cœur de 9  $\mu\text{m}$  ; sa dispersion s'annule vers 1,3  $\mu\text{m}$ , qui est sa longueur d'onde d'utilisation optimale, notamment dans les réseaux locaux et métropolitains à très haut débit. Mais on peut aussi l'utiliser à 1,55  $\mu\text{m}$  avec des diodes laser monochromatiques ( $\Delta\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$ ) ; en l'absence

d'amplificateurs optiques, la distance est limitée par l'atténuation et cette solution est satisfaisante, au moins jusqu'à des débits de 2,5 Gbit/s [2].



**Figure II.4 : Dispersion chromatique des fibres monomodes**

#### 4.2.2. Fibre à dispersion décalée

La fibre à dispersion décalée ou DSF (Dispersion Shifted Fiber) de standard G 653, a un diamètre de cœur de 7  $\mu\text{m}$  et un profil d'indice souvent plus complexe, en triangle ou trapèze. Sa dispersion s'annule vers 1,55  $\mu\text{m}$  ; mais son atténuation est un peu plus élevée. Elle a été utilisée surtout pour les liaisons à très longue distance à amplificateurs optiques, dont le paramètre critique est la dispersion et pas l'atténuation ; mais elle est peu compatible avec le WDM, car la dispersion ne peut pas être annulée à toutes les longueurs d'onde, et la dispersion nulle, favorise l'accumulation des effets non linéaires. Elle recule au profit de la fibre G 655.

#### 4.2.3. Fibre à dispersion décalée non nulle

La NZ-DSF (Non Zero-Dispersion Shifted Fiber) de standard G 655, plus récente (1995) a sa dispersion chromatique réduite à une valeur faible, mais non nulle (de 3 à 6 ps/km/nm dans la 3<sup>ème</sup> fenêtre) ; c'est en fait une famille de fibres avec des paramètres (et des noms commerciaux) variant d'un fabricant à un autre. Grâce à un diamètre de cœur plus grand, elle a de pertes plus faibles que la précédente, et est de plus, moins sensible aux effets non linéaires. Elle est donc bien adaptée au multiplexage en longueur d'onde. La pente (*slope*) de sa dispersion ( $dD_c/d\lambda$ ) est plus faible que pour les fibres précédentes (de 0,05 à 0,1 ps/km/nm).

En 2004 la fibre G 656 a été normalisée, qui en est une variante présentant une dispersion plus élevée sur une bande plus large (2 à 14 ps/km/nm de 1500 à 1610 nm) adaptée au multiplexage peu dense en longueur d'onde [2].

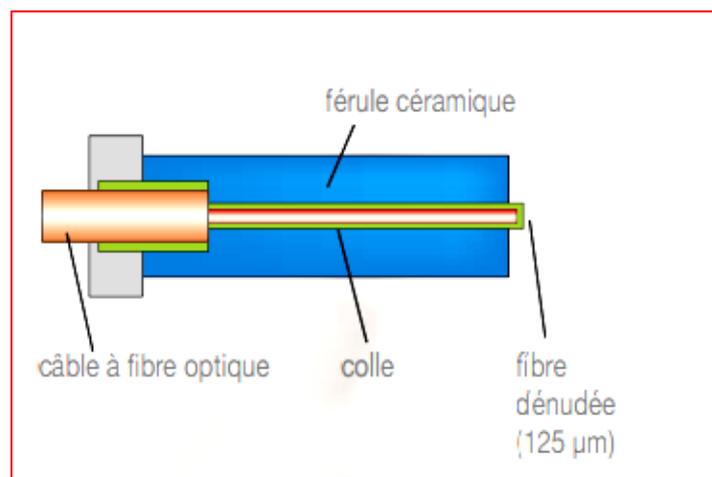
## 5. Les différents types de connecteurs optiques

### 5.1. Construction de connecteur

La plupart des connecteurs disponibles aujourd'hui utilisent des férules en céramique pour maintenir et aligner les fibres. La céramique est utilisée parce qu'elle adhère bien au verre, est facile à polir et a une très faible dilatation thermique, à l'image de la fibre de verre. L'extrémité arrière de la férule en céramique est collée ou sertie sur le corps du connecteur. L'arrière du connecteur est configuré pour accepter un manchon sertisseur qui est utilisé avec des câbles simplex à enveloppe pour sertir les éléments de renfort en fibres d'aramide au corps de connecteur, offrant de cette manière une résistance mécanique à la terminaison du câble.

### 5.2. Câblage de la fibre dans une férule

Quel que soit le type de connecteur choisi il faut toujours commencer par insérer la fibre dans un contact appelé férule, généralement en céramique. Cela permet ensuite de manipuler l'extrémité de la fibre beaucoup plus facilement.



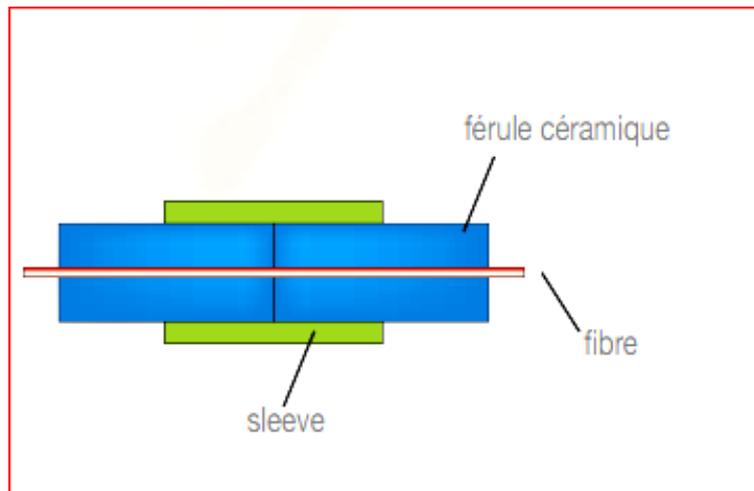
**Figure II.5: Câblage de fibre**

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

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

### 5.3. Le principe de raccordement fibre à fibre

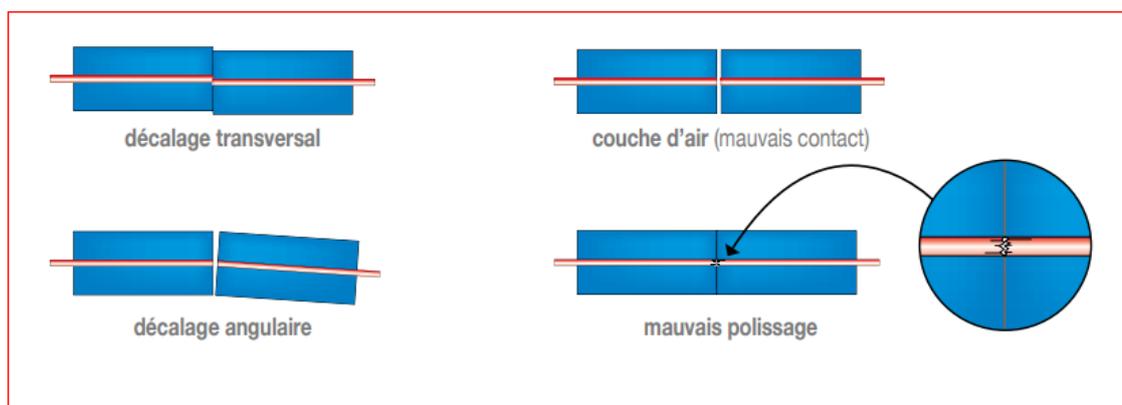
Le principe des connecteurs « fibre à fibre » consiste à mettre en contact physique les deux férules. Pour réaligner parfaitement les fibres face à face, on utilise une bague d'alignement de précision généralement en céramique appelée « sleeve ». La lumière passe ainsi directement d'une fibre à l'autre.



**Figure II.6:** La connexion fibre –fibre

#### 5.3.1. Défauts possibles lors du raccordement

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



**Figure II.7:** Les défauts de raccordements

### 5.3.2. Comment raccorder deux fibres

Il existe deux manières de raccorder entre elles deux fibres optiques:

**5.3.2/a) L'utilisation de connecteurs :** Dans ce cas, il faut réaliser le câblage d'un connecteur à chacune des extrémités des fibres à raccorder. On peut alors raccorder les deux fibres en raccordant les deux connecteurs

#### Avantages:

- Ce type de raccordement est robuste. On peut choisir le type de connecteur et la robustesse de celui-ci en fonction du domaine d'application du système.
- Le raccordement est amovible. On peut connecter et déconnecter les deux fibres plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois sans détérioration.[3]

#### Inconvénients:

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

### 5.3.2/b) Exemple de connecteurs fibre à fibre:

Il existe différents types de connecteurs fibre à fibre, monovoie et multivoies.



**Figure II.8:** Connecteurs fibre-fibre [3]

Pour les réseaux multimodes tels que ceux utilisés dans les immeubles ou les campus,

**le connecteur le plus utilisé est le ST (Straight Tip) :** Il est pourvu d'un système de verrouillage à baïonnette ainsi que d'une fêrulle en céramique qui garantit de hautes performances. Ce connecteur ST est le connecteur multimodal le plus utilisé car il est peu cher et simple à installer. La perte d'insertion typique pour les connecteurs ST correspondants est de 0,25 dB.

**Le connecteur SC :** a un mécanisme de verrouillage push-pull qui prévoit l'insertion et l'enlèvement rapide. Il s'utilise avec les fibres optiques monomodes et multimodes. On différencie ces deux connecteurs selon leurs embouts (carrés pour SC et ronds pour ST).

**Le connecteur MU :** ressemble à un miniature SC avec une fêrulle de 1,25mm. [3]

**Le connecteur LC (Little Connector) :** dont la taille représente la moitié du connecteur ST, est un connecteur standard en céramique. Il est utilisé dans les systèmes de câbles Simplex, est de bonne qualité et se termine facilement avec n'importe quel adhésif. Le connecteur E2000/LX5 est similaire au LC.

**Le connecteur FC (Ferrule Ceramic) :** est devenu un connecteur de choix dans toutes les fibres monomodes. Équipé d'un ergot anti-rotation évitant d'endommager l'extrémité de la fibre et réduisant la sensibilité de la fibre à alignement en rotation, celui-ci permet de garantir une position optimale, c'est à dire à perte minimale. C'est un connecteur à embout céramique de haute précision. Le diamètre de la fêrulle est de 2.5 mm.

**Le connecteur MT-RJ :** est un connecteur de fibre à noyau double. Le produit inclut le mode unitaire, à modes multiples et de données. Il a une excellente caractéristique et une exécution fiable.

**Le connecteur VF45 :** est un connecteur pour distribution optique parallèle.

**Le connecteur MTP/MPO :** Le connecteur MPO intègre un embout optique rectangulaire MT en silice chargée. Il est décliné pour une capacité de 4 à 12 fibres sur une rangée, et jusqu'à 24 fibres multimodes sur deux rangées. Les applications monomodes se limitent aujourd'hui à 8 fibres avec une finition APC. La technologie d'alignement repose sur deux pions de guidage situés sur l'embout de partie et d'autre de la rangée de fibre.

**Le connecteur SMA** Le connecteur F-SMA repose sur un alignement cylindrique sans contact physique.



**Figure II.9:** Modèles de connecteurs pour fibre optique

## 6. Réflectance (Return Loss)

La réflectance ou « perte de retour optique » (qui est également appelée « rétro réflexion ») du connecteur est la quantité de lumière qui est réfléchi en retour dans la fibre vers la source par réflexions de la lumière sur l'interface entre la surface de l'extrémité polie du connecteur et l'air. C'est ce qu'on appelle la réflexion de Fresnel qui est provoquée par le passage de la lumière à travers le changement d'indice de réfraction à l'interface entre la fibre ( $n = 1,5$ ) et l'air ( $n = 1$ ). La réflectance est d'abord un problème de connexion, mais elle peut également affecter les épissures mécaniques qui contiennent un gel d'adaptation d'indice pour éviter la réflectance. La réflectance est une composante de la perte du connecteur, qui représente environ 0,3 dB de perte pour un connecteur sans contact ou présentant une lacune d'air où les deux fibres ne sont pas en contact. Minimiser la réflexion est nécessaire pour obtenir une performance maximale sur les systèmes monomodes à haut débit binaire basés sur le laser et surtout dans le cas des signaux AM modulés de TVCA. Dans les systèmes multimodes, la réflexion est moins problématique, mais elle peut ajouter du bruit de fond dans la fibre.

Comme il s'agit plus d'un problème avec les systèmes monomodes, les fabricants se sont concentrés sur la résolution du problème de leurs composants monomodes mais les connecteurs multimodes en bénéficient aussi, vu que toute réduction de la réflectance réduit également la perte. Plusieurs systèmes ont été utilisés pour réduire la réflectance, essentiellement en utilisant un polissage de contact physique (CP, ou PC en anglais) convexe sur l'extrémité de la fêrulle du connecteur, ce qui réduit la réflexion de Fresnel. La technique implique le polissage de la surface de l'extrémité de la fibre pour obtenir une surface convexe ou, mieux encore, à un léger angle (contact physique anglé, ou APC en anglais) pour empêcher la réflexion. [4]

## 7. Les connecteurs APC et UPC

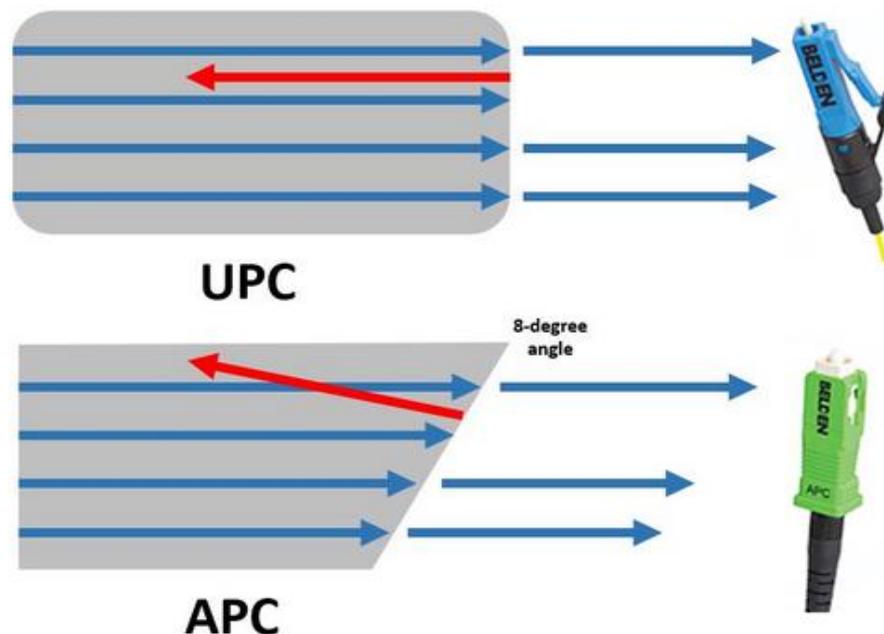
### 7.1. Signification des termes UPC et APC

Comme nous le savons, les assemblages de jarretières optiques sont principalement les connecteurs et les câbles, donc le nom de l'assemblage de jarretières optiques est lié au nom du connecteur. Nous appelons un câble la jarretière optique LC, parce que cette jarretière optique est équipée du connecteur à fibre optique LC. Ici les mots UPC et APC sont seulement liés aux connecteurs à fibre optique et n'ont rien à voir avec les jarretières optiques.

Chaque fois qu'un connecteur est installé sur l'extrémité de la fibre, il y a de la perte. Une partie de cette perte de lumière est directement réfléchi dans la source de lumière. Les réflexions de retour endommageront les sources de lumière laser et perturberont également le signal transmis. Pour réduire ces réflexions de retour, nous pouvons polir les fêrules de connecteurs optiques à différentes finitions. Il existe quatre styles de polissage de fêrules de connecteurs. UPC et APC en font partie. UPC signifie Ultra Physical Contact et APC signifie Angled Physical Contact.

## 7.2. Différence entre connecteurs UPC et APC

La différence principale entre les connecteurs UPC et APC est la face d'extrémité de fibre. Les connecteurs UPC sont polis sans angle, mais les connecteurs APC disposent une face d'extrémité de fibre qui est polie à un angle de  $8^\circ$ . Avec les connecteurs UPC, toute lumière réfléchie est réfléchie directement dans la source de lumière. Cependant, la face d'extrémité de fibre anglée du connecteur APC fait réfléchir la lumière à un angle dans le revêtement par rapport à la source. Par conséquent, le connecteur UPC doit généralement avoir une perte de retour de -50dB au minimum, alors que la perte de retour du connecteur APC doit atteindre -60dB ou plus. En général, plus la perte de retour est élevée, meilleure est la performance de l'accouplement de deux connecteurs. À part la face d'extrémité de fibre, une autre différence évidente est la couleur. Généralement, les connecteurs UPC sont bleus alors que les connecteurs APC sont verts. L'image de la figure II.10, montre les différences mentionnées ci-dessus.



**Figure II.10 : Différence entre APC et UPC**

## 7.3. Application importante des connecteurs UPC et APC

Il ne fait aucun doute que la performance des connecteurs APC est meilleure que celle des connecteurs UPC. Dans le marché actuel, les connecteurs APC sont largement utilisés dans les applications comme FTTx, le réseau optique passif (PON) et le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) qui est plus sensible à la perte de retour. Mais en plus la performance optique, le coût et la simplicité doivent également être pris en compte. Donc il est difficile de dire qu'un connecteur surpasse l'autre. En fait, la sélection du connecteur UPC et APC dépend de votre besoin particulier. Avec les applications qui exigent la signalisation de fibre optique à

haute précision, APC devrait être le premier choix considérable, mais les systèmes numériques moins sensibles fonctionneront également bien en utilisant UPC. [5]

## 8. Maintenance de la fibre optique

Parmi les techniques de maintenance de la fibre citons :

### 8.1. Clivage

Le clivage est une opération nécessaire pour réussir une épissure. Cliver consiste à sectionner de façon propre, nette et précise le bout d'une fibre optique pour permettre la soudure. Chaque cycle d'épissure requiert deux clivages : un pour chaque fibre. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir une cliveuse en bon état dont la lame coupe efficacement; dans le cas contraire il faudra réitérer le clivage jusqu'à obtenir une section nette et donc perdre de la longueur de fibre sur chacun des clivages.

#### 8.1.1. Qu'est-ce qu'une cliveuse ?

La cliveuse est l'accessoire permettant de cliver la fibre optique. Il en existe plusieurs sortes, possédant des lames rotatives ou non. On retiendra que les cliveuses à lame rotative sont plus onéreuses, mais demandent moins de maintenance et sont plus simples d'utilisation, ce qui compense le coût à l'achat de la cliveuse.

Le choix d'une cliveuse par rapport à une autre dépend de budget, de l'utilisation prévue (fréquence de clivage).

#### 8.1.2. Les cliveuses Sumitomo

Il existe plusieurs modèles de cliveuses du fabricant japonais Sumitomo telles que :

##### 8.1.2/a) La cliveuse FC-6S-C

Le boîtier métallique de cette cliveuse lui confère une **grande robustesse**. De plus, la FC-6S-C dispose d'un collecteur de chutes de fibre. Sa **lame est aussi remplaçable sur le terrain** et son ajustement est simplifié.

##### 8.1.2/b) La cliveuse FC-6RS-C

Elle ne diffère du modèle FC-6S-C que par sa lame rotative. C'est la cliveuse que nous avons utilisé pour faire nos manipulations pratiques dans ce mémoire.



### 8.1.2/c) La cliveuse FC-7R-F

Il s'agit de la version la plus moderne et sophistiquée de cliveuses Sumitomo : la cliveuse de précision « mono mouvement ». Elle permet un **clivage en une seule pression** et est la **seule cliveuse à posséder une lame rotative auto-pivotante** ce qui augmente la qualité du clivage autant que cela facilite la maintenance. Comme ses prédécesseurs, la cliveuse FC-7R-F dispose d'un collecteur de chutes de fibre intégré.

## 8.2. L'épissure

Cette opération consiste à raccorder directement les deux fibres par soudure au moyen d'un arc électrique, en alignant le mieux possible les deux cœurs de fibre. Elle se fait grâce à un appareil appelé soudeuse. [6]

### Avantages:

- Cette méthode de raccordement est rapide et relativement simple à mettre en œuvre.
- La perte de lumière engendrée par la soudure, due à un alignement des cœurs imparfait, reste très faible.

### Inconvénients:

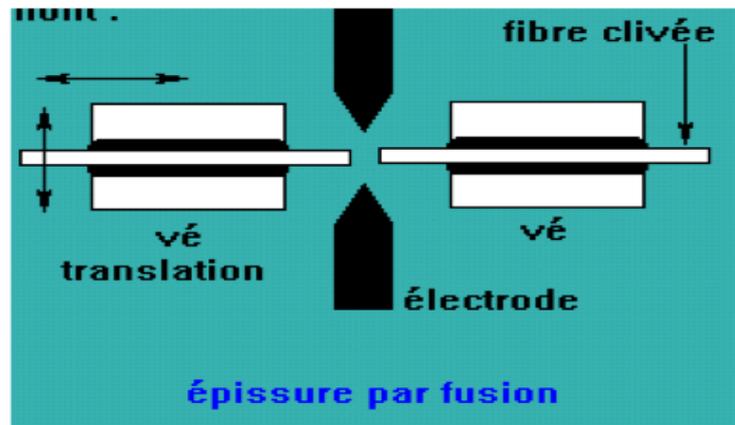
- Ce type de raccordement est relativement fragile (malgré une protection de la fusion par un tube thermo rétractable).
- C'est un raccordement définitif.
- Il faut investir dans une soudeuse

### 8.2.1. Types d'épissure

#### 8.2.1-a. Epissure par fusion

Les épissures de fusion sont réalisées par la « soudure » de deux fibres entre elles en général par un arc électrique. Par mesure de sécurité, l'épissure par fusion ne doit pas être effectuée dans un espace clos tel qu'une bouche d'égout ou toute atmosphère potentiellement explosive.

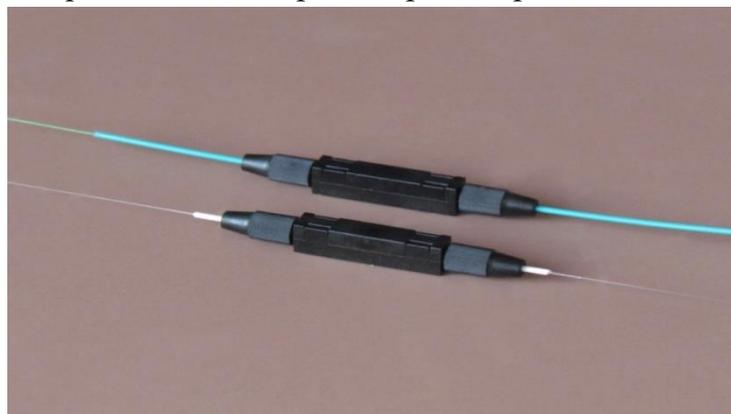
L'équipement pour l'épissure par fusion est généralement trop volumineux pour la plupart des applications aériennes, aussi l'épissure par fusion se fait habituellement dans un camion ou une remorque spécialement équipée à cette fin. Les appareils d'épissure par fusions monomodes sont fortement automatisés et il est difficile de faire une mauvaise épissure tant que vous nettoyez et coupez les fibres correctement, puis suivez les instructions pour utiliser correctement l'appareil d'épissure par fusion. Les épissures par fusion sont tellement performantes aujourd'hui que les points de jonction peuvent ne pas être détectés dans les tracés OTDR. Certaines machines d'épissure ne font qu'une fibre à la fois, mais les fusionneuses en masse peuvent faire les 12 fibres d'un ruban à la fois.



**Figure II.11 : Epissure par fusion**

### 8.2.1-b. Les épissures mécaniques

Les épissures mécaniques sont des dispositifs d'alignement qui maintiennent les extrémités des deux fibres ensemble avec un gel ou une colle d'adaptation d'indice entre elles. Il existe un certain nombre de types d'épissures mécaniques, telles que les petits tubes de verre ou des pinces métalliques en forme de V. Les outils pour faire des épissures mécaniques sont peu coûteux, mais les épissures elles-mêmes peuvent être plus chères. Beaucoup d'épissures mécaniques sont utilisées pour la restauration, mais avec de la pratique, elles peuvent fonctionner aussi bien avec les fibres monomode qu'avec les multimodes, à l'aide d'un couperet de qualité tel que ceux utilisés pour l'épissure par fusion.



**Figure II.12 : Epissure mécanique**

### 8.2.2. Faire de bonnes épissures

Faire régulièrement des épissures à faible perte dépend de l'utilisation des techniques adéquates et du bon entretien du matériel. La propreté est un gros problème, bien sûr. Les dénudeurs de fibres doivent être maintenus propres et en bon état et remplacés lorsqu'ils sont entaillés ou usés. Les couperets sont ce qu'il y a de plus importants, car le secret d'une bonne épissure – que ce soit par fusion ou mécanique – est d'avoir de bonnes coupures sur les deux fibres. Maintenez vos couperets propres et les lames de rainurage alignées et remplacées régulièrement. Les appareils d'épissure par fusions doivent être bien entretenus et les paramètres de fusion réglés pour les fibres à épisser. Pour les épissures mécaniques, une légère pression sur la fibre pour maintenir les extrémités ensemble durant le sertissage est importante. Utilisez un localisateur visuel de défauts (VFL) pour optimiser l'épissure avant le sertissage si possible.

### 8.2.3. Protection des épissures

Pour la protection contre l'environnement et les dommages, les épissures requièrent leur placement dans un étui de protection. Elles sont généralement placées dans un plateau d'épissure qui est lui-même fixé à l'intérieur d'un boîtier d'épissure pour les installations en réseau extérieur ou une boîte de cabinet de raccordement pour les applications de réseaux locaux. Aux boîtiers d'épissure et à chaque extrémité, les câbles possédant des blindages ou des éléments de renfort métalliques doivent être correctement mis à la terre et à la masse.

## 8.3. La soudure optique

Une soudure optique est un joint permanent qui permet d'établir une connexion entre deux fibres optiques. Le système de connexions doit garder les propriétés (faible perte). La soudure optique permet également de réparer des fibres optiques abimées lors de l'installation ou du transport. La soudure optique est choisie par les concepteurs lorsque connexions et déconnexions sont inutiles ou indésirables. L'épissure mécanique et l'épissure par fusion sont deux catégories qui décrivent les techniques utilisées pour la soudure optique.

L'épissure par fusion localise une forte source de chaleur et fusionne deux fibres côte à côte. Les deux systèmes visent à réduire au maximum les pertes et à optimiser les performances de la fibre optique. [7]

La soudure de fibre optique peut impliquer l'alignement de fibre actif ou passif. L'alignement passif repose sur les surfaces de référence du produit (rainure ou trou cylindrique). L'alignement actif implique l'utilisation de la lumière pour un alignement précis de la fibre.

### 8.3.1. Différents types de soudeuses optique

Il existe trois types de soudeuses optiques :

- Les soudeuses optiques à alignement sur les cœurs,
- Les soudeuses optiques à alignement sur les gaines,
- Les soudeuses optiques à ruban de fibres (peu utilisées).

La différence de performance entre les deux principales technologies (soudure sur les cœurs ou sur les gaines) est minime. Le choix de l'une ou l'autre des soudeuses optiques va plutôt dépendre du type de chantier, c'est à dire le nombre de fibres à raccorder ainsi que les conditions de travail.

### 8.3.2. Exemples de soudeuses optique

On prend par exemple, la société ABSYS qui propose différents modèles de soudeuses fibre optique, tel que :

#### 8.3.2/a) La soudeuse fibre optique haute-gamme le modèle AbsySplicer-AV6472

La soudeuse AbsySplicer-AV6472 est une soudeuse fibre optique cœur à cœur hautes performances avec un nouveau design et de grandes capacités. Avec ces fonctions puissantes et de très faibles pertes de soudure, elle est parfaite pour les applications de terrain. La fonction de focus automatique ne permet pas uniquement d'assurer la visibilité des cœurs quelle que soit la fibre, mais elle permet également un alignement plus fiable...



#### 8.3.2/b) La soudeuse optique imbattable en rapport qualité prix modèle AbsySplicer-AV6471

La soudeuse AbsySplicer-AV6471 est une soudeuse fibre optique cœur à cœur avec une toute nouvelle architecture. Elle possède des fonctions utiles et des pertes de fusion très faibles, elle est très efficace pour les soudures de réseaux longue distance et FTTx. Légère et compacte, elle est facile à utiliser même dans des espaces confinés. Le nouveau système d'imagerie de la fibre rend l'affichage plus net. Le système d'opération en temps réel...



### 8.3.2/c) La soudeuse modèle AbsySplicer-AYFS-1 à alignement gaine à gaine rapide et faible coût

La soudeuse AbsySplicer-AYFS-1 est une soudeuse fibre optique de poche à alignement mécanique sur les gaines. Petite et légère, elle peut être utilisée dans toutes les situations. Elle a été conçue de façon solide et même si les soudures devraient toujours être faites dans de bonnes conditions (en intérieur), la soudeuse « AbsySplicer-AYFS-1 » est prévue pour être utilisée sur le terrain. Le design de « l'AbsySplicer-AYFS-1 » diffère un peu des autres soudeuses parce qu'elle a été pensée en mettant l'accent sur la facilité d'utilisation. La plupart des soudeuses...



### 8.3.2/d) La soudeuse modèle AbsySplicer-AYSA-2 à alignement manuel

La soudeuse AbsySplicer-AYSA-2 est une soudeuse fibre optique à alignement manuel. Grâce à son écran de 5,6 pouces et son grossissement de 250x elle permet de visualiser les cœurs des fibres pour les alignés à l'aide des deux caméras et des 2 paires de moteurs ce qui permet d'obtenir les mêmes résultats qu'une soudure à alignement cœur à cœur pour un coût plus de deux fois inférieur.



## 9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un exemple de technologie de fabrications des optiques. Nous avons présenté aussi les différents connecteurs utilisés dans le domaine optique en détaillant les férules en céramique, les types de polissage et leurs influences sur les pertes de retour de la fibre. Nous avons évoqué aussi les étapes de maintenance de la fibre optique telles que le clivage, et l'épissure quel que soit mécanique ou bien automatique, et quelques équipements commercialisés.

### Bibliographie chapitre

[1] <http://for-ge.blogspot.com/2015/05/fibre-optique.html>

[2] Pierre Lecoy, " Télécoms sur fibres optiques ", ©LAVOISIER, 11 rue Lavoisier 75008 Paris, Vol.366, 2008, ISBN 3e édition 978-7462-1844-4.

[3],[6],[7] AMARI Malika, Master en Télécommunications « ETUDE ET EVALUATION D'UNE CHAINE DE TRANSMISSION OPTIQUE POINT A POINT AVEC UNE LONGUEUR D'ONDE 1.55 $\mu\text{m}$  », université de Saida Dr Moulay Tahar, juin 2017.

[4] <https://fargas.fr/fibre-optique-reflexion-perteretour/>

[5] <http://moncrystalist.blogspot.com/2017/12/quelle-est-la-difference-entre-le.html>

## 1. Introduction

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

Parmi ces produits on trouve ceux du fabricant américain THORLABS leader dans la fabrication d'équipement optique, les appareils de test et de mesure de perte et d'affaiblissement du fabricant ANRITSU et appareil de clivage du fabricant japonais SUMITOMO.

Ce dernier chapitre, sera présenté comme une partie pratique faite au niveau de laboratoire avec notre encadreur, en réalisant différents types de connections, des tests de pertes, des terminaisons, et différentes opérations afin de mieux connaître les éléments de la fibre optique vus dans la partie théorique des chapitres précédents, ainsi de mieux manipuler les différents types de fibres optiques, voire même les outils et les appareillages.

## 2. Présentation de l'entreprise « THORLABS »

Thorlabs est une société privée d'équipement optique dont le siège est à Newton, New Jersey. [1] La société a été fondée par **Alex Cable**, qui est actuellement président et chef de la direction. En 2013, Thorlabs employait environ 1 000 personnes directement ou indirectement et ses ventes s'élevaient à environ 200 millions de dollars. [1] [2] La société possède des bureaux dans plusieurs États américains, au Brésil, au Canada, en Chine, en France, en Allemagne, au Japon, en Suède et au Royaume-Uni. [1] Il vend environ 20 000 produits différents. [3]

Thorlabs conçoit et fabrique des produits dans les domaines de la technologie d'analyse, des fibres optiques, des lasers, de l'instrumentation optique, de l'optomécanique, de la photonique et de l'isolation des vibrations. [5] [1] Environ 90% de ses produits sont fabriqués en interne. Le contrôle du processus de conception nous permet d'être un concurrent agile sur les prix et aussi sur l'innovation du produit. [4]

## 3. Caractéristiques physiques de la fibre monomode (P1-SMF-28-FC-1)

Les caractéristiques de la fibre monomode que nous avons traité sont résumées dans le tableau III.1 :

Type de fibre	Smf-28 ultra
Intervalle d'onde de fonctionnement	1260-1625 nm
Diamètre de cœur	9 $\mu\text{m}$
Diamètre de gaine (cladding)	125 $\mu\text{m}$
Diamètre de la gaine optique (coating)	242 $\pm$ 5 $\mu\text{m}$ (couleur transparente)
Diamètre revêtement extérieur	3 mm (couleur jaune)
Diamètre revêtement intérieur	900 $\mu\text{m}$ (couleur blanche)
Ouverture numérique	0.14
Atténuation max	$\leq$ 0.18 @ 1550 nm
Diamètre de champ de mode (MFD)	10.5 $\pm$ 0.5 $\mu\text{m}$ @ 1550 nm
Type de connecteur	FC/PC
Type de clé	Etroite (narrow key) 2.0 mm
Type de fêrûle	Céramique 2.5 mm

**Tableau III.1 : Caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (thorlabs)**

Cette fibre optique présente un intervalle de fonctionnement qui s'étend de 1260 nm à 1625 nm. Son diamètre du cœur égal à 9  $\mu\text{m}$ , son diamètre de la gaine égal à 125  $\mu\text{m}$ , alors que le diamètre de la gaine optique égal à 242  $\mu\text{m}$ . Le diamètre du revêtement intérieur égal à 900  $\mu\text{m}$  (couleur blanche) et celui du revêtement extérieur égal à 3 mm (couleur jaune).

Le type de connecteur optique utilisé est le FC (Fêrûle en Céramique) / PC (Polished Connector), le diamètre de la fêrûle en céramique égale à 2.5 mm avec une clé étroite (narrow key) de diamètre égal à 2 mm.

L'ouverture numérique de cette fibre optique égale à 0,14. L'indice de réfraction du cœur donné par le fabricant égal à 1,4646. On peut déduire l'indice de réfraction de la gaine selon la relation suivante [6]:

$$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots(1) \Rightarrow ON^2 = n_1^2 - n_2^2 \Rightarrow (0,14)^2 = (1,4646)^2 - n_2^2$$

$$\text{Donc : } 0,0196 = 2,1450 - n_2^2 \Rightarrow n_2^2 = 2,1254 \Rightarrow n_2 = \mathbf{1,4578} \text{ (indice de réfraction de la gaine)}$$

Le diamètre de champ de mode (MFD) donné par le fabricant Thorlabs pour la fibre monomode, égal à 10.5  $\mu\text{m}$  sur la longueur d'onde 1550 nm.

On peut vérifier la valeur du MFD théoriquement avec l'équation suivante [6]:

$$MFD = 2a \left( 0.65 + \frac{1.619}{V^{3/2}} + \frac{2.879}{V^6} \right) \dots(2)$$

Avant de calculer le MFD, il faut d'abord trouver la valeur de la fréquence de normalisation (V) selon l'équation suivante [6]:

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot ON}{\lambda_0} = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots(3)$$

Avec :

**a** : le rayon du cœur de la fibre optique qui égal à la moitié du diamètre c'est-à-dire 9  $\mu\text{m}$  divisée par 2, donc  $a = 4.5 \mu\text{m}$ .

**ON** : ouverture numérique qui égale à 0.14.

$\lambda_0$  : longueur d'onde qui égale à 1550 nm.

On applique la formule de la fréquence normalisée:

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot \text{ON}}{\lambda_0} = \frac{2\pi (4,5 \cdot 10^{-6}) 0,14}{1550 \cdot 10^{-9}} \dots(4) \quad \mathbf{V = 2.55}$$

On remplace la valeur de V dans l'équation de MFD et on obtient :

$$\text{MFD} = 2 \cdot (4,5 \cdot 10^{-6}) \cdot [0,65 + 1,619 \cdot (2,55)^{\frac{-3}{2}} + 2,879 (2,55)^{-6}] \dots(5)$$

$\text{MFD} = 9.51 \mu\text{m} \approx 10 \mu\text{m}$  (on a confirmé que la valeur donnée par le fabricant s'approche à celle trouvée en utilisant la formule du MFD donnée par Marcuse).

Thorlabs propose des câbles de brassage monomodes avec des connecteurs FC / PC aux deux extrémités. Chaque câble est fabriqué dans l'usine avec un équipement de pointe et testé individuellement pour assurer une faible perte de retour (50 dB). La fibre P1-SMF 28-FC-1 est dotée de vestes de protection en PVC de diamètre 3 mm avec des fils internes en Kevlar pour une durabilité accrue en laboratoire. [7]

Cette fibre comprend deux capuchons protecteurs qui protègent les extrémités de la fêruler de la poussière et des autres contaminants. (Voir figure III.1).



**Figure III.1** : Fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1 du fabricant thorlabs

#### 4. Caractéristiques techniques des appareils de mesure

##### 4.1. Source laser/testeur de pertes optique du fabricant ANRITSU

Cet appareil fonctionne sur des longueurs d'onde allant de 1310 nm à 1550 nm en fibres monomode ; et sur 850 nm à 1300 nm en fibres multimodes.[8]

La puissance maximale mesurée par cet appareil est + 23 dBm. Il prend en charge une fibre de 10  $\mu\text{m}$  / 125  $\mu\text{m}$ , avec un polissage PC. Cette source laser émet un laser avec une largeur de bande 20 nm autour de 1550 nm (1550 – 20 nm à 1550 + 20 nm) c'est-à-dire une largeur de bande qui s'étend de 1530 nm à 1570 nm. (Voir figure III.2).

Les autres types de connecteurs compatibles avec cet appareil sont les SC/PC et ST/PC.

Cette source laser précise une résolution d'affichage de l'ordre de 0.01 dB.



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

Le tableau (III.2) récapitule les caractéristiques de cet appareil :

<b>Model</b>	5LT35
<b>Port de source lumineuse</b>	
<b>Fibre optique prise en charge</b>	10 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ fibre monomode, PC-polished
<b>Longueur d'onde</b>	1310 nm/1550 nm $\pm$ 20 nm
<b>Type de connecteurs</b>	FC/PC, SC/PC, ST/PC
<b>Port de mesure de puissance optique</b>	
<b>Fibre optique prise en charge</b>	monomode (10 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ )/Multimode (50 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ , 62.5 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ )
<b>Longueur d'onde calibrée</b>	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625 nm
<b>Résolution d'affichage</b>	0.01 dB

**Tableau III.2 : Caractéristiques de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5**

Parmi les applications de cet appareil, on trouve :

- Mesure de perte de câble et de liaison ;
- Audit et maintenance du réseau ;
- Dépannage et réparation ;
- Perte de connecteur et d'accouplement ;
- Mesure de perte de fibre nue ;
- Identification de la fibre.

#### 4.2. Description de mode de fonctionnement



**Figure III.3 : Commandes de fonctionnement de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5**

Cet appareil est constitué d'un port de sortie qui émet le laser et d'un port d'entrée qui mesure la puissance optique et les pertes. Le tableau (III.3) récapitule les fonctions des différentes touches de cet appareil.

Boutton	Description
	Botton marche / arrêt
<b>Func</b>	On appuie sur ce bouton pour basculer entre l'affichage LCD CMA5 5LT35 / 83 de la source lumineuse et du testeur de pertes optique.
<b>λ</b>	Ce bouton est utilisé pour sélectionner la longueur d'onde. Lorsqu'il est sous tension, l'indicateur de puissance optique est dans l'état par défaut. On appuie sur « Func » pour passer à la source laser, λ est utilisé pour sélectionner la longueur d'onde de la source laser, et la longueur d'onde de la puissance optique reçue.
<b>dB/dBm</b>	Ce bouton est utilisé pour changer l'unité de pertes optique entre dB et dBm
<b>Loss</b>	Ce bouton est utilisé pour mesurer les pertes de puissance en dB.
<b>Ls On</b>	On appuie sur ce bouton pour activer la source laser.

**Tableau III.3 : Description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de la série CMA5**

### 4.3. Test de pertes de boucle avec la source laser/testeur de pertes

#### 4.3.1. Définition de la perte d'insertion

La perte d'insertion est un affaiblissement du signal qui résulte en l'insertion d'une fibre optique à une source laser à l'aide d'un connecteur.

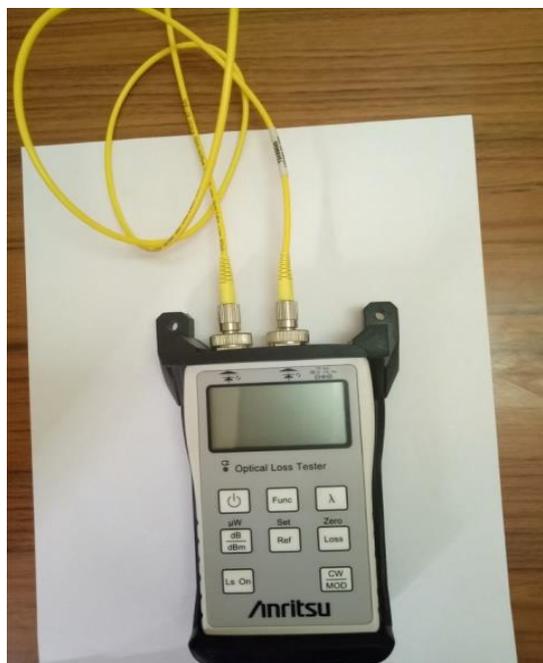
Pour la fibre optique, la perte d'insertion (également appelée perte optique) mesure la quantité de lumière perdue entre le début et la fin du câble. De nombreux facteurs peuvent entraîner cette perte : l'absorption, la diffusion, la diffraction et la dispersion. Elle peut aussi être due à la qualité médiocre de connexions et d'épissures dans lesquelles les fibres ne sont pas alignées correctement.

La perte de lumière se mesure en décibels (dB), unité qui indique la puissance relative.

L'intensité lumineuse peut être mesurée à l'aide d'appareils de mesure du flux énergétique optique, de testeurs de perte optique et d'autres appareils de test qui envoient la lumière d'une source et mesurent son intensité à l'autre extrémité de la fibre optique [9].

#### 4.3.2. Procédure de mesure

On branche la fibre P1-smf-28-FC-1 sur les deux connecteurs du testeur de perte optique sous forme d'une boucle, comme le montre la figure III.4 :



**Figure III.4 : Configuration de mesure de perte optique**

On appuie sur le bouton « Loss » pour commencer la mesure de perte optique comme le montre la figure III.5. La perte optique mesurée est affichée.

La puissance émise par cette source laser égale à  $-6.42$  dbm (fenêtre 1550 nm).



**Figure III.5 : Mesure de la puissance reçue**

Les pertes d'insertion obtenues en utilisant le bouton "LOSS" égalent à  $0.13$  dB.



**Figure III.6 : Mesure de pertes optique**

D'après les figures III.5 et III.6, on constate que la puissance reçue égale à  $-6.42$  dBm ce qui correspond à une perte de  $0.13$  dB, sachant que nous avons injecté une puissance de  $-5.97$  dBm.

**4.4. Wattmètre optique (Optical Power Meter)**

**4.4.1. Caractéristiques**

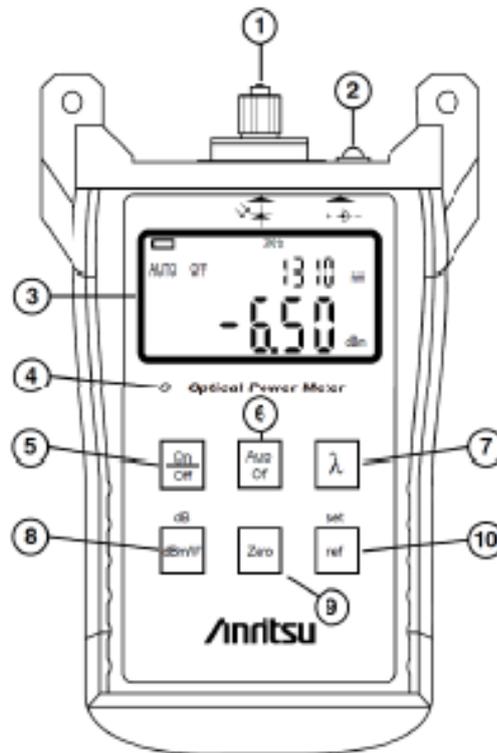
Cet appareil est compatible avec les deux types de fibres monomodes et multimodes avec des longueurs d’onde allant de 850 nm à 1625 nm. Il supporte plusieurs connecteurs de types : FC, SC, ST. Les puissances optique mesurées s’étale de -60 dBm à +10 dBm. La résolution d’affichage égale à 0.01 dB.[10]

Le tableau III.4 récapitule les caractéristiques techniques de cet appareil de mesure :

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

**Tableau III.4: Caractéristiques du wattmètre optique model 5P100 de la série CMA5**

**4.4.2. Description**



**Figure III.7 : Commandes de fonctionnement du wattmètre optique de la série CMA5**

Ce wattmètre optique possède un port d'entrée pour mesurer la puissance reçue. Il peut mesurer des puissances centrées sur 850, 1300, 1310, 1490, 1550 et 1625 nm. La puissance optique est affichée soit en dBm soit en  $\mu\text{W}$  à l'aide du bouton 'dBm/W'. Cet appareil affiche la mention 'LO' pour des puissances inférieures à -60 dBm.

## 5. Mesure de l'affaiblissement à l'aide des appareils de mesure

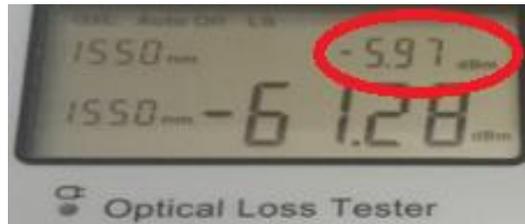
### 5.1. Mesure de l'affaiblissement en utilisant le testeur de pertes optique et le wattmètre optique

Nous avons réalisé le branchement illustré sur la figure III.8 :



**Figure III.8 :** Méthode expérimentale de mesure de pertes d'insertion optiques

La puissance d'entrée générée par la source laser :  $P_e = -5.97$  dBm. (Voir figure III.9).



**Figure III.9** : puissance d'entrée générée par la source laser

A l'aide du wattmètre optique et sur la longueur d'onde 1550 nm, nous avons obtenu une puissance de sortie  $P_s = -6.12$  dBm. (Voir figure III.10).



**Figure III.10** : puissance reçue sur le wattmètre optique

On peut calculer la perte optique comme suit :

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_e}{P_s} \dots (6)$$

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

$$P_e(\text{dBm}) = 10 \log_{10} P_e(\text{mW}) \dots (7)$$

$$-5.97 \text{ dBm} = 10 \log_{10} P_e(\text{mW}) \Rightarrow \log_{10} P_e(\text{mW}) = -0.597 \Rightarrow P_e(\text{mW}) = 10^{-0.597}$$

$$P_e = 0.252 \text{ mW}$$

$$P_s(\text{dBm}) = 10 \log_{10} P_s(\text{mW}) \dots (8)$$

$$-6.12 \text{ dBm} = 10 \log_{10} P_s(\text{mW}) \Rightarrow \log_{10} P_s(\text{mW}) = -0.612 \Rightarrow P_s(\text{mW}) = 10^{-0.612}$$

$$P_s = 0.244 \text{ mW}$$

$$A = 10 \log_{10} \frac{0.252}{0.244}$$

$$A = 0.14 \text{ dB}$$

Nous justifions cette perte optique par les deux connecteurs utilisés pour brancher cette fibre optique aux deux appareils de mesure.

### 5.2. Mesure de l'affaiblissement en utilisant deux fibres monomodes

On raccorde les deux fibres du même type (P1-SMF-28-FC-1) de longueurs 1 mètre chacune, à l'aide d'un adaptateur. L'affaiblissement mesuré est celui des deux fibres et 4 connecteurs (deux connecteurs d'extrémité reliés aux appareils de mesure et deux autres reliés à l'aide de cet adaptateur). la figure (III.11) montre le raccordement :

On raccorde les deux fibres du même type SMF-28 de longueurs 1 mètre chacune, à l'aide d'un adaptateur. L'affaiblissement mesuré est celui des deux fibres et 4 connecteurs (deux connecteurs d'extrémité reliés aux appareils de mesure et deux autres reliés à l'aide de cet adaptateur). La figure(III.11) montre le raccordement :



**Figure III.11** : Mesure de perte optique de deux fibres optiques et un adaptateur

La perte optique totale en utilisant deux fibres optiques raccordées avec un adaptateur FC égale à 0.57 dB (fenêtre 1550 nm). Sachant que la perte d'insertion de la source laser et du wattmètre optique égale à 0.13 dB ; On déduit la perte d'insertion de l'adaptateur =  $0.57 - 0.13 = 0.44$  dB.

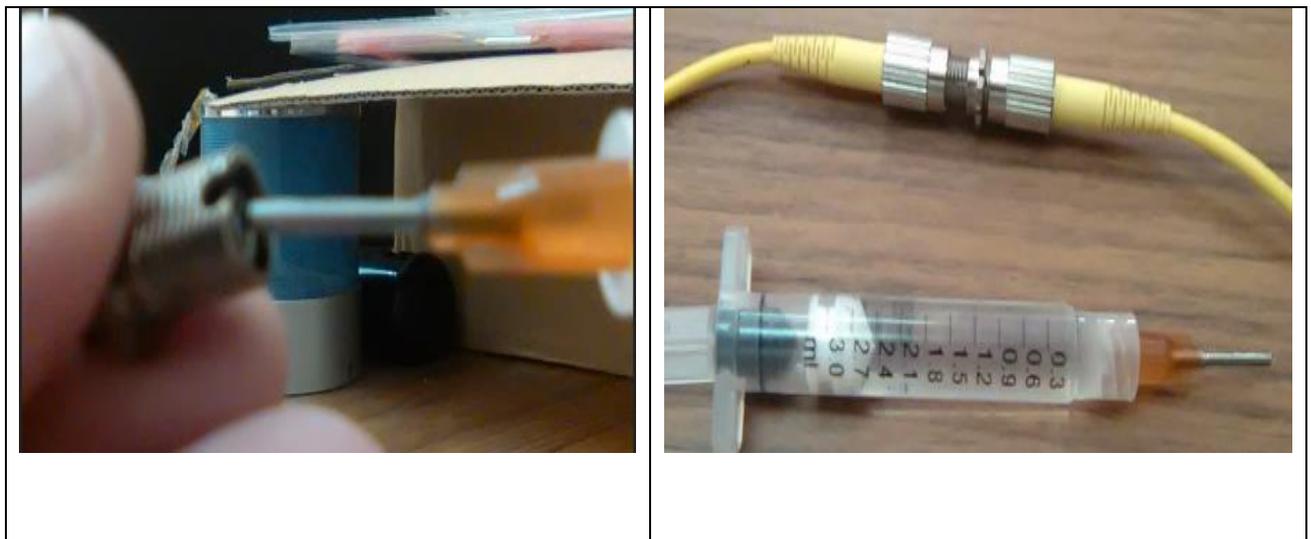
### 5.3. L'intérêt du gel d'adaptation d'indice

#### 5.3.1. Caractéristiques du gel d'adaptation d'indice (G608N3) de thorlabs

Ce gel d'adaptation ou (Index matching gel G608N3) est un composé de couplage optique cristallin, destiné à réduire l'atténuation du signal dans les assemblages de guides d'ondes au niveau des connexions. La présence d'air à la jonction de deux fibres optiques provoque une réflexion significative du signal en raison de la grande impédance optique différentielle qui existe entre l'air et les guides d'ondes porteurs de signaux. Contrairement à un époxy optique rigide, ce gel souple est viscoélastique et peut absorber la dilatation thermique différentielle des pièces optiques de précision sans induire de contraintes excessives ni de délaminage.

Ce produit optique est un matériau synthétique chimiquement stable, non toxique, avec une grande facilité de maintenance en température et convient pour des conceptions avec une fiabilité élevée et une longue durée de vie. Pour retirer le gel, on utilise un alcool tel que l'isopropanol pour nettoyer la zone d'application.[11]

On refait le même travail de mesure d'affaiblissement en utilisant deux fibres optiques reliées à l'aide d'un adaptateur FC, mais cette fois-ci en injectant un gel d'adaptation d'indice dans l'adaptateur, comme le montre la figure (III.12)



**Figure III.12** : Insertion du gel d'adaptation d'indice (G608N3) dans l'adaptateur

#### 5.3.2. Mesure de la puissance reçue et la perte optique en utilisant le gel G608N3

La puissance de sortie mesurée par la source laser est  $P_s = -6.31$  dBm, sachant qu'on a injecté une puissance  $P_e = -5.97$  dBm (Voir la figure III.13).



**Figure III.13** : Mesure de la puissance reçue à l'aide de la source laser/testeur de pertes

La perte optique totale en utilisant deux fibres optiques raccordées avec un adaptateur FC, en injectant un gel dans cet adaptateur égale à 0.33 dB (fenêtre 1550 nm). Voir figure III.14.



**Figure III.14** : Mesure de pertes optique de deux fibres et un adaptateur avec un gel d'adaptation d'indice

Sachant que la perte d'insertion de la source laser égale à 0.13 dB ; On déduit la perte d'insertion de l'adaptateur =  $0.33 - 0.13 = 0.20$  dB.

**Remarque :**

- Avant l'utilisation du gel on avait une perte d'insertion d'adaptateur égale à 0.44 dB, ce qui nous a donné une perte d'insertion optique totale égale à 0.57 dB.
- En utilisant ce gel, on a pu réduire la perte d'insertion de l'adaptateur à 0.20 dB, ce qui nous a amené à obtenir une perte optique totale égale à 0.33 dB.

**5.4. Liaisons entre trois fibres optiques en utilisant deux adaptateurs**

Si on raccorde trois fibres optiques de même référence (P1-SMF28-FC-1) à l'aide de deux adaptateurs FC. Sachant que la puissance d'entrée  $P_e = -5.97$  dBm, et la perte d'insertion des connecteurs égale à 0.13 dB, et la perte des deux adaptateurs égale à  $0.44 * 2 = 0.88$  dB. On peut déduire que l'affaiblissement totale  $A = 0.13 + 0.88 = 1.01$  dB

On peut donc calculer la puissance de sortie  $P_s$  en utilisant la formule suivante :

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_e}{P_s} \Rightarrow \log_{10} \frac{P_e}{P_s} = \frac{A}{10} \Rightarrow \frac{P_e}{P_s} = 10^{\frac{A}{10}} \Rightarrow P_s = \frac{P_e}{10^{\frac{A}{10}}} \dots (9)$$

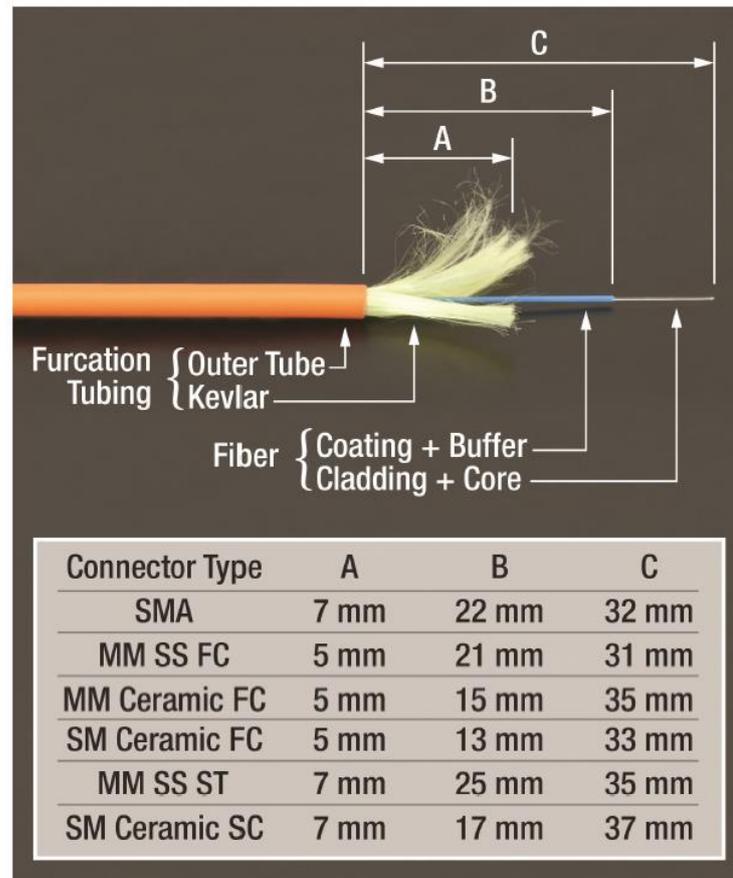
$$P_e = -5.97 \text{ dBm} = 0.252 \text{ mW} \Rightarrow P_s = \frac{0.252}{1.261} \Rightarrow P_s = 0.20 \text{ mW}$$

$$P_s(\text{dBm}) = 10 \log_{10}[P_s(\text{mW})] = 10 \log_{10}(0.20) \text{ donc : } P_s = -6.98 \text{ dBm.}$$

**6. Etapes de préparation de la fibre optique**

**6.1. Introduction**

Rappelons que la fibre optique monomode du fabricant Thorlabs que nous avons traité est caractérisée par un revêtement extérieur de 3 mm, un revêtement intérieur de 900  $\mu\text{m}$ , une gaine optique de 242  $\mu\text{m}$  et d'une gaine de diamètre de 125  $\mu\text{m}$ . Pour placer un connecteur à cette fibre optique, nous devons respecter les longueurs de dénudage et de clivage comme le montre la figure (III.15) pour différents connecteurs.



**Figure III.15** : Dimensions des tubes pour connecteurs de fibre populaires.

## 6.2. Dénudage, nettoyage et clivage de la fibre optique

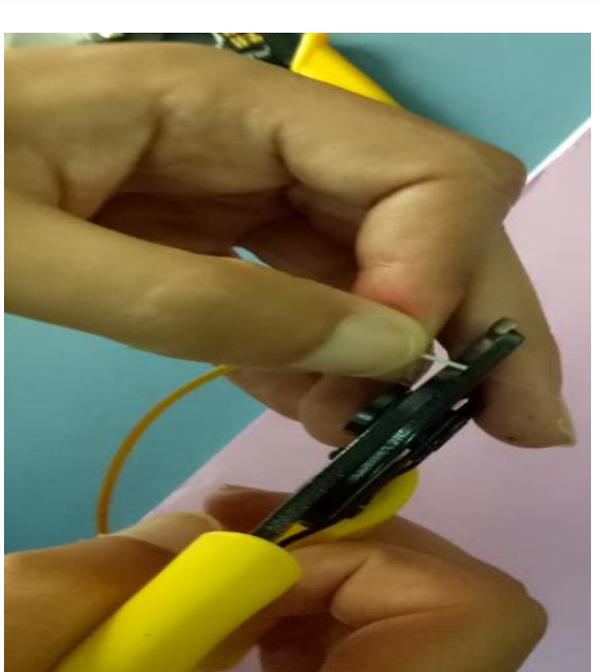
### 1<sup>ère</sup> partie : dénudage de la fibre optique

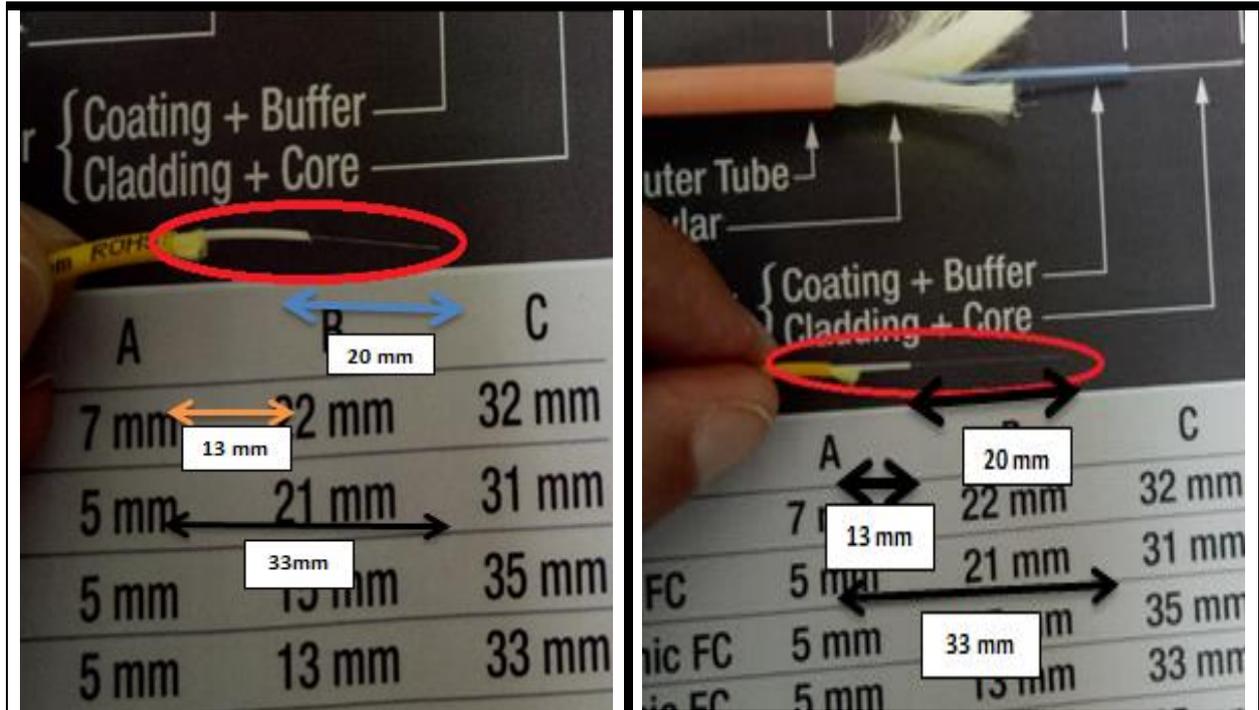
Pour dénuder la fibre optique, nous avons utilisé une pince à 7 trous allant de 0.6 mm à 2.6 mm, dont nous avons utilisé le trou à 1.2 mm pour enlever le revêtement intérieur de 0.9 mm. Nous avons aussi utilisé une pince Miller CFS-2 à deux trous (900 µm et 250 µm) pour enlever la gaine extérieure de 3 mm et la gaine optique de 242 µm. (Voir figure III.16).

<p>*Pince à dénuder : à 7 trous allant de 0.6 mm à 2.6 mm.</p>	<p>*Pince à dénuder : Miller CFS-2 avec deux trous 900 µm et 250 µm.</p>
	

**Figure III.16 : Pincés à dénuder**

La figure (III.17) montre les étapes qu'on a effectué pour dénuder deux types de fibre optiques, l'une de diamètre extérieur 3 mm, et l'autre de diamètre 900 µm.

<p><b>Fibre SM de diamètre 2.5 mm</b></p>	<p><b>Fibre SM de diamètre 1.6 mm</b></p>
	



**Figure III.17 : Dénudage de deux types de fibres optiques (2.5mm et 1.6 mm)**

2<sup>ème</sup> partie : le nettoyage de la fibre optique

Une fois la gaine de 125 µm apparait, il est très important de la nettoyer. Nous avons utilisé un tampon alcool afin de nettoyer toutes les grains de verre et de poussière collées sur la gaine de la fibre optique, comme le montre la figure (III.18).



**Figure III.18 : Le nettoyage de la fibre optique**

3<sup>ème</sup> partie : le clivage de la fibre optique

Le clivage est une étape importante afin de préparer la gaine de la fibre pour une éventuelle connection ou soudure.

Elle consiste à couper la fibre avec un angle le plus droit possible à l'aide d'une cliveuse. La cliveuse utilisée dans notre travail est la cliveuse FC-6RS-C du fabricant japonais Sumitomo. La cliveuse FC-6RS-C est l'évolution de la cliveuse FC-6S avec le mécanisme de rotation

autonome de la lame. Elle ne nécessite plus d'intervention de maintenance de la part du technicien jusqu'à usure totale de la lame. C'est une cliveuse manuelle à manipulation aisée et rapide. Sa structure stable et robuste en métal lui permet une fiabilité et une longévité sur plusieurs années de fonctionnement. Elle possède un collecteur de chute de fibre pour la sécurité du technicien. La nouvelle conception de son chariot permet trois modes de fonctionnement :

- Rotation continue de la lame à chaque coupe
- Rotation d'une position de la lame
- Position fixe de la lame

La durée de vie de la lame s'étend à 60 000 coupes [12]. (Voir figure III.19).



**Figure III.19 : Cliveuse FC-6RS-C de Sumitomo**

Les étapes de clivage sont montrées sur la figure III.20 :

<p><b>1<sup>ère</sup> étape</b> : poser la fibre dénudée dans l'emplacement de 900 µm</p>	<p><b>2<sup>ème</sup> étape</b> : préciser la distance de clivage entre 10 et 20 mm</p>	<p><b>3<sup>ème</sup> étape</b> : cliver la fibre en maintenant sur la lame avec un coup sec</p>

**Figure III.20 : Différentes étapes de clivage de la fibre optique**

## 7. Etude pratique sur les supports et câbles de fibres optiques utilisés par les industriels

### 7.1. Fourreaux PEHD

Ce Tube en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) est utilisé pour la protection des câbles et fibres optiques en réseaux souterrain. (Voir figure III.21).

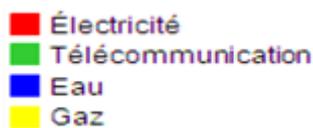
La couleur de ce tube varie suivant le secteur d'application comme suit :

Rouge : pour l'électricité.

Bleu : pour l'eau.

Jaune : pour le transport du gaz.

Vert : réservé pour tous type de câble en télécommunications, y compris les fibres optiques.



**Figure III.21 : Fourreaux PEHD**

Ce tube PEHD contient 3 types de câbles :

#### 7.2. Câble souple : avec les caractéristiques suivantes :

- Couleur jaune.
- Diamètre de revêtement extérieur 6 mm.
- 12 brins de fibre optique, dont le diamètre de chacun d'entre eux est de 900  $\mu\text{m}$ .
- Les couleurs de ces 12 brins sont :

Jaune, marron, noir, rouge, bleu, blanc, orange, rose, gris, vert et violet.

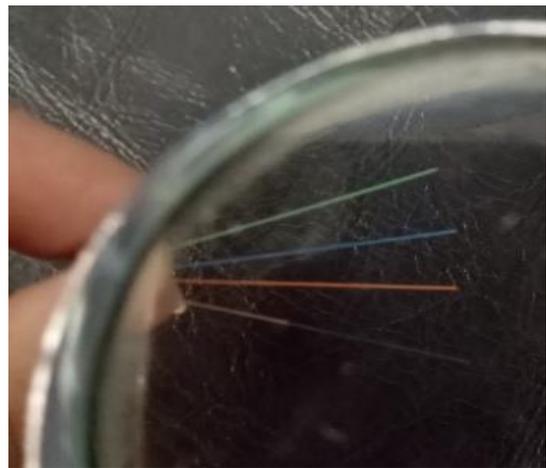
- On peut avoir avec ce type de câble : soit 6 liaisons en émission et 6 liaisons en réception ; soit 3 liaisons principales et 3 liaisons secondaires. (Voir figure III.22)



**Figure III.22 : Câble souple à 12 brins de fibres optiques**

**7.3. Câble semi-rigide à 4 brins :** avec les caractéristiques suivantes :

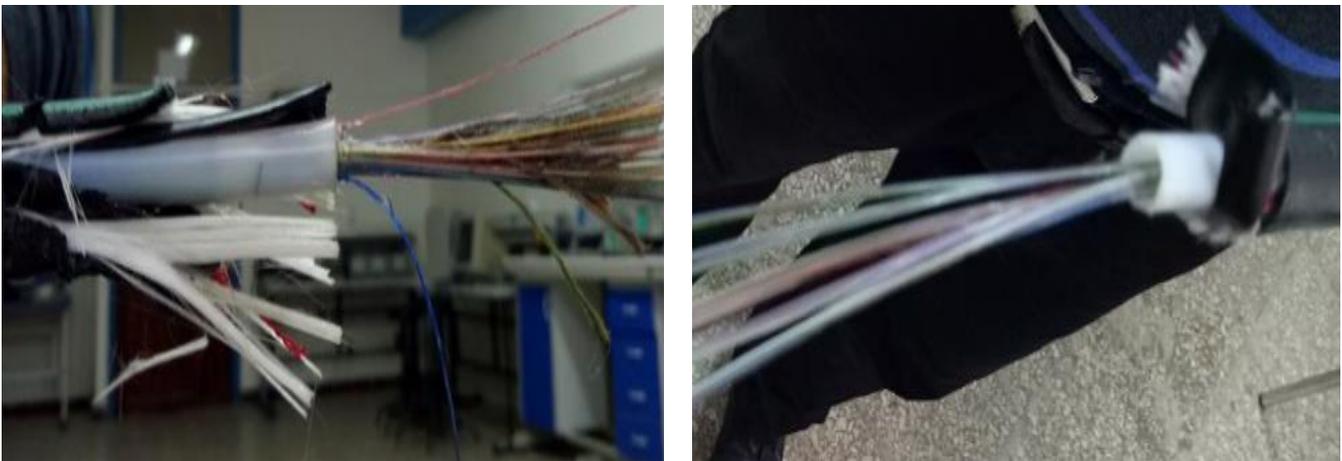
- Gaine extérieur de diamètre 1.5 cm.
- Gaine intérieur de diamètre 1.2 cm.
- Six gaines blanches pour la protection le diamètre de chacune est de 3 mm
- Gaine bleu de diamètre 3 mm contenant les 4 brins de fibre optique (bleu, vert, marron et orange), dont le diamètre de chaque brin est de 250  $\mu\text{m}$ .
- On peut avoir avec ce type de câble : soit 2 liaisons en émission et 2 en réception ; soit une liaison principale et l'autre de secours. (Voir figure III.23).



**Figure III.23 : Câble semi-rigide à 4 brins de fibres optiques.**

#### 7.4. Câble semi-rigide à 64 brins : avec les caractéristiques suivantes :

- Gaine extérieur de diamètre 1.6 cm.
- Gaine intérieur de diamètre 1.2 cm.
- Gaine intérieur blanche de diamètre 1 cm.
- 64 brins de fibre optique de plusieurs couleurs, le diamètre de chacun est de 250  $\mu\text{m}$ .
- Six gaines blanches pour la protection, le diamètre de chacune est de 3 mm
- liaisons possible avec ce type de câble : soit 32 liaisons en émission et 32 en réception ; soit 16 liaisons principales et 16 liaisons de secours. (Voir figure III.24).



**Figure III.24** : Câble semi-rigide à 64 brins de fibre optique

### 8. Préparation d'une terminaison de fibre optique à l'aide du dispositif BFT1

#### 8.1. Présentation des étapes d'utilisation du BFT1

Le dispositif BFT1 (Bare Fiber Terminator) permet de relier la fibre optique monomode (référence P1\_SMF28-FC-1) à un connecteur FC. (Voir figure III.25).



**Figure III.25** : Bare Fiber Terminator (BFT1) de THORLABS

On peut insérer dans ce dispositif des gaines de  $\text{Ø}125 \mu\text{m}$  à  $\text{Ø}1400 \mu\text{m}$ . Pour faire cette opération, nous devons respecter les étapes suivantes :

Étape 1: Nous insérons l'extrémité du manchon métallique de 5,5 mm dans le BFT 1. Nous pivotons le connecteur dans le trou du BFT1 jusqu'à ce que la clé et le connecteur s'alignent, le connecteur doit maintenant être fixé magnétiquement. Pour un soutien supplémentaire, le connecteur peut être verrouillé en serrant la visse de fixation sur le côté du BFT1 à l'aide d'une clé hexagonale de 1,3 mm. (Voir figure III.26).



**Figure III.26** : Etape « 1 » de la terminaison

Étape 2 : Nous devons dénuder la fibre et la nettoyer, comme le montre la figure (III.27).



**Figure III.27** : Etape « 2 » de la terminaison

Étape 3 : En appuyant sur le levier activé par le ressort, nous alimentons lentement la fibre à travers le BFT1 du côté de la pince jusqu'à ce que la fibre traverse à la fois le BFT1 et la fêrle du connecteur. On relâche la pince pour fixer la fibre en position. (Voir figure III.28).



**Figure III.28** : Etape « 3 » de la terminaison

Étape 4: Enfin, tout en appuyant sur le levier, on tire doucement sur la fibre jusqu'à ce que l'extrémité de la fibre affleure l'extrémité de la férule. On relâche le levier pour fixer la fibre en position. (Voir figure III.29).



**Figure III.29** : Etape « 4 » de la terminaison

### 8.2. Mesure de l'affaiblissement de la terminaison avec le BFT1

On réalise le montage suivant en reliant les deux extrémités de la fibre avec le testeur de perte optique d'une extrémité, et le wattmètre optique avec l'autre extrémité connectée au terminateur BFT1. (Voir figure III.30).



**Figure III.30** : Mesure de l'affaiblissement en utilisant le terminateur BFT1

On appliquant la méthode de calcul de l'affaiblissement :  $A = 10 \log_{10} \frac{P_e}{P_s}$

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :  $P_e(\text{dBm}) = 10 \log_{10} P_e(\text{mW})$

$$-5.97 \text{ dBm} = 10 \log_{10} P_e(\text{mW}) \Rightarrow \log_{10} P_e(\text{mW}) = -0.597 \Rightarrow P_e(\text{mW}) = 10^{-0.597}$$

$$P_e = 0.252 \text{ mW}$$

$$P_s(\text{dBm}) = 10 \log_{10} P_s(\text{mW})$$

$$-11.02 \text{ dBm} = 10 \log_{10} P_s(\text{mW}) \Rightarrow \log_{10} P_s(\text{mW}) = -1.102 \Rightarrow P_s(\text{mW}) = 10^{-1.102}$$

$$P_s = 0.079 \text{ mW}$$

$$A = 10 \log_{10} \frac{0.252}{0.079}$$

$$A = 5.03 \text{ dB}$$

### Remarque :

Une meilleure puissance de sortie doit être de l'ordre de -6 dBm ; et l'affaiblissement de l'ordre de 0.6 dB. Dans notre terminaison avec le BFT1 la puissance de sortie est de -11 dBm ce qui a donné un affaiblissement de l'ordre de 5 dB. Celui-ci est dû peut-être à un mauvais clivage de la fibre.

## 9. Soudure et fusion de la fibre optique

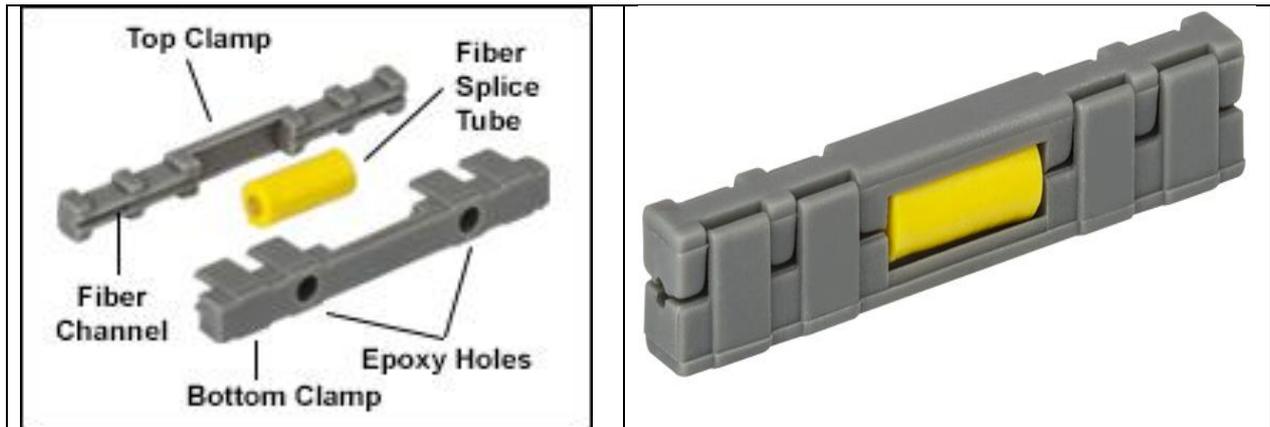
### 9.1. Fusion automatique

Pour minimiser les pertes de connexion entre fibres optiques, on utilise des fusions automatiques à l'aide des fusionneuses qui présentent des pertes presque nulles qui avoisinent 0.01 dB. Avec une fusionneuse on peut aussi vérifier la qualité de clivage de la fibre optique à l'aide du zoom intégré dans la fusionneuse, généralement de l'ordre de 250x.

### 9.2. Réalisation d'une épissure mécanique pratiquement à l'aide d'un joint mécanique

Le joint mécanique est un support d'épissure mécanique de précision qui permet de raccorder deux fibres sans réaliser de fusion. C'est une solution adaptée aux interventions rapides sur les réseaux de transport. Le joint mécanique de thorlabs présente les caractéristiques suivantes :[13]

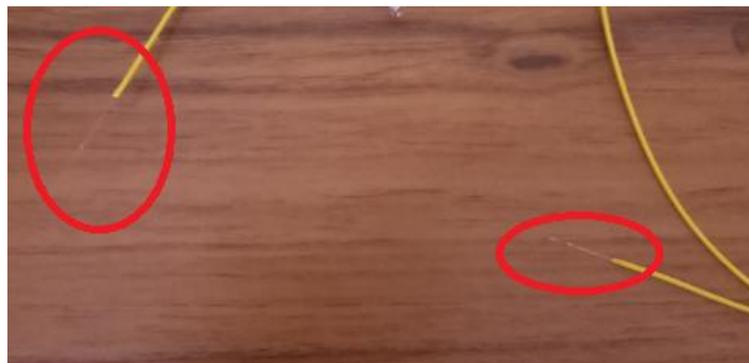
Épissage de deux fibres monomodes ou multimodes avec des tailles de revêtement comprises entre Ø125 µm et Ø140 µm. La section la plus proche du tube d'épissure de fibre jaune est Ø250 µm pour accueillir le revêtement de fibre, tandis que les sections extérieures sont Ø900 µm. Chaque épissure est préchargée avec un gel d'adaptation d'indice, garantissant une perte d'épissure moyenne de 0,2 dB. (Voir figure III.31).



**Figure III.31 : Joint mécanique de thorlabs**

Nous devons respecter les étapes suivantes pour réaliser une meilleure épissure mécanique.

Étape 1 : On doit dénuder, nettoyer et cliver les deux fibres à épisser. Environ 14 mm de fibres dénudées devraient être présentes à chaque extrémité après le clivage. (Voir figure III.32).



**Figure III.32 : Etape « 1 » de l'épissure mécanique**

Étape 2 : On Sépare les pièces en plastique gris du tube de fibre jaune. (Voir figure III.33).



**Figure III.33 : Etape « 2 » de l'épissure mécanique**

Étape 3 : On insère les fibres à épisser dans les petits trous à l'extrémité du tube de fibre jaune (voir la figure III.34). Lorsque la fibre est fermement à l'intérieur du canal d'épissure, elle commence à résister au mouvement.



**Figure III.34** : Etape « 3 » de l'épissure mécanique

Étape 4 : On réassemble les pièces de coquille grise pour la stabilité mécanique (voir la figure III.35). On assure que la fibre est placée dans la rainure de la pièce à clapet à sa sortie du tube jaune.



**Figure III.35** : Etape « 4 » de l'épissure mécanique

## 10. Techniques de polissage des connecteurs optiques

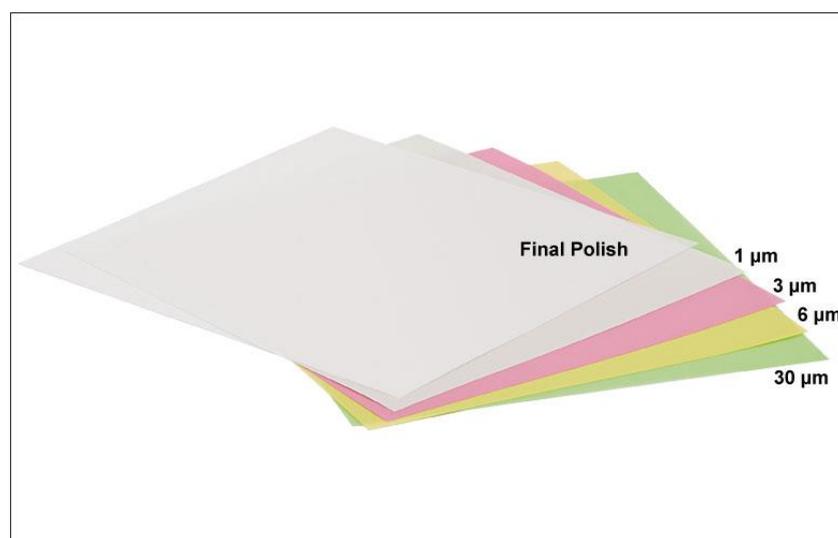
Les disques de polissage de férule, offrent une plateforme pratique et sûre pour polir uniformément les férules nues. Chaque disque comprend un gabarit qui sert à régler la profondeur de la férule et une visse de fixation qui maintient fermement la férule dans le disque. Pour l'utiliser, on place le disque sur le gabarit, mettons la férule en place et on serre la visse de fixation avec la clé hexagonale de 0,050 pouce incluse. [14] (voir figure III.36).



**Figure III.36** : Disque de polissage D50-FC de thorlabs

Il existe des feuilles de rodage (polissage) pour polir un connecteur après que la fibre ait été époxydée dans la fêrle céramique. La feuille de polissage est composée de minuscules particules collées sur un substrat. En déplaçant le connecteur sur la feuille de polissage, l'excès de matériau est éliminé et l'extrémité de la fibre est polie. Différentes qualités de feuilles de polissage sont utilisées dans des cycles de polissage successifs. Chaque cycle de polissage utilise un papier abrasif plus fin.

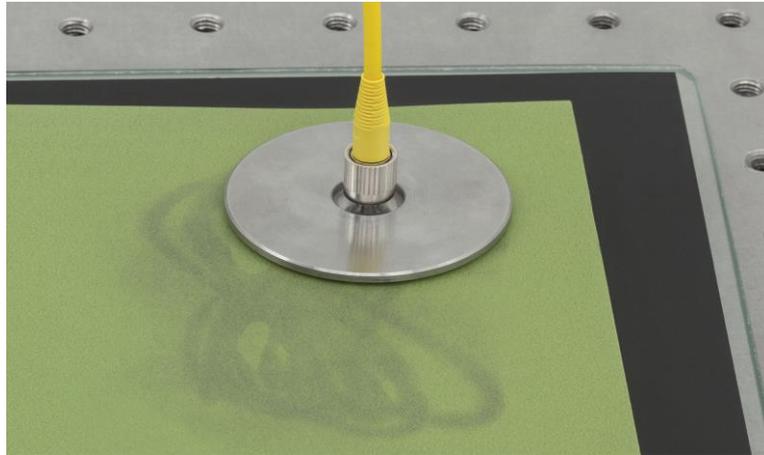
Un procédé de polissage en cinq étapes: dans les quatre premières étapes on utilise des feuilles de diamant dans quatre tailles de grain différentes de 30, 6, 3 et 1  $\mu\text{m}$ , et dans la cinquième on utilise des feuilles de polissage finales ayant une granulométrie de 0,02  $\mu\text{m}$ . Pour l'utiliser, on dépose de l'eau distillée sur la feuille et polir en huit en utilisant un disque de polissage appropriée. (Voir figure III.37)



**Figure III.37** : Papier de polissage LF1D de thorlabs avec ses différents types

- **Polissage à 30  $\mu\text{m}$**

On place une feuille de polissage de 30  $\mu\text{m}$  sur la plaque de verre ou la plaque de verre plus un tampon de polissage en caoutchouc. Sans appliquer de pression à la baisse, on commence à polir la fibre dans un schéma en huit (en dessinant un motif 8 sur la feuille), comme le montre la figure III.38.



**Figure III.38** : Polissage d'un connecteur FC / PC avec un papier de polissage de 30  $\mu\text{m}$  sur le tampon de polissage

On reprend les mêmes procédures de polissage avec tous les autres feuilles de polissage allant de 6 $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  jusqu'à la dernière feuille de polissage de 0.02  $\mu\text{m}$ .

En changeant à chaque fois le papier de polissage on assure le nettoyage de la plaque de polissage et le disque de polissage avec de l'alcool isopropylique et un chiffon non pelucheux imbibé d'alcool.

La figure II.39, montre un connecteur non poli, un autre partiellement poli, et complètement poli. Allant de la gauche vers la droite.



**Figure III.39** : Trois connecteurs FC / PC, de gauche à droite, montrant une fibre non polie, partiellement polie et complètement polie

## 11. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître : la fibre optique monomode **P1-SMF-28-FC-1**

De thorlabs avec ces différentes caractéristiques (ouverture numérique, diamètre des gaines protectrices, diamètre de champ de mode, type de connecteur...) ; les appareils de mesure et de test ANRITSU avec leurs caractéristiques techniques.

Les opérations de dénudage, nettoyage, clivage... ainsi les différents câbles (souple ou semi-rigide) pour les réseaux de transport en fibre optique.

Connection temporaire de la fibre optique avec le terminateur BFT1 de thorlabs et la mesure de l'affaiblissement.

Cette partie nous a donnée l'opportunité pour incarner nos connaissances théorique sur la fibre optique d'une manière pratique, afin de mieux apprendre manipuler les outils, comme étant nous sommes des futurs ingénieurs en télécommunications, qui vont plus tôt entamer la vie professionnelle.

### **Bibliographie chapitre**

- [1] Laurie Gordon (30 septembre 2013). "Focus sur la forme physique au cœur de Thor Labs". Le Sparta Indépendant. Récupéré le 23 février 2015.
- [2] Gale Business Insights (Rapport). Grand vent. 2015. Document n ° 565502.
- [3] Kathy Stevens (4 octobre 2010). "Thorlabs décolle à Newton". Le New Jersey Herald. Récupéré le 4 mars 2014.
- [4] Oliver Graydon (June 18, 2004). "European acquisitions fuel appetite for growth". Optics.org. Retrieved February 24, 2015.
- [5] Scruton, Bruce A. (24 mars 2012). "Newton accueille Thorlabs". KWWL. Récupéré le 23 février 2015.
- [6] Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay ; réalisé par le Dr :Florian PREVOST « combinaison cohérente dans une fibre optique multicoeurs pour des application Lidar », 2015.
- [7] [https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=1362&pn=P1-SMF28E-FC-1](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1362&pn=P1-SMF28E-FC-1), du site officiel thorlabs, caractéristique du câble P1-SMF28E-FC-1, 2018

[8] [https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/CMA5\\_E1500.pdf](https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/CMA5_E1500.pdf), catalogue pdf (optical loss tester CMA5) d'ANRITSU, consulté en 2018.

[9] <https://www.blackbox.fr/> perte d'insertion, avril 2018

[10] [https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/CMA5\\_E1500.pdf](https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/CMA5_E1500.pdf), catalogue pdf (optical power meter CMA5) d'ANRITSU, consulté en 2018

[11] [https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=354&pn=G608N3#357](https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=354&pn=G608N3#357), du site officiel du fabricant thorlabs, gel d'adaptation G608N3, Copyright 1999-2018 Thorlabs, Inc.

[12] <http://www.infractive.fr/445-cliveuse-sumitomo-fc6rsc-info.html>, Infractive © 2014 réalisation Aditik.

[13] [https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=354](https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=354); du site officiel du fabricant thorlabs, disque de polissage D50-FC, Copyright 1999-2018 Thorlabs, Inc.

[14] [https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=1350&pn=D50-FC#323](https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1350&pn=D50-FC#323); du site officiel du fabricant thorlabs, joint mécanique TS126, Copyright 1999-2018 Thorlabs, Inc.

## **Conclusion générale**

La réalisation de ce projet a comporté trois étapes clés qui nous ont amené aux conclusions suivantes :

Dans la première étape de ce travail, nous avons décrit des généralités sur les fibres optiques, en passant par une structure générale de la fibre optique, les différents types et leurs classifications, les caractéristiques, ainsi les avantages et les inconvénients présentés par les fibres optiques en citons aussi leurs performances.

On sort du chapitre 1 que la transmission par fibre optique subie certaines limitations, comme les effets dispersifs, qui dégradent les performances des transmissions, parmi ces effets, on cite la Dispersion Modale de Polarisation (PMD) qui se traduit par un élargissement temporel des signaux lié à la dépendance de la vitesse de groupe à la polarisation. La PMD reste le facteur majeur limitant le débit de transmission sur les fibres monomodes, alors que la dispersion chromatique est parfaitement gérée par les techniques de compensation (exemple : DCF).

Dans le second chapitre, on a présenté les caractéristiques de la fibre monomode avec ses différents types, ainsi les types de connecteurs optiques et leurs techniques de polissage. Nous avons aussi présenté les techniques de maintenance de la fibre optique telle que : le clivage, l'épissure et la soudure optique.

La dernière étape de ce travail a consisté à réaliser une partie expérimentale, en effectuant différentes opérations sur des types spécifiques de fibres monomodes du géant américain THORLABS, tel que le dénudage, le nettoyage, le clivage en utilisant plusieurs outillages. Nous avons aussi mesuré les pertes d'insertion optiques à l'aide des équipements de mesure.

Dans la deuxième partie de ce dernier chapitre, nous avons placé un connecteur monomode temporaire à une fibre monomode de 900  $\mu\text{m}$  à l'aide d'un équipement de terminaison (BFT1). Les pertes d'insertion obtenues étaient considérables à cause éventuellement d'un mauvais clivage de la fibre et/ou d'un mauvais alignement du cœur dans la férule.

**Liste des acronymes**

<b>A</b>	<b>APVD</b>	Advanced Plasma and Vapour Deposition
	<b>APC</b>	Angled Physical Contact
<b>B</b>	<b>BFT</b>	Bare Fiber Optic Terminator
<b>D</b>	<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplexing
	<b>DSF</b>	Dispersion Shifted Fiber
<b>F</b>	<b>FC</b>	Ferrule Ceramic
<b>L</b>	<b>LC</b>	Little Connector
	<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>M</b>	<b>MFD</b>	Mode Field Diameter
	<b>MCVD</b>	Modified Chemical Vapor Deposition
	<b>MMF</b>	Multi-Mode Fiber
<b>N</b>	<b>NZDF</b>	Non Zero Dispersion Fiber
	<b>NZ-DSF</b>	Non Zero-Dispersion Shifted Fiber
<b>O</b>	<b>ON</b>	Ouverture Numérique
	<b>OVD</b>	Outside Vapor Deposition
	<b>OTDR</b>	Optical Time-Domain Reflectometer
<b>P</b>	<b>PON</b>	Passive Optical Network
	<b>PC</b>	Physical Contact
	<b>PCVD</b>	Plasma chemical vapor deposition
	<b>PEHD</b>	Polyéthylène Haute Densité
<b>R</b>	<b>RL</b>	Return Loss
<b>S</b>	<b>ST</b>	Straight Tip
	<b>SMA</b>	SubMiniature version A
	<b>SMF</b>	Single Mode Fiber
	<b>SiO2</b>	Dioxyde de Silicium
<b>U</b>	<b>UIT</b>	Union International de telecommunications
	<b>UPC</b>	Ultra Physical Contact
<b>V</b>	<b>VFL</b>	Visual Fault Locator(localisateur visuel de défauts)
	<b>VAD</b>	Vapor Axial Deposition
<b>W</b>	<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing

# Glossaire optique

## PRÉAMBULE

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

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

## A

**Absorption (Absorption) :** Une des composantes de l'atténuation linéique d'une fibre. Phénomène de diminution de l'intensité lumineuse dans le cœur de la fibre plus ou moins important selon la longueur d'ondes utilisée, dû à la présence d'impuretés ou d'ions OH- (traces d'humidité).

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

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

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

**Angle d'Acceptance (Acceptance Angle) :** Angle d'incidence de la lumière dans une fibre sous lequel la réflexion totale est possible. Dans ce cas, la lumière est guidée par la fibre.

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

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

**Alcool :**

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

**B**

**Bande Passante (Bandwidth) :** La bande passante d'une fibre optique est définie comme étant la fréquence maximum de transmission en MHz pour laquelle le signal transmis subit un affaiblissement de 3dB. Plus la bande est large plus la capacité à supporter des transmissions hauts débits sera importante. Elle s'exprime en MHz/km voire en GHz/km. Elle dépend de la longueur d'ondes de transmission, des paramètres physiques de la fibre (diamètre de cœur, matériaux...).

**C**

**Capuchon :** Pièce qui sert à protéger des chocs, des poussières et des pollutions.

**Ciseaux Kevlar® :** Paire de ciseaux à crans ou céramiques, permettant la coupe aisée des porteurs aramide (Kevlars®), présents dans les câbles mono et multi fibres.

**D**

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

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

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

**Diffusion de Rayleigh\* (Rayleigh Scattering) :** Phénomène provenant d'hétérogénéité du matériau du cœur d'une fibre et donc de son indice de réfraction. Ce phénomène entraîne :

1. Une partie prépondérante des pertes linéiques des fibres modernes.
  2. Un effet dit de rétrodiffusion pour la partie d'énergie réfléchi vers la source d'émission.
- Ce phénomène est utilisé pour la technique de mesure par réflectométrie.

\*Rayleigh : physicien britannique (Langford Grove, près de Maldon, Essex, 1842 - Terling Place, Witham, Essex, 1919). Il a déterminé les dimensions de certaines molécules, grâce à l'étude des couches minces mono moléculaires, donné une valeur du nombre d'Avogadro, découvert l'argon avec Ramsay (1894) et étudié la diffusion de la lumière et le bleu du ciel. (Prix Nobel 1904.) @ Larousse 1996.

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

- 1- Dispersion Modale ou Intermodales (Modal Dispersion) :** Due aux parcours différents effectués par les différents modes d'une fibre multimode.
- 2- Dispersion Chromatique (Chromatic Dispersion) :** Due à la dépendance entre longueur d'ondes et indice de réfraction. Elle se traduit par une différence de vitesse de propagation. L'effet est surtout prépondérant dans les fibres monomodes, où son influence est aussi fonction de la largeur spectrale de la source lumineuse utilisée. S'exprime en ps / nm / km.
- 3- Dispersion (Chromatique) Décalée (Dispersion Shifted) :** Une fibre à dispersion décalée est une fibre construite telle que la zone où la dispersion chromatique est minimale, normalement située vers 1300nm est décalée vers 1550nm. Ceci pour bénéficier tout à la fois de l'atténuation minimum et de la bande passante maximum.
- 4- Dispersion par Mode de Polarisation :** Concerne les fibres monomodes, elle est due à la différence de temps de propagation entre deux modes orthogonaux sur une liaison longue. La mesure est spécifiée en picoseconde par racine de kilomètre (ps / km<sup>0.5</sup>).

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

**Détubage :** Opération consistant à couper le tube de protection entourant une ou plusieurs fibres en procédant de telle sorte que la ou les fibre(s) dépasse(nt) du tube d'une certaine longueur.

## E

**Épissure (Splice) :** - Fusion : Résultat d'une technique d'épissage (arc électrique, plasma ...) dans laquelle le raccordement permanent des deux fibres en position centrée s'effectue sous l'effet d'une chaleur intense. - Mécanique : pièce dans laquelle le raccordement permanent des deux fibres en position centrée s'effectue grâce à des techniques «mécaniques» diverses : sertissages, collages ...

## F

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

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

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

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

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

- **FTTb (Fiber To The building)** : Jusqu'au pied de bâtiment.
- **FTTc (Fiber To The curb)** : Jusqu'au Trottoir,
- **FTTh (Fiber To The home)** : Jusqu'au domicile de l'abonné final.

## G

**Gel d'Indice** : Matériau adaptateur de l'indice de réfraction (indice propre proche de celui de la silice, 1465), utilisé dans certains connecteurs, borniers, ou certaines épissures mécaniques, inséré entre deux faces optiques afin de diminuer l'effet de désadaptation air-silice provoquant les réflexions de Fresnel. Ce matériau se présente sous la forme d'un gel graisseux type silicone et doit être appliqué avec l'outil approprié.

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

## I

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

- **du cœur d'une fibre** : noté  $n_1$  d'une valeur plus grande que celle de  $n_2$
- **de la gaine optique d'une fibre** : noté  $n_2$

## L

**Longueur d'Onde (Wavelength)** : Mesure de l'oscillation d'une onde. Définie comme: Vitesse de l'onde divisée par sa fréquence. Elle est représentée par le symbole  $\lambda$  (Lambda) et exprimée en unité de longueur ( $\mu\text{m}$  ou  $\text{nm}$ ).

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

## M

**Mode Fondamental :** Noté HE 11 ou LP 01 pour Linéairement Polarisé. Seul mode guidé dans une fibre satisfaisant à l'équation dans laquelle la fréquence normalisée V devient inférieure à une valeur de 2,405.

## O

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

$$\text{O.N} = \sin(\theta) = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{avec } n_0 \text{ indice du milieu, pour l'air} = 1).$$

## P

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

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

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

## R

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

**Revêtement Secondaire :** Revêtement appliqué directement sur le revêtement primaire pour renforcer la protection de la fibre optique pendant son maniement.

**Réfectance - Affaiblissement :** Rapport de la puissance réfléchi sur la puissance incidente de réflexion exprimé en dB. La puissance réfléchi est liée aux événements Affaiblissement

d'onde existants le long d'une ligne. La maîtrise du paramètre réflectance sera particulièrement importante dans les réseaux monomodes (exemples : télévision par câble FO (réflectance meilleure que 60dB)). Ce paramètre est mesuré au niveau du réflectomètre par analyse du Pic de réflexion produit par un évènement.

**Réflectomètre Optique OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) :** Un réflectomètre est un appareil de mesure destiné à analyser la réponse de la fibre optique afin de qualifier: l'affaiblissement, la linéarité, les pertes d'insertion, les épissures, les soudures, la longueur et la localisation des défauts des fibres optiques, d'en déduire la réflectance. La méthode de mesure est basée sur la technique de rétrodiffusion ou de réflectométrie optique dans le domaine temporel. Les réflectomètres sont différenciés suivant qu'ils sont destinés à mesurer des fibres optiques monomodes ou multimodes. Dans la plupart des cas le réflectomètre est spécifié pour une longueur d'ondes déterminée, mais beaucoup d'appareils peuvent s'adapter à plusieurs longueurs d'ondes par des tiroirs interchangeables.

## T

**Tolérance sur le Diamètre du Cœur/gaine :** Écart maximal admissible par rapport à la valeur nominale du diamètre du cœur/ou gaine

## U

**UIT-T (ex CCITT) :** Union Internationale des Télécommunications - Organisme international chargé de préconiser les principes d'interconnexion d'équipements de télécommunications.

## ☞ Résumé ☞

☞ Dans ce mémoire, une étude théorique et pratique a été faite sur les fibres optiques monomodes en passant par leurs caractéristiques physiques et optiques. A l'aide de la valise de préparation de fibre et les appareils de mesure, nous avons approfondi nos connaissances, pratiquement, sur les étapes de dénudage, clivage, connectique, et évaluation de performances de la fibre monomode du fabricant thorlabs.

**Mots clés :** fibres optiques monomodes, connecteur optique, clivage, dénudage, épissure mécanique, puissance optique, perte d'insertion.

## ☞ Abstract ☞

☞ In this graduated note, a theoretical and practical study has been made on monomode optical fibers passing through their physical and optical characteristics. Using the fiber preparation case and measuring devices, we have deepened our knowledge, practically, of the stripping, cleaving, connection, and performance evaluation steps of the single-mode fiber of the thorlabs manufacturer.

**Key words :** single mode optical fibers, optical connector, cleavage, stripping, mechanical splice, optical power, insertion loss.

## ☞ ملخص ☞

☞ مذكرة التخرج تضمنت دراسة نظرية وتطبيقية على ألياف بصرية أحادية النمط، من خلال التطرق إلى خصائصها الفيزيائية والبصرية. باستخدام حقيبة للمعدات وأجهزة القياس، قمنا بتعميق معرفتنا، عمليا، لخطوات تجريد، تشقق، اتصال، وتقييم فعاليات الألياف أحادية النمط المصنعة في شركة "طورلابس".

**الكلمات المفتاحية :** ألياف بصرية أحادية النمط، موصل بصري، قطع، تجريد، لصق ميكانيكي، استطاعة الألياف البصرية، خسارة الإدراج.