

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -

Tlemcen – Université Aboubakr Belkaïd –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MÉMOIRE

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

*En : Télécommunications*

**Spécialité : Systèmes de Télécommunications**

**Par: Mr. CHENOUF MOHAMMED WALAA EDDINE**

**Mr. BOUHAFS MAHMOUD**

**Sujet**

**Réalisation d'un multiplexeur/routeur optique.**

Soutenu, le 4 Juillet 2021, devant le jury composé de :

Mr. CHIKH-BLED Mohammed El Kebir	Prof. Université de Tlemcen	Président
Mme DJELTI Hamida	MCB. Université de Tlemcen	Examineur
Mr. KARIM Fethallah	Prof. Université de Tlemcen	Encadreur

*Année universitaire 2020/2021*

---

**Résumé** Le présent projet consiste à réaliser pratiquement, au niveau du laboratoire de télécommunications de la faculté de technologie, un multiplexeur/routeur optique à base de coupleurs et atténuateurs. Pour se faire, il est procédé par une étude pratique sur les différents coupleurs (2x2) de type 50/50, 99/1 et un splitter 1x4. En guise de travail préliminaire, nous avons évoqué une étude pratique sur les caractéristiques techniques des fibres monomodes, les opérations de dénudage, le clivage, la fusion automatique et l'évaluation de son bilan de puissance ainsi que la qualité intrinsèque de liaison.

**Mots Clés :** Fibre optique, multiplexage, routage, clivage, dénudage, fusion, atténuation, puissance, pertes d'insertion, coupleurs, atténuateurs.

**Abstract** This project consists of realizing practically, within the telecommunication laboratory of Faculty of Technology, a multiplexor/optical router based on couplers and attenuators. To do this, we proceed from a practical study on various couplers-types (50/50, 99/1 and a splitter 1x4). As a preliminary work, it has been considered a study on both the technical characteristics of single-mode fibers, stripping operations, the cleavage, automatic fusions, and the link quality evaluation.

**Keywords:** Optical Fiber, Multiplexor, Router, Cleavage, Stripping, Fusion, Attenuation, Power, Insertion Loss, Couplers, Attenuators.

## الملخص

يتكون المشروع الحالي من إنتاج عملي ، على مستوى معمل الاتصالات في كلية التكنولوجيا ، معدد / موجه ضوئي يعتمد على قارنات ومخففات. للقيام بذلك ، يتم إجراء دراسة عملية على قارنات مختلفة (2 × 2) من النوع 50/50 ، و 1/99 وموزع 1 × 4. كعمل تمهيدي ، ناقشنا دراسة عملية حول الخصائص التقنية للألياف أحادية الوضع ، وعمليات التجريد ، والانقسام ، والصهر التلقائي ، وتقييم توازن قوتها بالإضافة إلى الجودة الجوهرية للرابط.

الكلمات المفاتيح

الألياف البصرية، الانقسام ، التجريد ، الانصهار ، التوهين ، الطاقة ، فقدان الإدراج ، المقرنات ، Multiplexor ، Router ، المخففات.

---

## Dédicaces

*Je dédie ce travail à ma raison de vivre mes parents Omar et Nadia, je voudrais vous honorer à travers ce simple effort et je vous promets que je n'arrêterai pas le succès. Et vos joies, je vous souhaite bonne santé et longue vie. Et à mes grands-mères, à mes chers frères Nabil et Abderrahmane, et ma chère tante Souheyla.*

*À ma famille élargie, mes oncles. À tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin.*

*À mes amis et compagnons : Abdelkader , Abdelhakim, Islam, Ilyas, Younes, Ibrahim, et Mahmoud.*

*Walaa Eddine.*

*J'adresse mes sincères remerciements À mes chers parents qui n'ont jamais cessés de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*À mes grandes sœurs et mes frères Issam et Adel A toute ma famille à mon cousin youcef.*

*À mes amis(es) :Bounakhala zakaria, chenouf walaa, Bensahnoune djamel Eddine et sans oublier Otmani narimmène.*

*À mon héros I want to dedicate this work to the professor BOUHAFS Benamer, the father and the role model who supported me through my career financially and emotionally. THANK YOU FOR BEING THERE.*

*Bouhafis Mahmoud.*

---

## Remerciements

*Nous remercions tout d'abord le grand Dieu, la miséricorde pour arriver à l'achèvement de ce modeste travail de mémoire.*

*Nous exprimons nos gratitudees à Monsieur CHEIKH Bled Mohammed El Kebir, Professeur à la Faculté de Technologie (Université de Tlemcen) d'avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce présent travail.*

*Nous tenons de plus à exprimer nos plus vifs remerciements à Mme DJELTI Hamida, Maître de Conférence à la Faculté de Technologie (Université de Tlemcen) de nous avoir fait l'honneur d'accepter l'examen de notre travail.*

*Nos reconnaissances particulières à notre encadreur Monsieur Fethallah Karim, Professeur à la Faculté de Technologie (Université de Tlemcen) pour ses valeureux conseils et suggestions avisés qui nous ont permis d'avancer et à mener à bien ce travail.*

---

## Sommaire

<b>Résumé .....</b>	<b>2</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre I : .....</b>	<b>2</b>
Généralités sur fibre optique .....	2
<b>1.1. Introduction .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Définition d'une liaison par fibre optique .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Emetteur optique .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Source optique.....</b>	<b>4</b>
1.3.1.1. Diodes électroluminescentes (DEL) .....	4
1.3.1.2. Les diodes laser DL .....	5
<b>1.3.2. La différence entre la diode DEL et la diode DL.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Modulateurs .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1. Modulation directe.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2. Modulation externe.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.3. Comparaison .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5. Récepteur optique .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.1. Les photodiodes PIN .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.2. Les photodiodes à avalanche (PDA).....</b>	<b>8</b>
<b>1.6. Fibre optique .....</b>	<b>9</b>
<b>1.6.1. Différentes catégories de fibres optiques.....</b>	<b>10</b>
1.6.1.1. Fibres multi-modes.....	11
1.6.1.2. Fibres monomodes .....	13
<b>1.7. Principe de guidage dans les fibres.....</b>	<b>13</b>
<b>1.8. Avantages et Inconvénients .....</b>	<b>15</b>
<b>1.8.1. Avantages.....</b>	<b>15</b>
<b>1.9. Différents effets sur la transmission optique .....</b>	<b>16</b>
<b>1.9.1. Effets linéaires.....</b>	<b>16</b>

1.9.1.1. Atténuation .....	16
1.9.1.2. Amplification optique .....	18
1.9.1.3. Effet de dispersion .....	18
<b>1.10. Conclusion.....</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre II :.....</b>	<b>22</b>
<b>Notions de base sur le multiplexage (principe et fonctionnement) .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Introduction .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Principe et Intérêt du multiplexage.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Les différents types de multiplexages .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1. Le multiplexage temporel (en temps) (TDM : Time Division Multiplexing) .....</b>	<b>24</b>
2.3.1.1. Optique(OTDM).....	25
2.3.1.2. Electronique(ETDM) .....	26
<b>2.3.2. Multiplexage fréquentiel(FDM) .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.4. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) .....</b>	<b>28</b>
2.3.4.1. Fonctionnement.....	29
<b>2.3.5. Différents composants d'un système WDM .....</b>	<b>30</b>
.....	30
2.3.5.1. Les multiplexeurs/démultiplexeurs.....	31
2.3.5.2. Multiplexage à réseau de diffraction .....	31
2.3.5.3. Convertisseurs optiques .....	31
<b>2.4. Switch optique .....</b>	<b>32</b>
2.4.1.1. Switch Laser Components.....	32
2.4.1.2. Switch MEMS Sercalo à verrouillage monomode 1x2, 2x1-2x2 .....	33
2.4.1.4. Switch O/E Land Inc mono/multimode-1x2.....	34
2.4.1.5. Switch Oplink à fibres OFMS monomode 1x1 1x2 - 2x2 Add/Drop.....	36
2.4.1.6. Switch Agiltron Light Bend PM 1x1, 1x2 .....	37
2.4.1.7. Switch à fibres F-SM19 acousto-optique de Sentronic 1x9 .....	38
2.4.1.8. Switch MEMS DiCon monomode (Add/Drop) 2x2 .....	39
2.4.1.9. Switch MEMS DiCon monomode 1xN .....	40
2.4.1.10. Switch Light Wave Link Inc 2x2 .....	40
<b>2.5. L'unité optique du réseau (ONU) .....</b>	<b>41</b>
<b>2.5.1. Les différents types des unités optiques des réseaux .....</b>	<b>42</b>
2.5.1.1. FTTH ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV .....	42
2.5.1.2. Unité de réseau optique à port unique XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais, entièrement compatible avec GPON/EPON .....	44
2.5.1.3. ONU TM-0400P : .....	46
<b>2.6. Coupleur optique .....</b>	<b>48</b>

<b>2.6.1. Caractéristiques optiques:</b> .....	<b>48</b>
<b>2.6.2. Quelques types des coupleurs optiques</b> .....	<b>49</b>
2.6.2.1. COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE .....	49
2.6.2.2. COUPLEUR DIVISEUR INLINE .....	50
<b>2.7. Conclusion</b> .....	<b>51</b>
<b>Chapitre III :</b> .....	<b>54</b>
<b>Etude pratique sur un multiplexeur/Switch optique 2*2</b> .....	<b>54</b>
<b>Basé sur des atténuateurs optoélectroniques/mécaniques</b> .....	<b>54</b>
<b>3.1. Introduction</b> .....	<b>55</b>
<b>3.2. Caractéristiques géométriques de la fibre optique</b> .....	<b>56</b>
3.2.1. Schéma de la fibre SMF-28-FC-1 .....	57
3.2.2. Câble de raccordement à fibre optique monomode.....	57
3.2.3. Ouverture numérique d'une fibre.....	61
<b>3.3. Caractéristiques techniques des appareils de mesure</b> .....	<b>62</b>
3.3.1. Source laser/testeur de pertes optiques du fabricant ANRITSU .....	62
3.3.2. Wattmètre optique (Optical Power Meter).....	65
3.4.2. Procédure de mesure .....	67
<b>3.5. Etape de préparation la fibre optique</b> .....	<b>74</b>
3.5.1. Dénudage.....	75
3.5.2. Opération de Nettoyage d'une fibre optique .....	75
3.5.3. Le clivage de la fibre optique.....	76
3.5.4. Lancer l'opération de la soudure sur la soudeuse .....	77
3.5.5. Mesure de l'affaiblissement de la liaison .....	79
<b>3.6. Emploi (Etude) pratique sur le diviseur optique</b> .....	<b>80</b>
3.6.1. Les switches.....	80
3.6.2. Diviseur optique 1x4 (plc-1x4-sc/apc) .....	81
<b>3.7. Etude pratique sur Mesure par un multiplexeur/Switch 2 x 2 optique</b> .....	<b>84</b>
3.7.1. Mesure de l'affaiblissement d'un 1x2 Single mode coupler splitter .....	84
3.7.2. Un multiplexeur /switch optique 1x2 avec atténuateurs (Voir Fig.82) .....	89
3.7.3. Usage du multiplexeur /switch optique 1x2 avec des atténuateurs mécaniques .....	90
<b>3.8. Conclusion</b> .....	<b>93</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>95</b>

## Liste des figures :

Figure 1.Schéma synoptique d'un système de transmission optique. ....	3
Figure 2.Structure d'un émetteur optique.....	3
Figure 3.Spectre d'émission d'une DEL.....	4
Figure 4.Spectre d'émission d'une DL. ....	5
Figure 5.la différence entre DEL et DL. ....	5
Figure 6.Modulation directe. ....	6
Figure 7.Modulation externe. ....	7
Figure 8.Structure d'un émetteur optique.....	8
Figure 9.Photodiode PIN.....	8
Figure 10.Photodiode à avalanche PDA.....	9
Figure 11.Schéma d'une fibre optique.....	9
Figure 12.Diagramme de dispersion d'une fibre à saut d'indice.....	10
Figure 13.Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi-mode à saut d'indice. ....	12
Figure 14.Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi mode à gradient d'indice. .....	12
Figure 15.Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique.....	13
Figure 16.Guidage de la lumière dans la fibre optique.....	14
Figure 17.Profil puissance d'un signal optique se propageant dans une fibre présentant des pertes de 0.2 dB/km. ....	17
Figure 18.Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM. ....	24
Figure 19.Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales. ....	25
Figure 20.Réseau local à répartition temporelle.....	25
Figure 21.Schéma de principe du multiplexage ETDM dans les communications par fibre optique. ....	26
Figure 22.Exemple de multiplexage fréquentiel de trois canaux téléphoniques. ....	27
Figure 23.Illustration de la technique CDMA. ....	28
Figure 24.Le multiplexage en longueur d'onde.....	28
Figure 25.Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.....	29
Figure 26.Les différents composants d'un système WDM. ....	30
Figure 27.Commutateur électro-optique de LASER COMPONENTS.....	32
Figure 28.Commutateur mécano-optique de Sercalo. ....	33
Figure 29.Commutateur mécano-optique 1x1, 1x2 de Cubo. ....	34
Figure 30.Commutateur électro-optique 1x2 d'O/E Land. ....	35
Figure 31.Commutateur mécano-optique Oplink Add/Drop OFMS monomode.....	36
Figure 32.Commutateur mécano-optique Agiltron PM de la série LB 1x1 et 1x2.....	37
Figure 33.Commutateur acousto-optique de Sentronic.....	38
Figure 34.Commutateur MEMS monomode à Insertion/extraction 2x2.....	39
Figure 35.Commutateur MEMS DiCon monomode 1xN. ....	40
Figure 36.Commutateur LightWave Link Inc 2x2.....	40
Figure 37.Bloc fonctionnel de l'ONU selon la spécification G.982. ....	41
Figure 38.FTTN ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV.....	42
Figure 39.XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais.....	44
Figure 40. ONU TM-0400P. ....	46
Figure 41.Coupleur optique à technologie de fibre. ....	48
Figure 42.COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE.....	49
Figure 43.COUPLEUR DIVISEUR INLINE.....	50
Figure 44.Dimensions d'un coupleur 1x250/50SM avec connecteur SC/UPC. ....	51
Figure 45.Schéma de la fibre SMF-28-FC-1.....	57
Figure 46.Connecteur ST (Straight Tip).....	57

Figure 47. Configuration d'un connecteur SC à encliquetage (Square Connector ou Connector de Suscribor).	58
Figure 48. Connecteur FC (Ferrule Connector).	58
Figure 49. Connecteur LC.	59
Figure 50. Fibre optique monomode P1-SMF-28E-FC-1 du fabricant Thorlabs. [5].	61
Figure 51. Le guidage des rayons dans une fibre optique.	61
Figure 52. Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU.	62
Figure 53. Commandes de fonctionnement de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5.	63
Figure 54. Wattmètre optique (Optical Power Meter). [9].	65
Figure 55. Commandes de fonctionnement du wattmètre optique de la série CMA5. [9]	66
Figure 56 .optisystem.	68
Figure 57. Paramètres de CW laser.	69
Figure 58. Méthode expérimentale de mesure des pertes optiques d'insertion (FC/PC).	70
Figure 59. Appareillages de mesure des pertes optiques d'insertion (FC/PC).	71
Figure 60. Appareillage et mesure de pertes optiques d'insertion (SC/FC).	72
Figure 61. 1550 nm (SC/FC).	72
Figure 62. 1310 nm (SC/FC).	73
Figure 63. Matériel accessoire nécessaire pour opérer à une soudure optique.	74
Figure 64. Opération de dénudage d'une fibre.	75
Figure 65. Le nettoyage de la fibre optique.	76
Figure 66. Cliveuse FC-6RS-C Sumitomo.	76
Figure 67. Les étapes de clivage de la fibre optique.	77
Figure 68. La Soudeuse Fuijikura 22S.	77
Figure 69. L'alignement de la fibre optique dans la soudeuse.	78
Figure 70. L'affichage des pertes en (dB) sur l'écran.	78
Figure 71. La vue du manchon de protection.	79
Figure 72. Branchement pour la mesure de l'affaiblissement de la liaison.	79
Figure 73. Switche plc-1x4-sc/apc.	80
Figure 74. Vue du branchement pour l'affichage numérique des pertes évaluées par un diviseur optique.	81
Figure 75. Instrument d'affichage de la puissance d'émission (PE).	82
Figure 76. Appareillage pour l'affichage de la puissance (réception).	83
Figure 77. COUPLEUR DIVISEUR.	84
Figure 78. Coupleur optique 50 :50.	85
Figure 79. Montage de mesure des pertes d'un coupleur optique 50 :50.	86
Figure 80. Les puissances de réception chaîne (1/2).	86
Figure 81. Coupleur Optique 99 :1.	87
Figure 82. Vue du multiplexeur /switch optique 1x2.	89
Figure 83. Un multiplexeur /Switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques.	90
Figure 84. Vue des adaptateurs 120-FC (Thorlabs).	91

---

## Listes de tableaux :

Tableau 1.Caractéristiques générales des fibres uni-modales et multi-modes. ....	11
Tableau 2.Caractéristiques des modes WDM. ....	30
Tableau 3.Spécifications du Switch O/E Land mono/multimode-1x2.....	36
Tableau 4.Spécifications du Switch Agiltron Light Bend PM1x1, 1x2. ....	38
Tableau 5.Spécifications FTTH ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV. ....	43
Tableau 6.Spécifications XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais.....	45
Tableau 7.Spécifications ONU TM-0400P. ....	47
Tableau 8.Caractéristique optiques.....	48
Tableau 9.Spécifications COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE. ....	49
Tableau 10.Dimensions COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE. ....	50
Tableau 11.Caractéristiques techniques d'un coupleur 1x250/50SM avec connecteur SC/UPC.....	50
Tableau 12.Tableau récapitulatif des caractéristiques intrinsèques aux connecteurs setleurs. [4] .....	60
Tableau 13.Caractéristiques de la Source laser/testeur de pertes, model5LT35d'ANRITSU. [7].....	63
Tableau 14.Description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de lasérieCMA5. [8] .....	64
Tableau 15.Caractéristiques du wattmètre optique model 5P100delasérieCMA5. [9] .....	65
Tableau 16.Puissance (émission/réception), (FC/PC) (1mètre). ....	70
Tableau 17.Puissance (émission/réception), (FC/PC) (2mètre). ....	71
Tableau 18.Puissance (émission/réception), (SC/FC). ....	73
Tableau 19.Résultats de mesure des puissances (émission/réception) et l'affaiblissement.....	82
Tableau 20.Spécifications techniques. ....	85
Tableau 21.Dimensions spécifiques du coupleur diviseur.....	85
Tableau 22.Puissance d'émission et puissance de réception et L'affaiblissement du chaine (1) et (2). .....	87
Tableau 23.Comparaison entre 1*2 séparateurs de coupleur monomode et 2*2coupleur optique50:50....	87
Tableau 24.Puissance et pertes mesurées sur les sorties du coupleur. ....	88
Tableau 25.Mesure et Conversion de la puissance et pertes sur les sorties du coupleur.....	89
Tableau 26.les mesures de la puissance et les pertes du multiplexeur /Switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques. ....	91
Tableau 27.Résultats de mesure de la puissance.....	92

---

---

## *INTRODUCTION GENERALE*

Actuellement, avec le développement de la technologie de transmission de l'information, il est suscité beaucoup d'intérêts à l'implication des fibres optiques comme support de guidage (propagation à distance) et de contrôle de la lumière. Pour cette raison, l'étude pratique des caractéristiques techniques de fibre optique monomode a été évoquée dans ce mémoire.

Avant d'aborder cette phase précédente, il est présenté d'abord une description des éléments périphériques essentiels qui sont impliqués dans la conception des systèmes de transmission d'informations par fibre optique. Une telle étude est plus précisément orientée sur différents types de coupleurs (2X2) de type 50/50, 99/1 et un splitter 1X4.

En général, de telle conception se base sur un schéma fonctionnel qui se compose d'un dispositif d'entrée (le multiplexeur) en liaison (via une fibre optique) avec un autre dispositif de sortie (le démultiplexeur). Ainsi, le signal physique (la lumière cohérente) transporté le long de la fibre optique subira des opérations inverses par les deux dispositifs. Cependant, l'intérêt du multiplexeur est de supporter un débit important d'informations. Une grande quantité d'informations véhiculées à travers le monde impose le besoin croissant en débit de transmission dans les systèmes de télécommunications. Pour de telle raisons principales, de nombreuses applications (téléphonie, images vidéo, etc.) se sont développées et qui nécessitent d'importantes capacités de transmission simultanée par processus de multiplexage.

Pour conclure ce passage introductif, l'identification des spécificités des éléments d'une chaîne de transmission du domaine de la télécommunication se détermine essentiel pour fixer leurs usages.

Selon le schéma fonctionnel précédent, l'information optique est acheminée par la fibre dont les avantages en tant que support de transmission (large bande passante, faibles pertes de propagation, sensibilité aux ondes électromagnétiques) justifient le développement des systèmes de transmission. Ces systèmes permettent en conséquence d'accroître les débits aux moyens des différents types de multiplexage (en longueur d'onde (WDM), temporel, etc.). Les trois éléments essentiels du schéma fonctionnel pour une transmission sont clairement décrits par leurs caractéristiques respectives et qui constituent l'objectif complémentaire de notre travail. Après la description des caractéristiques techniques, nous avons procédé à une étape expérimentale préliminaire en ayant opéré sur la coupure d'une fibre et la soudure entre deux supports de fibres. Sachant qu'une fibre admet de nombreuses qualités pour transmettre une quantité importante d'informations sur une grande distance, de ce fait, ces défauts, par exemple l'atténuation est discutée. Pour la fibre manipulée au laboratoire par notre groupe, la qualité requise est notamment confirmée selon l'appareillage instrumental employé. De plus, des mesures de test sont effectuées sur une fibre optique raccordée par des connecteurs adéquats.

Pour rappeler l'essentiel de notre travail pratique préliminaire, nous avons opéré à l'étude des caractéristiques techniques des fibres monomodes, les opérations de dénudage, l'intrinsèque de sa liaison.

Pour arriver à cette fin, Le présent manuscrit est décrit en trois chapitres. Après l'introduction générale, nous présentons le chapitre 1 où des notions générales sont explicitées sur les fibres optiques. Dans le chapitre 2, nous discutons les caractéristiques spécifiques relatives au multiplexage optique. Le chapitre 3 rapporte les procédures opératoires manuelles pratiques que nous avons effectuées au niveau de notre laboratoire de télécommunication. Enfin, une conclusion générale est présentée.

---

# ***Chapitre I :***

## ***Généralités sur fibre optique***

---

## 1.1. Introduction

Le développement technologique des fibres optiques (FO) à faibles pertes, pour des applications potentielles, s'intensifie de plus en plus de façon comparable que l'invention des sources lasers. Bien que la première fibre, conçue à base de verre, a vu le jour les années 1920, il fallait attendre les années 1950 pour voir l'apparition de leurs utilisations comme support de transmission. Après des études aux niveaux des laboratoires (durant les années 60), l'usage des fibres optiques pour des applications dans le domaine de télécommunication est resté impossible jusqu'à l'apparition des sources de lumière cohérente (le laser développé les années 1960 par Peter Houldcroft). Après le développement des différents lasers (monochromatique, poly chromatique-visible et infrarouge, à émission continue, pulsée, etc.), il est venu enfin l'exploitation extensive (durant les années 70) des fibres optiques pour la transmission des signaux sur des grandes distances. A ce titre Charles Kao a reçu le prix Nobel de physique (en 2009) pour des réalisations révolutionnaires concernant la transmission de lumière dans les fibres pour la communication optique. Il est à noter que la fibre optique est à l'origine de l'explosion des moyens modernes de la communication. Qu'il s'agisse pour l'usage de la fibre optique pour la téléphonie ou l'Internet, le tissu de communication est bel et bien en fil de verre.

L'essor de la communication tient aux divers avantages qu'offrent les fibres optiques, à savoir :

- a) L'atténuation du signal optique plus faible que les signaux électriques ;
- b) Le débit d'information plus grand ;
- c) La vitesse de propagation élevée ;
- d) L'immunité aux parasites électromagnétiques ;
- e) Le cross talk (Diaphonie) quasi-nulle.

Néanmoins, il est bien clair que la fibre optique présente quelques inconvénients non souhaitables tels que :

-La fragilité.

-Le coût technologique reste assez chère, en particulier les accessoires de liaisons (connecteurs) ou de raccordement, qui sont destinés à la répartition et à la distribution des signaux de transmission et de réception.

En dehors de ces inconvénients, le Principe du confinement de la lumière, malgré les faibles dimensions, est maîtrisable. [1]

## 1.2. Définition d'une liaison par fibre optique

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur. [2] Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique. (Voir Fig.1).

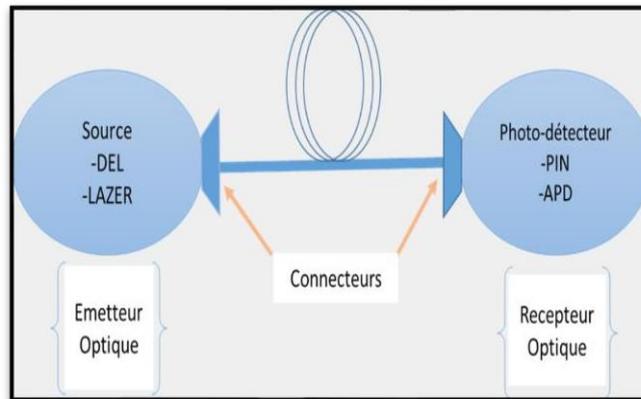


Figure 1. Schéma synoptique d'un système de transmission optique.

Cependant, pour des grandes distances on utilise des amplificateurs optiques pour conserver le niveau du signal nécessaire à la restitution de l'information. Dans ce qui suit nous allons définir chaque élément de cette liaison. [2]

## 1.3. Emetteur optique

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (source optique, modulateur et driver). Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données. (Voir Fig.2).

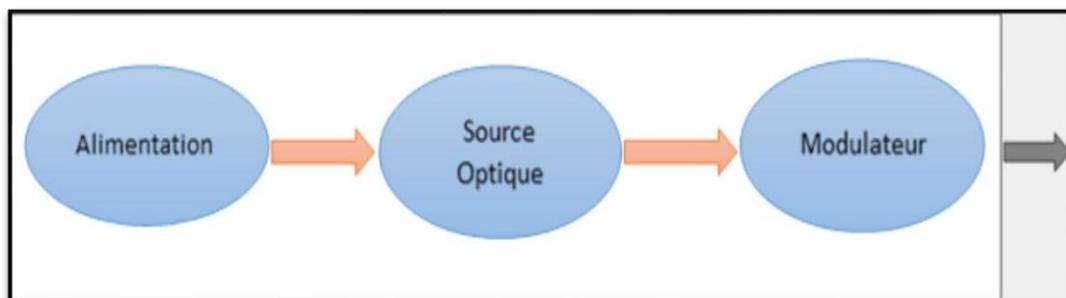


Figure 2. Structure d'un émetteur optique.

### 1.3.1. Source optique

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de la communication par fibre optique. Leur fonction fondamentale admise est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique). [3]

En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix des sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL), ces deux sources sont réalisées à partir de jonctions à semi-conducteurs du type PN polarisée en direct. Suite à l'application d'une tension externe de polarisation, le principe d'émission de telles sources lumineuses est dû principalement à propriété de recombinaison des paires électron-trou. [3]

#### 1.3.1.1. Diodes électroluminescentes (DEL)

L'émission optique est de nature spontanée ou incohérente. La puissance injectée dans la fibre dépend de la puissance disponible de la source et du carré de l'ouverture numérique de la fibre :

$$P_f = P_s \times ON^2$$

Pour  $ON = 0,153$ , on obtient une puissance injectée  $P_i$  entre -16 dB et -20 dB

La caractéristique puissance émise/courant à travers la jonction est assez linéaire jusqu'à des courants de 100 mA, ensuite on observe une saturation due à l'échauffement. [4]

(Voir Fig.3).

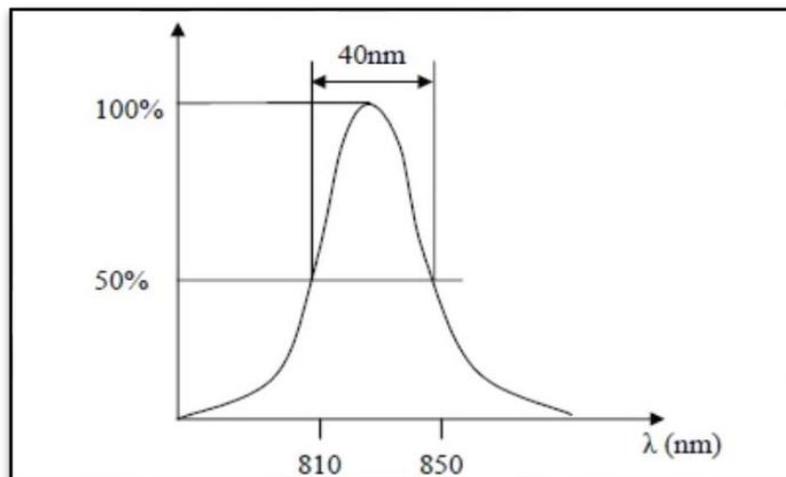


Figure 3. Spectre d'émission d'une DEL.

### 1.3.1.2. Les diodes laser DL

Laser est l'acronyme anglais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (en français, amplification de la lumière par émission stimulée de radiations).

La diode laser est une source cohérente et monochromatique, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance, elle est caractérisée par : une faible largeur spectrale et une bande passante importante. Le spectre est monomode longitudinal. [3]. (Voir Fig.4).

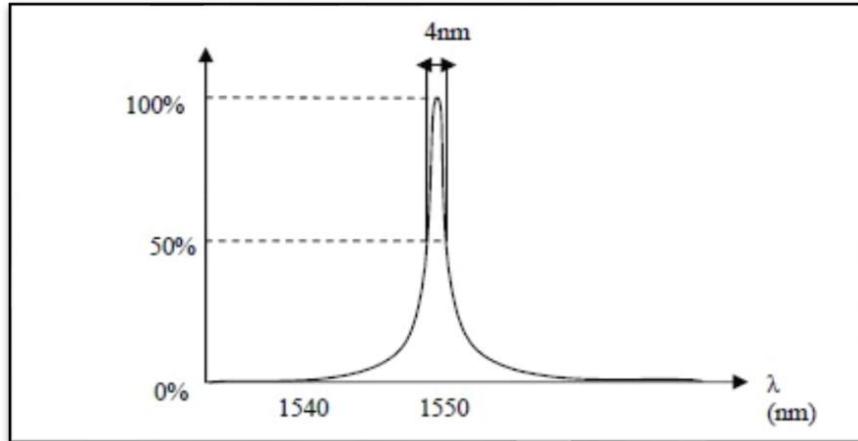


Figure 4. Spectre d'émission d'une DL.

### 1.3.2. La différence entre la diode DEL et la diode DL

Pour montrer la différence entre diode électroluminescente et une diode laser, la figure illustre les courbes caractéristiques de la puissance lumineuse en fonction du courant. [5].

(Voir Fig.5).

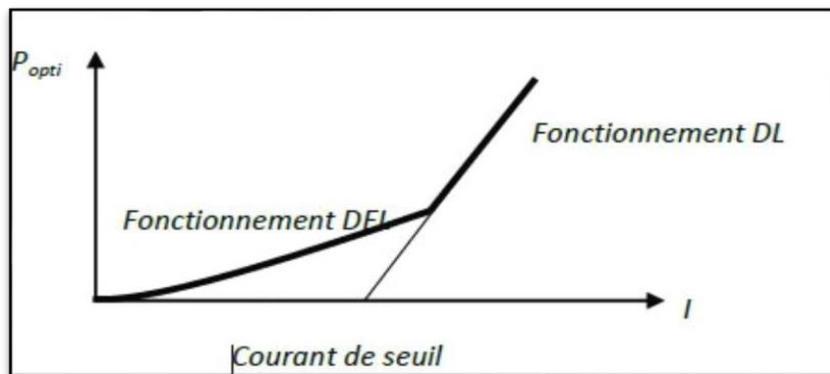


Figure 5. la différence entre DEL et DL.

---

## 1.4. Modulateurs

La modulation du signal au sein de la fibre optique est essentielle.

En effet, cela permet deux choses :

- Générer l'information binaire à partir d'un signal physique.
- Traduire l'information binaire en niveau de puissance du signal lumineux.

Le procédé de modulation peut être de 2 types différents, à savoir le type direct, et le type externe.

### 1.4.1. Modulation directe

À une technique de modulation de type "classique". En effet, on va ici moduler directement le courant injecté en entrée de la diode.

A la suite de cette modulation de courant, l'intensité de la lumière produite par la diode sera affectée, Plus le courant reçu par la diode est important, plus l'intensité lumineuse qu'elle délivrera sera puissante.

Cependant, cette méthode de modulation comporte un inconvénient majeur. La modulation d'amplitude du courant affecte en effet la fréquence du signal émis.

C'est pour cette raison qu'en général elle n'est plus très utilisée, au profit de la modulation externe. [6]. (Voir Fig.6).

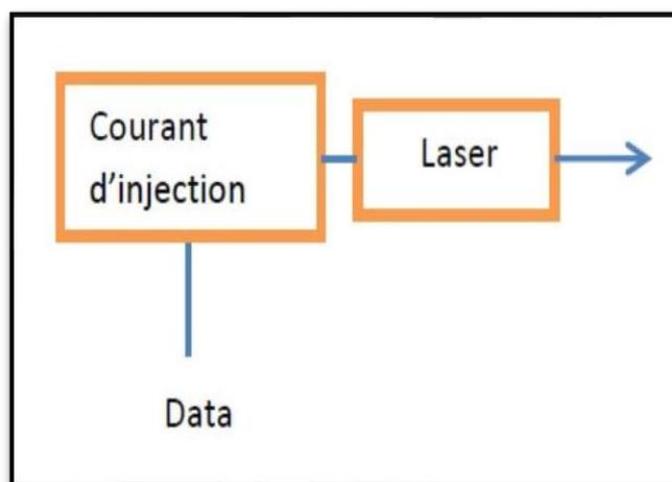


Figure 6. Modulation directe.

### 1.4.2. Modulation externe

La modulation externe est elle légèrement plus subite.

En effet, ici le courant injecté à la diode restera constant, mais on va utiliser un modulateur externe afin de parvenir à moduler le signal lumineux.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

En fonction du signal de modulation,

- Un champ électrique est généré et influe sur l'indice de réfraction du modulateur externe.
- Une puissance constructive est créée, cela provoque la disponibilité de la puissance optique.
- Une puissance destructive est créée, cela provoque alors une absence d'émission de lumière.

[6]. (Voir Fig.7).

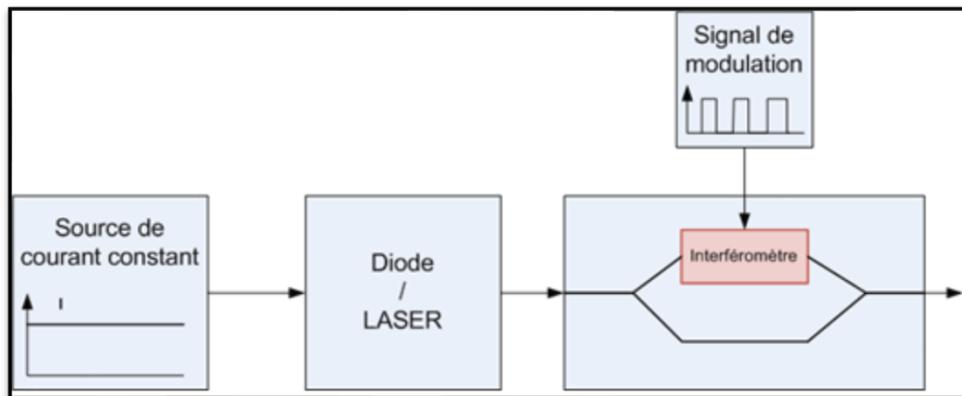


Figure 7. Modulation externe.

### 1.4.3. Comparaison

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelque Gbit/s, selon la qualité de laser. Mais au-delà de 5Gbit/s, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important. [3]

### 1.5. Récepteur optique

Dans une chaîne de transmission par fibre optique, le récepteur est un élément aussi essentiel que l'émetteur [6]. Son rôle est de convertir le signal optique reçu à la sortie de la fibre optique en signal électrique en lui apportant le minimum de dégradation. Ce rôle est tenu par le photodétecteur qui présente les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, tel est le cas des photodiodes PIN ou à avalanches [7]. Puisque le courant électrique est très faible, un amplificateur électrique à gain élevé est ajouté pour rendre le photo-courant produit suffisamment fort. Après avoir été amplifié, le signal passe par un filtre Passe-bas (LPF) pour réduire le bruit qu'il produit en dehors de la bande passante du signal avant de subir un traitement électronique pour analyser les données fournies. (Voir Fig.1.8).



Figure 8. Structure d'un émetteur optique.

### 1.5.1. Les photodiodes PIN

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteurs. Deux couches fortement dopées P<sup>+</sup> et N<sup>+</sup> entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisés car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante [9]. (Voir Fig.9).

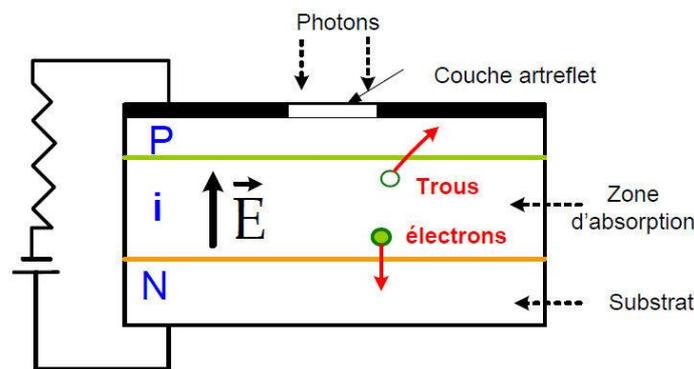


Figure 9. Photodiode PIN.

Du point de vue des liaisons par fibre, les paramètres importants qui caractérisent la détection sont :

la longueur d'onde de coupure, la sensibilité du détecteur (A/W) qui chiffre le rapport entre le photo-courant recueilli et la puissance optique incidente, le rendement quantique, et le courant d'obscurité du détecteur. [8]

### 1.5.2. Les photodiodes à avalanche (PDA)

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

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisés grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte [9]. (Voir Fig.10).

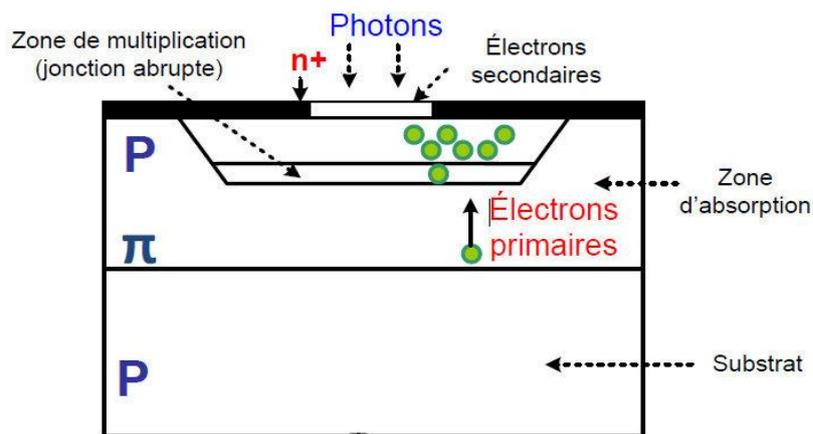


Figure 10. Photodiode à avalanche PDA.

## 1.6. Fibre optique

La fibre optique représente le support de propagation de la lumière (canal de communication) dans les systèmes optiques. Il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique constitué au centre d'un cœur composé essentiellement de silice pure hautement raffinée et plus ou moins dopée à un indice de réfraction  $n_{\text{cœur}}$  légèrement plus élevé (une différence de quelques % est suffisante) à celui de la gaine  $n_{\text{gaine}}$  avec un diamètre extérieur de l'ordre de  $125\mu\text{m}$  (pour les fibres conventionnelles). Elle peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface eux matériaux, selon les lois de Descartes. Enfin, une gaine dite mécanique, généralement en plastique, est rajoutée dont le premier rôle est de protéger la fibre mécaniquement, et le second est de piéger la lumière qui se propage dans la gaine optique (Voir Fig.11).

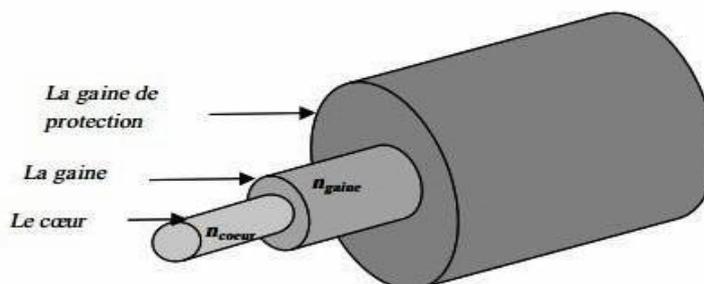


Figure 11. Schéma d'une fibre optique.

La fibre optique est, généralement, fabriquée de la silice, un matériau qui ressemble au verre. La silice est un composé de silicium (Si) et d'oxygène (O) dont la formule chimique est  $\text{SiO}_2$ . [11] Nous retrouvons ce composé dans la nature dans différents minéraux tels que le quartz. Le principe de fabrication d'une fibre optique repose sur l'étirage d'une préforme de verre. Grâce à des techniques complexes, on peut ainsi étirer un tube de verre d'un mètre de long sur 10 cm de diamètre jusqu'à en faire une fibre optique de 150 km de long. [10]

### 1.6.1. Différentes catégories de fibres optiques

L'étude rigoureuse des phénomènes de propagation dans les fibres optiques repose sur la résolution des équations de Maxwell. L'inconvénient de cette approche est sa lourdeur mathématique (guides à section cylindrique, dans lesquels les solutions exactes se développent à partir de fonctions de Bessel). On montre ainsi qu'à une longueur d'onde donnée, il existe en général plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de la fibre.

Pour un profil d'indice de réfraction donnée entre le cœur et la gaine, le nombre de modes dépend essentiellement du rapport entre le diamètre du cœur et la longueur d'onde de la lumière. Cela puisse se faire en introduisant un paramètre appelé fréquence réduite et noté  $V$  (fréquence normalisée) qui est donné par la formule ci-dessous:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

Avec «  $a$  » le rayon du cœur de la fibre et «  $\lambda$  » la longueur d'onde.

Le critère de sélection est alors très simple : lorsque  $V < 2,405$  la fibre (à saut d'indice) est dite uni modal sinon elle est multi mode. Le nombre de modes se propageant dans le cœur est égale approximativement à  $\frac{V^2}{2}$

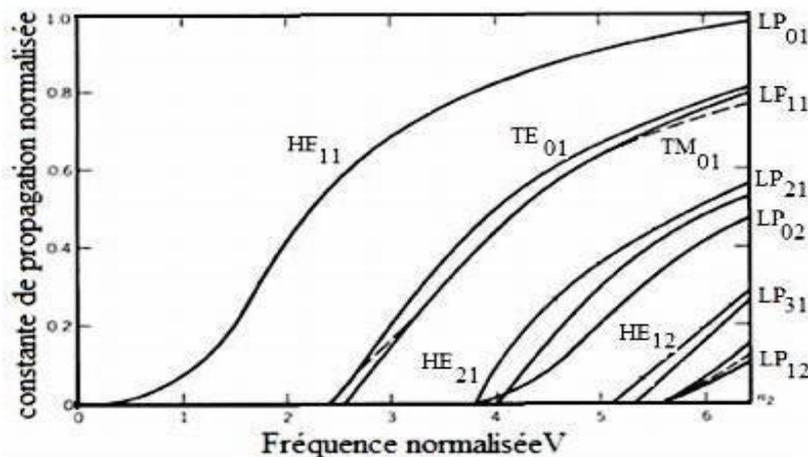


Figure 12. Diagramme de dispersion d'une fibre à saut d'indice.

Les fibres optiques se séparent fondamentalement en deux catégories en fonction de leur géométrie interne: à saut d'indice, si le changement d'indice à l'interface entre cœur et gaine est brusque, ou à indice graduel si l'indice de réfraction décroît graduellement à l'intérieur du cœur. Et en fonction de nombre du mode propageant elles se séparent en fibre multi-mode (ou MMF pour Multimode Fiber) et monomode(ou SMF pour Single Mode Fiber). Le tableau (**Tab.1.1**) suivant compare les caractéristiques de ces deux familles de fibres optiques:

<b>Fibre uni modale</b>	<b>Fibre multimodale</b>
Ouverture numérique faible (connexion délicate)	ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (qqd dixième de dB/Km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
Haut débit longue distances	Forte dispersion

**Tableau 1.**Caractéristiques générales des fibres uni-modales et multi-modes.

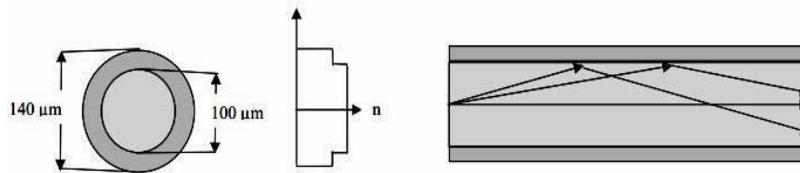
### 1.6.1.1. Fibres multi-modes

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multi-mode si le cœur a un grand diamètre devant la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 50 à 200  $\mu\text{m}$  pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1 mm pour les fibres plastiques.

Dans une fibre multi-mode, les différents rayons se propagent longitudinalement grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le cœur et la gaine en empruntant des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont différents, ce qui résulte une dispersion dite multimodale. Ces fibres sont en général employées pour les réseaux locaux (ne s'étendant pas sur plus de deux kilomètres), les bas débits ou encore pour des longueurs d'onde proches de 850 nm. Parmi les fibres multi-modes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (débit limité à 50 Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gb/s).

#### 1.6.1.1.1. Fibres optiques Multi-Mode à saut d'indice

Le type le plus simple de fibre multi-modes est la fibre optique à saut d'indice (step- index fibre), dans laquelle les indices du cœur et de la gaine sont voisins de 1,5 pour les fibres de silice (**Voir Fig.13**).



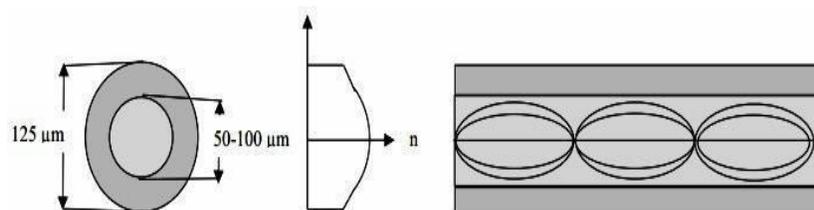
**Figure 13.** Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi-mode à saut d'indice.

Les fibres à gradient d'indice (graded-index fiber) ont été spécialement conçues pour les télécommunications à fin de minimiser l'effet de la dispersion intermodale sans trop réduire l'ouverture numérique, donc la puissance couplée. L'indice de leur cœur diminue suivant une loi d'allure parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine, De sorte que les rayons suivent des trajectoires sinusoïdales, et ceux qui passent par le milieu d'indice le plus faible ayant le trajet le plus long, ce qui augmente leur vitesse et permet d'égaliser approximativement les temps de propagation.

La loi du profil d'indice est de la forme :

$$n(r) = n_{\text{Coeur}} \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^2}$$

Avec  $a$  le rayon du cœur,  $r$  la variation de  $a$ , l'exposant  $\alpha$  est proche de 2 et  $\Delta$  est la différence relative d'indice de réfraction qui sera définie par la suite (**Voir Fig.14**).



**Figure 14.** Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi mode à gradient d'indice.

### 1.6.1.2. Fibres monomodes

Pour qu'un guide ou une fibre optique puisse être monomode, ses dimensions transverses ne doivent pas être très grandes devant la longueur d'onde. Dans ces conditions l'approximation de l'optique géométrique n'est plus valable et les calculs doivent recourir à l'électromagnétisme.

Les fibres monomodes utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10  $\mu\text{m}$  en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. Compte tenu de ces dimensions, la fibre optique monomode classique est à saut d'indice. L'onde se propage alors suivant un seul chemin optique sans réflexion, et par conséquent une dispersion modale quasiment nulle. Leur petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission (**Voir Fig.15**).

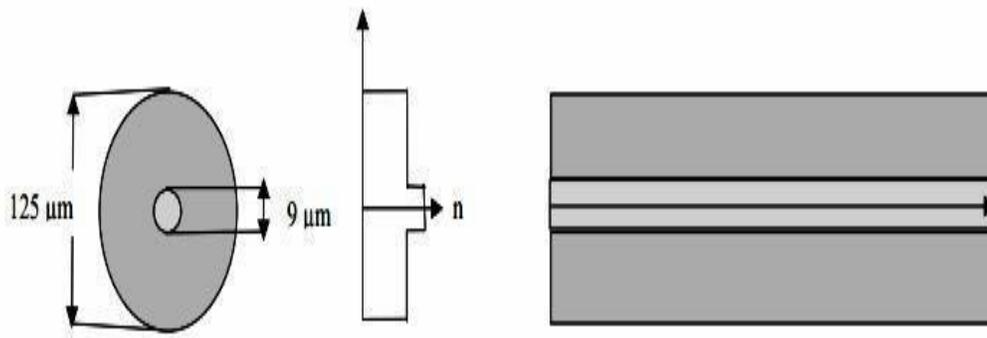


Figure 15. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique.

## 1.7. Principe de guidage dans les fibres

Le principe de guidage de la lumière dans une fibre optique repose sur une suite de réflexions entre deux milieux d'indices de réfraction différents : le cœur central d'indice  $n_{\text{cœur}}$  et la gaine optique d'indice  $n_{\text{gaine}}$ , avec  $n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$ . Cet écart d'indice entre le cœur et la gaine est réalisé en injectant 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.

Or il est connu que lorsqu'un rayon lumineux d'incidence  $\theta_i$  passe d'un milieu d'indice  $n_{\text{cœur}}$  à un milieu d'indice  $n_{\text{gaine}}$ , il est réfracté avec un angle  $\theta_r$  tel que :

$$n_{\text{cœur}} \sin \theta_i = n_{\text{gaine}} \sin \theta_r$$

En respectant la condition suivante :

$$\theta_i > \text{csin}\left(\frac{n_{\text{gain}}}{n_{\text{coeur}}}\right)$$

Le rayon n'est plus réfracté mais réfléchi en empruntant un parcours en zigzag avec une vitesse mesurée par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide d'après la loi de Snell-Descartes par:  $V = c/n_{\text{coeur}}$

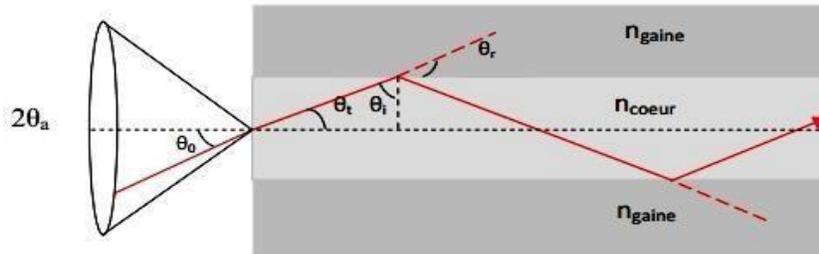


Figure 16. Guidage de la lumière dans la fibre optique.

La propagation de la lumière le long de la fibre n'est possible que si le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur. La seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle par rapport à l'axe, inférieur à l'angle critique (ou angle d'acceptance) défini par :

$$\theta_a = \arcsin\left(\frac{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}{n_m^2}\right)$$

Le rayon sera donc guidé uniquement dans le cœur, on définit alors la notion d'ouverture numérique ON (Numerical Aperture) qui représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptré cœur-gaine de la fibre et qui est donnée, dans le cas où le milieu d'indice  $n_m$  est l'air, par la relation :

$$\text{ON} = \sin(\theta_a) \cdot \sqrt{n_g^2 - n_c^2}$$

Un autre paramètre caractéristique de la fibre est la différence d'indice de réfraction qui donne une mesure de saut d'indice entre le cœur et la gaine, il est exprimé par :

$$\frac{n_{\text{coeur}} - n_{\text{gaine}}}{n_{\text{coeur}}}$$

La valeur typique de la différence d'indice normalisé est  $\Delta \approx 3 \cdot 10^{-3}$ .

---

## **1.8. Avantages et Inconvénients**

### **1.8.1. Avantages**

Par comparaison aux autres supports de transmission existants, la fibre optique présente de nombreux avantages qui justifient son introduction dans les systèmes de transmission.

-Ces avantages sont, tout d'abord, des avantages en termes de performances de transmission, multiplexage (en longueur d'onde) possible avec une bande passante optique très grande, et donc une grande capacité (débit de plusieurs Tbit/s) n'ayant aucune commune mesure avec les bandes passantes des supports électriques ou radio classiques.

-De plus, l'atténuation due au support de communication s'avère très faible, ce qui permet de couvrir des distances plus grandes sans nécessité d'installer des répéteurs.

-La fibre optique présente également des avantages de sécurité électrique (isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive et sous forte tension) et électromagnétique. Elle est donc insensible aux parasites électromagnétiques, et n'en créant pas elle-même, elle assure ainsi une inviolabilité presque totale, ce qui permet son utilisation dans les applications militaires, bancaires et en transmission de données.

-Enfin, les facilités de mise en œuvre qu'elle présente, à la fois par sa petite taille, sa grande souplesse et son faible poids, combinés à un coût raisonnable, lui confère un avantage économique sur les autres supports de transmission.

### **1.8.2. Inconvénients**

-Des pertes peuvent être causées par des courbures du câblage, des connecteurs mal positionnés ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.

-Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.

-Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement).

---

## 1.9. Différents effets sur la transmission optique

Les effets de propagation linéaires sont consécutifs à une réponse linéaire du matériau de la fibre à l'excitation électromagnétique induite par le signal, via la susceptibilité  $\chi_1$ . Ils regroupent tous les effets n'impliquant pas d'interactions entre les faisceaux (ou signaux) transmis. Le principe de superposition peut donc s'appliquer (l'intensité totale est la somme de l'intensité de chaque faisceau). Les effets linéaires étant directement liés à la distance de propagation, ils sont donc d'autant plus importants que les distances de transmission augmentent. Ils modifient soit la puissance des impulsions (atténuation) soit leur forme (dispersion).

### 1.9.1. Effets linéaires

#### 1.9.1.1. Atténuation

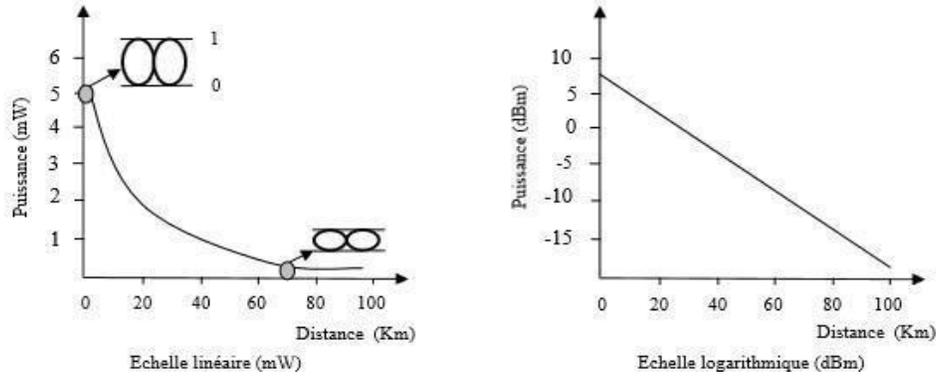
La fibre optique s'est imposée comme le meilleur moyen de transport de l'information au vu de sa robustesse, ses propriétés mécaniques de résistance aux torsions et tractions, sa faible épaisseur mais surtout sa faible atténuation attribuée au signal optique codé et transporté via une chaîne d'éléments composée essentiellement de tronçons de fibre et d'amplificateurs optiques. Cette dernière induit effectivement des pertes minimales en comparaison avec celles induites par les câbles coaxiaux en cuivre. Cependant, elles ne sont pas nulles et peuvent donc devenir pénalisante pour de longues distances de propagation. [11]

Le coefficient d'atténuation (absorption) linéaire est le paramètre qui caractérise cette atténuation ; il est défini, en fonction de la longueur  $L$  de la fibre et les puissances en entrée et en sortie de celle-ci (respectivement  $P_{in}$  et  $P_{out}$ ) via la formule ci-dessous, il s'exprime en  $\text{km}^{-1}$  ou plus usuellement décibel par kilomètre (dB/km) :

$$\alpha_{\text{km}}^{-1} = \text{Ln} \frac{P_{out}(L=1\text{km})}{P_{in}} \quad , \quad \alpha_{\text{dB/km}} = 10 \cdot \log \frac{P_{out}(L=1\text{km})}{P_{in}}$$

Ces deux valeurs sont reliées entre elles par :

$$\alpha_{\text{km}}^{-1} = \alpha_{\text{dB/km}} \times \frac{\text{Ln}(10)}{10} = 0.23 \alpha_{\text{dB/km}}$$



**Figure 17.** Profil puissance d'un signal optique se propageant dans une fibre présentant des pertes de 0.2 dB/km.

Grâce à sa grande transparence optique et aux progrès techniques, la silice ( $\text{SiO}_2$ ) est rapidement apparue comme le matériau le plus adéquat pour la réalisation des fibres optiques. En permettant de diminuer le minimum d'atténuation linéaire, qui est passée de 20 dB/km (1% de la puissance initiale est transmise pour 1 km de propagation) dans les années 70 à 0,2 dB/km (1% de la puissance initiale est transmise pour 100 km de propagation) aujourd'hui. [12]

Historiquement, les premières fibres optiques furent utilisées dans la longueur d'onde optique de 850 nm car elle correspondait à l'époque au minimum d'absorption de ces fibres ( $\sim 20$  dB/Km), mais aussi à cause du moindre coût des sources et des détecteurs fonctionnant dans cette fenêtre. A partir des années 80, de nouveaux composants réalisés sur substrat d'InP (Phosphore d'indium) ont permis de travailler dans une nouvelle fenêtre optique centrée à 1310 nm. Cette longueur d'onde correspond à un minimum relatif d'absorption ( $\sim 0,4$  dB/km) des fibres optiques modernes. Cette longueur d'onde qui correspond à une dispersion nulle, est particulièrement intéressante pour les communications courte distance (centaine de kilomètres). Cependant pour les télécommunications longue distance ( $> 100$  km) les longueurs d'onde les plus intéressantes se trouvent dans une troisième fenêtre centrée à 1550 nm. En effet, celle-ci correspond au minimum d'atténuation de la silice ( $\sim 0,2$  dB/km) et de plus, coïncide parfaitement aux longueurs d'onde de fonctionnement des amplificateurs optiques disponibles aujourd'hui. [13]

---

### 1.9.1.2. Amplification optique

Comme l'atténuation est l'une des principales limitations de la distance de transmission des systèmes de télécommunications optiques, il est nécessaire de trouver les solutions qui permettent de régénérer le signal à intervalle régulier dans la fibre.

La première solution pour y parvenir c'était d'utiliser un répéteur régénérateur optoélectronique, qui convertit le signal optique en un signal électrique à l'aide d'une photodiode, l'amplifier électriquement, puis le reconvertir en un signal optique. Cependant, ce répéteur, tant par leur capacité restreinte (conversion optoélectronique, complexité pour un système multicanaux) que par leur coût élevé a conduit à étudier un système amplifiant directement le signal optique c'est l'amplificateur optique qui a révolutionné l'évolution des systèmes de transmission. Il est devenu au début des années 90 l'un des éléments primordiaux des systèmes à multiplexage. Le signal optique peut être alors transmis sur une distance beaucoup plus grande sans aucune démodulation/remodulation des signaux de chaque canal. Sa large bande passante permet en effet d'amplifier simultanément plusieurs longueurs d'onde d'un signal multiplexé.

Ces amplificateurs se répartissent en deux catégories : les amplificateurs à semi-conducteur et ceux à fibre en fonction du milieu qui les compose. [14]

### 1.9.1.3. Effet de dispersion

Dans le domaine des télécommunications optiques, un signal est formé d'impulsions caractérisées par une certaine largeur spectrale confinées dans leur temps bit. Ce qui signifie qu'il n'est pas purement monochromatique mais se compose de plusieurs composantes spectrales (c'est à dire plusieurs fréquences ou longueurs d'onde). Et, comme l'indice de réfraction d'un milieu, telle la fibre optique, dépend de la longueur d'onde du signal qui le parcourt, les composantes spectrales de ce signal vont s'y propager avec des vitesses différentes. Elles sont donc retardées les unes par rapport aux autres ce qui induit le caractère dit « dispersif » de la fibre. Certaines fréquences se retrouvent ainsi à l'avant de l'impulsion, d'autres à l'arrière. Il s'opère alors un élargissement temporel des impulsions du signal. Cet élargissement limite le débit, et on se retrouve obligatoirement à augmenter le délai entre deux impulsions. [15]

---

## 1.10. Conclusion

Le propos de ce chapitre est de rapporter quelques détails sur les propriétés de l'énergie optique fournie ou émise depuis des différentes sources lumineuses cohérentes qui constitue le signal physique que transporte la fibre optique. Il est mis l'accent sur les différents inconvénients majeurs liés en particulier au support d'acheminement du signal (l'information), c'est-à-dire la fibre optique. Il est cité à titre d'exemple ; l'atténuation, l'absorption. Il est à noter que de telles insuffisances tendent à limiter les performances de la fibre (qualité médiocre de la transmission) d'où la nécessité d'améliorer d'avantage ces propriétés ou de faire recours à d'autres solutions tel que l'emploi des régénérateurs optoélectroniques, l'amplificateur optique, etc. Une idée sur le principe de ces deux procédés est avancée à la fin du chapitre.

---

## Références bibliographiques

- [1] Barry Elliott Mike Gilmore « Fiber Optic Cabling » British Library Cataloguing in Publication Data, 2<sup>ème</sup> édition 2002.
- [2] S.Haroun Ibrahim et M. Ould Mahmoud, « Etude du budget optique d'une liaison longue distance et à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, 2005/2006.
- [3] A.Belkhira et Mokrani, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2010.
- [4] Cigmf « Clube Informatique des Grandes Entreprises Française », réseaux locale sur fibre optique. Guide d'étude et de réalisation.
- [5] H.Habbar et K.Djelidi, « Liaison optique à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, INTTIC, juin 2004.
- [6] « <http://igm.univ-mlv.fr> », Transmission\_sur\_fibre\_optique. POSE2009 Voici link : [http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/fibre](http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/fibre)
- [7] Younes ZOUINE, « contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA, Thèse de Doctorat, Université de LIMOGES, octobre 2005.
- [8] Ziemann, O., Krauser, J., Zamzow, P.E., Daum, W., "POF Handbook - Optical Short Range Transmission Systems", 2nd edition, 2008, Springer.
- [9] Etude et simulation d'une transmission WDM : INT&TIC.
- [10] Mathieu Le François « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s » Thèse de doctorat. Université Paris-Sud.2007.
- [11] Elodie Le Cren « Etude de composants absorbants saturables à semi-conducteurs à multi-puits quantiques dopés au fer pour la régénération de signaux optiques à très hauts débit d'information » Thèse de doctorat Université de Rennes I 2004.
- [12] Irène et Michel Joindot « Les télécommunications par fibres optiques » 1996 DUNOD et CENT-ENST, Paris.
- [13] : Pierre Lecoy « Télécoms sur fibres optiques, 3<sup>e</sup> édition » 2008 Lavoisier
- [14] : Julien Maury « Etude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et Compensatrice de dispersion chromatique » Université de LIMOGES 2003.

---

[15]Stéphane Dellier « Contributions à la conception des circuits micro-ondes» Thèse de Doctorat Université de LIMOGES 2005.

---

# ***Chapitre II :***

*Notions de base sur le  
multiplexage (principe et  
fonctionnement)*

---

## 2.1. Introduction

Le multiplexage en longueur d'onde, c'est un procédé technique souvent appelé WDM (acronyme représentatif de : **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing en anglais), qui trouve son utilisation en communication optique. Le rôle essentiel d'un multiplexeur est d'accroître le débit de plusieurs signaux envoyés à travers une fibre optique. Un tel procédé technique est préférentiellement considéré depuis longtemps pour le transport d'une grande quantité de données entre Data « Centers ». Autrement dit, le circuit multiplexeur offre la possibilité d'augmenter la bande passante en fréquence ? en autorisant des flux de données différentes qui sont simultanément transmises sur un réseau via des supports à base de fibre optique. De cette façon, le système WDM maximise l'usage objectif (l'utilité) des fibres optiques et contribue à optimiser les investissements des réseaux.

Traditionnellement, les systèmes WDM ont été adoptés par les opérateurs et les fournisseurs de services. Les systèmes de grande envergure, conçus pour des infrastructures nationales sont coûteux et trop complexes pour l'utilisation d'un réseau privé. Ces dernières années les choses ont changé. De plus en plus, la technologie tend à évoluer de manière croissante.

Il est à noter que des solutions de réseaux WDM sont offertes aujourd'hui pour répondre aux besoins des entreprises et des centres de données privées. Les solutions sont plus simples et plus rentables que les solutions traditionnelles des opérateurs.

De nombreuses organisations n'ont pas encore découvert tous les avantages possibles offerts par le développement technologique WDM et en particulier (notamment) pour optimiser les investissements dans les réseaux et tirer le meilleur parti des réseaux de fibres optiques.

---

## 2.2. Principe et Intérêt du multiplexage

La spécificité des standards WDM réside dans la possibilité d'envoyer différents types de données sur des réseaux de fibres optiques sous forme de lumière d'une couleur déterminée (longueur d'onde). En fait, l'opération du multiplexage est assurée par un circuit dit multiplexeur qui permet de concentrer sur une même voie de transmission différents types de liaisons (informatique par exemple) en sélectionnant une entrée parmi N. Un tel dispositif possédera donc une sortie et N entrées, ainsi qu'une entrée de commande de  $\log_2 N$  bits permettant de choisir quelle entrée sera sélectionnée. Le circuit accomplissant la fonction inverse est appelé démultiplexeur ou encore décodeur.

Il sert d'accès aux réseaux de transmission de données numériques ou analogiques, cependant grâce à la convergence numérique la plupart des signaux peuvent être convertis sous forme numérique ce qui simplifie les transmissions (par exemple les lignes téléphoniques peuvent être utilisées non seulement pour transmettre la parole, mais aussi des données informatiques ou la télévision).

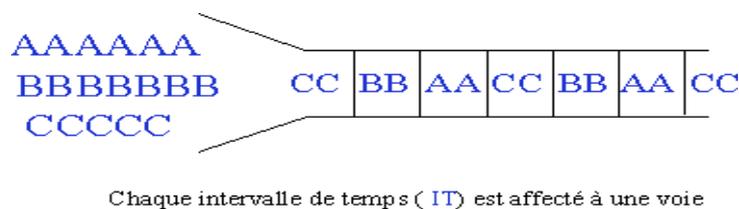
Ainsi, différents canaux de lumière, chacun avec une longueur d'onde spécifique sont simultanément envoyés dans le corps d'une fibre optique unique. Au lieu d'utiliser plusieurs fibres pour chaque service, une seule fibre peut être partagée par plusieurs services. De cette façon, en multiplexant une grande quantité de canaux, la technologie WDM optimise l'utilisation des fibres optiques. La location ou l'achat de fibres optiques représente une part importante des coûts de mise en réseau. En conséquence, l'utilisation d'une seule fibre optique permettant le transport de plusieurs canaux de trafic peut générer des économies substantielles. [1]

## 2.3. Les différents types de multiplexages

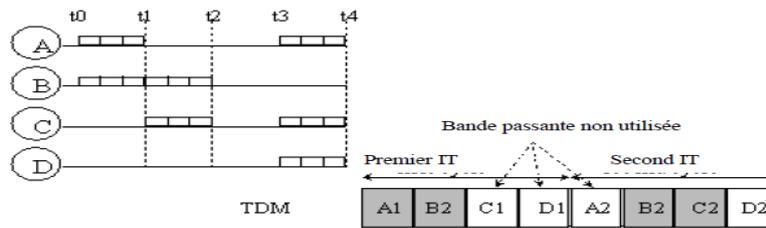
### 2.3.1. Le multiplexage temporel (en temps) (TDM : Time Division Multiplexing)

Le multiplexage TDM ; significatif du multiplexage à répartition temporelle (MRT), consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant, et ceci à tour de rôle pour chaque utilisateur (**Voir Fig.18**). L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en un certain nombre de périodes de durée fixe, et tel que chaque utilisateur ne pourra transmettre ses données que pendant une durée déterminée de ces périodes. (**Voir Fig.19**). Un intervalle de temps fixe (IT) est successivement assigné à une source. [4]

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



**Figure 18.**Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM.



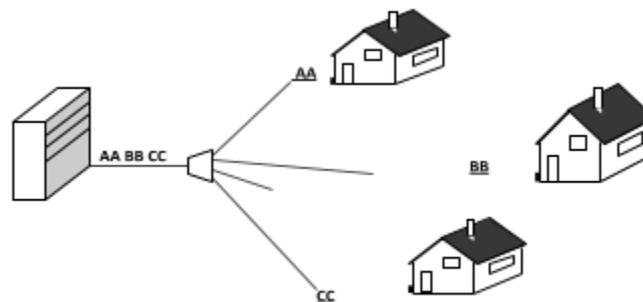
**Figure 19.** Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales.

### 2.3.1.1. Optique(OTDM)

Le multiplexage temporel peut être réalisé optiquement (OTDM, Optical Time Division Multiplexing). L'émetteur est constitué de N sources optiques en parallèle modulées au débit  $D_b$  bits/s. Cette technique nécessite que les signaux optiques soient en suite codés de type RZ pour que les impulsions codées aient désormais une durée inférieure à  $T_b/N$  et que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique.

Par exemple, un signal modulé à 40 Gbits/s peut être obtenu par multiplexage des sorties codées RZ de 4 modulateurs optiques attaqués par des trains à 10 Gbits/s.

Le multiplexage optique temporel n'est pas utilisé uniquement pour accroître les débits transmis. Il fournit aussi une technique d'accès utilisable dans les réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs : chacun d'eux dispose d'une tranche temporelle pour émettre. Les différents signaux sont « assemblés » pour être transmis sur une porteuse optique unique (**Voir Fig.20**).



**Figure 20.** Réseau local à répartition temporelle.

### 2.3.1.2. Electronique(ETDM)

L'OTDM a son équivalent en électronique, l'ETDM (Electronic Time Division Multiplexing). Dans le cas de l'ETDM, le codage RZ et « l'assemblage » des données se font électriquement

Le haut débit obtenu est ensuite utilisé pour la modulation du courant de polarisation d'une diode laser et il n'y a qu'un seul signal lumineux émis. Cette étape est schématisée sur la (Voir Fig.21) par la présence de trois circuits électroniques et d'un multiplexeur électronique (circuit rapide).

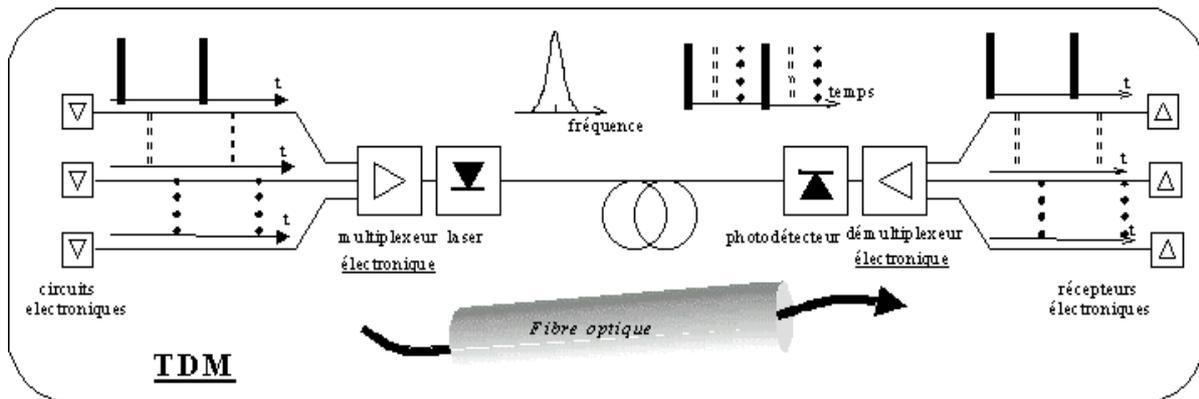


Figure 21. Schéma de principe du multiplexage ETDM dans les communications par fibre optique.

### 2.3.2. Multiplexage fréquentiel(FDM)

FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF) (Voir Fig.22). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroites et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif. [3]

L'organisation du groupe primaire ou groupe de base utilisé en téléphonie est basé sur un multiplexage fréquentiel. Ce dernier consiste à regrouper 12 voix téléphoniques de 4000 Hz chacune (3000 Hz utilisables plus 2 espaces inter bandes de 500 Hz) ce qui donne une largeur de bande de 48 kHz répartie entre 60 et 108 kHz. [3]

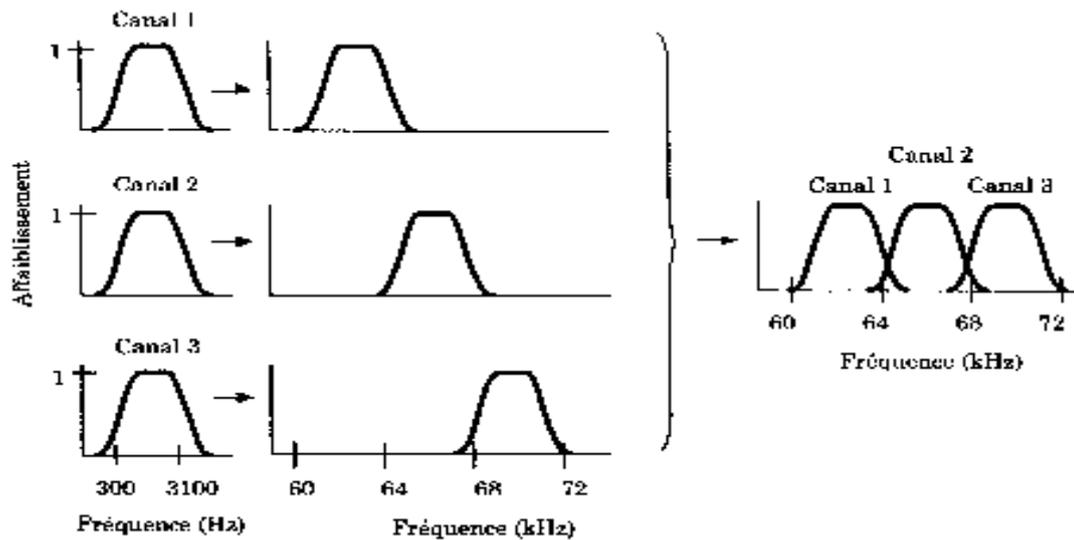


Figure 22. Exemple de multiplexage fréquentiel de trois canaux téléphoniques.

### 2.3.3. Multiplexage par répartition de code (CDMA: Code Division Multiple Access)

Cette technique permet la transmission des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence et en même temps. Tous les utilisateurs ou messages ont accès simultanément à la totalité de la bande. Ils sont distingués à la réception grâce à des codes distincts associés à chacun d'entre eux (Voir Fig.23).

Cette technique permet de multiplexer des informations sur un seul support de communication de manière synchrone ou asynchrone.

Le débit après codage est celui des données utilisateur divisé par la longueur de la séquence de code. Le multiplexage par répartition de code CDMA permet d'étaler de manière spectrale le signal transmis sur une bande  $N$  fois plus large que celle du signal initial,  $N$  étant la longueur de la séquence de code. Cependant, tous les utilisateurs exploitent la même bande spectrale, mais leurs données transmises se distinguent par le code propre à chaque utilisateur. Ceci permet d'éviter les interférences d'accès multiples, à condition que les codes utilisés soient orthogonaux. [9]

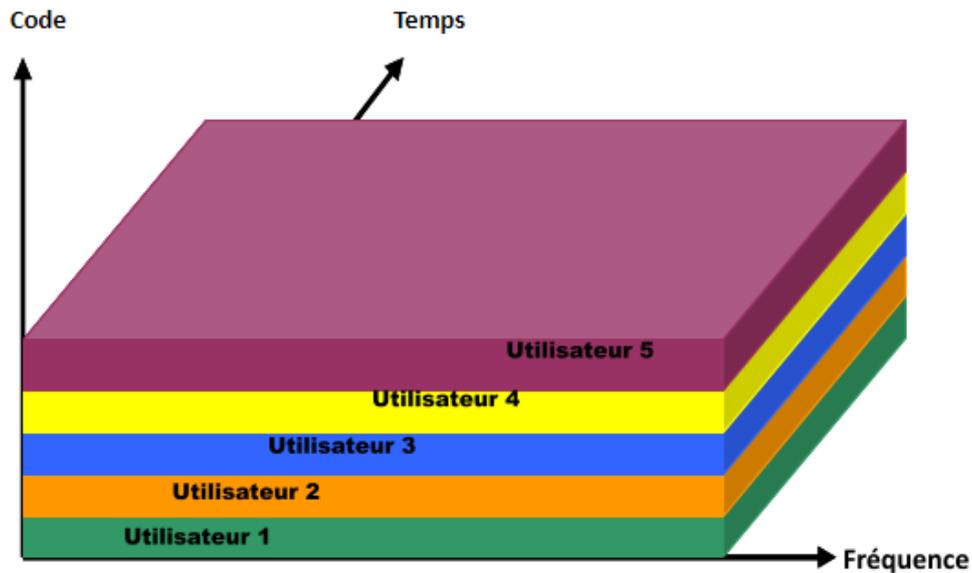


Figure 23. Illustration de la technique CDMA.

#### 2.3.4. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à mélanger plusieurs signaux optiques sur une même fibre optique afin de multiplier la bande passante de celle-ci.

Les signaux sont portés par des longueurs d'ondes différentes, et espacées assez largement afin de ne pas interférer les unes avec les autres.

Ce procédé nécessite l'utilisation de matériel spécifique, en entrée : un multiplexeur; et en sortie : un démultiplexeur. [2]

Les informations importantes à retenir :

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

Voici un schéma (Voir Fig.24) permettant d'illustrer le découpage en longueur d'onde entre les différentes connexions :

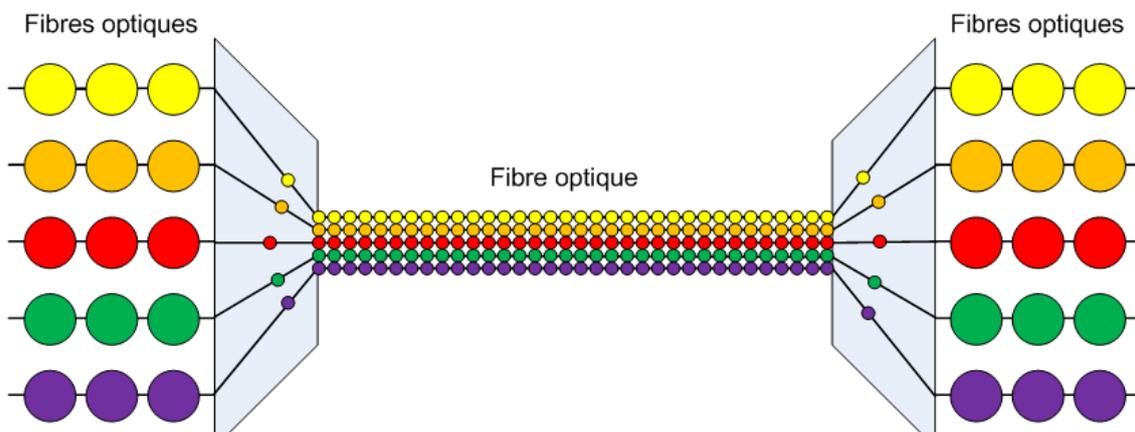
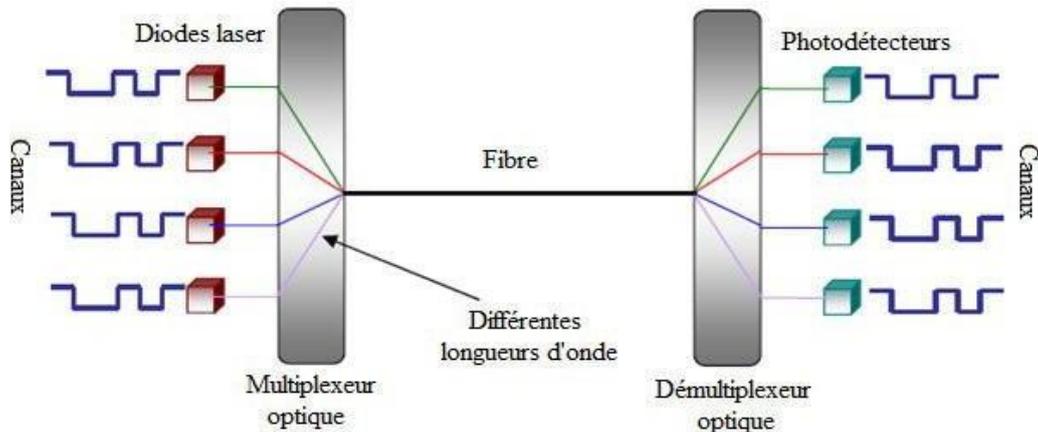


Figure 24. Le multiplexage en longueur d'onde.

### 2.3.4.1. Fonctionnement

Le multiplexage WDM exige un ensemble de *diodes lasers* émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (dans le voisinage des 1550 nm). A la réception, un démultiplexeur optique combine/sépare les différentes longueurs d'onde converties ainsi vers le domaine électron au moyen de photodiodes. (Voir Fig.25) donne un exemple de liaison illustrant le multiplexage WDM [6].



**Figure 25.**Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.

Pour assurer une bonne qualité de transmission du signal dans la fibre, il faut déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chaque source, évitant tout chevauchement possible ; l'espacement dépend de divers facteurs comme la/le :

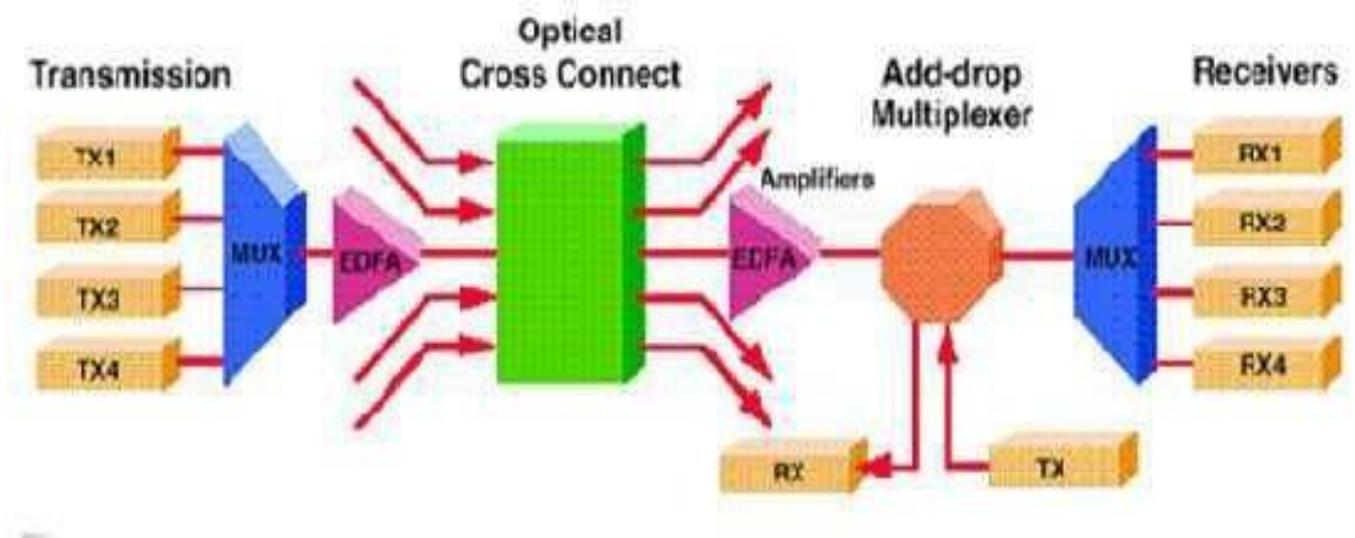
- Qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs,
- Qualité de la fibre optique,
- Longueur de transmission,
- Qualité des sources,
- Débit des données de chaque source
- La fibre transporte un débit numérique  $N \times D$ , défini comme capacité du système [5].

Différents types de WDM existent : Coarse-WDM, Dense-WDM, Ultra-Dense-WDM... La différence entre les modes réside principalement dans l'espacement des canaux optiques utilisés. Voici un tableau (Tab.2) détaillant les caractéristiques des modes WDM les plus répandus [2] :

	Coarse-WDM	Dense-WDM	Ultra-Dense-WDM
Nombre de longueur d'onde	Jusqu'à 16	8 à 128	> 400
Espacement des canaux	20nm à 25nm	0.4nm à 1.6nm	0.08nm
Fenêtre spectrale	~ 1260nm - 1620nm	~ 1500nm - 1600nm	~ 1500nm - 1600nm
Débit par longueur d'onde	1,25 - 2,5 Gbit/s	10Gbit/s - 40Gbit/s	> 40Gbit/s

**Tableau 2.** Caractéristiques des modes WDM .

### 2.3.5. Différents composants d'un système WDM



**Figure 26.** Les différents composants d'un système WDM.

---

### 2.3.5.1. Les multiplexeurs/démultiplexeurs

Utilise pour grouper ou séparer les voies de longueurs d'onde différentes, les multiplexeurs/démultiplexeur jouent un rôle primordial dans les systèmes WDM.

#### 2.3.5.1.1. Les technologies de multiplexages

On distingue trois techniques de multiplexages :

##### 2.3.5.1.1.1. Multiplexage à Filtre Optique

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. En effet Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. D'autre part Le multiplexage optique regroupe les signaux occupant des gammes de longueurs d'onde différentes tandis que la fonction réciproque le démultiplexage, permet de séparer des signaux occupant des bandes de longueurs d'onde différentes. On caractérisera le filtre par sa bande passante, *i.e.*, le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il laisse passer la lumière, et sa bande atténuée *i.e.*, le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il réfléchit la lumière incidente. [7]

##### 2.3.5.1.1.2. Multiplexage à Coupleurs Sélectif

Le principe de ces composants est l'interaction cohérente entre deux guides optiques, ils sont appelés les coupleurs de Le réseau à l'avantage de traiter simultanément un grand nombre de voies à l'intérieur de la même fenêtre.

Un réseau se compose d'une surface optique qui transmet ou réfléchit la lumière et sur laquelle un grand nombre de traits sont gravés au diamant.

Le réseau à la propriété de renvoyer, séparer angulairement, les différentes longueurs d'ondes contenues dans un même faisceau incident. En vertu du principe de retour inverse de la lumière, le réseau peut combiner dans une même direction des faisceaux incidents séparés angulairement et des longueurs d'onde adéquates. Puissance, qui est utilisés pour additionner ou diviser les signaux. Ils sont plus utilisés dans les systèmes multiplexes. [8]

### 2.3.5.2. Multiplexage à réseau de diffraction

### 2.3.5.3. Convertisseurs optiques

Un convertisseur optique permet de modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Ce composant est donc très utile pour les réseaux utilisant de nombreuses longueurs d'ondes. Des types de technologies se distinguent :

#### 2.3.5.3.1 Conversion optoélectronique

Consiste à traduire le signal optique en signal électrique, puis émettre un nouveau signal optique avec une longueur d'onde différente. Cette technique est équivalente a la régénération du signal, c'est pourquoi on pourra profiter de la régénération du signal pour modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Des expérimentations pour des débits de 10 Gbps ont été réalisées. [7]

### 2.3.6. Commutateurs de longueur d'onde

La commutation est l'ensemble des techniques permettant d'établir la connexion entre l'émetteur et le récepteur. C'est dans ce sens que les communications sont basées sur un principe de commutation pour acheminer l'information d'un client vers un autre. Les opérations de commutation et de routage sont réalisées en convertissant les signaux optiques sous leur forme électronique originelle. Il en résulte une grande flexibilité, cependant le débit de l'électronique n'est pas compatible avec l'énorme bande passante de la fibre optique. De plus, la conversion optoélectronique introduit un délai supplémentaire dans le

---

routage des flots d'information. Pour s'affranchir de ces limitations des composants, de commutation optique ont été développés, capables de traiter des signaux optiques à très haut débit sans conversion optoélectronique. Pour cette raison, les réseaux utilisant cette technologie de commutation sont appelés réseaux tout-optiques. [6]

## 2.4. Switch optique

Un Switch, également appelé commutateur réseau, est un boîtier doté de quatre à plusieurs centaines de ports Ethernet, et qui sert à relier plusieurs câbles ou fibres dans un réseau informatique. Il permet de créer des circuits virtuels, de recevoir des informations et dès les envoyer vers un destinataire précis sur le réseau en les aiguillant sur le port adéquat. Les switches ont plusieurs avantages : ils sécurisent les données transmises sur le réseau et peuvent être utilisés pour augmenter le nombre d'ordinateurs connectés sur un réseau Ethernet [12].

### 2.4.1. Les différents types des switches

#### 2.4.1.1. Switch Laser Components

Laser Components offre des switches optiques monomodes pour des longueurs d'ondes courtes adaptées aux instruments et aux systèmes de mesure de hautes précisions ainsi que pour les applications de détection (Voir Fig.27). [10]



Figure 27. Commutateur électro-optique de LASER COMPONENTS.

Ces commutateurs sont disponibles dans des longueurs d'onde de 400 à 1630 nm.

D'autres longueurs d'onde peuvent être proposées sur demande.

Les pertes d'insertion maximum sont de 1.4 dB et la perte de retour est supérieure à 55dB.

Ces switches présentent un temps de commutation de 2 ms. La diaphonie entre les différentes voies est inférieure à 55dB.

Les configurations les plus courantes de ces commutateurs sont 1x2, 1x4, 1x8, 1x12, 1x16, 2x2, 2x4, et 2x8. Ils sont fournis avec des connecteurs FC/APC aux deux extrémités.

Tous ces switches sont aussi disponibles avec des fibres à maintien de polarisation. Le niveau d'isolation de la polarisation varie avec le type de fibre utilisé, et est couramment de 25dB. [10]

---

### 2.4.1.2. Switch MEMS Sercalo à verrouillage monomode 1x2, 2x1-2x2

Fabricant : *Sercalo*.

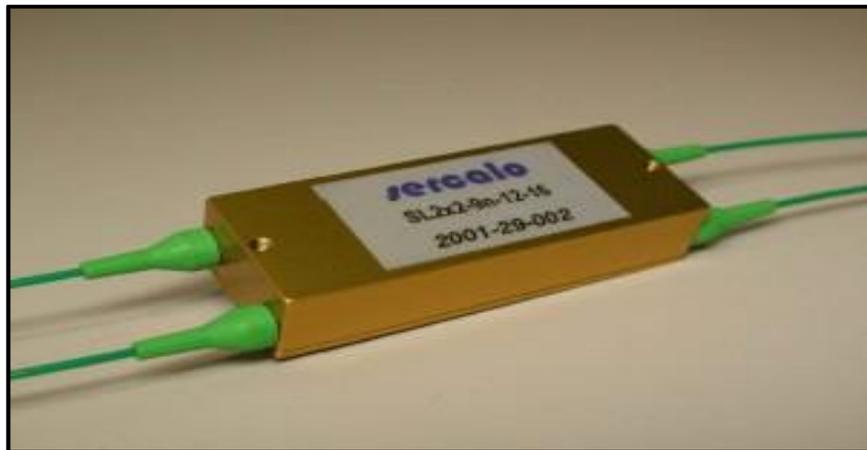
Famille : commutateur micro-électromécanique.

La série SL de chez Sercalo, (**Voir Fig.28**), sont des commutateurs mécano-optique pour les applications les plus exigeantes en fibre optique des réseaux de communication.

Le commutateur est disponible en 1x1, variantes 2x1 - 2x2 et offre une fiabilité à l'état stable, une précision exacte et un temps de réponse rapide.

L'interrupteur mécanique de verrouillage a une réponse très rapide, un temps en-dessous de 1 ms et seulement 0,5 dB de perte d'insertion.

Les commutateurs de *Sercalo* sont alimentés par une tension comprise entre 4,0 à 5,25V à la broche d'alimentation. [11]



**Figure 28.**Commutateur mécano-optique de Sercalo.

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont [11] :

- Perte d'insertion (max = 0.9 dB, typ. = 0.5 dB).
- Longueur d'onde 1240 nm ~ 1640 nm.
- Type de fibre : fibre monomode
- Perte dépendant de la polarisation : (max = 0.07 dB, typ. = 0.03 dB).
- Perte de retour : (max = 50 dB, typ. = 55 dB).
- Diaphonie : (max = 50 dB, typ. = 75 dB).
- Vitesse de commutation : (max = 1 ms, typ. = 0.5 ms).
- Température de fonctionnement : 0 °C ~ + 70 °C.
- Tension électrique : (max = 5.25 V, typ = 5 V, min = 4 V).

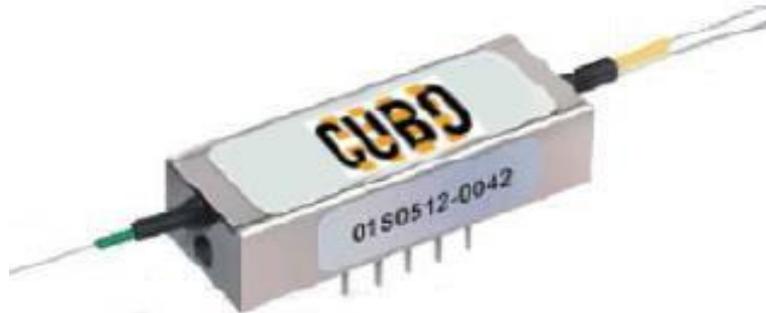
---

### 2.4.1.3. Switch Cubo mono/multimode 1x1, 1x2

Fabricant : Cubo.

Famille : commutateur mécano-optique.

Les Commutateurs Optiques Cubo 1x1, 1x2 (**Voir Fig.29**) sont basés sur la technologie mécano-optique avec une fiabilité prouvée, d'une technologie de pointe ; la performance est optimisée pour une vaste gamme d'applications pour la fibre optique. [12]



**Figure 29.**Commutateur mécano-optique 1x1, 1x2 de Cubo.

Spécifications [12] :

- Perte d'insertion : (typ=  $\leq 0.6$  dB max=  $\leq 1$  dB) monomode, et (typ=  $\leq 0.5$  dB max=  $\leq 0.8$  dB) multi mode.
- Longueur d'onde monomode (1280 - 1340 nm), (1520-1625 nm).
- Longueur d'onde multi mode (850 - 1300 nm).
- Type de fibre : fibre monomode-multi mode.
- Perte dépendant de la polarisation :  $\leq 0.1$  dB.
- Perte de retour :  $\leq 45$  dB.
- Diaphonie :  $\leq 80$  dB.
- Vitesse de commutation :  $\leq 5$  ms.
- Température de fonctionnement :  $-5$  °C ~  $+ 70$  °C.
- Tension électrique +5 V, Courant électrique  $< 40$  mA.

### 2.4.1.4. Switch O/E Land Inc mono/multimode-1x2

Ce commutateur optique à fibre optique à haute vitesse déplace la fibre à l'aide de courant pulsé ou DC pour atteindre une vitesse élevée de commutation et d'utiliser des aimants pour garder la fibre en position. Le commutateur optique 1x2 peut être utilisé comme unité de base pour construire des commutateurs optiques jusqu'à 1x4,1x8,1x16, etc. (**Voir Fig.30**). [13]



**Figure 30.**Commutateur électro-optique 1x2 d'O/E Land.

#### **2.4.1.4.1. Avantage Switch O/E Land Inc mono/multimode - 1x2**

- Basse perte d'insertion
- Large étendue de longueur d'onde
- Vitesse élevée de commutation
- Haute fiabilité
- Durée de vie élevée
- Large étendue pour la température d'opération. [13]

#### **2.4.1.4.2 Applications pour Switch O/E Land Inc mono/multimode - 1x2**

- Routage du signal.
- Réseau optique de transmission à large bande.
- Transition de non-interruption.
- Transfusion de fibre optique.
- Testage optique automatique. [13]

Spécifications [13]:

Paramètres	1 x 2 mode simple		
Perte d'insertion	Max=0.5 dB, typ=0.35dB, min=0.2dB		
Longueur d'onde d'application	1330nm	1550nm	Autre
Type de fibre	Fibre à mode simple ou autre type de fibre		
Perte dépendant de la polarisation	<0.05 dB		
Perte de retour	>50 dB		
Seuil de passage	>55 dB		
Répétabilité	<0.05 dB		
Vitesse de commutation	<10 ms		
Température de fonctionnement	0 °C ~ + 70 °C.		
Voltage électrique	+5 V ou pulsé		
Courant électrique	<50 mA		
Termination de la fibre	Rallonge	Connecteur	
Dimension physique	45mm x20mm x10mm		
Poids	60g		

Tableau 3. Spécifications du Switch O/E Land mono/multimode-1x2.

2.4.1.5. Switch Oplink à fibres OFMS monomode 1x1 1x2 - 2x2 Add/Drop

Fabricant : *Oplink*.

Famille : commutateur mécano-optique.

La série OFMS monomode (Voir Fig.2.14), sont des commutateurs à fibres optiques d'Oplink offrant à l'industrie les meilleures spécifications de performance et fiabilité. Ces commutateurs sont conçus pour une utilisation dans des multiplexeurs optiques Add/Drop\* et brassage optique reconfigurables, dans des systèmes de commutations croisées optiques, et dans les réseaux de commutation pour des applications de protection. Ces commutateurs mécano-optique brevetés peuvent être montés directement sur les cartes de circuits imprimés et disposent de moins de 0,35 dB de perte d'insertion et une vitesse de commutation inférieure à 10 ms. [14]



Figure 31. Commutateur mécano-optique Oplink Add/Drop OFMS monomode.

---

**Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont [14] :**

- Perte d'insertion sur 1x1, 1x2 :  $\leq 0.5$  dB, 2x2 :  $\leq 0.6$  dB.
- Longueur d'onde 1260 nm ~ 1360 nm ou 1510 nm ~ 1610 nm.
- Type de fibre : fibre monomode.
- Perte dépendant de la polarisation :  $\leq 0.1$  dB.
- Perte de retour : typ  $= \geq 55$  dB.
- Diaphonie :  $\geq 60$  dB.
- Vitesse de commutation :  $\leq 10$  ms.
- Température de fonctionnement : 0 °C ~ + 70 °C.
- Tension électrique : (max = 5.5 V, min = 4.5 V).

**2.4.1.6. Switch Agiltron Light Bend PM 1x1, 1x2**

Le commutateur à fibre optique 1\*2 PM de la série LB possède un commutateur à fibre maintien de polarisation, qui connecte les canaux optiques en dirigeant ou en bloquant un signal optique entrant dans la fibre de sortie (**Voir Fig.32**). [15]



**Figure 32.**Commutateur mécano-optique Agiltron PM de la série LB 1x1 et 1x2.

**Fonctionnalités [15] :**

- Faibles distorsions optiques.
- Isolation élevée.
- Grande fiabilité.
- Verrouillage à sécurité intégrée.
- Chemin optique sans époxy.

## Spécifications [15] :

Commutateur série LB1×1,1×2	Min	Typique	Max	Unité
Opération Longueur d'onde	850	1310	1550	Nm
Perte d'insertion <sup>[1],[2]</sup>		0.6	1.0	dB
Perte dépendante de la longueur d'onde			0.25	dB
Perte de retour <sup>[1],[2]</sup>	50			dB
Conversation croisée <sup>[1],[2]</sup>	50			dB
Temps de commutation		3	dix	SP
Répétabilité			±0.05	Db
Tension de fonctionnement	10 <sup>7</sup>			Cycle
Courant de fonctionnement	4.5	5	6	VDC
Température de fonctionnement	-5		70	°C
Température de stockage	-40		85	°C
Manipulation de puissance optique		300	500	mW

Tableau 4. Spécifications du Switch Agiltron Light Bend PM1x1, 1x2.

### 2.4.1.7. Switch à fibres F-SM19 acousto-optique de Sentronic 1x9

Fabricant : Sentronic

Famille : commutateur acousto-optique

Commutateur à fibres F-SM19. C'est un commutateur à fibres optiques mode multiple 1x9 voies. Il convient pour de multiples applications en spectroscopie. C'est par une commande piézo-électrique que chaque fibre (fibre de verre d'entrée) est couplée à l'une des 9 fibres de sortie. On peut alors raccorder une voie de référence pour des mesures éventuelles en absorption ou en réflexion sans modifier la configuration du commutateur (**Voir Fig.33**). [16]

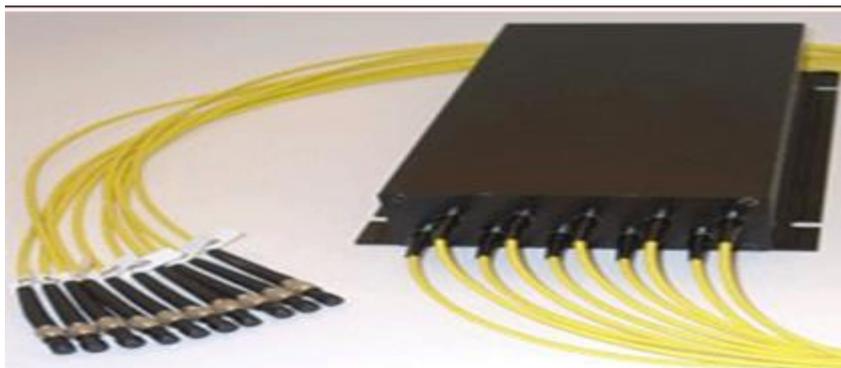


Figure 33. Commutateur acousto-optique de Sentronic.

---

## Spécifications [16] :

- Diamètre interne fibre optique : 100 - 200  $\mu\text{m}$  (autres sur demande).
- Diaphonie : - 60 dB (max), - 65 dB (typique).
- Temps de commutation : 3 ms (max), 2 ms (typique).
- Tension de service = 5 V (500 mA).
- Plage de température de service = 0 °C - 50°C.

### 2.4.1.8. Switch MEMS DiCon monomode (Add/Drop) 2x2

Fabricant : *DiCon Fiber Optics*.

Famille : commutateur micro-électromécanique.

Le commutateur MEMS monomode à Insertion/extraction 2x2 de chez DiCon est basé sur une puce à système micro-électromécanique (MEMS) (**Voir Fig.34**). La puce MEMS contient un miroir mobile sur un support en silicone. Une tension est appliquée sur la puce MEMS qui causera ainsi une rotation du miroir, qui va changer le couplage de la lumière entre les deux fibres d'entrée et aussi ceux de sorties. [17]

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont [17] :



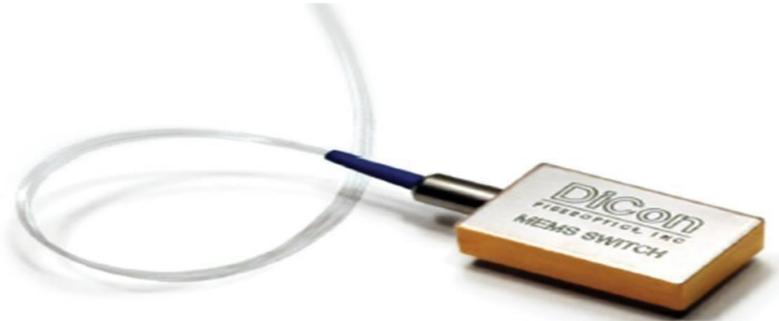
**Figure 34.**Commutateur MEMS monomode à. Insertion/extraction 2x2.

- Perte d'insertion (simple bande = 1 dB, double bande = 1.2 dB). Longueur d'onde d'application 1290 nm ~1610nm.
- Type de fibre : fibre monomode.
- Perte dépendant de la polarisation : 0.10 dB.
- Perte de retour : 50dB max.
- Diaphonie : 50dB.
- Vitesse de commutation : 20 ms max.
- Température de fonctionnement : -5°C ~ + 70 °C.
- Tension électrique = +12 V.
- Consommation = 170 mW.
- Puissance Optique = 500 mW.

---

### 2.4.1.9. Switch MEMS DiCon monomode 1xN

Le commutateur optique MEMS 1xN de DiCon permet la sélection des canaux entre une fibre d'entrée et jusqu'à N fibres de sortie. L'interrupteur est bidirectionnel et peut également être utilisé comme sélecteur Nx1. Construit avec le commutateur optique à fibre MEMS éprouvé de DiCon technologie, ce commutateur optique offre une haute fiabilité, durabilité, Fonctionnement longue durée dans un boîtier OEM compact (**Voir Fig.35**). [18]



**Figure 35.**CommutateurMEMSDiConmonomode1xN.

#### APPLICATIONS [18] :

- Communications optiques.
- Détection de fibre.
- Instrumentation biomédicale.
- Distribution video.

### 2.4.1.10. Switch Light Wave Link Inc 2x2

Fabricant: Light Wave Link Inc.

Famille : commutateur électro-optique.

Light Wave Link Inc, est un switch optique 2x2 (**Voir Fig.36**). Fournit une sélection de port entre une fibre d'entrée et une autre de sortie. Ce switch est adapté pour plusieurs application par exemple la protection optique du réseau, appareil de mesure, routage, Add/Drop. Le mécanisme de verrouillage assure un bon fonctionnement. [19]



**Figure 36.**CommutateurLightWaveLinkInc2x2.

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont les suivantes [19] :

- Perte d'insertion : typ = 0.5 dB, max = 1.0 dB.
- Longueur d'onde d'application 1310 nm ~ 1550nm.
- Type de fibre : fibre monomode / multimode.
- Perte dépendant de la polarisation : 0.1 dB.
- Perte de retour : 50 dB max.
- Diaphonie : 60 dB.
- Vitesse de commutation : max = 10 ms.
- Température de fonctionnement : -5°C ~ + 70 °C.
- Tension électrique : min = 4.5 V, typ = 5 V max = 5.5 V.

## 2.5. L'unité optique du réseau (ONU)

L'unité optique du réseau (ONU) convertie les signaux optiques transmis à travers la fibre en des signaux électriques. Ces signaux électriques sont ensuite envoyés aux abonnés individuels.

L'ONU assure les fonctions de conversion du signal optique en un signal électrique et l'émission des données des abonnés.

L'ONU assure une interface optique vers l'ODN et implémente les interfaces côté usager de l'OAN. Les ONU doivent être situées dans les locaux des usagers (FTTH, FTTO et FTTB) ou à l'extérieur (FTTC). L'ONU fournit les moyens nécessaires pour assurer les différents services qui doivent être traités par le système. Le schéma fonctionnel de l'ONU (Voir Fig.37).

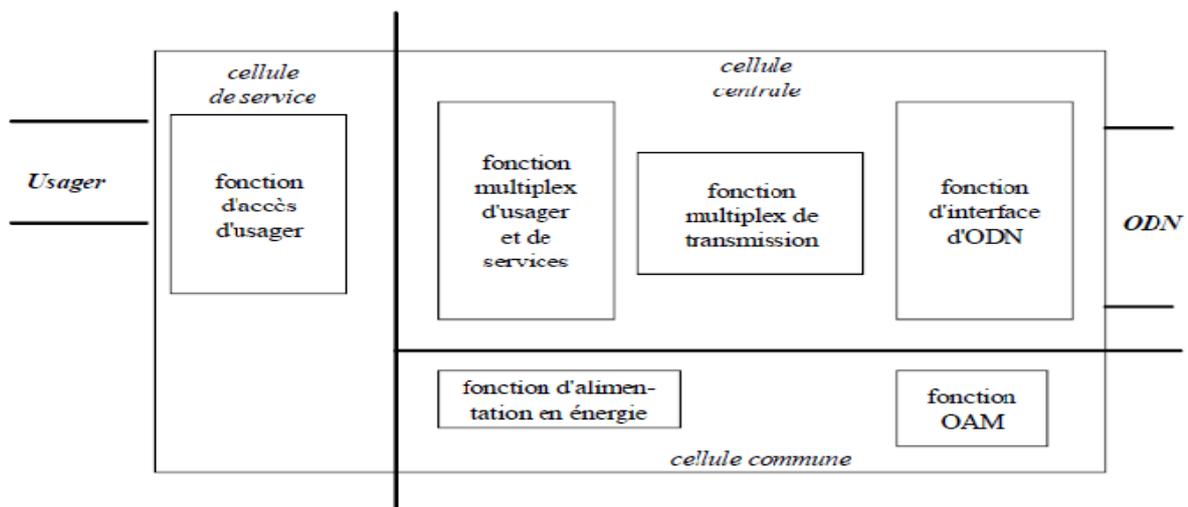


Figure 37. Bloc fonctionnel de l'ONU selon la spécification G.982.

---

D'après (Fig.37), le bloc fonctionnel de l'ONU selon la spécification de la norme de l'ITU-T G.982, comprend trois cellules, en l'occurrence, la cellule centrale, la cellule de service et la cellule commune. La cellule centrale est formée par des blocs qui assurent des fonctions d'interface ODN, un bloc qui traite une fonction multiplex de transmission et un bloc qui garantit une fonction de multiplex d'utilisateur et de services. D'autre part, la cellule de service présente une fonction d'accès d'utilisateur.

Enfin, la cellule commune assure deux fonctions, à savoir une fonction d'alimentation en énergie et une fonction OAM (Opération, Administration and Maintenance). La fonction OAM côté ONU permet de garantir les fonctions d'exploitation, de gestion et de maintenance pour tous les blocs de l'ONU (par exemple commande des boucles dans les différents blocs).

Le module optique de l'ONU est composé par un laser Fabry Pérot opérant à 1310nm, un filtre WDM et un photorécepteur PIN. [20]

## 2.5.1. Les différents types des unités optiques des réseaux

### 2.5.1.1. FTTH ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV

En Ontario-4FE-RF (4GE+CATV) série est un équipement d'accès de la bande passante FTTH (Voir Fig.38). .basée sur la technologie GPON mature et stable, il possède de puissantes fonctions avec une haute stabilité, QoS garantie, compréhensive de gestion et de construction de réseau flexible, etc. ONTONT-4FE-RF series est entièrement compatible avec l'UIT-T G.984 de la technologie standard. Il adopte une seule fibre avec liaison descendante de la technologie de la GDE ONDE 1490nm, longueur d'onde de liaison ascendante 1310nm .Il a uniquement besoin d'un noyau de fibre optique pour transmettre des données de service. En Ontario-4FE-RF série a 1 PON port, quatre ports 10/100/1000BASE-ports T et une sortie CATV. [21]



Figure 38. FTTH ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV.

#### L'application [21] :

- Solution typique : FTTH, FTTO, PON+EOC.
- Entreprise typique : Internet, CATV, IPTV, VSD, la caméra IP.

### Caractéristique fonctionnelle [21] :

- La compatibilité complète avec l'UIT-T G.984.
- Appuyer quatre GE auto-adaptation de ports Ethernet.
- Soutenir l'une sortie CATV.
- L'appui OMCI et TR069 pour la gestion à distance
- Pour la gestion locale Web de support.
- L'appui CATV allumer/éteindre à distance de sortie RF.

### Spécifications [21]:

Le point		Le paramètre
L'interface	<b>Interface de liaison montante</b>	1*GPON port, la FSAN norme G.984.2, Classe B+ En aval : 2.488Gbit/s de débit de données En amont : 1.244Gbit/s de débit de données SC/PC mode fibre simple Perte de liaison 28dB et 30km de distance avec 1 :128
	<b>Interface CATV</b>	1 sortie RF femelle du connecteur de type F
	<b>Interface Ethernet</b>	4*10/100/1000Mauto-négociation En mode full/half duplex Connecteur RJ45 Détection automatique MDI/MDI-X 100m de distance
	<b>Interface de puissance</b>	Alimentation DC 12V
Les performances Paramètres	<b>PON Lecteur optique Le paramètre</b>	Longueur d'onde : Tx, Rx 1310 nm1490nm Tx : 0~5dBm de puissance optique Sensibilité RX : -27dBm Saturation : -8dBm de puissance optique Type de connecteur : SC Fibre optique : 9/125µm Fibre monomode
	<b>Transmission de données Paramètre</b>	PON Débit : 2.488Gbit/s en aval s ; U 1.244Gbit/s Ethernet : 1000Mbits/s Ratio de perte de paquets : <1*10E-12 Temps de latence : <1.5ms
	<b>Capacité d'affaires</b>	Commutation à vitesse filaire de couche 2 L'appui de balise VLAN/LE GANUPT, conversion de VLAN L'appui de limitation de vitesse en fonction du port L'appui de la classification de priorité Soutenir le contrôle des tempêtes de diffusion Détection de lien de support

Tableau 5.Spécifications FTTH ONU Unité de réseau optique 4ge+Wifi+CATV.

---

### 2.5.1.2. Unité de réseau optique à port unique XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais, entièrement compatible avec GPON/EPON

1. XPON-ONU ONU à utilisateur unique est conçu pour ONU dans les solutions FTTH applicables par MEIBAI (Voir Fig.39), l'application FTTH de classe transporteur fournit un accès au service de date. GPON-ONU adopte des puces à haute performance et à faible consommation, et prend en charge l'interconnexion ctc-3.0 et la norme d'interfonctionnement de China Telecom. Avec l'aide de NGBN View NMS, il peut fournir aux abonnés des services abondants et répondre totalement aux besoins des appareils FTTH de classe opérateur.

2. XPON ONU est conçu par le jeu de puces ZTE. [22]



Figure 39.XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais.

#### Fonctionnalité [22] :

- La couleur est facultative.
- mode routeur/DHCP/IP statique.
- Prise en charge de la limitation de débit basée sur le port et du contrôle de la bande passante.
- Conforme à la norme ITU-T gx984.
- Jusqu'à 20KM de Distance de transmission.
- Supporter le cryptage des données, la diffusion de groupe, la séparation du port Vlan, etc.

Spécifications [22] :

	<b>Le point</b>	<b>Paramètre</b>
<b>Interface</b>	<b>Interface de liaison montante</b>	1 interface optique GPON Conforme à la norme de classe B + En amont 1.244Gbps; En amont, c'est 1.244Gbps (EPON) En amont, c'est 2.488Gbps (GPON) SC fibre monomode Ratio de division: 1:64 Distance de Transmission 20KM
	<b>Interface Ethernet</b>	1*10/100/1000M auto-negotiation Mode duplex complet/semi-duplex Connecteur RJ45 Auto MDI/MDI-X Distance de 100m
	<b>Interface de puissance</b>	Alimentation 12V cc
<b>Paramètres de Performance</b>	<b>PON Lecteur optique Le paramètre</b>	Longueur d'onde: Tx 1310nm, Rx 1490nm Puissance optique Tx: 0.5 ~ + 5dBm Sensibilité Rx: -27dBm Puissance optique de Saturation: -8dBm Type de connecteur: SC Fibre optique: Fiber monomode 9/125µm
	<b>Transmission de données Paramètre</b>	Débit PON: en amont 2300Mbps; En amont 110Mbps, Rapport de perte de paquet: <1*10E-12 Latence: <1.5ms
	<b>Passerelle</b>	Mode routeur/DHCP/IP statique WAN prend en charge le mode routeur et pont WAN prend en charge Internet, VoIP, IPTV, TR069 LAN prend en charge DHCP et IP statique Support neuf et NAPT Support UPnP
	<b>Capacité d'affaires</b>	Commutation de vitesse de fil de couche 2 Supporter le TAG/UNTAG VLAN, conversion VLAN Prise en charge de la limitation de vitesse basée sur le Port Soutenir la classification des priorités Prise en charge du contrôle de la tempête de la diffusion

Tableau 6. Spécifications XPON ONU 1GE Gigabit, firmware anglais.

---

### 2.5.1.3. ONU TM-0400P :

TM-0400 ONU conçu pour les applications FTTH est conforme à la norme IEEE803.2ah 1000Base-PX10/PX20, fournissant 1 port de liaison montante PON et 4 interfaces utilisateur de liaison descendante (10/100BASE-T). TM-400 est capable de couvrir 10/20km d'autonomie avec le rapport de division optique maximal de 1 :32. (Voir Fig.40).

Il prend en charge la maintenance locale avec l'interface de ligne de commande (CLI) et la gestion de réseau OAM à distance. Avec les softels OLT équipement, TM-0400 ONU pourrait réaliser la structure et la maintenance flexibles de réseau et fournir des Solutions totales de FTTx. [23]



Figure 40.ONU TM-0400P.

#### Caractéristiques [23] :

- Une alimentation spécialement conçue pour éviter les surtensions et les bus de mise à la terre externes.
- pour la protection contre la foudre convient à divers conditions.
- Le circuit de montre-chien de matériel est adopté pour éviter l'accident de micro-ordinateur et maintenir la stabilité de systèmes.
- Port de liaison montante (802.802.3ah).
- Soutient IEEE802.3ah OAM son expansion.

Spécifications [23] :

Module	Caractéristique	Description
<b>PON d'interface optique</b>	Puissance d'émission	1000BASE-PX10 + 2 ~-3dBm 1000BASE-PX20 + 2 ~-7dBm
	Sensibilité du récepteur	1000BASE-PX10 ≤-24 dBm 1000BASE-PX20 ≤-27 dBm
	Tresse de Fibre	Mode unitaire
	Connecteur	SC/PC
<b>ONU gestion</b>	Bande passante configuration	Liaison montante: priorité de service, bande passante minimum engagée et optimale; Liaison descendante: bande passante maximale
	Symbole informations	ID de charge, LLID, ONU ID, adresse MAC, version OAM, RTT et ainsi de suite acquirable
	L'authentification ONU	Authentifier l'entrée réseau d'ONU
	Gestion des statistiques	Recueillir l'état du flux de données UNI ONUs
	Gestion des ports	Gérer l'état des ports Ethernet ONUs
<b>Protocole Layer-2</b>	LA SURVEILLANCE IGMP	Prend en charge IGMPv1, V2 (requête de rapport et laisser et fouiner)
	Port de séparation	Séparation physique des canaux des ports ONU basée sur la norme IEEE802.3ah
	VLAN	Soutien VLAN transparente. Service VLAN et empilement de VLAN
	Limitation de débit et contrôle de la bande passante	Port de soutien vitesse basée sur la limitation et le contrôle de la bande passante
<b>Contour</b>	Consommation d'énergie	6w (à pleine charge)
	Taille	163mmX115mmX28mm
<b>Alimentation</b>	AC 220V	AC220-DC 12V 1A Tension d'entrée ca 90 ~ 264V

Tableau 7. Spécifications ONU TM-0400P.

## 2.6. Coupleur optique

Un coupleur optique est un outil passif qui divise une puissance optique apportée par une fibre en entrée sur plusieurs fibre optique en sorties. Un composant est dit passif si son fonctionnement est constant dans le temps, et ne nécessite pas de signal (électrique ou optique) de commande. (Voir Fig.41).

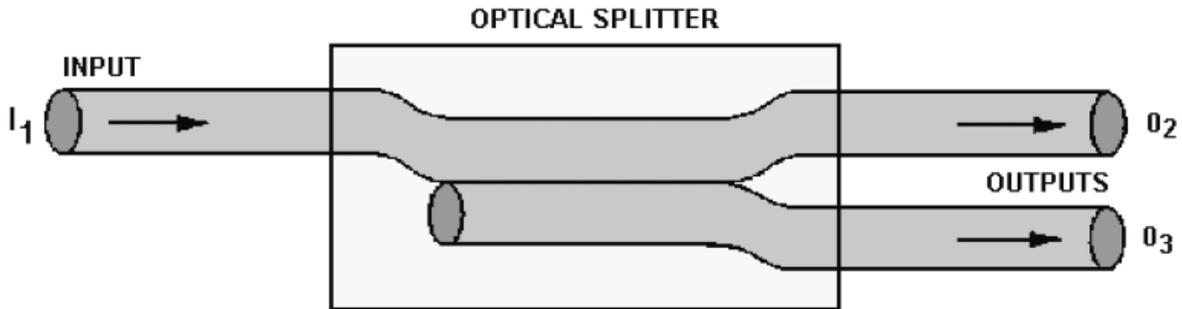


Figure 41. Coupleur optique à technologie de fibre.

Coupleur optique de technologie intégrée : ces coupleurs sont fabriqués par juxtaposition de deux guides planaires dans du verre ou du SiO<sub>2</sub>/Si. L'avantage de ce type de coupleur est qu'il permet la miniaturisation ainsi que de faibles couts pour de grand volume de production. [20]

### 2.6.1. Caractéristiques optiques:

Le Tableau (Tab.8) donne les caractéristiques optiques initiales d'un coupleur (à fibres optiques) prototype fonctionnant à des longueurs d'onde de 1310 et 1550 nm. L'affaiblissement d'insertion maximal, y compris les deux points de raccordement entre la puce PLC et les fibres, était de 6,92 dB. L'affaiblissement excédentaire du coupleur (à fibres optiques) était inférieur à 1 dB, car l'affaiblissement des quatre branches était de 6 dB. L'affaiblissement d'adaptation minimal était de 56,5 dB et l'affaiblissement lié à la polarisation maximale était de 0,17 dB. Nous confirmons que le coupleur (à fibres optiques) prototype présente des caractéristiques d'affaiblissement optique satisfaisantes [24].

Elément	Longueur D'onde (nm)	Affaiblissement (dB)			
		Port1	Port2	Port 3	Port4
Affaiblissement d'insertion	1310	6,57	6,62	6,87	6,64
	1550	6,55	6,71	6,92	6,61
Affaiblissement d'adaptation	1310	58,7	58,6	58,5	58,7
	1550	56,5	56,6	56,6	56,6
Affaiblissement Lié à la polarisation	1310	0,14	0,14	0,17	0,14
	1550	0,11	0,12	0,07	0,08

Tableau 8. Caractéristique optiques.

## 2.6.2. Quelques types des coupleurs optiques

### 2.6.2.1. COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE (Voir Fig.42) :



Figure 42.COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE.

#### Caractéristiques [25] :

- Haute fiabilité.
- Basses pertes d'insertion
- Très basse PDL (Polarization dependent loss- Sensibilité à la polarisation)
- Dessin et dimensions compactes

#### Applications [25] :

- Réseaux de communications,
- Métrologie, monétarisation de systèmes

#### Spécifications techniques [25] :

Paramètres(Unité)					
Configuration(%)	1/99	5/95	20/80	40/60	50/50
Pertes d'insertion max (dB)	21,5/0,25	15,0/0,4	7,8/1,2	4,6/2,7	3,6/3,6
Longueur d'onde centrale (nm)	1310&1550				
Bande passante (nm)	+/-40				
Uniformité max.(dB)	0,7				
PDL (dB)	0,15				
Directivité min. (dB)	Type1 x2:50Type 2x2 :65				
Stabilité thermique(dB/°C)	0,02				
Types de fibre	SM:250um;900 um loose cable;2ou 3mm.				
Longueur de fibre min. (m.)	Standard:1m.				

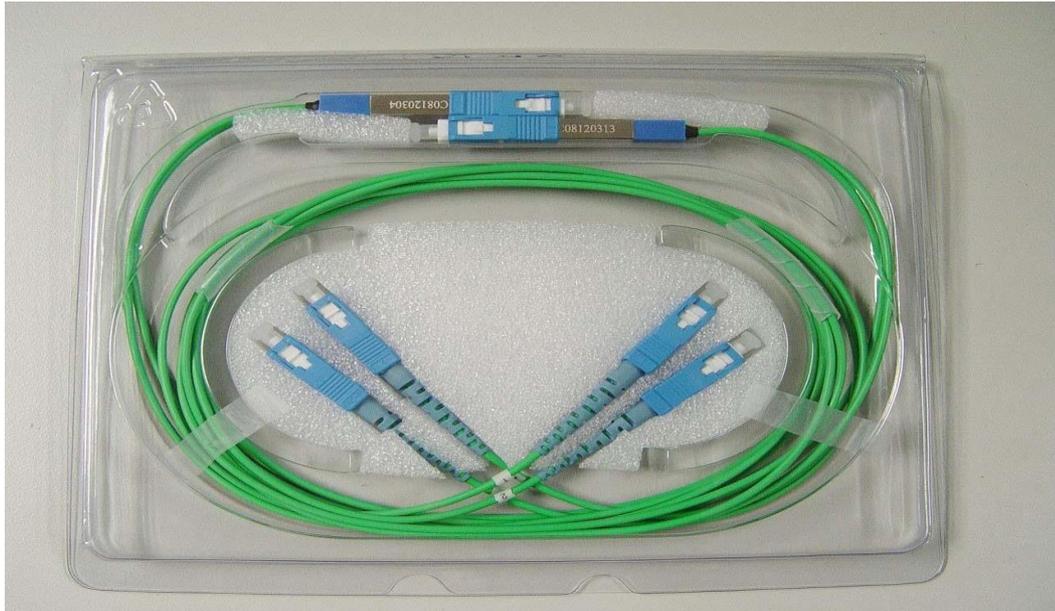
Tableau 9.Spécifications COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE.

**Dimensions [25]:**

	<b>Fibre250</b>	<b>Fibre900um loose</b>	<b>Câble2ou 3mm.</b>
<b>Standard (mm.)</b>	Ø3,0 x48	Ø3,5 x66	90x16x9/1,2
<b>Minimum (mm.)</b>	Ø3,0 x40	Ø3,0 x54	90x16x9/1,2

**Tableau 10.**Dimensions COUPLEUR DIVISEUR, BANDE LARGE, DOUBLE FENÊTRE.

**2.6.2.2. COUPLEUR DIVISEUR INLINE (Voir Fig.43) :**



**Figure 43.**COUPLEUR DIVISEUR INLINE.

Les coupleurs inline de COFITEL ont été conçus pour permettre son insertion directe Dans le boîtier, sans besoin d'épissurage, en augmentant ainsi leur fonctionnalité et flexibilité. Fabriqués sur commande, d'après les spécifications ci-dessus. [25]

**Caractéristiques techniques pour un coupleur 1x 2 50/50 SM avec connecteur SC/UPC (Voir Tab.11) [25] :**

<b><math>\lambda</math> centrale (nm)</b>	1310/1550
<b>Bande passante (nm)</b>	+/-40
<b>Pertes d'insertion (Connecteur inclus) (dB)</b>	4,0
<b>PDL(Max) (dB)</b>	0,15
<b>Directivité(Min)(dB)</b>	55
<b>Gamme de température (°C)</b>	-40/+75
<b>Type de fibre</b>	Loose tube2mm.

**Tableau 11.**Caractéristiques techniques d'un coupleur 1x250/50SM avec connecteur SC/UPC.

---

Dimensions [25] :(Voir Fig.44)

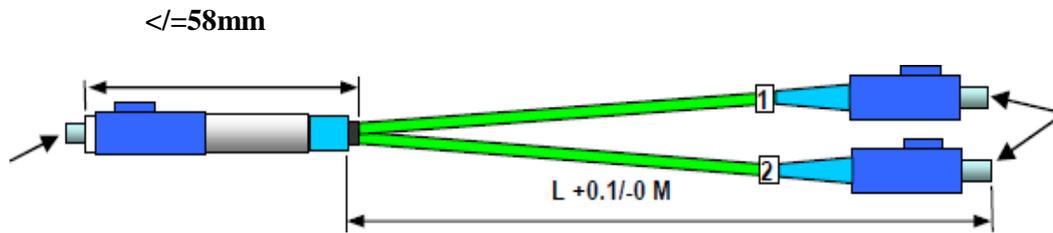


Figure 44. Dimensions d'un coupleur 1x250/50SM avec connecteur SC/UPC.

## 2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, il est passé en revue la description et le principe fonctionnel du circuit multiplexeur avec ses différents types (existants) qui les distinguent. Il est souligné que le rôle essentiel de la technique de multiplexage, dans le domaine de télécommunications, est de réaliser le mélange de plusieurs informations (signaux optiques) sur une même fibre optique permettant ainsi d'élargir sa bande passante. En outre, il est spécifié l'idée générale que les signaux reçus à l'entrée du multiplexeur sont codés par différentes longueurs d'onde, et espacés assez largement (pour éviter les interférences entre signaux) pour circuler en suite à travers la fibre et aboutir en sortie sur le démultiplexeur (un circuit combinatoire).

Pour terminer le chapitre, il est indiqué quelques références caractéristiques de l'instrumentation appropriée à l'acheminement et à la réception de signaux tels que les coupleurs de liaison et switcher (répartiteur de signaux).

---

## Références bibliographiques

- [1] <https://cdn.website-editor.net/eabf4c36872f404bb5793ca5b75e344c/files/uploaded/Introduction%2520Multiplexage%2520WDM.pdf>
- [2] [http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/multiplexage.html](http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/multiplexage.html)
- [3] Andrew TANENBAUM Réseaux Dunod, juillet 1997, 3ème édition
- [4] THESE Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LIMOGES  
Discipline: Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques  
Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40Gbits/s  
Présentée et soutenue publiquement par  
Jean-Louis VERNEUIL  
Le vendredi 21 novembre 2003
- [5] SEGURA. D ; LABAUD. A ; -«Réseaux optiques et routage optique » 2007.
- [6] BEAUQUIER, B; – «Communication dans les réseaux optiques par multiplexage en longueur d'onde » Es Sc. Informatique. Thèse de doctorat de NICE - SOPHIA ANTIPOLIS. 2000
- [7] GEROME. F ; - «Conception et caractérisation de fibres compensatrices de dispersion chromatique pour application aux liaisons optiques WDM » Thèse de doctorat de l'Université de LIMOGES. 2005
- [8] Thèse de master de l'université SAAD DAHLAB DE BLIDA réalisé par *BOULILA Rachid et HAUCHE Salim* «Etudes des différents multiplexages dans les liaisons par fibre optique » 2011/2012.
- [9] Thèse de doctorat Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRESIS Discipline par Dafa Seynabou, LOUM, spécialité selon la liste des spécialités pour lesquelles l'Ecole Doctorale est accréditée : Electronique Présentée et soutenue . Le 23/02/2012, à Valenciennes.
- [10] <https://www.lasercomponents.com/fr/produit/switch-optique/>. Accéder le 24/05/2021 à 23h
- [11] Sercalo microtechnology ltd, Schaan Principality of Liechtenstein, « LATCHING FIBER OPTIC MEMS SWITCH Landstrasse » 151, 9494,  
<http://www.sercalo.com/products/pdfs/SL2x2.pdf>, Année 2016.
- [12] Cube Optics AG, « Electro-mechanical switch 1x1 or 1x2, single mode and multi-mode » Robert-Koch-Strasse 30, 55129 Mainz Germany, <http://www.cubeoptics.com>, Année 2016.

---

[13]<http://www.o-eland.com/French%20Version/passive/other/switch.html>. Accéder le 24/05/2021 à 23:22

[14] Thèse de master de l'université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN réalisé par Mr KADDOUR Abdallah Mr MOULESSEHOUL Abderrahmane «*Etude et simulation d'un routeur optique avec OptiBPM*»2015/2016.

[15]<https://agiltron.com/product/lightbend-1x1-1x2-pm-optical-switch/> Acceder le 24/05/2021 à 23:40

[16]Sentronic, voir <http://www.getspec.com> Accéder le 24/05/2021 à 23h :52

[17] Dicon fiber Optics, « Mems single-mode add/drop 2x2 Switch », <http://www.diconfiberoptics.com/products/scd0061/0061e.pdf>, Année 2016.

[18] DiCon Fiberoptics, Inc. 1689 Regatta Blvd. Richmond, CA 94804  
<http://www.diconfiberoptics.com/products/scd0239/scd0239a.pdf>

[19] Lightwave Link, Inc. « 2x2 Optical Switch » 2F, No. 31, Industry East Rd. 9 Science-Based Industry Park East Dist., Hsinchu 300 Taiwan,  
<http://www.lightwavelink.com.tw/admins/upfile/prodects/pdf>, Année 2016.

[20] Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis Cours Réseau d'accès optique 2010-2011.

[21][https://fr.made-in-china.com/co\\_softel-optic/product\\_FTTH-ONU-Optical-Network-Unit-4ge-WiFi-CATV\\_eyignyyhy.html](https://fr.made-in-china.com/co_softel-optic/product_FTTH-ONU-Optical-Network-Unit-4ge-WiFi-CATV_eyignyyhy.html) acceder le 25/05/2021 a 23 :02.

[22] <https://fr.aliexpress.com/i/4000203479893.html> acceder le 25/05/2021 a 23 :55.

[23] <https://french.alibaba.com/product-detail/onu-tm-0400p-optical-network-unit-209239761.html> acceder le 26/05/2021 a 00 :07.

[24] Thèse de master de l'université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN réalisé par Mm ZEMAM Hadjira Mr BECHAREF Oussama «*Réalisation pratique d'un multiplexeur/switch optique 2 x2 à base d'atténuateurs optoélectroniques et coupleur 99 :1*»2019/2020.

[25]<https://fr.c3comunicaciones.es/Fichas/Aten%20form%20con%20WDM.pdf>Cofitelalgerie acceder le 26/05/2021 a 01:15.

---

# ***Chapitre III :***

***Etude pratique sur un  
multiplexeur/Switch optique  
2\*2***

***Basé sur des atténuateurs  
optoélectroniques/mécaniques***

---

### **3.1. Introduction**

Une fibre optique est un support diélectrique transparent (en verre) enrobé d'une gaine et sa manipulation se trouve systématiquement déterminée par une forte fragilité. En raison de la capacité distinguée à une fibre optique pour transporter objectivement une information physique entre deux endroits (émission, transmission), les procédés de préparation de soudure et même la technologie de fabrication, constituent une aide précieuse permettant de garantir le facteur qualité au niveau des raccords de couplage/connexion avec les appareillages de mesure.

Dans une première phase préliminaire du travail qui suit, il est décrit les conditions permettant d'agir sur la performance intrinsèque de la fibre optique attentivement préparée au moyen de l'assistance des outils spécifiques. La méthode technique d'évaluation des pertes est clairement discutée. Dans une seconde étape, il est décrit le principe de fonctionnement d'un multiplexeur. Un tel élément que nous avons monté au laboratoire dispose des entrées et des sorties dont le rôle est d'émettre un signal lumineux via la fibre optique.

### 3.2. Caractéristiques géométriques de la fibre optique

Il existe une variété de gammes de fibres optiques qui se distinguent par différents facteurs. A titre d'exemple, la fibre optique monomode que nous avons caractérisée et manipulée en pratique est référencée par **Smf-28 ultra**. De tels facteurs intrinsèques de la fibre sont récapitulés dans le tableau (**Tab.3.1**) comme suite :

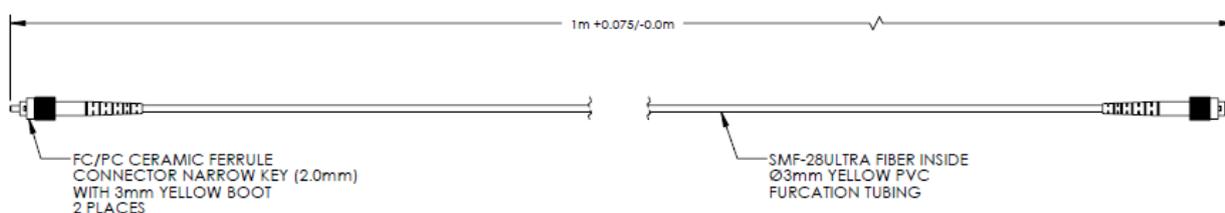
<b>Types de fibre</b>	Smf-28 ultra
<b>Sensibilité spectrale de fonctionnement</b>	1260-1625 nm
<b>Diamètre de cœur</b>	9 $\mu\text{m}$
<b>Diamètre de gaine (cladding)</b>	125 $\mu\text{m}$
<b>Diamètre de la gaine optique (coating)</b>	242 $\pm$ 5 $\mu\text{m}$ (couleur transparente)
<b>Diamètre du revêtement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

**Tab.3.1.** Caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (Thorlabs).

Le facteur fondamentalement utile l'hors de la transmission d'un signal, qui spécifie, en particulier la fibre en question, est sa sensibilité spectrale de fonctionnement. Autrement dit, la fibre optique peut conduire, à travers sa longueur d'une manière efficace la propagation d'un signal dont la longueur d'onde est contenue dans l'intervalle infrarouge allant de 1260 nm à 1625 nm. Du point de vue géométrie, le diamètre du cœur est de l'ordre de 9  $\mu\text{m}$ , avec un diamètre de la gaine est de 125  $\mu\text{m}$ . De plus, le diamètre de la gaine optique égal à 242  $\mu\text{m}$ . Le diamètre du revêtement intérieur égal à 900  $\mu\text{m}$ , qui est distingué par une couleur blanche. et celui du revêtement externe est de 3 mm référencé par une couleur jaune.

Pour assurer une liaison de prolongement suite à la fibre avec un autre support, on utilise des connecteurs. De tel élément mécanique de connexion est schématisé en Fig. 3.1 et dont la référence est désignée par FC (**Fêrle en Céramique**) / PC (**PolishedConnector**). le diamètre du connecteur FC mesure 2.5 mm avec une clé étroite (narrow key) de diamètre égal à 2 mm. [1]. Afin de donner une idée plus claire sur la connexion des extrémités d'une fibre optique avec une autre, on représente le schéma comme indiqué ci-dessous :

### 3.2.1. Schéma de la fibre SMF-28-FC-1 (Voir Fig.45). [3]



**Figure 45.**Schéma de la fibre SMF-28-FC-1.

La société mère de la conception de fibres optiques ‘‘Thorlabs’’ propose des câbles de brassage monomodes réalisés avec des connecteurs du type FC / PC disposés aux deux extrémités. A savoir que chaque câble est fabriqué au niveau de l’usine avec un équipement de pointe performant et testé, évidemment individuellement pour assurer une faible perte de retour du signal émis dont le taux est de 50 dB. La fibre P1-SMF 28-FC-1 est dotée d’une gaine de protection en PVC de diamètre 3 mm avec des fils internes en Kevlar permettant ainsi de garantir la durabilité d’utilisation au laboratoire. [3]

### 3.2.2. Câble de raccordement à fibre optique monomode

Dans cette section, il est reporté la description des caractéristiques de quatre types de connecteurs spécifiés par des acronymes fiables pouvant assurer le raccordement ou la liaison entre les extrémités des fibres ou avec tout autre dispositif d’acquisition de données de traitement d’un signal.

Les connecteurs sont destinés à coupler mécaniquement les fibres et leurs alignements afin que la lumière puisse être transmise. Le rôle d’un connecteur de fibre optique est de mettre fin à une fibre optique et permet sa connexion et sa déconnexion plus rapide qu’un procédé de collage standard, c’est-à-dire une flexibilité de remplacement l’hors des opérations de montage et de démontage.

En pratique, il existe la disponibilité d’un premier type de connecteurs à savoir: les connecteurs à baïonnette ou ST (acronyme de Straight Tip (traction droite)) sur la figure qui suit :



**Figure 46.**Connecteur ST (Straight Tip).

De tel type de connecteurs ST sont développés aux états unis d’Amérique par AT&T et s’avèrent employer pour les environs professionnels comme les dispositifs de réseaux d’entreprises et les applications militaires.

---

Pour le cas de fibres optiques multimodes présentant un cœur de grand diamètre pour permettre le passage de plusieurs longueurs d'ondes lumineuses, il est prévu un système avec baïonnette qui assure un verrouillage du connecteur en y agissant manuellement par une pression et une rotation. Avec un tel système de liaison, on parvient à éviter les problèmes de serrages excessifs indésirables et l'endommagement de l'extrémité de la fibre optique due sa fragilité. Une caractéristique comparative par rapport à une fibre monomode initialement déployée en France, c'est que la distance d'utilisation ne peut dépasser 5km. Les pertes de connexion sont inférieures à 0,5 (en moyenne de l'ordre de 0,3). [3]

Nous citons également un deuxième type de connecteur dont le profil est montré ci-dessus :



**Figure 47.** Configuration d'un connecteur SC à encliquetage (Square Connector ou Connector de Suscribor).

Le mécanisme de verrouillage avec ce type de connecteur SC s'établit en agissant avec une simple pression. En effet, l'action opérée constitue un mécanisme de push-pull rapide couplé à un alignement précis par l'intermédiaire d'un embout en céramique prévu sur l'élément connecteur.

Pour des informations complémentaires, il est à préciser que la forme carrée du profil porté sur tout connecteur SC contribue à l'acheminement de l'information (signal physique) avec des densités de connexion plus élevées sur les instruments et les panneaux de raccordement. Ils sont, préférentiellement sélectionnés dans la réalisation de différentes applications de bureau telles que la transmission TV et la téléphonie par câbles, ainsi que et dans les applications de réseaux de connexion. Les raisons majeures relatives aux larges utilisations des connecteurs SC reviennent au fait qu'ils offrent des avantages à savoir le faible coût, la simplicité d'installation, et la durabilité [4]. On note de plus que le connecteur SC admet une utilisation en monomode et en multimode et se caractérise par une atténuation moyenne de 0,25dB.

Le troisième type de connecteur d'acronyme FC est reporté sur la figure qui suit :



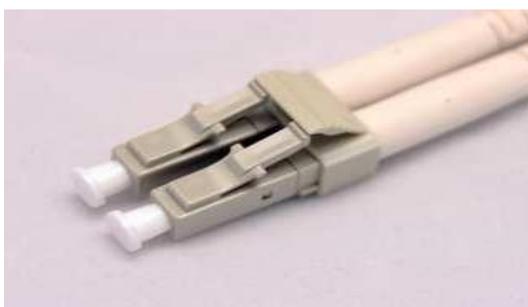
**Figure 48.** Connecteur FC (Ferrule Connector).

---

Ce type de connecteur à fêrûle, développé par Nippon Téléphone et Telegraph est utilisé pour connecter des fibres optiques monomodes entres elles dont les atouts sont spécifiés par : une bande passante quasi-illimitée, insensibilité aux perturbations électromagnétiques, et des vitesses élevées de transfert de données. C'est un connecteur à vis avec fixation résistant aux vibrations, il est pour cela quelque fois utilisés dans des systèmes en mouvement. Il est également utilisé dans des instruments de mesures (comme les OTDR) et très utilisés en CATV. Tel qu'il est visuellement apparent sur le profil, le connecteur porte un ergot émergeant anti-rotation qui empêche l'endommagement de l'extrémité de la fibre, et qui réduit la sensibilité à l'alignement en rotation. Ainsi, il est garanti, deux avantages en conséquence :

Le positionnement optimale de la fibre, et donc des pertes minimales. C'est un connecteur qui présente un embout en céramique de haute précision. [3]

Un quatrième type de connecteur d'acronyme LC (Lucent Connector) est schématisé comme suite :



**Figure 49.**Connecteur LC.

Ce connecteur a été développé par **Lucent Technologies** et mis à disposition en 1997, spécifié par ces caractéristiques : similaire à un RJ45 (type push / pull). Le corps du connecteur est plus compact que celui de SC. Il est particulièrement utilisé pour améliorer la densité des points de raccordement en façade et pour le FTTH. Il est appliqué pour les fibres optiques monomodes. Il admet une atténuation moyenne de 0,1 dB. La normalisation de son diamètre de la f  r  le est de 1,25 mm.

Ce sont des petits connecteurs SC. Ainsi, avec les mêmes propriétés, on peut les placer dans des endroits présentant des accès plus difficiles.

Le connecteur LC est soumis à d'excellentes performances et est grandement privilégié pour la transmission monomode. Les connecteurs LC diminue la salle de près de 50% surtout le réseau. Il facilite les choses pour les mouvements, les ajouts et modifications, l'aide ainsi à la sauvegarde de dépenses supplémentaires. Le connecteur LC fait usage d'une édition améliorée du bien connu, convivial prise téléphonique RJ-style qui offre un clic, de rassurer clair lorsqu'il est connecté. Jumper connecteurs LC sont équipées des clips amovibles ce qui facilite la correction des inexactitudes polarité lors de la résiliation ou de connecteurs simples, duplex dans le domaine. Le mélange distinctif de petite taille et le clic de la connectivité rendent le connecteur LC un choix idéal pour les réseaux haute performance d'aujourd'hui. [3]

Dans le tableau (**Tab.12**) qui suit, il est récapitulé les caractéristiques spécifiques des quatre types de connecteurs décrits précédemment.

<b>Types</b>	<b>Designations/Acronyme</b>	<b>Diamètre de Ferrule</b>	<b>Norme</b>	<b>Applications</b>
<b>FC</b>	<b>Ferrule Connector</b>	2,5mm	IEC61754-13 DATA COM	DATA COM, Télécoms, équipement de mesure, monomode lasers
<b>LC</b>	<b>Lucent Connector (ou Local Connector)</b>	1,25mm	IEC61754-20	Connections de forte densité, SFP transceivers
<b>SC</b>	<b>Subscriber Connector ou Standard Connector ou Siemon Connector</b>	2,5mm	IEC61754-4	DATA COM Ettélécoms
<b>ST</b>	<b>Straight Tip</b>	2,5mm	IEC61754-2	Utilisé en multimode, et rarement en monomode

**Tableau 12.**Tableau récapitulatif des caractéristiques intrinsèques aux connecteurs setleurs. [3]

Nous proposons un service de câble de raccordement à fibre optique personnalisé qui peut généralement expédié des commandes personnalisées le jour même de leur passation. (Voir Fig.50). [4]



Figure 50. Fibre optique monomode P1-SMF-28E-FC-1 du fabricant Thorlabs. [4].

### 3.2.3. Ouverture numérique d'une fibre

une fibre optique caractérise le cône d'acceptance de la fibre :

Si un rayon lumineux tente de pénétrer la fibre en provenant de ce cône, alors le rayon sera guidé par réflexion totale interne ; Dans le cas contraire, le rayon ne sera pas guidé. En posant  $n_c$ ,  $n_g$  et  $\theta$  respectivement les indices du cœur,

De la gaine et l'angle d'incidence, alors l'ouverture numérique de la fibre s'exprime par la formule :  $ON = \sin(\theta_{i\max}) = \sqrt{n_g^2 - n_c^2}$

Cette expression est indépendante de l'indice de réfraction  $n_0$  du milieu extérieur : O.N. est une caractéristique propre à la fibre. (Voir Fig.51)

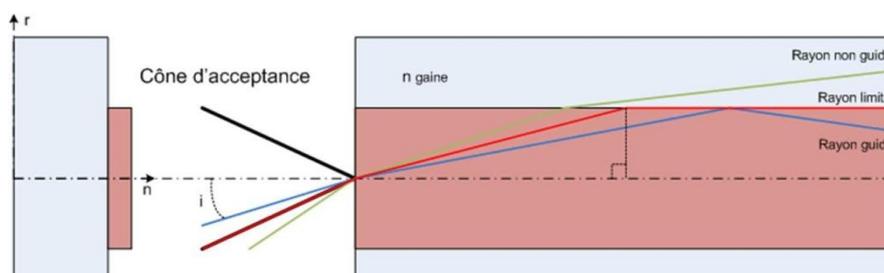


Figure 51. Le guidage des rayons dans une fibre optique.

### 3.3. Caractéristiques techniques des appareils de mesure

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

Les sources laser de la série CMA5 sont économiques et admettent une stabilité appréciée pour toute utilisation dans la mesure d'atténuation point à point. De plus, elles se déterminent par une conception robuste, pour pouvoir résister aux influences de l'environnement telles que les difficultés de test au cours de l'installation et de la maintenance des câbles à fibres optiques. Leur système d'alimentation bidirectionnel est doté d'une batterie de 9V et un adaptateur de secteur (en option). De tels éléments garantissent l'adaptation de la série CMA5 avec toutes les situations l'hors de leurs usages. Pour protéger davantage votre investissement, une garantie de 3 ans est standard. Les sources de lumière CMA5 sont des sources idéales pour tester et analyser les fibres monomodes/multimodes car elles admettent en terme de longueur d'onde une large bande spectrale d'émission pour répondre aux applications de test allant de la communication de données à partir de 850nm jusqu'à 1300 nm au WDM pour les longueurs d'onde : 1310nm, 1550nm, et 1625 nm. Des modèles de longueurs d'onde simples et doubles sont disponibles et n'ont qu'un seul port de sortie. Les sources laser de la série CMA5 se caractérisent par une réduction du temps de mesure du fait qu'elles sont basées sur des technologies avancées en termes de contrôle de précision, et sont dotées avec des tonalités de modulation et sans temps de préchauffage. La vue d'un tel appareillage est présentée sur (Voir Fig.52). [5]



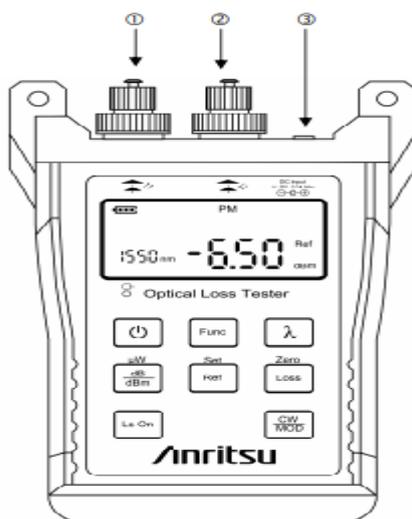
Figure 52. Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU.

Le tableau (**Tab.13**) récapitulatif des caractéristiques du boitier laser

<b>Model</b>	5LT35
<b>Port de source lumineuse</b>	
<b>Fibre optique prise en charge</b>	10µm/125µmfibre monomode,PC-polished
<b>Longueur d'onde</b>	1310nm/1550nm±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 (10µm/125µm) /Multimode(50µm/125µm, 62.5µm/125µm)
<b>Longueur d'onde calibrée</b>	850,1300, 1310, 1490, 1550,1625nm
<b>Résolution d'affichage</b>	0.01dB

**Tableau 13.**Caractéristiques de la Source laser/testeur de pertes, model5LT35d’ANRITSU. [6]

**Description du mode de fonctionnement :(Voir Fig.53). [7]**



**Figure 53.**Commandes de fonctionnement de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5.

Le tableau (**Tab.14**) récapitule les fonctions des différentes touches de la Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d’ANRITSU :

Clé	Description
	Allumez et éteignez l'instrument.
<b>Func</b>	Appuyer pour basculer entre l'affichage LCD CMA5 5LT35/83 de la source de Lumière et du tester de perte optique.
<b>λ</b>	λ est utilisé pour sélectionner la longueur d'onde de la puissance optique
<b>dB/dBm</b>	Lorsque <<PM>> s'affiche à l'écran, appuyer sur cette touche pour basculer le mode de mesure entre la puissance absolue (dBm) et la puissance relative (dB)
<b>Ref</b>	Appuyer sur cette touche pour afficher la valeur de référence stockée dans la mémoire. Maintenez la touche enfoncée pendant plusieurs secondes jusqu'à HELD apparait sur l'affichage et stocke cette valeur dans la mémoire interne comme niveau de puissance de référence. Quand le CMA5 5LT35/83 passe en mode dB les écrans LCD la différence en dB entre le niveau de référence et la Puissance actuelle.
<b>Loss</b>	Clé pour le test de perte de boucle, la mesure de la perte optique est effectuée en Utilisant la puissance de référence qui est la lumière puissance source mesuré avant expédition et stockée dans la mémoire.
<b>CW/MOD</b>	Appuyez sur la touche lorsque la source lumineuse est allumée CMA5 5LT 35/83, changera le mode de sortie de l'onde de puissance optique. le CMA5 5LT35/83 propose trois modes de sorties d'onde la fréquence modulé (mod) est principalement utilisé pour l'optique identification des fibres .la fréquence modulée sélectionnée (270 Hz ,1000 Hz ou 2000Hz) s'affiche sur L'écran ; normalement c'est l'onde continue (CW) pour fonctionner avec la mesure de puissance optique ou optique qualité de la communication .la fréquence modulée (Mod) est principalement utilisée pour l'identification des Fibres optiques. Le mode Wave est affiché sue l'écran LCD.

**Tableau 14.**Description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de lasérieCMA5. [7]

**REMARQUE :** tous les modèles de la série CMA5 testeurs de pertes optiques admettent des fonctions et des commandes similaires.

**1. Connecteur de sortie (ouverture du laser) (Fig.53).**

Port de sortie optique (le testeur de perte optique de la série CMA5 est fourni avec un adaptateur munie d'un connecteur (FC, SC ou ST) utilisable comme accessoire standard).

Avec un adaptateur de connecteur (FC, SC ou ST) en tant qu'accessoire standard).

**2. Connecteur d'entrée (détection laser) (Fig.53).**

Port d'entrée optique (le testeur de perte optique de la série CMA5 est fourni avec un adaptateur de connecteur (FC, SC ou ST) utilisable comme accessoire standard).

Avec un adaptateur de connecteur (FC, SC ou ST) en tant qu'accessoire standard).

**3. Prise d'alimentation externe (Fig.53).**

Connectez l'adaptateur CA fourni à cette prise d'alimentation externe.

Alimentation requise : 9V DC @300mA Max. [7]

### 3.3.2. Wattmètre optique (Optical Power Meter)

Les wattmètres pour fibres optiques de la série CMA5 sont fonctionnels aux longueurs d'onde calibrées : 850,1300, 1310, 1490, 1550 et 1625 nm. Ces appareils fournissent la mesure de la puissance absolue en unité de mdB, et microwatts ( $\mu\text{W}$ ), ainsi que l'atténuation (puissance relative). Les modèles 5P100 et 5P200 à usage général ont une plage de mesure de puissance allant de +10mdB à -60 mdB. Il y a disponibilité de deux autres modèles tels que 5P100C et 5P200C qui admettent une gamme de mesure de puissance allant de +23mdB à -50 mdB. De tels instruments sont idéals pour les tests CATV.les tests. Tous ces modèles ont la possibilité de mémoriser le niveau de puissance en mdB actuellement affiché comme référence pour les mesures ultérieures. Comme référence pour les mesures ultérieures. (Voir Fig.54). [8]



Figure 54.Wattmètre optique (Optical Power Meter). [8]

Le tableau (Tab.15) récapitule les caractéristiques techniques de cet appareil de mesure :

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

Tableau 15.Caractéristiques du wattmètre optique model 5P100delasérieCMA5. [8]

Description :(Voir Fig.55)

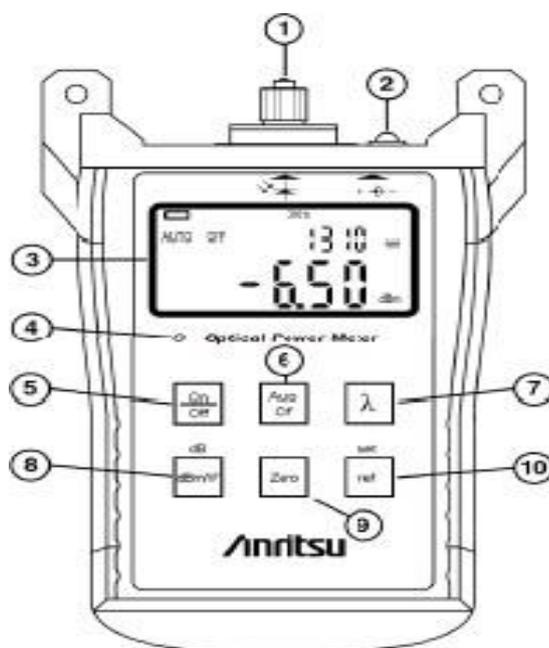


Figure 55. Commandes de fonctionnement du wattmètre optique de la série CMA5. [8]

- 1. Fibre Optic Input (Entrée fibre optique) :** Les unités sont équipées d'un connecteur universel. Une variété de capuchons adaptateurs sont disponibles. Les unités comprennent un capuchon adaptateur.
- 2. External AC Power Jack (Prise d'alimentation CA externe) :** Connectez l'adaptateur d'alimentation AC optionnel à cette prise.
- 3. Liquid Crystal Display (LCD) (Affichage à cristaux liquides) :** Les mesures sont affichées en puissance absolue (dBm), en perte relative (dB) et en microwatts ( $\mu\text{W}$ ). Les indicateurs font apparaître des informations significatives pour citer comme exemple : la longueur d'onde, la batterie faible, AUTO OFF (lorsque l'arrêt automatique est actif) et REF (indique la valeur de référence stockée). Pour une mesure de la puissance optique inférieure à -60 dBm (5P100/5P200) ou inférieure à -50 dBm (5P100/5P200), 50 dBm (5P100C/5P200C), l'écran LCD affiche "LO".
- 4. Ext. Power (Puissance externe) :** Le témoin d'alimentation externe s'allume en vert lorsqu'on fait fonctionner l'appareil sur l'adaptateur secteur externe en option.
- 5. On/Off Key (Touche marche/arrêt) :** Une telle désignation est pour mettre l'appareil sous tension en appuyant sur cette touche.
- 6. Auto Off Key (Touche d'arrêt automatique) :** Cette touche permet d'activer la fonction Auto Off, qui met l'appareil hors tension lorsqu'aucune touche n'est actionnée pendant 5 minutes. Aucune touche n'a été enfoncée pendant 5 minutes.
- 7. λ (Wavelength) Key (longueur d'onde Clé) :** L'appui sur cette touche permet le défilement des longueurs d'onde étalonnées (850, 1300, 1310, 1490, 1550 et 1625 nm).
- 8. dBm/W Key (dBm/W Clé) :** L'appui sur cette touche dBm/W permet de basculer le mode de mesure de l'appareil entre dBm pour la puissance absolue et  $\mu\text{W}$  (microwatts). Le maintien manuel de la touche jusqu'à ce que "HELD" s'affiche (environ 2 secondes) permet de passer en dB pour la l'affichage de la puissance relative.

---

9. **ZeroKey (Clé de zéro)** : L'appui sur la touche Zéro c'est pour mettre automatiquement le wattmètre à zéro.

10. **Ref Key (Clé de référence)** : En appuyant momentanément sur la touche Ref, le niveau de puissance de référence actuelle en dBm s'affiche pendant environ 2 secondes. Maintenez la touche REF enfoncée jusqu'à ce que " HELD " s'affiche (environ 3 secondes). Apparaît à l'écran (environ 3 secondes), le niveau de référence actuel en dBm sera mémorisé. Des valeurs de référence distinctes peuvent être enregistrées pour chaque longueur d'onde. Elles seront conservées lorsque l'appareil sera mis hors tension. [8]

#### **Applications [9]:**

- Test d'acceptation de câble.
- Test bidirectionnel.
- Test de réussite et d'échec.
- Optimisation des épissures et de la connectique.
- Identification des fibres.

### **3.4. Mesure de la puissance à l'aide d'un émetteur laser et un wattmètre optique**

#### **3.4.1. Perte d'insertion**

Lorsque deux fibres optiques sont couplées, divers mécanismes de pertes intrinsèques et extrinsèques, sont présents. D'un côté, les différences de taille du cœur de la fibre, de son ouverture numérique et de son profil d'indice de réfraction, sont deux mécanismes intrinsèques les plus importants à considérer. D'un autre côté, la séparation longitudinale entre les fibres, ainsi que les erreurs d'alignement latéral et angulaire, sont les mécanismes extrinsèques les plus fréquents qui peuvent, systématiquement s'impliquer. De plus, quand les fibres sont couplées à travers un commutateur optique, divers éléments comme les guides d'ondes, les lentilles ou les miroirs sont présents sur la trajectoire du signal, ces éléments contribuent aussi à l'atténuation de ce dernier. [9]

#### **3.4.2. Procédure de mesure**

Pour la conversion de la puissance en unité de dBm en mW, on a utilisé le logiciel l'optisystem (**Voir Fig.56**) :

Pour opérer à cette procédure de conversion, les étapes nécessaires à suivre sont indiquées comme suit :

- Ouvrir le logiciel optisysteme (**Voir Fig.56**)
- cliquer sur default (**Voir Fig.56**)
- cliquer sur transmitter library (**Voir Fig.56**)
- cliquer sur optical sources (**Voir Fig.56**)
- utiliser CW laser sur une nouvelle fenêtre (**Voir Fig.57**)

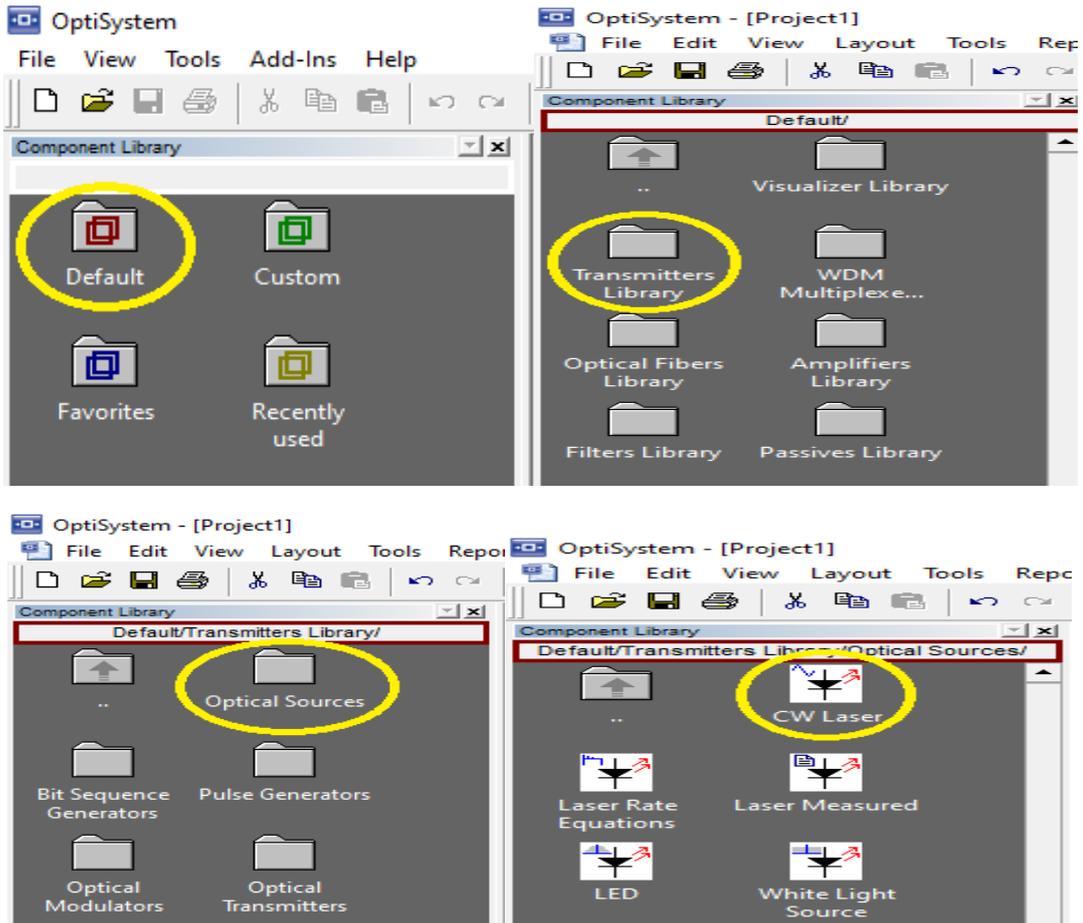


Figure 56 .optisystem.

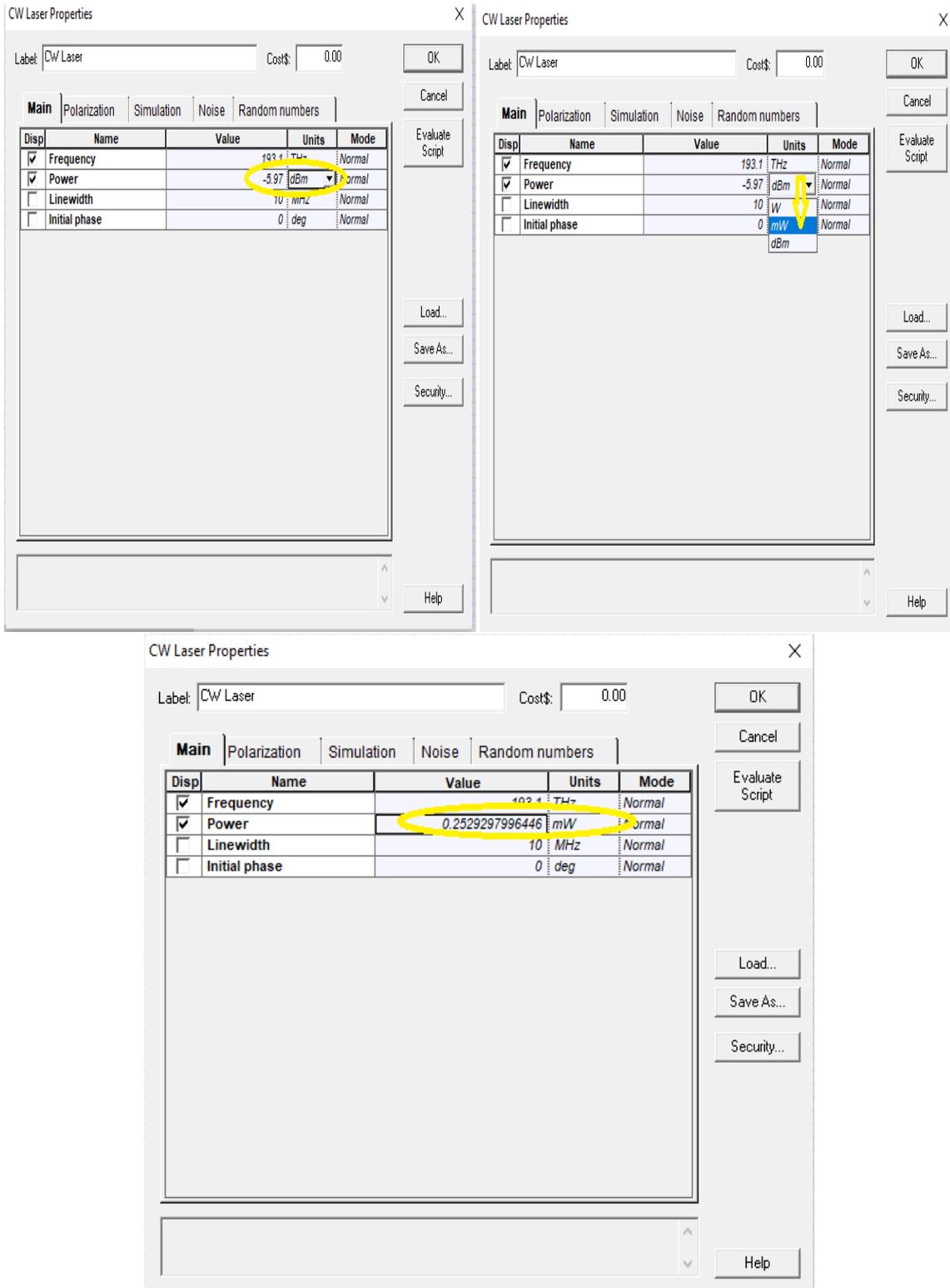


Figure 57. Paramètres de CW laser.

ON réalise le montage suivant :

FC/PC : Test de 1mètre :(Voir Fig.58)



Figure 58.Méthode expérimentale de mesure des pertes optiques d'insertion (FC/PC).

Le Tableau (Tab.16) représente les valeurs de Puissance d'émission et puissance de réception :

	PE	PR
1550 nm (1mètre)	-5.97	-6.20

Tableau 16.Puissance (émission/réception), (FC/PC) (1mètre).

Calculs de la perte entre liaison :

$$-A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mw})$$

$$-PE=-5.97dBm=0.2529mw$$

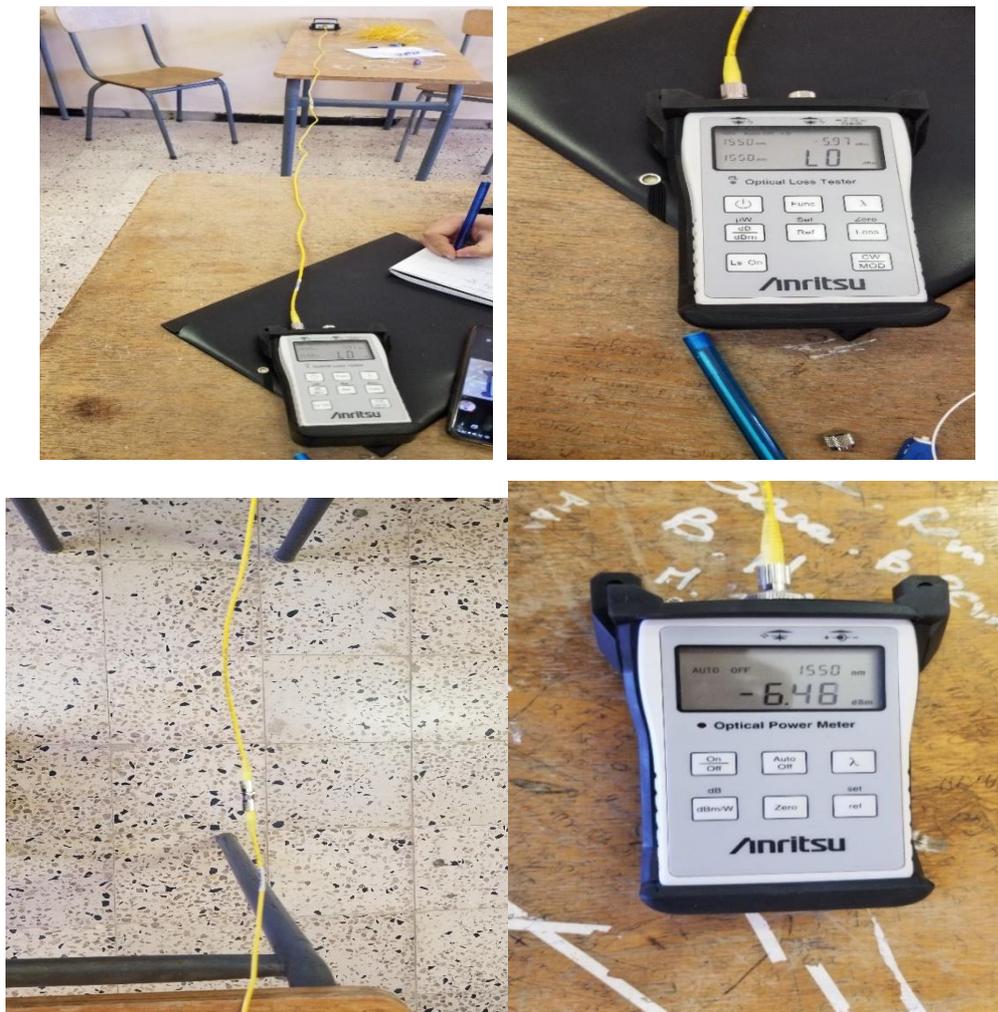
$$-PR=-6.20dBm=0.2398mw$$

$$-A_{dB}=0.23 dB$$

(La perte en dB/La puissance en dBm et mW).

(Conversion de dBm en mW avec l'optisystem).

**FC/PC : Test 2 deux mètre (2 fibres relient avec un Adaptateur) : (Voir Fig.59)**



**Figure 59.**Appareillages de mesure des pertes optiques d’insertion (FC/PC).

Le Tableau (**Tab.17**) représente les valeurs de Puissance d’émission et puissance de réception :

	PE	PR
1550 nm (2mètre)	-5.97	-6.46

**Tableau 17.**Puissance (émission/réception), (FC/PC) (2mètre).

### Calcul de pertes entre liaison :

$$-A = 10 \cdot \log \left( \frac{P_r}{P_e} \right) P_{dBm} = 10 \log_{10}(P_{mw})$$

$$-P_E = -5.97 \text{ dBm} = 0.2529 \text{ mw}$$

$$-P_R = -6.46 \text{ dBm} = 0.2259 \text{ mw}$$

$$-A_{dB} (\text{totale}) = 0.49 \text{ dB}, A_{dB}(\text{connecteur}) = 0.1 \text{ dB}, A_{dB}(\text{adaptateur}) = 0.3 \text{ dB}.$$

$-A_{dB}$  sans pertes de (connecteur/adaptateur) :

$$-A_{dB} = 0.49 - (0.1 + 0.3) = 0.09 \text{ dB}; \quad \text{On ignore l'affaiblissement de la fibre.}$$

### SC/FC :(Voir Fig.60)

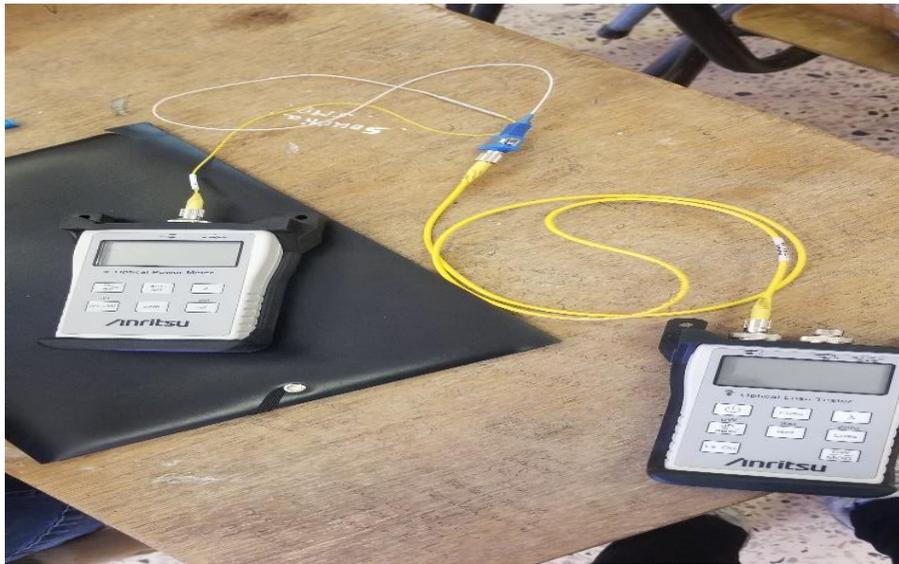


Figure 60. Appareillage et mesure de pertes optiques d'insertion (SC/FC).

### Pour une longueur d'onde de 1550 nm :(Voir Fig.61)



Figure 61. 1550 nm (SC/FC).

Pour une longueur d'onde de 1310 nm :(Voir Fig.62)



Figure 62.1310 nm (SC/FC).

Le Tableau (Tab.18) représente les valeurs de Puissance d'émission et puissance de réception :

	PE	PR
1550 nm	-5.97	-6.74
1310 nm	-6	-6.36

Tableau 18.Puissance (émission/réception), (SC/FC).

Pour une longueur d'onde de 1550 nm :

-PE=-5.97dBm=0.2529mw.

-PR=-6.74dBm=0.2118mw.

-A<sub>dB</sub> (totale)=0.77 dB, A<sub>dB</sub>(connecteur) =0.1dB, A<sub>dB</sub>(adaptateur)=0.17dB,  
A<sub>dB</sub>(épaisseur)=0.01dB.

-A<sub>dB</sub> sans pertes de (connecteur/adaptateur/épaisseur) :

-A<sub>dB</sub>=0.77-(0.1+0.17+0.01) =0.49dB.

Pour une longueur d'onde de 1310nm :

-PE=-6dBm=0.2511mw.

-PR=-6.36dBm=0. 2312mw.

-A<sub>dB</sub> (totale)=0.35 dB,

A<sub>dB</sub>(connecteur)=0.1dB,A<sub>dB</sub>(adaptateur)=0.17dB,A<sub>dB</sub>(épaisseur)=0.01dB.

-A<sub>dB</sub> sans pertes de (connecteur/adaptateur/épaisseur) :

-A<sub>dB</sub>=0.35-(0.1+0.17+0.01) =0.07 dB.

### 3.5. Etape de préparation la fibre optique

Pour réaliser une soudure optique, nous aurons besoin du matériel cité dans la figure (Fig.63)



**Figure 63.**Matériel accessoire nécessaire pour opérer à une soudure optique.

### 3.5.1. Dénudage

Le dénudage de la fibre est une technique qui permet de dégager une petite partie de la gaine du bout de la fibre afin de procéder à la soudure. Cette tâche technique demande des gestes à faire avec beaucoup de précautions. En effet, une fibre optique est un support de fil très fin qui est enrobé d'une gaine. Ainsi, l'enlèvement de la gaine demande de la précision pour éviter la cassure de la fibre. Or si on se trouve au niveau d'une tête de fibre optique ou boîte de protection d'épissure, il y'a des longueurs de la fibre réservées au lovage. [10]

L'enlèvement de la gaine d'une fibre optique étant l'opération initiale à effectuer, et de telle tâche est réalisé en utilisant une pince appropriée présentant sept trous de diamètres calibrés entre 0.6mm et 2.6mm. Pour effectuer la tâche précédente programmée dans notre travail de préparation de fibre, une pince Miller CFS-2 avec deux trous de 900 $\mu$ m et 250 $\mu$ m a été utile pour extraire la gaine extérieure mesurant 3mm. Pour la suppression de l'excédent du fil, l'usage d'un ciseau modèle Kelvar a été nécessaire.

Le dénudage C'est la première étape de préparation de la fibre optique, nous avons utilisé une pince dénuder à 7trous allant de 0.6mm à 2.6 mm, et une Pince à dénuder : Miller CFS-2 avec deux trous 900 $\mu$ met250 $\mu$ m. Dont nous avons utilisé le trou à (600-900)  $\mu$ m pour enlever la gaineextérieurede3 mm et le trou 250  $\mu$ m pour la gaine optique de242  $\mu$ m. et On a utilisé un ciseau pour couper l'excédent de fil (kevlar). (Voir Fig.64)

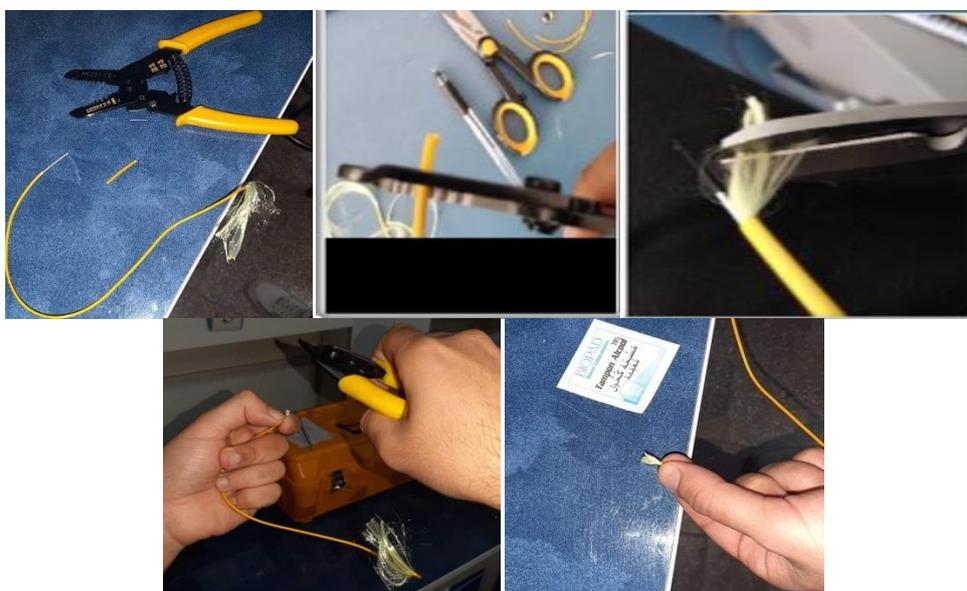


Figure 64. Opération de dénudage d'une fibre.

### 3.5.2. Opération de Nettoyage d'une fibre optique

Après avoir dénudé la gaine de 125  $\mu$ m recouvrant la fibre, il est important de procéder à son nettoyage. Nous avons utilisé un tampon alcool stérilisé afin d'éliminer les résidus de grains de verre et la poussière qui recouvrent sur la gaine de la fibre optique, (Voir Fig.65)



Figure 65. Le nettoyage de la fibre optique.

### 3.5.3. Le clivage de la fibre optique

Le clivage est une opération nécessaire pour réussir une épissure pour une éventuelle connexion ou soudure. Elle consiste à couper la fibre avec un angle le plus droit possible à l'aide d'une cliveuse. L'opération est réalisée au moyen de la cliveuse FC-6RS-C Sumitomo (photographiée en Fig. 66) désignée comme cliveuse fibre optique de table avec retour de chariot manuel.

Elle en possède un mécanisme unique de rotation manuelle ou automatique de la lame. La poubelle externe permet d'accueillir un grand nombre de fibre.

#### Spécifications techniques [11]:

- Structure en métal.
- Retour de chariot manuel.
- Rotation de lame automatique ou manuelle.
- Grande poubelle externe.
- Durée de vie de la lame de 60 000 coupes.



Figure 66. Cliveuse FC-6RS-C Sumitomo.

### Les étapes de clivage :(Voir Fig.67)

- 1/pose de la fibre dénudée dans l'emplacement de 900µm.
- 2/désigner la distance de clivage entre 10 et 20 mm.
- 3/ Actionner avec un coup sec le clivage de la fibre par le maintien de la lame.



Figure 67. Les étapes de clivage de la fibre optique.

### 3.5.4. Lancer l'opération de la soudure sur la soudeuse

Un tel outil manuel référencé par 22S (Voir Fig.68) est la soudeuse à alignement dynamique des gorges en forme de vé la plus petite et la plus légère au monde. Elle convient pour les fibres de diamètre de 100/125µm à 3mm et dotée d'un système de mâchoires ou supports de fibre amovibles. Le temps de soudure rapide est de 9 secondes.

#### - Particularités techniques [12] :

Alignement dynamique 3 axes

Soudure en 7s et Four automatisés

De petite taille, elle tient dans la main 200 rétreints par charge de batterie

La soudeuse portable est qualifiée par sa rapidité

#### - Autres spécifications [12]:

Excellente pour le FTTH

Soudeuse à gorges actives la plus petite et la plus légère.

Batterie grande capacité

Valise de transport multifonctions.

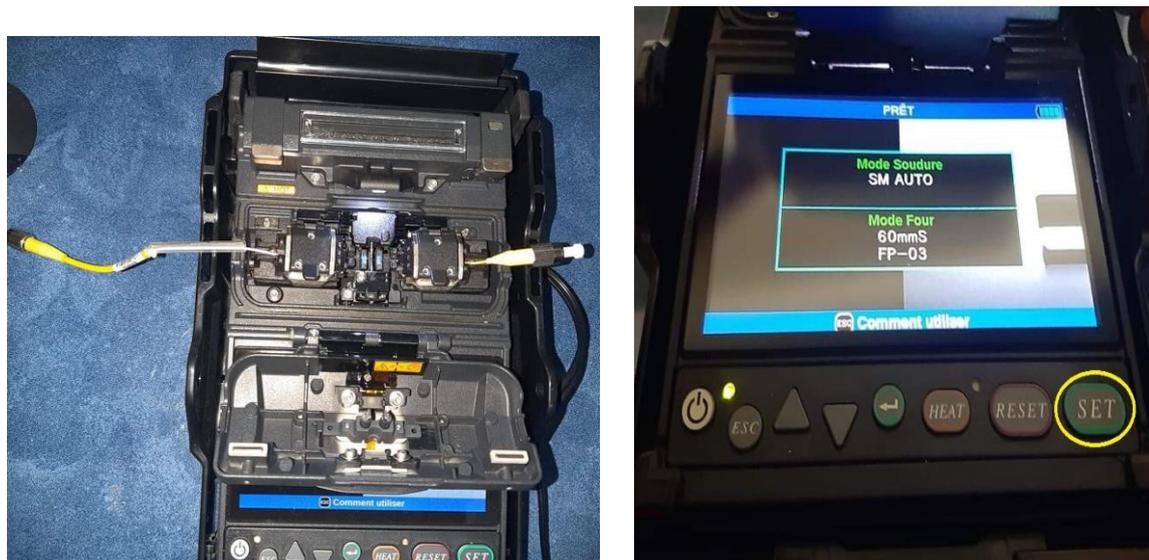


Figure 68. La Soudeuse Fujikura 22S.

Pour son emploi, il est prévu de placer les deux extrémités des fibres dans leurs guides respectifs. Les extrémités des fibres doivent être :

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

Il est important d'éviter tout contact physique avec l'extrémité de l'autre fibre ou avec les électrodes. Ensuite, on a rabattu le couvercle de la machine et lancer la fusion (SET). La soudeuse, entièrement automatique, est destinée à réaliser d'elle-même le rapprochement, l'alignement et le soudage des fibres avec un arc électrique contrôlé. Au moyen d'un tel outil, on obtient une liaison continue entre deux échantillons comme s'il s'agissait d'un seul et même câble. **(Voir Fig.69)**

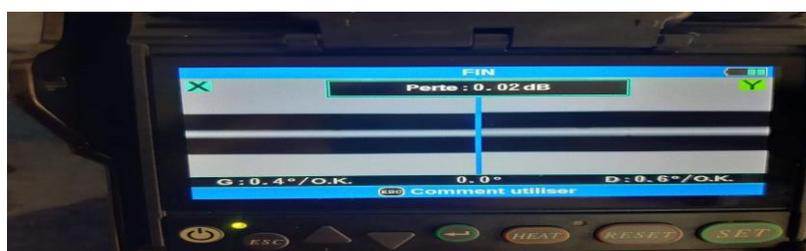


**Figure 69.**L'alignement de la fibre optique dans la soudeuse.

Si la soudeuse interrompt son processus de fonctionnement au cours d'une utilisation, les raisons possibles de son dysfonctionnement sont les suivantes :

- Mauvais placement des fibres dans leurs guides.
- Mauvais clivage.
- Présence de poussière ou des résidus de plastic à l'extrémité de la fibre.

Dans le cas où le processus usagé c'est bien déroulé, la machine due à sa fiabilité technique indiquera elle-même, par affichage en fin d'opération, l'estimation de l'atténuation de la soudure. **(Voir Fig.70).**



**Figure 70.**L'affichage des pertes en (dB) sur l'écran.

### Protection de la la soudure :

A la fin de cette étape, le support obtenu après la liaison des deux fibres, apparait homogène sans défaut. Ainsi, par affichage, il est demandé de retirer les fibres de leurs guides et de déplacer le manchon de protection sur le point de fusion. Comme action complémentaire, il y a lieu de placer l'ensemble dans le four installé sur la soudeuse et de démarrer le chauffage.

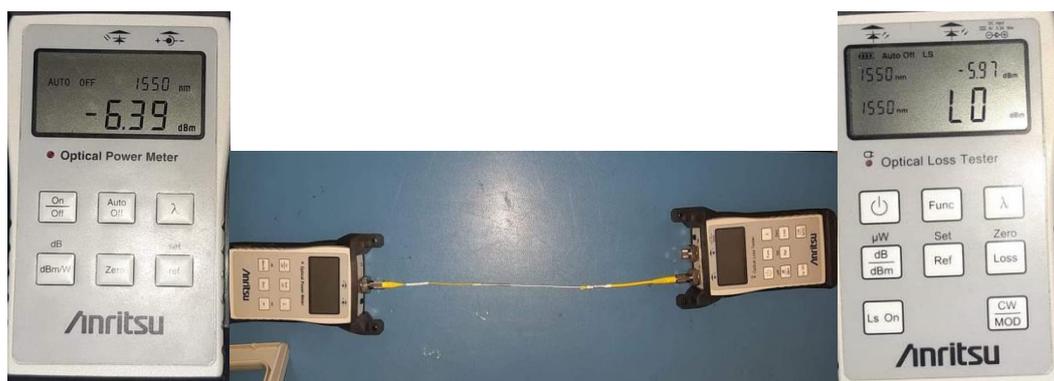
Pendant quelques secondes, le four tend à générer de la chaleur qui permet au manchon de se resserrer et d'enrober la fibre pour assurer sa protection (**Voir Fig.71**).



**Figure 71.**La vue du manchon de protection.

### 3.5.5. Mesure de l'affaiblissement de la liaison

Pour la mesure de l'affaiblissement, on branche selon le montage indiqué ci-dessus l'une des extrémités de la liaison avec le testeur (des pertes optiques) et la borne du wattmètre optique à l'autre extrémité. (**Voir Fig.3.72**)



**Figure 72.**Branchement pour la mesure de l'affaiblissement de la liaison.

Pour cette opération, on utilise les paramètres suivants :

$$-A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mw})$$

$$-P_E=-5.97dBm=0.2529mw$$

$$-P_r=-6.39dBm=0.2296mw$$

$$-A_{dB}=0.41\text{ dB (en Totale)}$$

Avec les spécificités telles que les pertes de : Fusion=0.02 dB,  
adaptateur =0.3,Connecteur 0.1, et l'épaisseur=0.01dB.

L'estimation de la perte de la liaison est :  $A_{dB}=0.41-0.1-0.1-0.02-0.1=0.18dB$ .

### 3.6. Emploi (Etude) pratique sur le diviseur optique

#### 3.6.1. Les switches

Des switches optiques (similaire à un répartiteur) sont typiquement utilisés lorsque des sources multiples partagent un seul et même détecteur, ou également pour une source unique et de multiples détecteurs. Des switches destinés à différents usages sont disponibles. Des configurations de 1x2 à 1xn peuvent être réalisées aussi bien en versions SM qu'en MM. [13]

En complément des commutateurs accessoires, les diviseurs optiques sont également disponibles pour être utilisés avec les équipements de test des applications de télécommunication. Ces diviseurs (appelés encore splitters) optiques peuvent être configurables avec 128canaux dans les bandes spectrales (longueurs d'onde) comprenant la bande IR (1260-1650nm), et IR proche (700-1100nm), ainsi que la bande visible (400-690nm) (Voir Fig.73). [13]

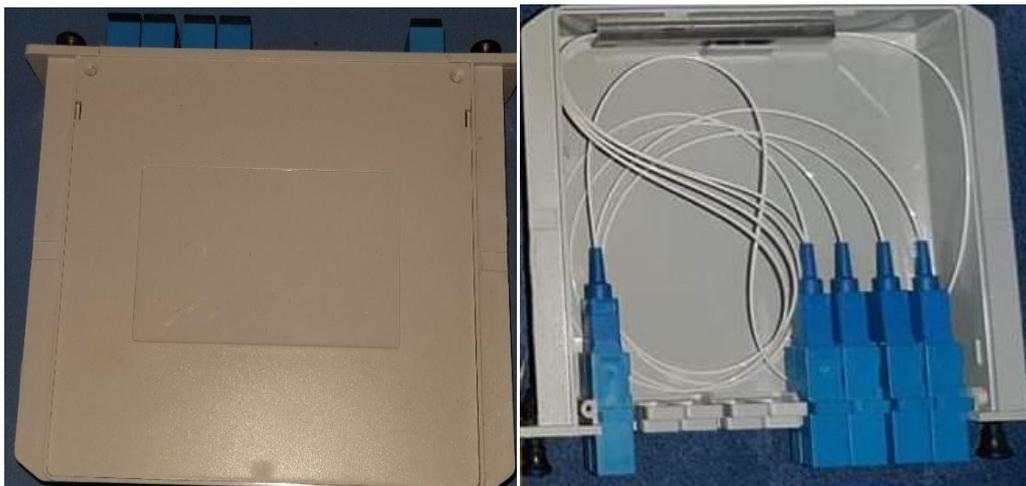


Figure 73. Switche plc-1x4-sc/apc.

### 3.6.2. Diviseur optique 1x4 (plc-1x4-sc/apc)

Le séparateur de circuit planaire à ondes lumineuses (Planar Light Circuit) ayant comme acronyme (PLC), Enbeam est fabriqué à l'aide de la technologie des guides d'ondes optiques à base de la silice. Sa taille compacte, sa haute fiabilité, sa large sensibilité avec la longueur d'onde de fonctionnement et sa bonne uniformité de canal à canal sont largement utilisées dans les réseaux optiques passifs (Passive Optical Network). [14]

### 3.6.3. Mesure de l'affaiblissement d'un diviseur optique 1x4

Pour commencer le test préliminaire au moyen des deux instruments ; le testeur des pertes optiques et le wattmètre optique, il est commode de choisir un mode d'utilisation. Pour une première action, il convient de fixer la longueur d'onde à la valeur de 1550 nm, puis on branche l'entrée du diviseur avec le testeur de pertes et sa sortie avec le wattmètre optique. Une telle action de branchement est visualisée sur la **Fig.74** ci-dessus.

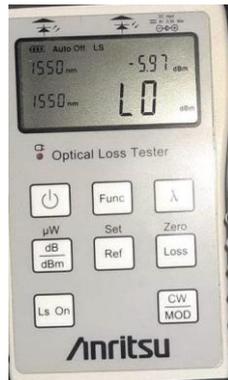


**Figure 74.** Vue du branchement pour l'affichage numérique des pertes évaluées par un diviseur optique.

Comme définie dans la partie précédente, l'expression de l'affaiblissement est déduite depuis le facteur :

$$A = 10 \log \left( \frac{P_r}{P_e} \right) P_{dBm} = 10 \log_{10}(P_{mW})$$

On sait que notre diviseur possède une entrée et des sorties au nombre de quatre, donc la puissance injectée (ou émise) depuis l'entrée s'évalue par  $P_E = -5.97$  dBm. L'instrument d'affichage est montré sur la **Fig.75** qui suit :



**Figure 75.**Instrument d’affichage de la puissance d’émission (PE).

Compte tenu du branchement opéré, on calcule l’affaiblissement total au niveau de chaque port de sortie du diviseur :

$$PE=5.97\text{dBm}=0.2529\text{mW}$$

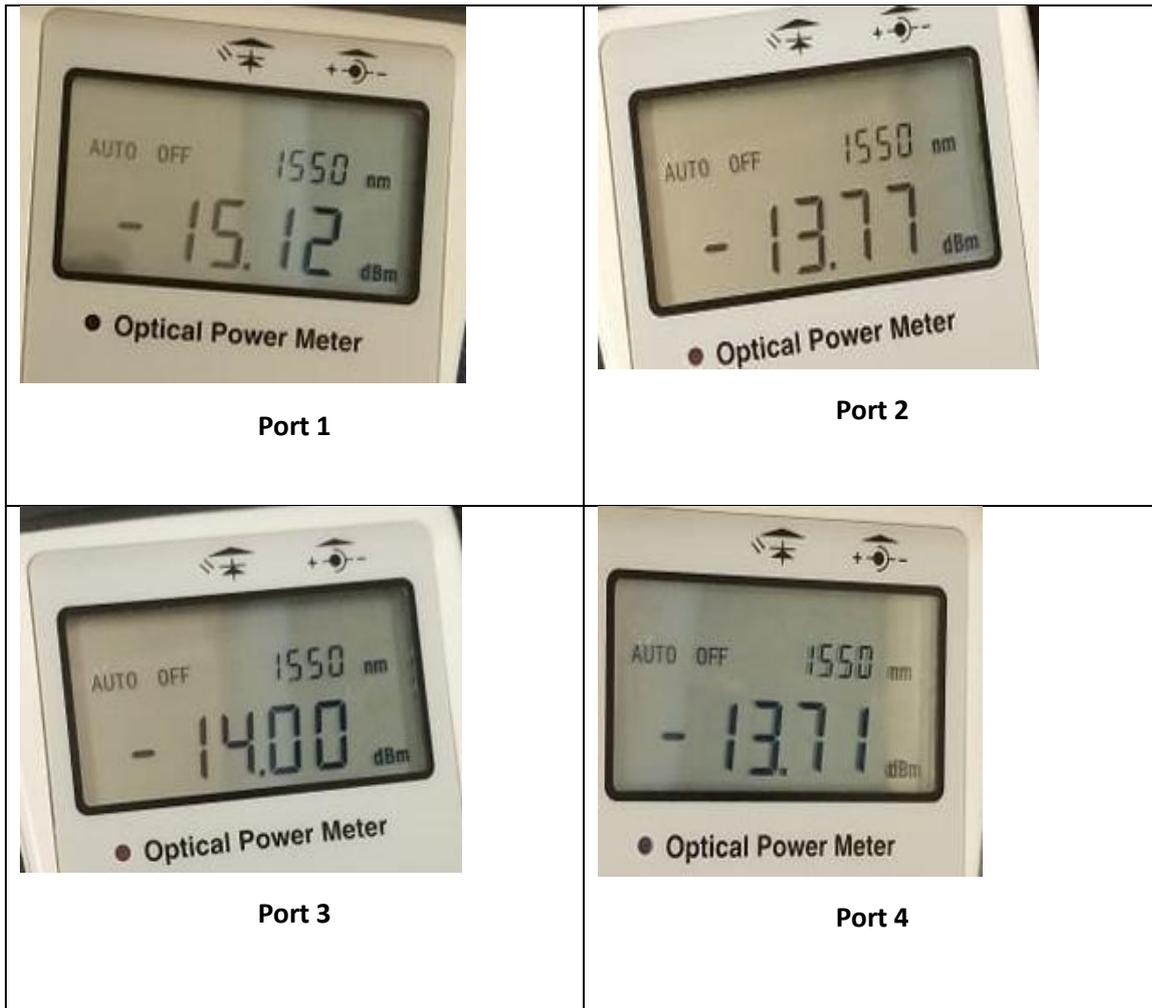
Les pertes pour : Épissure=0.01, Fusion=0.01dB, Adaptateur=0.3 dB.

Dans le Tableau 19, il est listé les grandeurs affichées par l’appareillage dont la vue est montrée sur la Fig.76. Les grandeurs concernent les valeurs des puissances d’émission et de réception et de l’affaiblissement :

Port	PR en dBm	PR en mW	L’affaiblissement en dB
1	-15.12	0.0307	9.15
2	-13.77	0.0419	7.80
3	-14	0.0392	8.03
4	-13.71	0.0425	7.745

**Tableau 19.**Résultats de mesure des puissances (émission/réception) et l’affaiblissement.

**Note :** Pour la conversion de la puissance en dBm et en mW, on utilise l’optisystem.



**Figure 76.**Appareillage pour l’affichage de la puissance (réception).

Suite à cette opération, on calcule l’affaiblissement qui est mesuré au niveau de chaque port de la sortie du diviseur sans les pertes (Epaisseur, Fusion, Adaptateur) :

$$\text{Port (1)} = 9.15 - (0.01 + 0.01 + 0.3) = 7.83 \text{ dB.}$$

$$\text{Port (2)} = 7.80 - (0.01 + 0.01 + 0.3) = 6.48 \text{ dB.}$$

$$\text{Port (3)} = 8.03 - (0.01 + 0.01 + 0.3) = 6.71 \text{ dB.}$$

$$\text{Port (4)} = 7.74 - (0.01 + 0.01 + 0.3) = 6.42 \text{ dB.}$$

---

### 3.7. Etude pratique sur Mesure par un multiplexeur/Switch 2 x 2 optique

#### 3.7.1. Mesure de l'affaiblissement d'un 1x2 Single mode coupler splitter

COUPLEUR DIVISEUR : (Voir Fig.77)



Figure 77.COUPLEUR DIVISEUR

Les caractéristiques spécifiques reconnues au coupleur diviseur [15] :

- Haute fiabilité
- Basses pertes d'insertion
- Admission d'une très basse polarization dependent loss (acronyme PDL Sensibilité à la polarisation)
- Uniformité excellente
- Dessin (design) et dimensions compactes

Un tel instrument de mesure est destiné à des applications dans les domaines des

- Réseaux de communications.
- Métrologie, monétarisation des systèmes.

D'après la littérature [15], les spécifications techniques d'un tel coupleur 50 :50 diviseur sont indiquées dans le Tableau 20.

Paramètres (Unité)					
Configuration(%)	1/99	5/95	20/80	40/60	50/50
Pertes d'insertion max (dB)	21,5/0,2 5	15,0/0, 4	7,8/1,2	4,6/2,7	3,6/3, 6
Longueur d'onde centrale (nm)	1310&1550				
Bande passante (nm)	+/-40				
Uniformité max.(dB)	0,7				
PDL (dB)	0,15				
Directivité min.(dB)	Type1 x2:50Type 2x2 :65				
Stabilité thermique (dB/°C)	0,02				
Types de fibre	SM:250um;900 um loose cable;2ou 3mm.				
Longueur de fibre min.(m.)	Standard:1m.				
Gamme de températures (°C)	Travail0/+70Stockage:-40/+85				

**Tableau 20.**Spécifications techniques.

A titre d'indication supplémentaire, les dimensions typiques d'un coupleur optique sont données dans le tableau **21** suivant :

	Fibre250	Fibre 900µm loose	Câble 2ou 3mm.
Standard (mm.)	Ø3,0 x48	Ø3,5 x66	90x16x9/1,2
Minimum (mm.)	Ø3,0 x40	Ø3,0 x54	90x16x9/1,2

**Tableau 21.**Dimensions spécifiques du coupleur diviseur.

### Coupleur optique 50 :50 (Voir Fig.78)



**Figure 78.**Coupleur optique 50 :50.

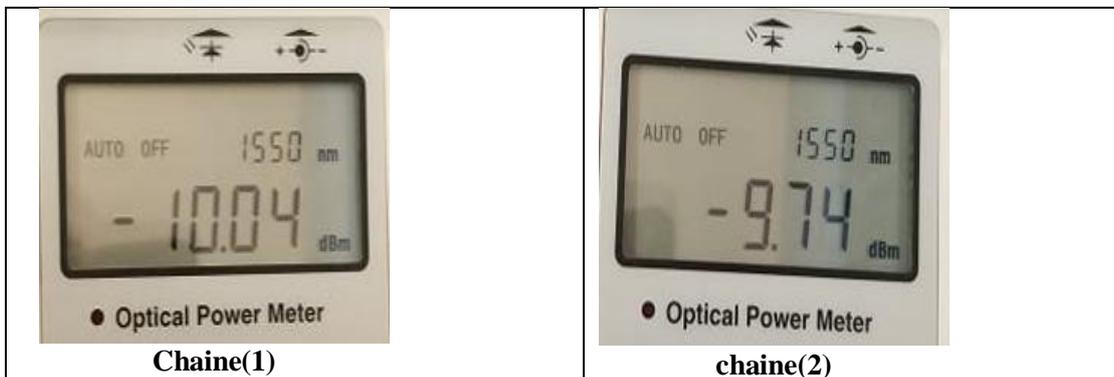
Dans l'intérêt de mesurer les pertes intrinsèques au coupleur optique 50 :50, on opère les branchements comme il est indiqué par le montage de la **Fig.79** suivante:



**Figure 79.**Montage de mesure des pertes d'un coupleur optique 50 :50.

Les fils jaunes, rouges, bleus et blancs constituent des fibres optiques liées entre par des connecteurs. En regardant le montage de face, la fibre jaune depuis son départ à droite est branchée depuis l'élément ? et aboutie par connexion avec les autres fibres (bleu, rouge, blanc) vers l'élément ?d'arrivée (à gauche).

**Mesure de l'affaiblissement (Voir Fig.80) :**



**Figure 80.**Les puissances de réception chaine (1/2).

Comme avancé précédemment, l'expression de l'affaiblissement est exprimée la relation:

$$A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mW})$$

On sait que notre puissance injectée à l'entrée est  $P_E=-5.97$  dBm.

$$P_E =0.2529mW.$$

Dans le tableau **22**, on donne l'ordre des grandeurs des mesures de la puissance d'émission, la puissance de réception et l'affaiblissement des chaines (1) et (2).

Puissance et conversion	Puissance En dBm	Puissance En mW	Les Pertes en dB
Chaîne (1)	-10.04	0.099	4.07
Chaîne (2)	-9.74	0.1061	3.77

**Tableau 22.** Puissance d'émission et puissance de réception et L'affaiblissement du chaîne (1) et (2).

**Note :** Pour la conversion de la puissance du dBm au mW, on utilise l'optisystem.

Cela permet alors de calculer l'affaiblissement sans les pertes pour les chaînes (1) et (2) tel que :

- Connecteur=0.1, Fusion=0.02, Adaptateur=0.3) :
- Chaîne (1) = 4.07- (0.1+0.02+0.3) =3.65 dB.
- Chaîne (2) = 3.77- (0.1+0.02+0.3) =3.35 dB.

Dans le tableau 23, on présente une comparaison de données entre 1\*2 séparateurs de coupleur monomode et 2\*2 coupleur optique 50:50.

1*2le rapport de test de séparateur de coupleur monomode 2*2 coupleur optique 50:50			
Channel	IL(dB)		
	1310nm	1490nm	1550nm
CH1 50%	3.13	/	3.14
CH2 50%	3.48	/	3.24
2*2 coupleur optique 50:50			
Channel	IL(dB)		
	1310nm	1490nm	1550nm
CH1 50%	/	/	3.65
CH2 50%	/	/	3.35

**Tableau 23.** Comparaison entre 1\*2 séparateurs de coupleur monomode et 2\*2 coupleur optique 50 :50.

L'usage du coupleur optique 99 :1 indiqué en **Fig. 81**, nous a permis la mesure de la puissance et la perte.



**Figure 81.** Coupleur Optique 99 :1.

En considérant l'injection de la donnée via l'entrée blanche, conformément au branchement indiqué en Fig.81, la puissance et les pertes sur les deux sorties blanche et bleu sont évaluées comme il est reporté dans les colonnes de la **Tab.24**

$$A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mW})$$

Et on sait que la puissance injectée à l'entrée s'évalue à PE=-5.97 dBm,

Soit PE = 0.2529mW

	Puissance En dBm	Puissance En mW	Les Pertes en dB
<b>Sortie blanche</b>	-6.17	0.2415	-0.2
<b>Sortie bleu</b>	-26.39	0.0022	-20

**Tableau 24.** Puissance et pertes mesurées sur les sorties du coupleur.

**Note :** La

Conversion de la puissance entre les deux unités (dBm et mW) est fournie depuis l'optisystem.

Il s'ensuit maintenant l'opération de calcul de l'affaiblissement sans les pertes que nous indiquons ci-après :

(Connecteur=0.1, Fusion=0.09) :

**Sortie blanche** = 0.2- (0.1+0.09) =0.01dB

**Sortie bleu**= 20- (0.1+0.09) =19.81 dB

Encore une fois, en considérant l'injection de la donnée via l'entrée rouge conformément au branchement indiqué précédemment, les mesures de la puissance ainsi que celle les pertes sur les sorties blanche et bleue sont listées dans les colonnes de la **Tab.25**.

$$A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mW})$$

et on sait que notre puissance injectée à l'entrée est PE=-5.97 dBm, soit 0.2592.PE =0.2529mW.

	<b>Puissance En dBm</b>	<b>Puissance En mW</b>	<b>Les Pertes en dB</b>
<b>Sortie blanche</b>	-25.62	0.0027	19.71
<b>Sortie bleu</b>	-7.35	0.1840	1.38

**Tableau 25.** Mesure et Conversion de la puissance et pertes sur les sorties du coupleur.

**Note :** la conversion de la puissance du dBm au mW est fournie depuis l'utilisation de l'optisystem .

Procédons encore une fois au calcul de l'affaiblissement sans les pertes

(Connecteur=0.1, Fusion=0) :

A la sortie de fil blanc =  $19.71 - (0.1 + 0) = 19.7 \text{ dB}$

A la sortie de fil bleu =  $1.38 - (0.1 + 0) = 1.37 \text{ dB}$

### 3.7.2. Un multiplexeur /switch optique 1x2 avec atténuateurs (Voir Fig.82)



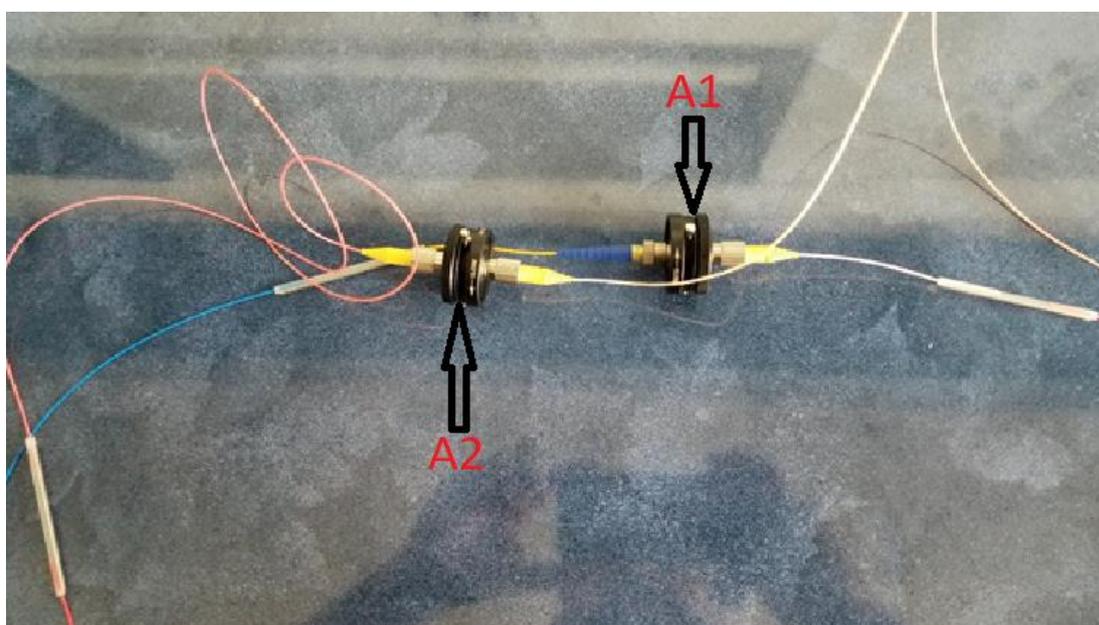
**Figure 82.** Vue du multiplexeur /switch optique 1x2.

Ce type de modèle ne fonctionne pas en raison de la combustion de coupleur 99 :1.

### 3.7.3. Usage du multiplexeur /switch optique 1x2 avec des atténuateurs mécaniques

Dans cette sous section, nous procédons à la description des étapes entreprises pour la réalisation d'un multiplexeur fonctionnel. Comme le montre la vue en **Fig.83**, il est muni d'un commutateur externe dont l'action manuelle tend à inverser l'état de l'entrée en sortie et vis-versa. En générale, la composition interne d'un tel organe sélecteur est constituée d'une batterie pour l'alimentation d'un circuit électronique spécifique avec lequel se connecte un câblage de fibres optiques. Ainsi, l'ensemble est renfermé dans un boîtier.

Pour notre cas, nous avons fait recours à la réalisation d'un multiplexeur plutôt mécanique. Nous donnons une vue synoptique en **Fig.83**. Où des fibres optiques (en couleurs) aboutissent sur deux atténuateurs mécaniques A1 et A2. Ces deux accessoires fonctionnent en commutation entre eux à la transmission d'un signal lumineux.



**Figure 83.** Un multiplexeur /Switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques.

Les fibres conçues au laboratoire du département des Télécommunications sont connectées à un multiplexeur /switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques.

Atténuateurs mécaniques, Coupleur optique 50 :50, Coupleur optique 90 :1, fibre SMF-28-FC-1, Connecteurs (FC/PC)

On a procédé à la fusion entre les fibres optiques (avec des connecteurs (FC/PC)) et les deux coupleurs optiques (50 :50 et 90 :1)

#### **Caractéristiques spécifiques des adaptateurs 120FCFC/PC :**

Comme on le voit ci-après, chaque adaptateur APC présente au centre de sa surface avant une fossette sur laquelle on agit par serrage manuel au moyen d'une clé appropriée (clé étroite 2,0mm) de référence SPW909 ou SPW801. Cette fossette dit encore alvéole ne traverse pas complètement le disque afin que l'adaptateur puisse être utilisé dans des applications étanches à la lumière lorsqu'il est associé à des tubes à lentille SM1. [16]



**Figure 84.** Vue des adaptateurs 120-FC(Thorlabs).

Au moyen du montage réalisé et qui est présenté en vue (**Fig. 83**), les mesures obtenues en termes de la puissance et les pertes du multiplexeur /Switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques sont listées dans le tableau 3.16 relativement aux états des atténuateurs précisés ci-après: l'atténuateur A1 ouvert et A2 fermé

$$A = 10 \cdot \log \left( \frac{P_r}{P_e} \right) \quad P_{dBm} = 10 \log_{10}(P_{mW})$$

De plus, il est à rappeler que la puissance injectée à l'entrée était fixée à  $P_E = -5.97 \text{ dBm}$ , soit  $P_E = 0.2529 \text{ mW}$ .

	<b>Puissance En dBm</b>	<b>Puissance En mW</b>	<b>Les Pertes en dB</b>
<b>Sortie blanche</b>	Low	Low	Low
<b>Sortie bleu</b>	-46.93	$2.0276 \times 10^{-5}$	40.95

**Tableau 26.** les mesures de la puissance et les pertes du multiplexeur /Switch optique 1x2 avec atténuateurs mécaniques.

**Remarque :** Conversion de la puissance du dBm au mW par l'utilisation de l'optisystem dans la condition de commutation A1 ouvert et A2 fermé.

En termes de calcul de l'affaiblissement sans les pertes, les résultats sont :

(Connecteur=0.4, Fusion=0.04) :

**Sortie blanche** = 0dB.

**Sortie bleue** =  $40.95 - (0.4 + 0.04) = 40.51 \text{ dB}$ .

Pour une deuxième commutation possible telle que A1 est fermé et A2 est ouvert, les résultats correspondentes sont reportés dans le **tableau.27**

$$A=10.\log\left(\frac{P_r}{P_e}\right)P_{dBm}=10\log_{10}(P_{mW})$$

La condition sur la puissance injectée à l'entrée est  $PE=-5.97$  dBm, soit

$$PE=0.2529mW.$$

	<b>Puissance En dBm</b>	<b>Puissance En mW</b>	<b>Les Pertes en dB</b>
<b>Sortie blanche</b>	-46.25	$2.3713 \times 10^{-5}$	40.27
<b>Sortie bleu</b>	Low	Low	Low

**Tableau 27.**Résultats de mesure de la puissance.

**Note :** Conversion de la puissance du dBm au mW au moyen de l'optisystem dans la condition de commutation A1 fermé et A2 ouvert.

Enfin, le calcul de l'affaiblissement sans les pertes pour l'état de commutation considéré donne :

(Connecteur=0.4, Fusion=0.04) :

$$\text{Sortie blanche} = 40.27 - (0.4 + 0.04) = 39.83 \text{dB.}$$

$$\text{Sortie bleu} = 0 \text{ dB.}$$

---

### 3.8. Conclusion

Le travail précédemment mentionné, repose principalement sur la description de l'instrumentation appropriée et les considérations nécessaires qui permettent l'obtention d'une soudure, de qualité entre deux fibres optiques. Il est indiqué que la fibre optique se joins au moyen de connecteurs (à caractéristiques diverses) avec un appareillage de mesure et que la qualité de connexion entre des fibres optiques influencent significativement les propriétés de propagation d'une onde lumineuse qui y se propage. Autrement dit, la fibre n'est autre qu'un guide diélectrique conçu à base de verre (ou du plastique) dont l'usage est de supporter le guidage d'un signal lumineux (sans défauts) représentant une transmission de données, des images, des conversations téléphoniques, ect. Pour de tels intérêts objectifs, la maîtrise des mécanismes de son raccordement et ou rallongement, est de grande importance. En outre, pour confirmer la qualité de coupure de la fibre et son raccordement avec des connecteurs, il est procédé à la connecter avec un mesureur de puissance pour estimer comme résultat la puissance émise, et l'affaiblissement des pertes.

Pour une seconde tache expérimentale effectuée au laboratoire, des efforts se sont déployés permettant en particulier de mettre au point le montage d'un multiplexeur fonctionnel. Des tests de fiabilité ont été opérés avec réussite pour avoir mesuré la puissance et l'affaiblissement d'un signal injecté depuis l'entrée du dispositif ajusté sur deux états de commutation.

---

## Références bibliographiques

- [1] : mémoire de master de Université AboubakrBelkaid – Tlemcen réalisé par : ZEMAM Hadjira BECHAREF Oussama *Réalisation pratique d'un multiplexeur/switch optique 2 x2 à base d'atténuateurs optoélectroniques et coupleur 99 :1*
- [2] : <https://www.thorlabs.com/>
- [3] <http://www.nourdineabdallah.fr/Files/Other/Fibre%20optique.pdf>
- [4] [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
- [5] <https://www.indiamart.com/proddetail/anritsu-516-optical-loss-test-set19426666097.html>
- [6] [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)
- [7] [dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5olt\\_opm\\_e\\_6\\_0.pdf](https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5olt_opm_e_6_0.pdf)
- [8] [https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5pm\\_opm\\_e\\_7\\_0.pdf](https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5pm_opm_e_7_0.pdf)
- [9] mémoire de master de Université AboubakrBelkaid – Tlemcen réalisé par : Mr KADDOUR Abdellah Mr MOULESSEHOUL Abderrahmane *Etude et simulation d'un routeur optique avec OptiBPM*
- [10] <http://www.nourdineabdallah.fr/Files/Other/Fibre%20optique.pdf>
- [11] <https://thd-optic.com/cliveuse-fibre-optique/12-cliveuse-sumitomo-fc-6rs-c-manuelle-0101005>
- [12] <http://www.abc-fibre-optique.com/soudeuses/2707-soudeuse-fuijikura-22s.html>
- [13] [https://www.lasercomponents.com/fr/produit/switch-optique/DIVISEURS\\_OPTIQUE](https://www.lasercomponents.com/fr/produit/switch-optique/DIVISEURS_OPTIQUE)
- [14] [excel-networking.com/fr/catalogue/produit/208-906](http://excel-networking.com/fr/catalogue/produit/208-906)
- [15] <https://fr.c3comunicaciones.es/Fichas/Aten%20form%20con%20WDM.pdf>
- [16] [https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=69&pn=S120-FC](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=69&pn=S120-FC)

---

## *Conclusion générale*

Dans ce mémoire de projet de fin d'étude, une réalisation d'un multiplexeur/routeur mécanique basé sur des atténuateurs (obturateurs) et des coupleurs 99/1 et 50/50 a été faite au niveau du laboratoire de télécommunications. Il est à préciser que ces coupleurs appropriés contribuent à l'acheminement de l'information émise à travers la longueur de la fibre vers différents types d'instrumentation de mesure. Ainsi, la fibre optique étant destinée à guider un signal lumineux, donc un support de transport qui présente tout le mérite d'être conçu sans défaut et que sa connexion avec une autre portion de fibre (via un connecteur ou également une soudure) ne soit pas critique du point de vue qualité. Le facteur qualité, évidemment impliquant la performance d'une liaison connecteur-fibre, joue un rôle déterminant sur le débit de transmission du signal et l'optimisation de portée. Pour toutes ces raisons citées, il est important d'établir une identification sélective des coupleurs selon leurs spécificités techniques et de décrire les conditions opératoires contrôlées (dominées par l'opérateur) pour la manipulation d'une fibre optique de qualité évaluée. De tels éléments spécifiques qui sont fonctionnels avec d'autres composants optoélectroniques constituent une technologie prometteuse à la conception des multiplexeurs et routeurs optiques pour être employé par exemple dans les réseaux de transmission.

---

## ***Glossaire optique***

**APC** : Angled Physical Contact

**API** : Application programming interface

**BFT** : Bare Fiber Optic Terminator

**CDM** : Code Division Multiplexing

**CDMA** : Code Division Multiple Acces (Accès multiple par répartition de code)

**CWDM**: Coarse Wavelength Division Multiplexing

**DWDM**: Dense Wavelength Division Multiplexing

**FDM**: Fréquency Division Multiplexing

**FC**: Ferrule Ceramic

**LAN**: Local Area Network

**LED**: Light Emitting Diode.

**LASER**: Light Amplifier Stimulated Emission Radiated

**MAN**: Metropolitan Area Network

**MEMS**: Micro Electro-Mechanical Systems.

**MM** : Multi-Mode

**MMF** : Multi-Mode Fiber

**NRZ** : Non-Return-to-zero

**OCDM** : Optical Code Division Multiplexing

**PIN** : Positive Intrinsic Photodiode

**PDA** : Photodiodes à avalanche

**PM** : Polarisation Mode.

**PC**: Polished Connectcor

**PLC**: Planar Lightwave Circuit.

**SMF**: Signal Mode Fiber.

**SM** : Single Mode

**SC** :Subscriber Connectcor

**ST**: Straight Tip

**TDM**: Time Division Multiplexing

**U-DWDM**: Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing

**UPC**: Ultra Physical Contact

**WDM**: Wavelength Division Multiplexing

.

---

**WWDM:** Wide Wavelength Division Multiple

.

