

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
Université Aboubakr Belkaïd –Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MÉMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Système de Télécommunications

Présenté par : ZEMAM Hadjira

BECHAREF Oussama

Sujet

***Réalisation pratique d'un multiplexeur/switch optique 2 x2
à base d'atténuateurs optoélectroniques et coupleur 99 :1***

Soutenu, le /09 / 2020, devant le jury composé de :

Mr BORSALI. A. R	PROF. Université de Tlemcen	Président
Mr KHELLADI. M	MCA. Université de Tlemcen	Examineur
Mr KARIM. F	MCA. Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Dédicace

*À nos chers **parents**, pour tous leurs sacrifices, amour, affection, soutien et prières tout au long de nos études,*

*À nos chères **sœurs** pour leur encouragement constant et leur soutien moral,*

*À nos **frères** Chers à les soutenir et à les encourager,*

*À toute notre **famille** pour leur soutien tout au long de notre carrière universitaire,*

*Pour tous nos camarades de classe “ **systèmes de communications** ”*

*À tous les côtés de la **famille universitaire**,*

*Nous transmettons cet humble message sans oublier **l'encadreur** qui mérite un dévouement particulier à ses efforts qui nous ont consacrés à la réussite de ce travail,*

Nous espérons que ce travail permettra de tenir vos promesses présumées et les fuites infaillibles de soutien,

Merci d'être toujours là pour nous.

Hadjira

Oussama

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le grand Dieu pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous exprimons nos gratitude à Monsieur le président de jury d'avoir accepté examiné ce mémoire.

Nous remercions Messieurs les membres de jury, d'avoir accepté de prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'ils l'ont porté à ce travail.

*Nous remercions Monsieur **Fethallah Karim**, notre encadreur, pour ses conseils et suggestions avisés qui nous aidés à mener à bien ce travail, et d'avoir rapporté à ce mémoire ces remarques et conseils.*

Résumé

Le système de réseau optique nécessite un signal optique lié à la distribution de branche, ce qui nécessite le séparateur de fibres optiques. Les diviseurs peuvent être construits en utilisant un certain nombre de fibres optiques monomodes et multimodes avec la plupart des types de connecteurs pour diverses applications. Dans ce mémoire, une étude théorique et pratique a été faite sur les fibres optiques monomodes P1-SMF-28-FC-1 du fabricant Thorlabs, et les diviseurs optique 1 x 4 à base atténuateur optoélectronique, le coupleur optique 50 :50 et le coupleur 99 :1 qui nous a donnée l'opportunité pour incarner nos connaissances théorique, afin de mieux apprendre manipuler les outils, comme étant nous sommes des futurs ingénieurs en télécommunications, qui vont plus tôt entamer la vie professionnelle.

Mots clés: fibres optiques monomodes P1-SMF-28-FC-1, diviseurs optique 1 x 4, coupleur optique 50 :50 , coupleur optique 99 :1, Thorlabs

Abstract

The optical network system requires an optical signal linked to the branch distribution, which requires the optical fiber splitter. Splitters can be constructed using a number of single-mode and multimode optical fibers with most types of connectors for various applications. In this memory, a theoretical and practical study has been made on the P1-SMF-28-FC-1 single-mode optical fibers from the manufacturer Thorlabs, and the 1 x 4 optical splitters based on optoelectronic attenuator, the 50: 50 optical coupler and the coupler 99: 1 which gave us the opportunity to embody our theoretical knowledge, in order to better learn to handle the tools, as being we are future engineers in telecommunications, who will start the professional life sooner.

Keywords : P1-SMF-28-FC-1 single-mode optical fibers, 1 x 4 optical splitters, 50: 50 optical coupler, 99: 1, optical coupler, Thorlabs

المخلص

يتطلب نظام الشبكة الضوئية إشارة ضوئية مرتبطة بتوزيع الفرع ،مما يتطلب مقسم الألياف الضوئية. يمكن إنشاء المقسم باستخدام عدد من الألياف الضوئية أحادية الوضع ومتعددة الأوضاع مع معظم أنواع الموصلات لتطبيقات مختلفة. في هذه الأطروحة تم إجراء دراسة نظرية وعملية على الألياف الضوئية أحادية الوضع P1-SMF-28-FC-1 من الشركة المصنعة Thorlabs، والمقسمات 1 x 4 على أساس الموهن الإلكتروني البصري ،والمقرن 50:50 والمقرن 99 : 1 الذي منحنا الفرصة لتجسيد معرفتنا النظرية ،من أجل تعلم كيفية التعامل مع الأدوات بشكل أفضل ،لأننا مهندسون المستقبل في الاتصالات السلكية واللاسلكية ،الذين سنبداً الحياة المهنية في وقت أقرب.

الكلمات المفتاحية : ألياف بصرية أحادية الوضع P1-SMF-28-FC-1 ،مقسمات بصرية 1 x 4 ،مقرنة بصرية 50:50 ، مقرنة بصرية 99 :1، Thorlabs

Table des matières

Remerciement

Résumé

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 01: Généralités sur la fibre optique

1.1. Introduction.....	3
1.2. Généralités.....	3
1.3. Module d'émission.....	4
1.3.1 Source laser.....	5
1.3.1.1 Absorption et émission d'un photon.....	6
i. Absorption d'un photon incident.....	6
ii. Emission spontanée.....	6
iii. Emission stimulée.....	6
1.3.2 Modulation de données.....	7
1.3.2.1 Modulation directe.....	7
1.3.2.2 Modulation externe.....	9
1.4. Module de transmission.....	10
1.4.1. Raison d'être des fibres optiques.....	10
1.4.2. Fibre optique.....	11
1.4.3 Différentes catégories de fibres optiques.....	12
1.4.3.1. Fibres multi-modes.....	13
i Fibres optiques multi-modes à saut d'indice.....	14
ii Fibres optiques multi-modes à gradient d'indice.....	14
1.4. 3.2 Fibres monomodes.....	15
1.4.3.3. Principe de guidage dans les fibres.....	15
4.3.4. Avantages et inconvénients.....	17
1.5. Module de réception.....	18
1.5.1. Photo détecteur.....	19
1.5.2. Principe de fonctionnement de la photo détection :.....	20
1.5.3 .Photodiode PIN.....	20
1.5.4 .Photodiodes à avalanche PDA.....	21
1.5. 5. Comparaison entre les photodiodes PIN et PDA.....	21
1.5.6 Amplificateur électrique.....	22
1.5.7 Circuit de filtrage.....	22

1.5.8 Circuit de décision	23
1.6. Différents effets sur la transmission optique.....	23
1.6.1 Effets linéaires :	24
1.6.1.1 Atténuation	24
1.6.1.2 Amplification optique	25
1.6.1.3 Effet de dispersion	26
1.7. Conclusion	26

chapitre02: Différentes technologies de multiplexeurs Et switches optiques

2.1. Introduction :	27
2.2. Définition d'un multiplexeur :	27
2.3. Techniques de multiplexage :	28
2.3.1 Multiplexage temporel (Time Division Multiplexing) :	28
2.3.2 Multiplexage fréquentiel FDM (Fréquence Division Multiplexing).....	29
2.3.3 Multiplexage en longueur d'onde (Wave length Division Multiplexing): ...	30
2.3.3.1. Principe de la WDM:.....	30
2.3.3.2 Fonctionnement :	31
2.3.3.3 Les systèmes de base de la WDM :	32
2.3.3.4 Types de systèmes WDM :	33
i DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing):.....	33
ii U-DWDM (Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing):	33
iii CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing):.....	33
iiii WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing) :	33
2.3.4 Différents composants d'un système WDM :	34
2.3.4.1. Les multiplexeurs/démultiplexeurs:	34
2.3.4.2 Convertisseurs optiques:	35
i. Conversion optoélectronique :	35
2.3.5 Commutateurs de longueur d'onde:.....	35
2.4. Switch optique :	36
2.4.1 Les différents types de switches :	36
4.1.1 Switch Laser Components :	36
2.4.1.2 Switch MEMS Sercalo à verrouillage monomode 1x2, 2x1-2x2 :	37
2.4.1.3 Switch Cubo mono/multimode 1x1, 1x2:	38
2.4.1.4 Switch O/E Land Inc mono/multimode - 1x2:	38
• Avantage Switch O/E Land Inc mono/multimode - 1x2:.....	39
• Applications pour Switch O/E Land Inc mono/multimode - 1x2:	39
2.4.1.5 Switch Agiltron Light Bend PM 1x1, 1x2:	40

2.4.1.6	Switch à fibres F-SM19 acousto-optique de Sentronic 1x9 :	41
2.4.1.7	Switch MEMS DiCon monomode (Add/Drop) 2x2:	42
2.4.1.8	Switch MEMS DiCon monomode 1xN:	43
2.4.1.9	Switch Light Wave Link Inc 2x2 :	43
2.4.2	Switches Optiques pour courtes Longueurs d'onde :	45
2.5	Définition des spécifications du coupleur à fibre optique 2x2 fondue :	46
2.5.1	Exemples généraux de couplage :	47
2.5.2	Caractéristiques optiques :	47
2.5.3	Quelque types des coupleurs optiques :	48
2.5.3.1	Coupleur monolithique à mode unique :	48
2.5.3.2	Coupleur directionnel à large bande de FBT :	49
2.6	Conclusion :	51

Chapitre03 Etude pratique sur un multiplexeur/Switch optique 2*2 Basé sur des atténuateurs optoélectroniques

3.1	Introduction	52
3.2	Caractéristiques physiques de la fibre monomode (P1-SMF-28-FC-1) :	52
3.2.1	L'ouverture numérique	53
3.2.2	Câbles de raccordement à fibre optique monomode :	53
3.3	Caractéristiques techniques des appareils de mesure :	54
3.3.1	Source laser/testeur de pertes optique du fabricant ANRITSU :	54
3.3.1.1	Description de mode de fonctionnement	56
3.3.2	Wattmètre optique (Optical Power Meter) :	57
3.4	Mesure de l'affaiblissement en utilisant deux fibres monomodes	57
3.5	Mesure de l'affaiblissement à l'aide des appareils de mesure :	58
3.5.1	Mesure de l'affaiblissement en utilisant le testeur de pertes optique et le wattmètre optique :	58
3.6	Etapas de réalisation d'une soudure optique :	59
3.6.1	Dénudage :	61
3.6.2	Nettoyage	62
3.6.3	Le clivage de la fibre optique :	62
3.6.4	Mise en place dans la soudeuse :	63
3.6.5	La retraite de la protection d'épissure :	64
3.7	Etude pratique sur les coupleurs 50 :50 ,99 :1 :	64
3.7.1	Coupleur optique 50 :50 :	64
3.7.1.1	Mesure de la puissance et la perte d'un coupleur optique 50 :50	64
3.7.2	Coupleur optique 99:1 :	67

3.8 Etude pratique sur un multiplexeur/Switch 2 x 2 optique et le diviseur optique :	69
3.8.1 Switch Optique	69
3.8.2 Diviseurs Optiques :.....	69
3.8.3. Mesure de l'affaiblissement d'un diviseur optique 1 x 4 en utilisant le testeur de pertes optique et le wattmètre optique :	70
3.9. Conclusion :	73
Conclusion générale	74
Bibliographie	

Liste des figures

Fig.1. 1.Synoptique général d'un système de communications par fibre.....	4
Fig.1. 2. Deux types de cavités laser : résonateur Fabry-Pérot (a) et laser en anneau (b)	5
Fig.1. 3. Processus d'absorption.....	6
Fig.1. 4. Processus d'émission spontanée.....	6
Fig.1. 5. Processus d'émission stimulée.....	7
Fig.1. 6. Modulation directe d'une diode laser.....	7
Fig.1. 7. Schéma d'une fibre optique.....	11
Fig.1. 8.Diagramme de dispersion d'une fibre à saut d'indice.....	12
Fig.1. 9. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi-mode à saut d'indice.....	14
Fig.1. 10. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi mode à gradient d'indice.....	14
Fig.1. 11. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique.....	15
Fig.1. 12. Guidage de la lumière dans la fibre optique.....	16
Fig.1. 13. Schéma d'un récepteur de données à détection directe.....	19
Fig.1. 14. Structure d'une photodiode PIN.....	21
Fig.1. 15. Structure d'une photodiode à avalanche.....	21
Fig.1. 16. Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist	23
Fig.1. 17. profil puissance d'un signal optique se propageant dans une fibre présentant des pertes de 0.2 dB/km.....	24
Fig.2. 1.Schéma de principe de Multiplexage temporel.....	29
Fig.2. 2. Multiplexage à répartition par code CDM (Code Division Multiplexing)	29
Fig.2. 3. Système utilisant la technique du CDMA.....	30
Fig.2. 4. Principe de multiplexage en longueur d'onde	31
Fig.2. 5. Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.....	32
Fig.2. 6. Les systèmes de base en WDM.....	33
Fig.2. 7. Les différents composants d'un système WDM.....	34
Fig.2. 8. Commutateur électro-optique de LASER COMPONENTS	36

<i>Fig.2. 9. Switch MEMS Sercalo à verrouillage monomode 1x2, 2x1-2x2</i>	<i>37</i>
<i>Fig.2. 10. Commutateur mécano-optique 1x1, 1x2 de Cubo</i>	<i>38</i>
<i>Fig.2. 11. Commutateur électro-optique 1x2 d'O/E Land [16].....</i>	<i>39</i>
<i>Fig.2. 12. Commutateur mécano-optique Agiltron PM de la série LB 1x1 et 1x2.</i>	<i>40</i>
<i>Fig.2. 13. Commutateur acousto-optique de Sentronic</i>	<i>41</i>
<i>Fig.2. 14. Commutateur MEMS monomode à Insertion/extraction 2x2 [19].</i>	<i>42</i>
<i>Fig.2. 15. Commutateur MEMS DiCon monomode 1xN [20].</i>	<i>43</i>
<i>Fig.2. 16. Commutateur Light Wave Link Inc 2x2</i>	<i>44</i>
<i>Fig.2. 17. Splitter optique 1*4-0.9-0.5M-SC/UPC.....</i>	<i>45</i>
<i>Fig.2. 18. Schéma du coupleur directionnel.....</i>	<i>46</i>
<i>Fig.2. 19. Les ports du coupleur</i>	<i>46</i>
<i>Fig.2. 20. Coupleur monolithique à mode unique</i>	<i>48</i>
<i>Fig.2. 21. Coupleur directionnel à large bande de FBT.....</i>	<i>50</i>
<i>Fig.3. 1. Le guidage des rayons dans une fibre optique</i>	<i>53</i>
<i>Fig.3. 2. Fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1 du fabricant Thorlabs</i>	<i>54</i>
<i>Fig.3. 3. Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU</i>	<i>55</i>
<i>Fig.3. 4. Commandes de fonctionnement de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5.....</i>	<i>56</i>
<i>Fig.3. 5. Wattmètre optique (Optical Power Meter).....</i>	<i>57</i>
<i>Fig.3. 6. Configuration de la mesure de perte optique.....</i>	<i>58</i>
<i>Fig.3. 7. Méthode expérimentale de mesure de pertes d'insertion optiques</i>	<i>58</i>
<i>Fig.3. 8. Puissance d'entrée générée par la source laser.....</i>	<i>59</i>
<i>Fig.3. 9. Puissance reçue sur le wattmètre optique</i>	<i>59</i>
<i>Fig.3. 10. dénudage de fibre optique monomode de 3mm</i>	<i>61</i>
<i>Fig.3. 11. Dénudage [10].....</i>	<i>61</i>
<i>Fig.3. 12. Le nettoyage de la fibre optique</i>	<i>62</i>
<i>Fig.3. 13. Étape de clivage</i>	<i>62</i>
<i>Fig.3. 14. Etape déplacements dans la soudeuse</i>	<i>63</i>
<i>Fig.3. 15. Schéma de fusion [12]</i>	<i>64</i>
<i>Fig.3. 16. La retreinte de la fibre optique</i>	<i>64</i>
<i>Fig.3. 17. Méthode expérimentale de mesure de pertes D'un coupleur optique 50 :50</i>	<i>65</i>

<i>Fig.3. 18. Puissance d'entrée du port bleu d'un coupleur optique.....</i>	<i>65</i>
<i>Fig.3. 19. Puissance de sortie du port bleu d'un coupleur optique</i>	<i>65</i>
<i>Fig.3. 20. Puissance d'entrée du port rouge d'un coupleur optique 50 :50.....</i>	<i>66</i>
<i>Fig.3. 21. Puissance de sortie du port rouge d'un coupleur optique 50 :50</i>	<i>66</i>
<i>Fig.3. 22. Méthode expérimentale de mesure de pertes.....</i>	<i>67</i>
<i>Fig.3. 23. Puissance d'entrée du port bleu d'un coupleur optique 99 :1</i>	<i>68</i>
<i>Fig.3. 24. Puissance de sortie du port bleu d'un coupleur optique 99 :1.....</i>	<i>68</i>
<i>Fig.3. 25. Perte de soudure</i>	<i>69</i>
<i>Fig.3. 26. Un diviseur optique à une entrée et 4 sorties</i>	<i>69</i>
<i>Fig.3. 27. Méthode expérimentale de mesure de pertes d'un diviseur optique</i>	<i>70</i>
<i>Fig.3. 28. Puissance d'entrée du premier port d'un diviseur optique.....</i>	<i>70</i>
<i>Fig.3. 29. Puissance de sortie du premier port d'un diviseur optique</i>	<i>71</i>
<i>Fig.3. 30. Puissance de sortie du deuxième port d'un diviseur optique</i>	<i>71</i>
<i>Fig.3. 31. Puissance de sortie du troisième port d'un diviseur optique.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig.3. 32. Puissance de sortie du quatrième port d'un diviseur optique</i>	<i>72</i>

Liste des tableaux

Tab.1. 1. Comparatif des caractéristiques de différents supports de propagation...	10
Tab.1. 2. Caractéristiques générales des fibres uni-modales et multi-modes.....	13
Tab.1. 3. Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et PDA.	22
Tab.2. 1. Spécifications du Switch O/E Land Inc mono/multimode -1x2	40
Tab.2. 2. Spécifications du Switch Agiltron Light Bend PM 1x1, 1x2[17].....	41
Tab.2. 3. Caractéristiques optiques.....	48
Tab.2. 4. Spécifications du Coupleur monolithique à mode unique [29]	49
Tab.2. 5. Spécifications du Coupleur directionnel à large bande de FBT [30]	50
Tab.3. 1. Caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (Thorlabs).....	52
Tab.3. 2. Caractéristiques de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5 [5]	55
Tab.3. 3. Description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de la série CMA5 [6].....	56
Tab.3. 4. Matériel nécessaire pour une soudure optique	60
Tab.3. 5. Comparaison entre 1 x 2 le séparateur de coupleur monomode et 2 x 2 coupleur optique 50 :50.....	67

Liste des abréviations

- 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 Multiplexing

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie des télécommunications est actuellement en train de vivre une révolution, et celle-ci concerne aussi bien les concepteurs et les opérateurs que les utilisateurs. Le principal moteur de cette révolution est la croissance exponentielle du nombre d'utilisateurs d'internet. L'utilisation de courrier électronique et de fichiers professionnels, fait partie de notre quotidien. A l'époque où les systèmes numériques les plus rapides véhiculent l'information à un débit de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de Mbit/s sur des distances courtes, le câble coaxial remplissait parfaitement son rôle de support de transmission. L'apparition du multimédia, la téléphonie le trafic de données et internet ont été les facteurs clés d'une demande en bande passante toujours grandissante.

Les premières expériences de transmission optique datent de la fin de siècle avec la modulation de l'intensité de la lumière par un signal acoustique. Faute de savoir guider efficacement la lumière jusqu'au destinataire. Utilisant le principe connu depuis longtemps des fontaines lumineuses, les fibres optiques, minces cheveux de verre très transparents, on fait l'objet d'applications décoratives, puis plus utilitaires. Avant l'optique, ni les systèmes à câble coaxiaux, ni les systèmes micro-onde, ne permettaient de transmettre un débit supérieur à 100Mbit/s en moyenne. Le système coaxial le plus évolué était capable de transmettre un débit de 274Mbit/s, mais à condition de prévoir l'installation de répéteurs tous les kilomètres.

L'utilisation de la fibre optique puis des réseaux « tout-optique » a totalement révolutionné le monde des télécommunications. On arrive désormais à des systèmes de transmission de plus en plus performants, atteignant plusieurs T bit/s sur plusieurs milliers de kilomètres.

La fibre optique et sa maîtrise n'ont cessé de se répandre et d'évoluer. Et, faute de pouvoir annihiler complètement ses défauts, la technologie est déjà en mesure de réduire grandement certains défauts marquants, comme la multi modalité qui limite le débit et qui est de mieux en mieux maîtrisée, notamment, des fibres à gradient

d'indice. De plus, des outils très performants permettent de connaître avec précision les caractéristiques d'une fibre optique, et ses défauts éventuels : cassure, déformation intempestives et autres.

Deux importantes solutions à base de fibre optique ont alors génère une augmentation considérable des capacités de transmission des liaisons : ce sont d'une part les amplificateurs optiques, d'autre part un nouveau principe de multiplexage-démultiplexage en longueur d'onde nomme WDM. Ce dernier permet de transporter Plusieurs signaux sur une seule fibre optique en leur affectant une longueur d'onde différente. Les avantages de la fibre optique en tant que support de transmission (grande bande passante, faibles pertes de propagation, immunité aux ondes électromagnétiques) justifient l'important développement des systèmes de transmission optiques durant la dernière décennie.

L'objectif de ce mémoire consiste à comprendre le principe de fonctionnement d'une fibre optique et les différentes étapes pour préparer la fibre optique (soudure/dénudage/clivage).

Notre mémoire se divise en deux parties, une théorique résumée dans les deux premiers chapitres, et l'autre pratique exprimée dans le dernier chapitre.

Le premier chapitre est consacré pour une description générale des transmissions par fibres optiques et de citer les différentes pertes qui existent dans les liaisons optiques.

Dans Le deuxième chapitre, nous présenterons les différentes technologies et les techniques de multiplexage, puis nous avons cité les différents types des switches optiques, après nous présenterons le coupleur optique.

Dans le dernier chapitre, nous avons acquis des connaissances dans la préparation de la fibre optique, notamment le dénudage, le clivage. Nous avons aussi réalisé une soudure d'une fibre optique après nous avons fait des opérations de mesure des pertes sur le diviseur et le coupleur 2 x 2 optique.

Chapitre 1

Généralités sur la fibre optique

1.1. Introduction

Les possibilités des systèmes de transmission sur fibre optique en particulier leur capacité très largement supérieure à celles des autres systèmes, jointes à l'apparition des nouveaux concepts et hiérarchies de réseaux ont provoqué un bouleversement complet de la structure des réseaux de télécommunications existants. Dans ce premier chapitre on va étudier une chaîne de transmission en essayant de définir de manière synthétique ses différents éléments tout en décrivant leurs rôles, leurs fonctionnements, leurs caractéristiques et limites.

Les effets linéaires étant directement liés à la longueur d'onde 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).

1.2. Généralités

Comme tous les systèmes de communications, les liaisons optiques se basent sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information: l'élément d'émission, le canal de communication et le récepteur. La particularité de ce système provient des éléments utilisés pour effectuer le transport de l'information. Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif (la diode laser) qui permet de convertir un signal sinusoïdal électrique en un signal optique. Le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin, le récepteur (le photodétecteur) récupère le signal électrique véhiculé en opérant une conversion optique/électrique (**voir fig.1.1**).

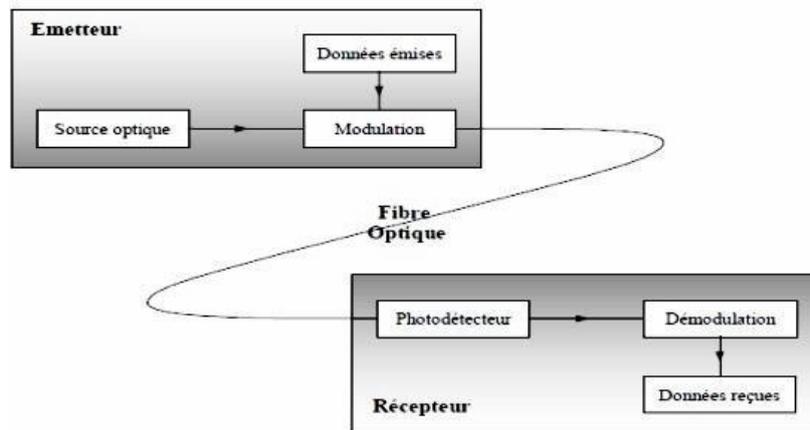


Fig.1. 1.Synoptique général d'un système de communications par fibre

1.3. Module d'émission

Dès le commencement des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est appuyé sur les émetteurs à semi-conducteur dont l'évolution des structures s'est faite de manière parallèle aux autres types de lasers. [4] Avec ses nombreux avantages:

- Petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques.
- Excellente capacité de modulation en agissant sur le courant.
- Couverture spectrale importante ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 30 \mu\text{m}$) avec un spectre optique relativement étroit.
- Alimentation très commode (une simple source de courant est suffisante pour enclencher le processus d'émission stimulée) avec une faible consommation énergétique pour donner une puissance pouvant atteindre plusieurs Watts en continue, et donc un bon rendement.
- Faible coût de fabrication avec une très bonne fiabilité.
- Facilité d'intégration avec d'autres composants optoélectroniques. [8]

Le laser à semi-conducteur est la source Lemieux adaptée pour les télécommunications optiques en permettant ainsi une meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre. [1]

1.3.1 Source laser

Un laser est un dispositif à semi-conducteur qui génère de la lumière monochromatique et cohérente à travers le processus de l'émission stimulée comme l'indique l'acronyme dont le mot est issu « Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation ». La première démonstration de l'effet Laser date de 1960 par T. H. MAIMAN (laser à rubis dopé Cr). Ce composant produit de la lumière dont la longueur d'onde va, selon les types, du domaine de l'ultra-violet lointain (laser à excimères) au domaine de l'infra-rouge (laser CO₂) (**voir la fig.1.2.**).

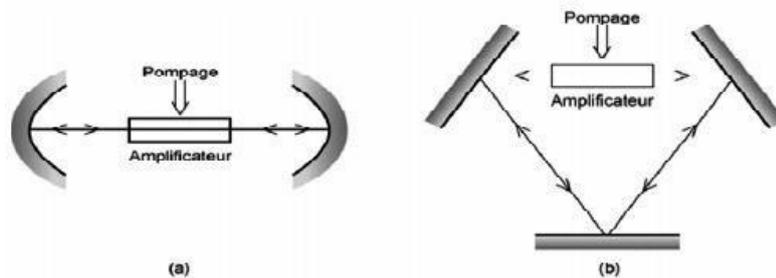


Fig.1. 2. Deux types de cavités laser : résonateur Fabry-Pérot (a) et laser en anneau (b)

Afin de garantir une grande puissance en sortie, un grand nombre de semi-conducteurs est monté dans un espace réduit (leur densité pouvant atteindre un million au centimètre carré). Dans ses états compacts, les lasers à semi-conducteurs utilisent des jonctions électroniques entre ces couches de différentes conductivités, où sont générés les photons en utilisant des surfaces réfléchissantes et un pompage par l'injection d'un courant dans la zone active du milieu.

Les longueurs d'onde visées pour les applications télécom correspondent aux minimas d'absorption des

Fibres optiques, soit $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$. Les lasers à semi-conducteur sont fabriqués à partir de

Matériaux solides, cristallins et semi-conducteurs incluant principalement:

- les composés binaires tels que GaAs, InP,
- les composés ternaires tels que Ga_{1-x}Al_xAs, Ga_{1-x}In_xP,
- les composés quaternaires tels que Ga_{1-x}In_xAs_yP_{1-y}.

Ces composants appartiennent tous aux colonnes III-V du tableau périodique des éléments.

1.3.1.1 Absorption et émission d'un photon

i. Absorption d'un photon incident

En absorbant un photon d'énergie $h\nu$, l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de la bande de valence vers la bande de conduction (voir fig.1.3).

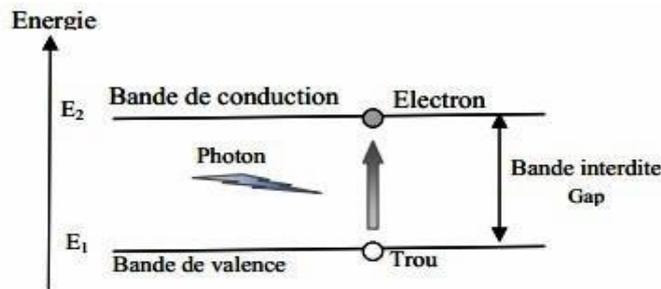


Fig.1. 3. Processus d'absorption.

ii. Emission spontanée

La recombinaison d'un électron de la bande de conduction avec un trou de la bande de valence, permet l'émission d'un photon. C'est une émission isotopique où les photons émis ne sont absolument pas en phase les uns avec les autres (voir fig1.4).

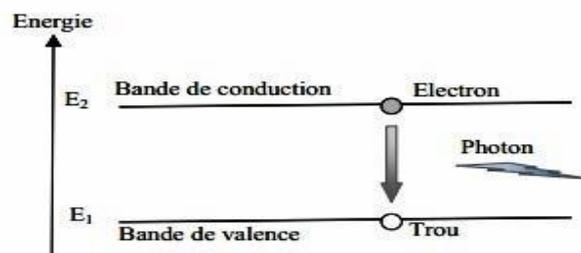


Fig.1. 4. Processus d'émission spontanée

iii. Emission stimulée

Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident (voir fig1.5).

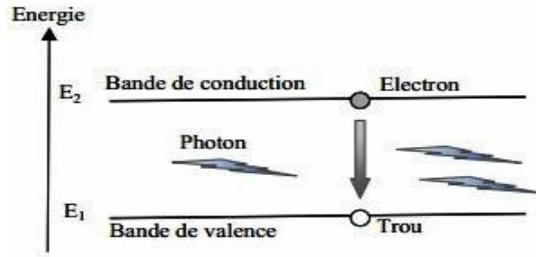


Fig.1. 5. Processus d'émission stimulée.

.Remarque : Un processus d'absorption trouve son application dans la photodiode, celui de l'émission spontanée dans la diode électroluminescente et l'émission stimulée dans la diode laser.

1.3.2 Modulation de données

La transmission des données numériques au sein d'un système de télécommunications optique impose d'écrire ces dernières sur un signal lumineux, c'est ce qu'on appelle une modulation. Il existe deux méthodes pour moduler les ondes optiques des télécommunications: la modulation directe (ou interne) et la modulation externe.

1.3.2.1 Modulation directe

Un des principaux avantages de l'utilisation des lasers à semi-conducteur pour les systèmes de télécommunications par fibres optiques réside dans le fait qu'il est possible de les moduler facilement. La modulation du courant qui traverse le laser entraîne directement la modulation de la lumière émise par celui-ci. Cette technique de modulation est appelée « modulation directe ». Il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser, c'est-à-dire sur le courant injecté dans le laser à semi-conducteur, Pour moduler en amplitude le signal émis par celui-ci. [4]

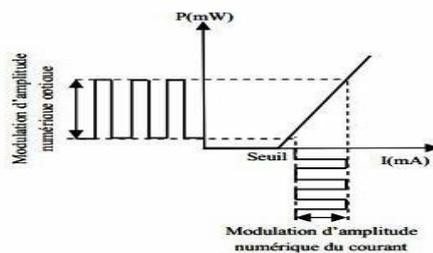


Fig.1. 6. Modulation directe d'une diode laser.

Cette solution requiert assez peu de composants. Un laser, un générateur de courant et un circuit de commande ou driver. Ce circuit de commande a pour rôle

de moduler la polarisation du laser à partir des données électriques issues de générateur tout en commandant la source optique au niveau des puissances émises (fixer les valeurs du courant d'alimentation). La source modulée est complétée par un dispositif de couplage optique dans la fibre de transmission. [1]

La modulation directe offre l'avantage d'être simple, facile à mettre en œuvre, efficace et peu coûteuse, elle nécessite une tension réduite (la tension appliquée n'est que de 2 à 3 V) et une puissance faible.

Cependant, elle présente des inconvénients liés son régime transitoire (oscillations de relaxation), chirp, bruit, ...

En effet, dans les systèmes de télécommunications numériques par fibre optique, la modulation est constituée de signaux binaires pour lesquels la puissance optique, et donc le courant de polarisation, doivent commuter brusquement entre un niveau bas et un niveau haut. Lorsque l'on applique un échelon de courant à un laser à semi-conducteur, l'émission de la lumière, qui est la réponse à cet échelon, se fait avec un retard pouvant aller jusqu'à quelques nanosecondes. Le laser ne peut répondre instantanément à une excitation électrique car l'émission stimulée, qui va créer le faisceau laser, n'a pas lieu tant que la concentration de porteurs n'atteint pas sa valeur seuil. Ce retard est de plus suivi d'oscillations de relaxation de même origine que la résonance fondamentale : les populations d'électrons et de photons oscillent, avant d'atteindre l'état stationnaire, d'autant plus brutalement que leurs temps de vie respectifs sont différents.

Par ailleurs, le principal effet limitatif de la modulation directe des données, provient du fait que cette technique conduit à un signal présentant une modulation parasite de fréquence aussi appelée chirp (conversion AM/FM). Ce phénomène est inhérent au fait que la modulation du courant induit une modulation de l'indice de réfraction et par conséquent une modulation de fréquence de la lumière émise. Le chirp, noté Ch, relie la dérivée temporelle de la phase φ à celle de la puissance P du signal par la relation ci-dessous :

$$\varphi = \frac{ch}{2} \ln (p) \dots \dots \dots (1.1)$$

Le chirp, au même titre que la dispersion chromatique, est un facteur majeur de limitation des performances des systèmes de transmission sur fibre à haut débit.

Ce phénomène provoque un élargissement temporel des impulsions qui, au bout d'une certaine distance, provoque un recouvrement générateur d'interférences inter- symboles.

Elle est aussi limitée en bande passante et ne peut être utilisée au plus de 5 GHz environ. L'adaptation d'impédance du laser peut être réalisée par un dispositif actif (large bande) ou passif (bande étroite).

Les modulations de fréquence et de phase sont assez difficiles à expliquer à cause de la non-cohérence de la lumière laser utilisée dans la communication optique. Raison pour laquelle les modulations d'amplitude et d'impulsion sont les plus utilisées en pratique.

Ces différentes limites, en particulier un chirp trop important, rendent inutilisable la modulation directe à 40 Gb/s, puisque elle engendre pour les hauts et très hauts débits certaines dégradations du signal optique modulé. A cela, la modulation externe constitue un remède.

1.3.2.2 Modulation externe

Ce type de modulation consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser. Ainsi les défauts de la modulation directe qui incombent au laser ne seront plus présents dans le signal optique. [5]

La modulation externe sera donc effectuée sur une onde pure et constante et par un composant indispensable qui est le modulateur externe. Le module d'émission est composé dans ce cas, d'une diode laser émettant un signal continu, suivie d'un modulateur externe commandé par un driver dont le rôle est de fixer les niveaux d'une tension $v(t)$ modulée et représentative de l'information à transmettre. Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en intensité en sortie. [2]

Le signal optique continu émis par le laser alimenté par un courant constant est pur et peu dégradé. En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon $v(t)$. [1]

1.4 Module de transmission

Avec l'invention du laser en 1960 et l'énorme potentiel qui en résultait pour les télécommunications (débit plus élevé, bande passante plus large), il est vite devenu important de développer des guides d'onde optiques insensibles aux fluctuations atmosphériques et à la topologie. C'est en 1966 qu'est évoquée pour la première fois la possibilité d'utiliser des guides d'onde cylindriques à base de diélectrique, aussi appelé fibres optiques.

Dans le domaine des télécommunications, la fibre optique peut être considérée comme un vecteur physique pouvant transporter, via un signal optique, des données numériques d'un point à un autre de la planète.

1.4.1 Raison d'être des fibres optiques

La fibre optique s'est révélée être un support capable de concurrencer le câble en cuivre ainsi que les ondes radio aussi bien en terme de performances au niveau de la transmission (très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible), d'avantages liés à la mise en œuvre (très petite taille, grande souplesse, faible poids), de sécurité électrique, électromagnétique et industrielle. Le tableau suivant met en relief des divers avantages :

Support	Câble coaxial	Ondes radio	Fibre Optique
Propagation	Guidée	Libre/dirigée	Guidée
Matériau	Cuivre	/	Silice
Bande passante	MHz	GHz	THz
Atténuation	Forte avec fréquence	Variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations EM	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Correcte	Nulle	Elevée
Applications	Réseaux locaux haut débit, vidéo	Mobiles, satellites, hertzien	Haut débit longue distance, réseaux locaux.

Tab.1. 1. Comparatif des caractéristiques de différents supports de propagation

A la vue de tous ces aspects, on comprend mieux pourquoi actuellement il se pose plus de 300m de fibre optique par seconde dans le monde, soit une vitesse de pose supérieure à la vitesse du son !!!

1.4.2 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_{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.1.7)

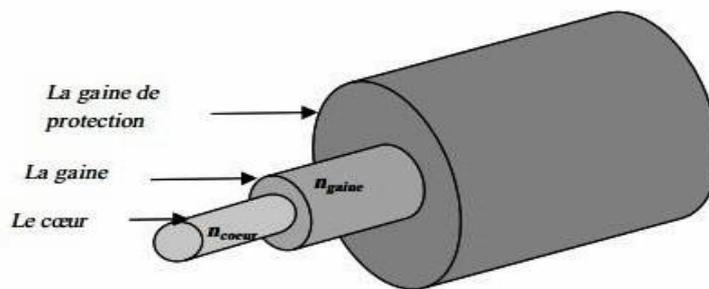


Fig.1. 7. Schéma d'une fibre optique.

La fibre optique est, généralement, fabriquer de la silice, un matériau qui ressemble au verre. La silice est un composé de silicium (Si) et d'oxygène (O) dont la formule chimique est SiO_2 . [7] 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. [3]

1.4.3 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:

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} \dots\dots\dots (1.2)$$

Avec « a » le rayon du cœur de la fibre et « λ » 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 $\frac{v^2}{2}$.

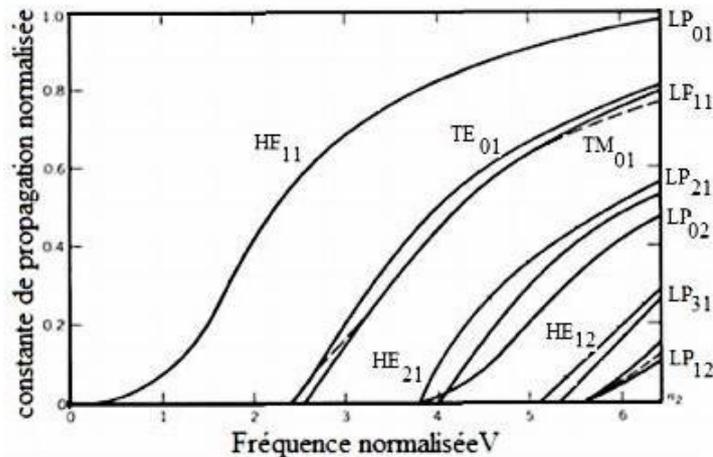


Fig.1. 8.Diagramme de dispersion d'une fibre à saut d'indice.

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

(I.2) suivant compare les caractéristiques de ces deux familles de fibres optiques:

Fibre uni modale	Fibre multimodale
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	Réseaux locaux

Tab.1. 2.Caractéristiques générales des fibres uni-modales et multi-modes.

1.4.3.1 Fibres multi-mode

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 μm 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).

i 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.1.9**).

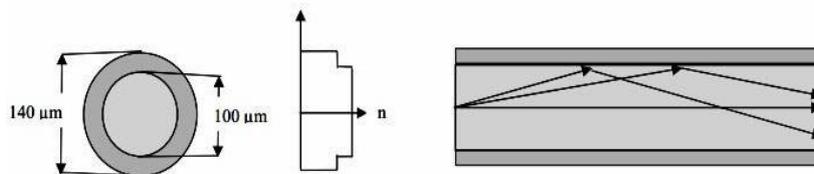


Fig.1. 9. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi-mode à saut d'indice.

ii Fibres optiques multi-mode à gradient 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 :

$$n(r) = n_{coeur} \sqrt{1 - 2\Delta(r/a)^\alpha} \dots\dots\dots (1.3)$$

Avec a le rayon du cœur, r la variation de a, l'exposant α est proche de 2 et Δ est la différence relative d'indice de réfraction qui sera définie par la suite (**voir fig.1.10**).

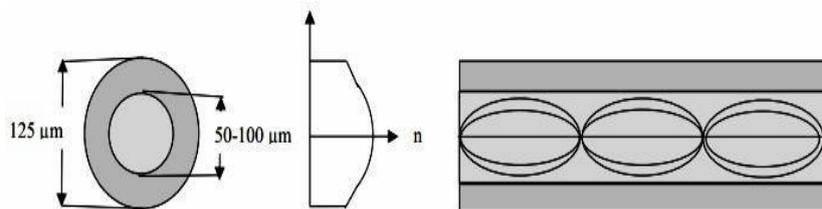


Fig.1. 10. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multi mode à gradient d'indice.

1.4. 3.2 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 μm 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 conséquence une dispersion modale

quasiment nulle. Leur petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission (voir fig. 1.11).

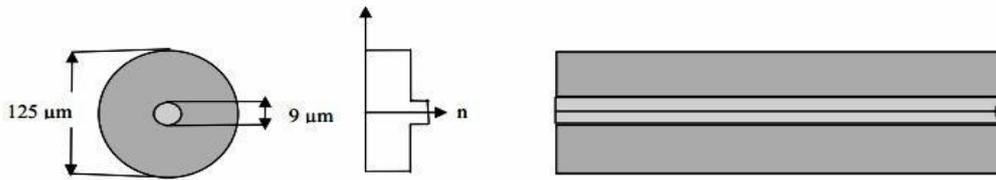


Fig.1. 11. Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique

1.4.3.3 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_{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 θ_i passe d'un milieu d'indice $n_{\text{cœur}}$ à un milieu d'indice n_{gaine} , il est réfracté avec un angle θ_r tel que :

$$n_{\text{cœur}} \sin \theta_i = n_{\text{gaine}} \sin \theta_r \dots \dots \dots (1.4)$$

En respectant la condition suivante :

$$\theta_i > \arcsin \left(\frac{n_{\text{gaine}}}{n_{\text{cœur}}} \right) \dots \dots \dots (1.5)$$

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: $V = c/n_{\text{cœur}}$

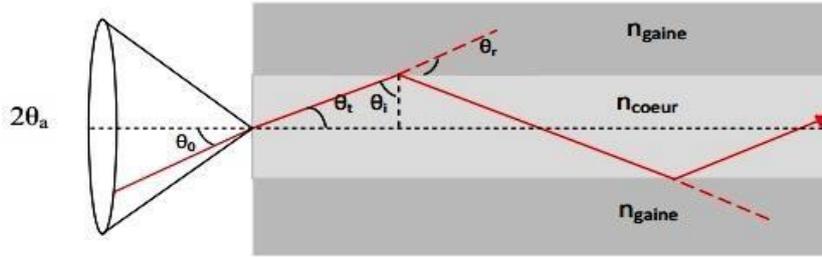


Fig.1. 12. Guidage de la lumière dans la fibre optique.

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'acceptante) défini par :

$$\theta_a = \arcsin \left(\frac{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}{n_m^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1.6)$$

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

$$ON = \sin(\theta_a) \sqrt{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} \dots\dots\dots (1.7)$$

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 :

$$\Delta = \frac{n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}}}{n_{\text{cœur}}} \dots\dots\dots (1.8)$$

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

1.4.3.4 Avantages et inconvénients

i. Avantage :

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.

ii. 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).

1.5 Module de réception

Si l'écriture des données sur un signal lumineux se fait de plusieurs méthodes, donc sa récupération en sortie, elle aussi, peut être faite de différentes façons dont le photodétecteur reste le composant indispensable pour toute réception (conversion optique électrique). On distingue pour cela deux techniques :

- La détection cohérente (détection hétérodyne et homodyne), dans lesquelles la

porteuse optique est modulée en amplitude, en phase ou en fréquence et démodulée dans un détecteur qui réalise une fonction de mélange.

- La détection directe à la conversion est réalisée grâce à une photodiode transformant les fluctuations de puissance optique en fluctuations de courant électrique. C'est cette deuxième méthode qui sera étudiée par la suite en vue de sa simplicité par rapport à la réception cohérente, surtout avec l'apparition des amplificateurs à fibre dopée et les filtres optiques permettant ainsi d'obtenir en détection directe des performances équivalentes. [4]

Le module de réception est le dernier étage de la chaîne de transmission, il a pour rôle de recevoir le signal optique provenant de la fibre et le convertir en un signal électrique pour en extraire les données transmises. Grâce à son énorme importance, de nombreux efforts ont été fournis pour le rendre de plus en plus performants. Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. On y retrouve trois parties:

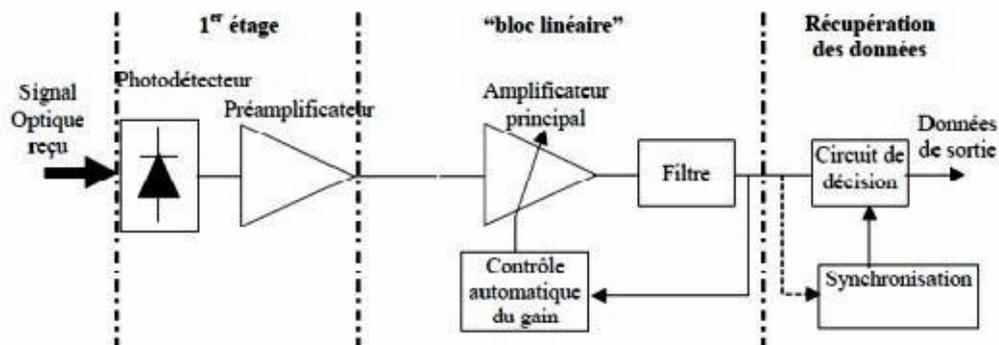


Fig.1. 13. Schéma d'un récepteur de données à détection directe.

- Le bloc de 'premier étage' : composé du photodétecteur accompagné dans certains cas d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photo détecteur.
- Le bloc 'linéaire' : composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.
- Le bloc 'récupération des données' : correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation. [1]

➤

1.5.1 Photo détecteur

Le photodétecteur est le dispositif responsable de la conversion du signal lumineux en un signal électrique tout en minimisant les déformations et dégradations engendré par le bruit. Il se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant. Pour remplir correctement ces fonctions un photo détecteur est caractérisé par une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée, une rapidité remarquable puisque il est utilisé dans des systèmes fonctionnant à 10 Gb/s voire même 40 Gb/s et un bruit minimum. Ces conditions ne seront remplies que si ce photodétecteur est à semi-conducteur, qui présente les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, bien que d'autres dispositifs soient plus sensibles.

1.5.2 Principe de fonctionnement de la photo détection :

La photodiode est un composant à base de matériaux semi-conducteurs dans laquelle seront pénétrés les photons transmis par la fibre, sa structure lui permet de transférer efficacement l'énergie de photons incidents sur des électrons contenus dans le matériau(absorption du photon) en provoquant son passage d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction, donc ces électrons excités sont plus ou moins libres de se déplacer dans la structure pour former un courant électrique.

Le nombre d'électrons est égal au nombre de photons absorbés. Seuls les photons d'énergies supérieures à la largeur de bande (gap) interdite du semi-conducteur sont absorbés de manière utile et créant les paires électrons-trous. Ce gap fixe donc l'énergie minimale pour assurer le fonctionnement de la photodiode. Cela implique une longueur d'onde de coupure λ_c , au-delà de laquelle le matériau devient transparent au rayonnement.

$$E_{\text{photon}} = \frac{h.c}{\lambda} > E_g \Rightarrow \lambda_c = \frac{h.c}{E_g} \dots \dots \dots (1.9)$$

Afin d'empêcher les électrons de retomber dans leur état le plus stable, une différence de potentiel est appliquée, sous laquelle les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées **P** ou **N**). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photo courant.

1.5.3 Photodiode PIN

Pour effectuer la photo détection, en évitant les recombinaisons des paires électron- trou, il faut que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles, assimilable à une zone de charge d'espace d'une jonction PN, encore appelée zone déplétée. Cette dernière doit être large pour permettre un bon rendement quantique, d'où l'intérêt de la photodiode PIN, où une région intrinsèque est intercalée entre les régions de type P et de type N. La majorité des photons est absorbée dans la zone intrinsèque, lorsque la photodiode est polarisée en inverse, où règne un champ électrique qui sépare les porteurs. La zone traversée par la lumière (P ou N) doit être de faible épaisseur, et recouverte d'une couche antireflet qui améliore le rendement quantique externe, et qui protège le matériau (voir fig.1.14) [4] [5].

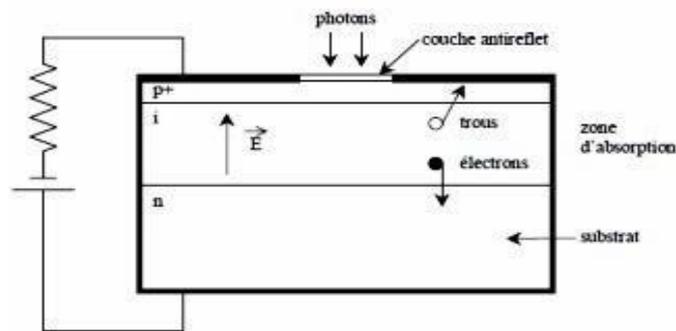


Fig.1. 14. Structure d'une photodiode PIN.

1.5.4 Photodiodes à avalanche PDA

Le signal reçu étant souvent très faible, il est donc nécessaire d'amplifier le photo courant, mais le bruit du préamplificateur est en général prépondérant. On a donc intérêt à utiliser un composant à gain interne, la photodiode à avalanche (PDA) (voir fig.1.15)..

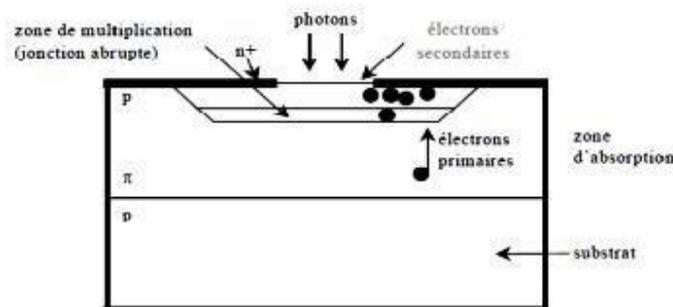


Fig.1. 15. Structure d'une photodiode à avalanche.

1.5. 5 Comparaison entre les photodiodes PIN et PDA

Une comparaison entre leurs performances est présentée dans le Tableau (Tab.1.3) ci-dessous:

Types de photodiodes Caractéristiques	Photodiodes	
	PIN	PDA
Tension de Commande (V)	Faible	Elevé
Fréquence de coupure (GHz)	>60	Quelques
Rendement quantique (%)	Faible	Elevé
Bande Passante (GHz)	Large	Faible
Longueur d'onde (nm)	1300 et 1550	1300 et 1550

Tab.1. 3. Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et PDA.

1.5.6 Amplificateur électrique

Malgré la présence d'un préamplificateur, Le courant émis par la photodiode reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur électrique ayant une grande bande passante en sortie de photorécepteur. Le gain adéquat peut être assez élevé. En effet, du fait de la détection quadratique, il faut 2 dB électriques pour compenser 1 dB optique. Un amplificateur classique sera retenu dans nos simulations.

1.5.7 Circuit de filtrage

Le signal en sortie de la photodiode PIN est généralement accompagné du bruit, afin de minimiser ce dernier un filtrage du signal numérique, est nécessaire dans une bande $0 - \Delta F$ qui soit la plus petite possible, tout en ne créant pas d'ISI, c'est-à-dire telle que la réponse du filtre à un symbole s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins. [2]

Selon le critère de Nyquist, on sait que le filtre passe-bas rectangulaire de largeur $\Delta F = F_r/2$ (avec F_r la fréquence rythme du signal) possède cette propriété, mais ce filtre théorique n'est pas réalisable. De plus, le critère s'applique à des impulsions de Dirac, et non à des impulsions au format NRZ. On utilise donc le « filtre

pratique de Nyquist » dont la largeur de bande de bruit, aux conditions habituelles, vaut approximativement $= 0.8. F_r$ (voir fig.1.16).

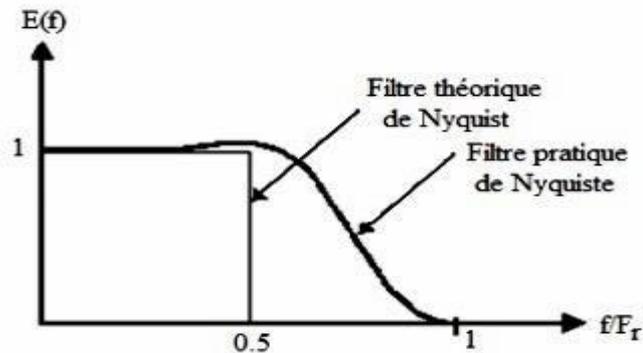


Fig.1. 16. Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist

1.5.8 Circuit de décision

Pour une récupération parfaite des données transmises, une remise en forme du signal détecté est donc nécessaire en utilisant un bloc de décision composé d'un détecteur à seuil et d'un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation. Leur tâche est de comparer le signal de données à un certain seuil d'amplitude, puis de décider le niveau correspondant du signal (« bit 1 » ou « bit 0 »), et ceci à chaque front d'horloge. Ainsi, le signal d'entrée de la bascule, qui est en réalité le signal de sortie après la détection par le photodétecteur, doit avoir une amplitude assez élevée pour la fonction de « décision ».

L'horloge doit être synchronisée sur le signal incident. Cette récupération de rythme est effectuée grâce à une boucle à verrouillage de phase classique.

1.6 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 χ_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).

1.6.1 Effets linéaires :

1.6.1.1 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. [7]

Le coefficient d’atténuation (absorption) linéique 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 km^{-1} ou plus usuellement décibel par kilomètre (dB/km) :

$$\alpha_{km^{-1}} = \ln \left(\frac{P_{out}(L=1km)}{P_{in}} \right) , \alpha_{dB/km} = 10 \log \left(\frac{P_{out}(L=1km)}{P_{in}} \right) \dots \dots (1.10)$$

Ces deux valeurs sont reliées entre elles par :

$$\alpha_{km^{-1}} = \alpha_{dB/km} \times \frac{\ln(10)}{10} = 0.23 \cdot \alpha_{dB/km} \dots \dots \dots (1.11)$$

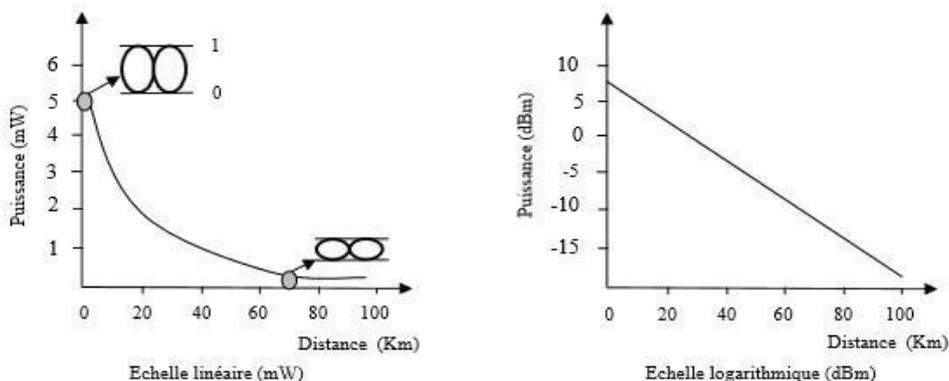


Fig.1. 17. Profil puissance d’un signal optique se propageant dans une fibre présentant des pertes de 0.2 dB/km.

Grâce à sa grande transparence optique et aux progrès techniques, la silice (SiO₂) 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. [8]

Historiquement, les premières fibres optiques furent utilisées dans la fenêtre optique 850 nm car elle correspondait à l'époque au minimum d'absorption de ces fibres (~ 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. [9]

1.6.1.2 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 reconvertit 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. [10]

1.6.1.3 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, en nous obligeant à augmenter le délai entre deux impulsions. [1]

1.7 Conclusion

Les fibres optiques utilisées pour les communications à longue distance sont les fibres monomodes, c'est à dire qu'elles n'ont la capacité de guider qu'un seul et unique mode optique. En obligeant ainsi la lumière à emprunter un seul et même chemin de propagation, nous pouvons réduire certains effets négatifs causés par le milieu de propagation. Cependant, d'autres effets qui limitent à la fois les distances de propagation et les débits de transmission sont toujours présents. Ces effets gênants peuvent être classés en deux groupes: les effets linéaires et les effets non-linéaires.

Malgré qu'elle est considérée comme le meilleur support de transmission, la fibre optique présente des limitations majeures pouvant provoquer une grande déformation du signal émis en dégradant sa qualité au bout d'une longueur de transmission donnée, et donc récupération impossible de l'information émise. Pour corriger ces défauts plusieurs techniques ont été énumérées dont chacune d'eux à ses propres caractéristiques et son propre principe.

Chapitre 2

*Différentes technologies de
multiplexeurs et switcher
optiques*

2.1. Introduction :

Apparu pour répondre au problème économique soulevé par le nombre croissant d'installations de fibres optiques dû à la demande en hausse du débit d'informations, le multiplexage en longueur d'onde « 43 », WDM (Wavelength Division Multiplexing) est une technique de transmission optique se recourant principalement aux besoins de l'internet (avec son flot d'images, de sons et de vidéos), répondant ainsi au nombre croissant sans cesse de ses utilisateurs. Le nombre de bits transportés par une fibre optique augmente plus vite que la loi électronique de Moore prédisant l'augmentation doublée de la puissance des processeurs tous les 18 mois, puisque pour le moment, la capacité de transport d'une fibre double tous les 12 mois.

Avant la WDM, toute nouvelle demande d'augmentation du débit se traduisait par l'ajout de fibres optiques dont chacune propageait un signal. Le coût élevé de telle opération ne permet ni d'être compétitif ni d'étendre le marché vers le public. Cette technique permet de multiplexer (mélanger) plusieurs signaux de différentes longueurs d'onde, dans une même fibre. Le gain est par conséquent proportionnel au nombre de canaux que la fibre permet de véhiculer. Nous présentons le long de ce chapitre les techniques de multiplexage dans les systèmes de transmissions optiques, leurs performances, avantages, limitations, puis nous abordons ainsi l'étude des différents composants nécessaires pour un tel multiplexage.

2.2. Définition d'un multiplexeur :

Un multiplexeur (abréviation : **MUX**) est un circuit permettant de concentrer sur une même voie de transmission différents types de liaisons (informatique, télécopie, téléphonie, télétext) en sélectionnant une entrée parmi N. Il possède donc une sortie et N entrées, ainsi qu'une entrée de commande de $\log_2 N$ bits permettant de choisir quelle entrée sera sélectionnée.

Il sert d'accès aux réseaux de transmission de données numériques ou analogiques¹, 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) [11].

2.3. Techniques de multiplexage :

La bande passante des fibres optiques permet théoriquement d'établir des systèmes de transmission à de très élevés débits. Or, le traitement électronique des données, à l'émission et à la réception, impose des limitations en termes de débits, dues aux composants électroniques dont la bande passante reste bien en deçà de celle accessible par l'optique. L'augmentation quantitative d'informations échangées dans les réseaux de communication et du nombre d'utilisateurs a poussé à développer des solutions pour améliorer la capacité des réseaux, tout en profitant de l'avantage qu'offre la fibre optique en bande. Des techniques de multiplexage ont ainsi été développées, chacune permettant de transmettre N signaux de débit D sur le même canal, ce qui équivaut à transmettre un signal global de débit $N \times D$ [1].

Seulement, ces techniques de multiplexage doivent respecter la condition nécessaire de pouvoir restituer les données propres à chaque utilisateur après leur transmission sans créer d'interférences entre les données des différents utilisateurs. Ainsi, le signal représentant les données de chaque utilisateur se distingue des autres signaux par sa bande spectrale et sa fenêtre temporelle, que finalement sépare des techniques de démultiplexage appropriées [2].

2.3.1 Multiplexage temporel (Time Division Multiplexing) :

Le multiplexage temporel TDM offre à l'utilisateur la totalité de la bande passante durant un court instant. L'allocation de cette bande se fait en divisant l'axe du temps en intervalles de temps; chaque utilisateur ne transmet que pendant son intervalle (**fig.1.1**). Ainsi, le multiplexage temporel permet de regrouper plusieurs signaux à faible débit en un seul signal à haut débit [2]. Chaque canal temporel est de multiplexé puis acheminé vers sa destination à la réception, les multiplexage/démultiplexage temporels avec des circuits intègres ultra-rapides (40 Gbits/s en laboratoire) peuvent être réalisés électroniquement, mais le cout extrême de tels circuits pour de très hauts débits suggère d'effectuer un multiplexage temporel purement optique [3].

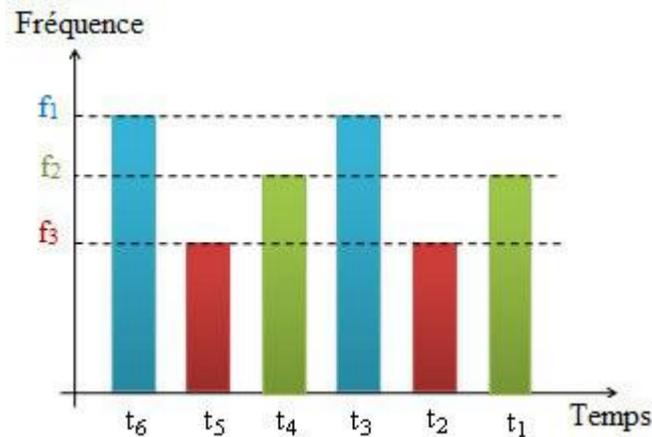


Fig.2. 1.Schéma de principe de Multiplexage temporel.

2.3.2 Multiplexage fréquentiel FDM

C'est la plus ancienne technique et seule lorsque le téléphone était purement analogique, telle qu'à chaque interlocuteur (ou message) est alloué une bande de fréquence. Elle consiste à découper la bande passante d'un canal en plusieurs sous-bandes dont chacune est affectée à une voie de transmission (voir fig.2.2)

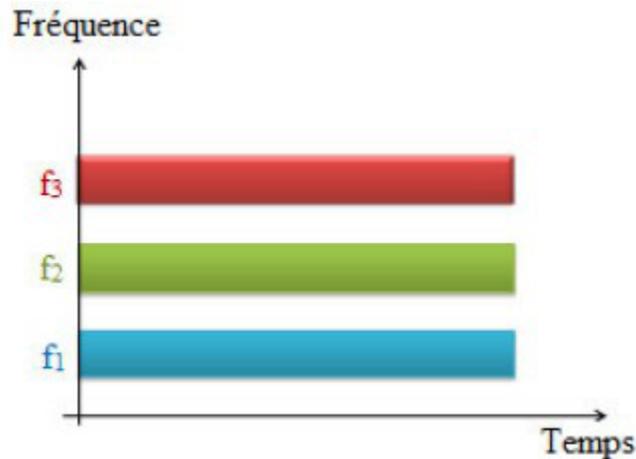


Fig.2. 2. Multiplexage à répartition par code CDM

Sur la même bande de fréquence, cette technique permet de transmettre en même temps les données des utilisateurs et consiste à attribuer à chacun d'eux un code dit «signature», constitué d'une suite de bits rapides «chips», pour les distinguer des bits de données de l'utilisateur. Le débit après codage est celui des données l'utilisateur multiplié par la longueur de la séquence de codes. Le CDM permet d'étaler spectralement le signal transmis sur une bande N fois plus large que celle du signal initial, N étant la longueur de la séquence de code. Or, tous les utilisateurs exploitent la même bande spectrale, mais leurs données transmises se distinguent par le code

propre à chaque utilisateur, permettant d'éviter les interférences d'accès multiples, à condition que les codes utilisés soient orthogonaux [1].

Le CDM se décline en deux catégories de codage: direct et hybride. Ce dernier consiste à associer la technique CDMA aux autres techniques de multiplexage (Voir fig.2.3).

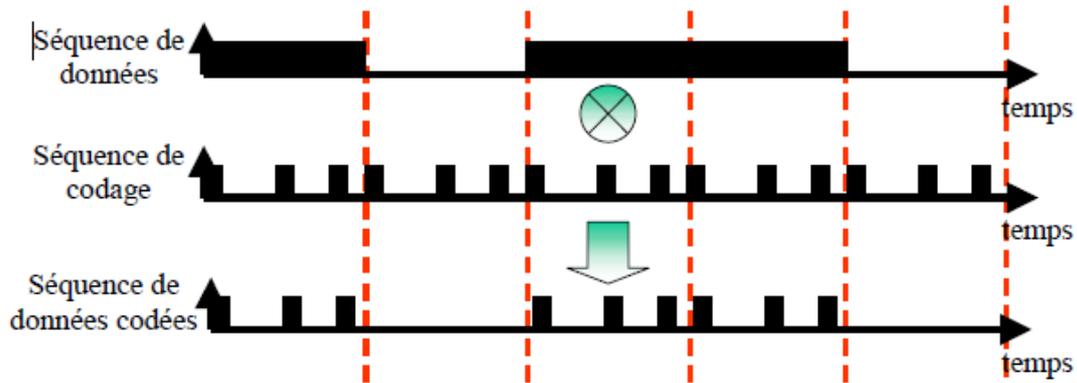


Fig.2. 3. Système utilisant la technique du CDMA.

Le CDMA direct se divise en CDMA à séquence directe, à saut de fréquence et à saut temporel. Utilisée initialement dans le domaine de radiofréquence, CDMA peut être adaptée au domaine optique grâce à des dispositifs de codage et de décodage optique, une technique dite Optical Code Division Multiplexing OCDM, étudiée à partir de 1986 [5].

2.3.3 Multiplexage en longueur d'onde

Développé dans les années 1980 et commercialisé au milieu de l'année 1990, le multiplexage par répartition de longueurs d'onde est la technique la plus récente utilisée dans la transmission d'informations sur fibres optiques.

2.3.3.1. Principe de la WDM:

Le principe repose sur la transmission simultanée de plusieurs signaux, provenant de sources diverses et chacun véhiculé par une longueur d'onde différente, sur une même fibre. Les systèmes actuels autorisent 4, 8, 16, 32 et 64 canaux optiques différents, chacun pouvant supporter 2,5Gbits/s par exemple; on obtient alors des débits de 10, 40, 80 et 160 Gbits/s. A partir de différentes sources émettant chacune à une longueur d'onde propre, cette technique permet de regrouper et d'injecter ces canaux dans une seule fibre sans qu'il y ait de chevauchement entre eux au cours de la propagation. Il suffit à l'extrémité de la fibre, de séparer ces longueurs d'ondes et

de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux. Il est à noter qu'il existe des sources émettant plusieurs longueurs d'onde simultanément, et que la capacité des Systèmes de transmission WDM a augmenté parallèlement avec l'augmentation du débit par canal en multiplexage temporel (TDM) de 2,5 à 40 Gbits/s. ITU-T G692 est la norme définissant la plage de longueurs d'onde dans la fenêtre de transmission "1530-1565 nm"(voir fig.2.4) [6].

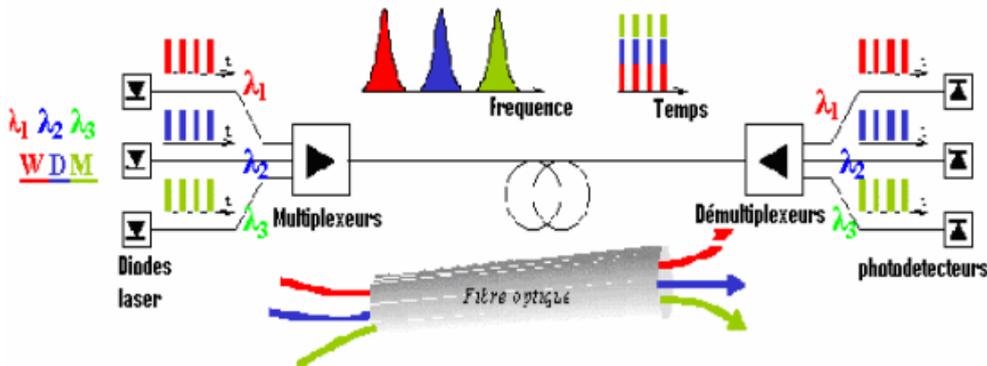


Fig.2. 4. Principe de multiplexage en longueur d'onde

La WDM est dite DWDM (Dense Wave length Division Multiplexing) quand l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 0,8 nm, ou plus de 16 canaux sont utilisés. Un système à 16 canaux 2.5Gbits/s, soit 40Gbit/s, achemine 5.105 conversations téléphoniques. On s'attendra à un accroissement du débit offert sur chaque canal pouvant vite atteindre 10Gbit/s [2].

2.3.3.2 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 électronique au moyen de photodiodes. Fig.2.5 donne un exemple de liaison illustrant le multiplexage WDM [7].

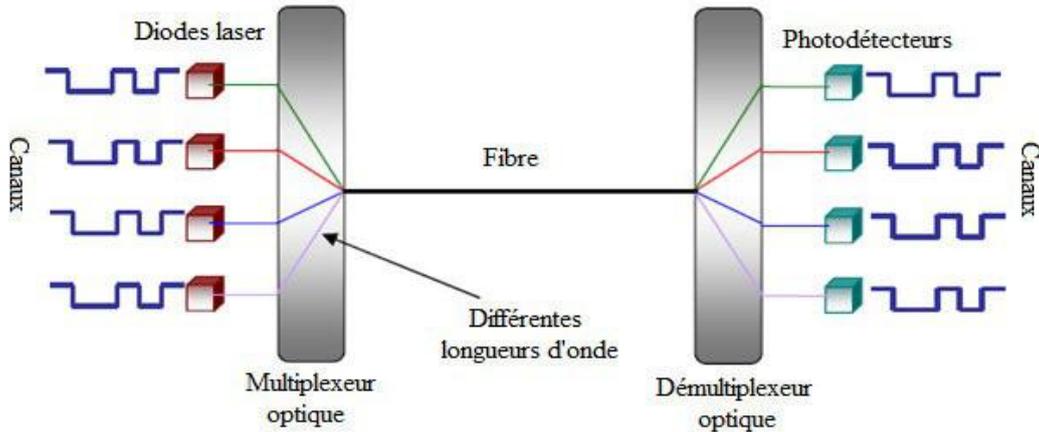


Fig.2. 5. Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.

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 $N \times D$, définit comme capacité du système [6].

2.3.3.3 Les systèmes de base de la WDM :

Le premier intérêt de la WDM est de permettre un transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. On trouve aujourd'hui un système WDM à 4 ou 16 canaux 2.5 Gbits/s de débits nominaux 4×2.5 et 16×2.5 Gbits/s, respectivement. D'autres systèmes à 4 ou 16 canaux 10 Gbits/s de débits nominaux (4 ou 16×10 Gbits/s). En général $N \times 2.5$ Gbits/s, $N \times 10$ Gbits/s. Dans le futur proche, des systèmes à débit nominal de 40 Gbits/s par longueur d'onde seront installés. On dit que les systèmes $N \times 2.5$, $N \times 10$ et $N \times 40$ Gbits/s sont des systèmes de base dans le système WDM "(voir fig.2.6) [7].

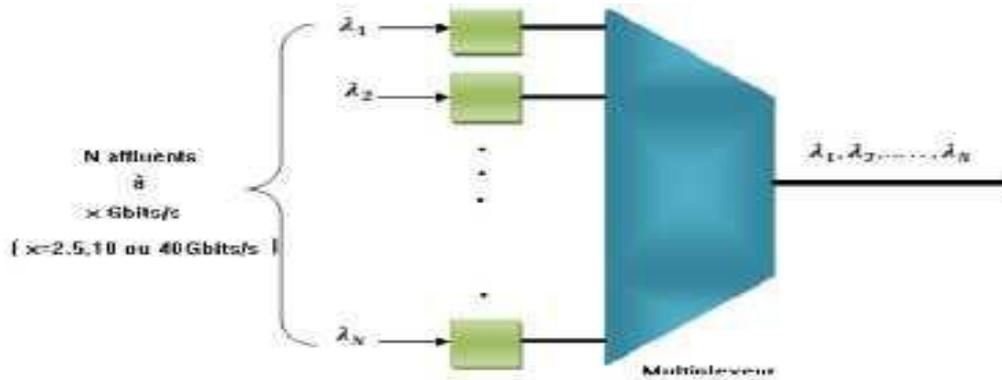


Fig.2. 6. Les systèmes de base en WDM.

2.3.3.4 Types de systèmes WDM :

i. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing):

Le DWDM correspond à l'évolution du WDM. Il augmente la densité des signaux optiques transmis en associant jusqu' à 160 longueurs d'onde dans la même fibre. On atteint ainsi des débits de 300 à 400 Gbps. Des systèmes utilisant des pas de 50 GHz (0,4 nm) et de 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques.

La technologie WDM est dite dense lorsque l'espacement utilise entre deux longueurs d'onde est égal ou inférieur à 100 GHz. La technologie DWDM présente cependant des coûts assez élevés, On l'emploie désormais pour les transmissions longues distance. Dans la pratique, cela signifie que l'on fait passer dans une même fibre beaucoup de signaux portés par des fréquences très rapprochées les unes des autres [7].

ii. U-DWDM (Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing):

Pour de plus faibles espacements, on parlera d'U-DWDM, ou des systèmes à 10 GHz (0,08 nm) permettent d'obtenir 400 canaux optiques [2].

iii. CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing):

CWDM utilise des longueurs d'onde de 1270 à 1610 nm, respectivement espacées de 20 nm, 18 canaux au maximum sont utilisables; c'est une technologie moins coûteuse notamment utilisable pour les boucles locales (MAN) [2].

iiii. WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing):

Le multiplexage WWDM est une autre dérive du WDM. Il est encore plus restrictif que le CWDM puisqu'il n'autorise l'utilisation que de quatre canaux au

maximum. Les canaux ont une longueur d'onde comprise entre 1275,7 nm et 1349,2 nm. Les canaux sont espacés de 24,5 nm entre eux et travaillent sur une longueur d'onde de 1310 nm. Ce multiplexage peut-être utilise sur des fibres multi-mode et monomode [4].

2.3.4 Différents composants d'un système WDM :

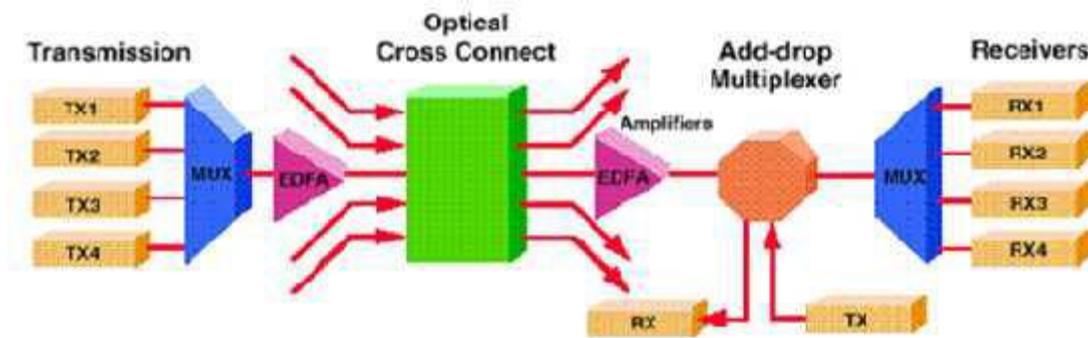


Fig.2. 7. Les différents composants d'un système WDM.

2.3.4.1. Les multiplexeurs/démultiplexeurs:

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

- **Les technologies de multiplexages :**

On distingue trois techniques de multiplexages :

- **Multiplexage à Filtre Optique :**

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant certaines gammes 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 caractérise 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 [9]

- **Multiplexage à Coupleurs Sélectif :**

Le principe de ces composants est l'interaction cohérente entre deux guides optique, ils sont appelés les coupleurs de sélectivité. 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 [10].

Puissance, qui est utilisés pour additionner ou diviser les signaux. Ils sont plus utilisés dans les systèmes multiplexes.

2.3.4.2 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 :

i. Conversion optoélectronique :

Consiste à traduire le signal optique en signal électrique, puis émettre un nouveau signal optique avec une longueur d'onde différente. Cette technique est équivalente à la régénération du signal, c'est pourquoi on pourra profiter de la régénération du signal pour modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Des expérimentations pour des débits de 10 Gbps ont été réalisées [9].

2.3.5 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 [7].

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 de 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.2.8**).



Fig.2. 8. 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 55 dB. 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 [13].

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, 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 voir **fig.2.9)** [14].

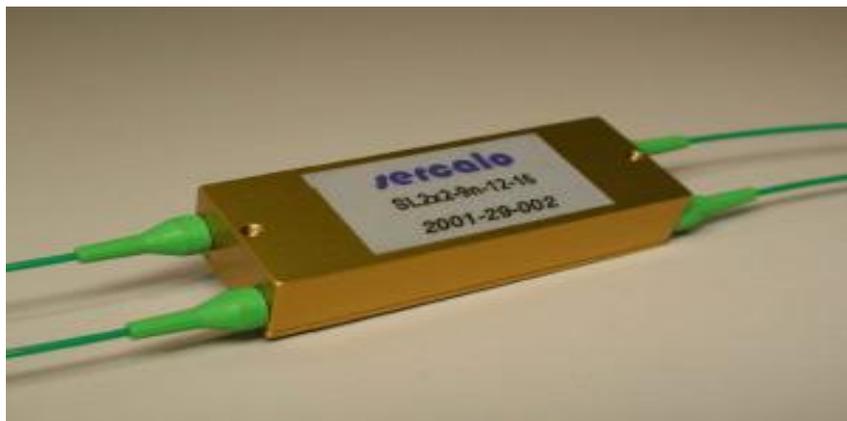


Fig.2. 9. Switch MEMS Sercalo à verrouillage monomode 1x2, 2x1-2x2

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont [14] :

- 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.2.10**) 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 [15].



Fig.2. 10. Commutateur mécano-optique 1x1, 1x2 de Cubo

Spécifications :

- Perte d'insertion : (typ= ≤ 0.6 dB max= ≤ 1 dB) monomode, et (typ= ≤ 0.5 dB max= ≤ 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 : ≤ 0.1 dB.
- Perte de retour : ≤ 45 dB.
- Diaphonie : ≤ 80 dB.
- Vitesse de commutation : ≤ 5 ms.
- Température de fonctionnement : -5 °C ~ + 70 °C.
- Tension électrique +5 V, Courant électrique < 40 mA [15].

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 1*2 peut être utilisé comme unité de base pour construire des commutateurs optique jusqu'à 1*4,1*8,1*16, etc. (voir fig.2.11) [16]



Fig.2. 11. Commutateur électro-optique 1x2 d'O/E Land [16].

- **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 [16]

- **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 [16]

Spécifications :

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		

Tab.2. 1. Spécifications du Switch O/E Land Inc mono/multimode -1x2

2.4.1.5 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.2.12**). [17]



Fig.2. 12. Commutateur mécano-optique Agiltron PM de la série LB 1x1 et 1x2.

Fonctionnalités :

- Faible distorsions optiques
- Isolation élevée
- Grande fiabilité
- Verrouillage à sécurité intégrée
- Chemin optique sans époxy [17]

Spécifications :

Commutateur série LB 1×1, 1×2	Min	Typique	Max	Unité
Opération Longueur d'onde	850	1310	1550	Nm
Perte d'insertion ^{[1],[2]}		0.6	1.0	dB
Perte dépendante de la longueur d'onde			0.25	dB
Perte de retour ^{[1],[2]}	50			dB
Conversation croisée ^{[1],[2]}	50			dB
Temps de commutation		3	dix	SP
Répétabilité			±0.05	Db
Tension de fonctionnement	10 ⁻⁷			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

Tab.2. 2. Spécifications du Switch Agiltron Light Bend PM 1x1, 1x2[17]

2.4.1.6 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.2.13). [18]

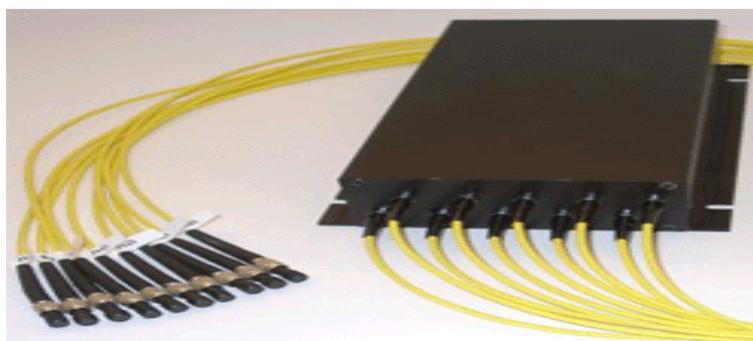


Fig.2. 13. Commutateur acousto-optique de Sentronic

Spécifications :

- Diamètre interne fibre optique : 100 - 200 μm (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 [18].

2.4.1.7 Switch MEMS DiCon monomode (Add/Drop) 2x2:

Fabricant : *DiCon FiberOptics*.

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.2.14**). 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 [19].



Fig.2. 14. Commutateur MEMS monomode à Insertion/extraction 2x2 [19].

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont [19] :

- 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.

2.4.1.8 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.2.15**) [20].

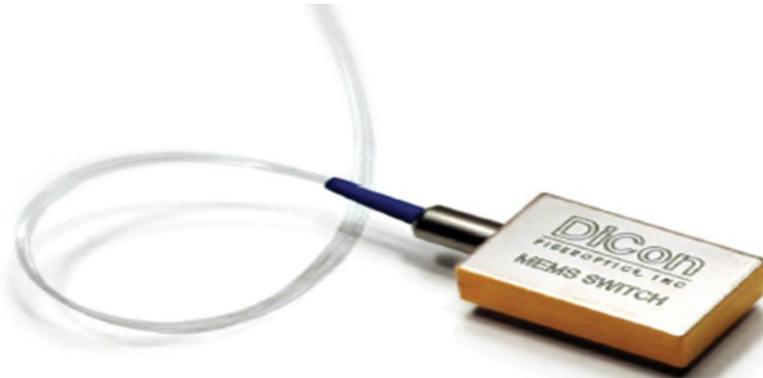


Fig.2. 15.Commutateur MEMS DiCon monomode 1xN [20].

APPLICATIONS [20]

- Communications optiques
- Détection de fibre
- Instrumentation biomédicale
- Distribution vidéo

2.4.1.9 Switch Light Wave Link Inc 2x2:

Le commutateur optique (OSW) 2x2 Lightwave Link Inc. permet la sélection de canal entre une paire de fibres d'entrée et de fibres de sortie. Le commutateur est un appareil compact adapté à une large gamme d'applications; par exemple, protection du système de réseau optique, système de mesure, diversité de routes, module d'ajout / retrait reconfigurable. Le commutateur optique 2x2 de Lightwave Link Inc. est

entièrement conforme à la directive RoHS 2002/95 / CE (2008/385 / CE) (voir fig.2.16) [21].



Fig.2. 16. Commutateur Light Wave Link Inc 2x2

Les caractéristiques techniques de ce commutateur sont les suivantes [13] :

- Perte d'insertion : typ = 0.5 dB, max = 1.0 dB.
- Longueur d'onde d'application 1310 nm ~ 1550nm.
- Type de fibre : fibre monomode / multi-mode.
- 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.

Dans notre étude on a basé sur le diviseur de type 1*4-0.9-0.5M-SC/UPC, c'est un dispositif qui divise la lumière à fibre optique en plusieurs parties selon un certain rapport. Les répartiteurs PLC offrent une meilleure solution pour les applications plus importantes. Les guides d'ondes sont fabriqués par lithographie sur un substrat en verre de silice, ce qui permet d'acheminer des pourcentages spécifiques de lumière. En conséquence, les répartiteurs PLC offrent des fractionnements précis et uniformes avec une perte minimale dans un ensemble efficace. Les splitter PLC (Planar Light wave Circuit) sont des séparateurs monomodes avec un rapport de division uniforme entre une fibre d'entrée et plusieurs fibres de sortie. Les décomptes disponibles sont: 1xN et 2xN (N pour 2, 4, 8, 16, 32, 64). Les séparateurs PLC sont disponibles avec une fibre monomode à tube lâche de 900 µm et sont terminés ou non selon vos besoins. (Voir fig.2.17) [22].



Fig.2. 17. Splitter optique 1*4-0.9-0.5M-SC/UPC

Fonctionnalité:

- Il s'agit d'un séparateur automate monomode 1x4 avec des performances stables.
- Le type d'interface est SC/UPC qui peut assurer la stabilité de la connexion.
- Le séparateur adopte une structure entièrement en fibres, une bonne stabilité environnementale
- Le séparateur a une faible perte d'insertion et une faible réflexion arrière
Convient pour le câblage domestique, projet, entreprise, LAN optique, etc. [23]

Spécifications:

- Type d'élément: Répartiteur de fibre PLC Standard: 1X4
- Type: API
- Type d'interface: SC/UPC
- Longueur d'onde de travail: 1310-1550nm
- Directionnalité: 55 dB
- Perte de réflexion: 55 dB
- Température de fonctionnement: -40-85 °C [23]

2.4.2 Switches Optiques pour courtes Longueurs d'onde :

Laser components offre des switchs optiques monomodes pour des longueurs d'ondes courtes standards adaptés aux instruments et aux systèmes de mesure de hautes précisions ainsi que pour les applications de senseurs

Ces commutateurs sont disponibles dans des longueurs d'onde de 400 à 1630nm. D'autres longueurs d'onde peuvent être proposées sur demande.

Les pertes d'insertion maximum sont de 1.4dB et le return loss > 55 dB.

Ces switchs présentent une bonne répétabilité de ± 0.005 dB et un temps de commutation de 2 ms. La diaphonie entre les différentes voies est inférieure à -55 dB.

Tous ces switchs sont aussi disponibles avec des fibres à maintien de polarisation. La conservation de la polarisation varie avec le type de fibre utilisé, et est couramment de 25 dB [24].

2. 5. Définition des spécifications du coupleur à fibre optique 2x2 fondue :

En optique, un coupleur est un dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois. La répartition de la puissance entre les différentes sorties dépend en général de la longueur d'onde et de la polarisation du signal d'entrée (voir fig.2.18) [25].



Fig.2. 18. Schéma du coupleur directionnel

Les ports du coupleur sont définis comme indiqué dans le schéma du coupleur ci-dessous. Dans les sections ci-dessous, la lumière est entrée dans le port 1. Le port 3 et le port 4 seraient alors considérés comme les sorties de signal et de prise, respectivement (voir fig.2.19) [26].

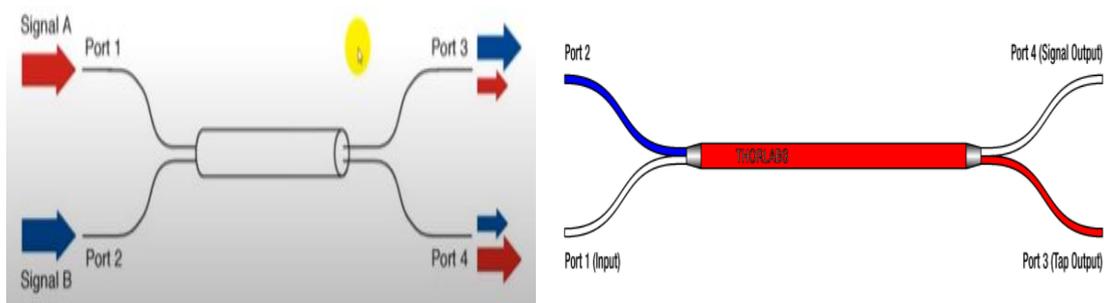


Fig.2. 19. Les ports du coupleur

2.5.1 Exemples généraux de couplage :

Les coupleurs à fibre optique fondue 2x2 peuvent diviser ou mélanger la lumière entre deux fibres optiques avec une perte minimale et à un rapport de couplage spécifié. Les coupleurs Thorlabs sont disponibles sur stock dans l'un des quatre rapports suivants: 50:50, 75:25, 90:10 ou 99: 1. Tous nos coupleurs à fibre optique fusionnés sont bidirectionnels, ce qui signifie que tous les ports peuvent être utilisés comme entrée. Les termes «Sortie de signal» et «Sortie de prise» font respectivement référence aux sorties de puissance supérieure et inférieure. Pour illustrer cela, si la lumière entre dans le port blanc du coupleur TW1064R1A2A (rapport de couplage 99: 1), 99% de la lumière transmise est couplée dans le port blanc de l'autre côté du coupleur tandis que l'autre 1% est couplé dans le port rouge. Dans cet exemple, le deuxième port blanc est appelé port de sortie de signal et le port rouge est appelé port de sortie de prise. Pour un coupleur 50:50, les ports de signal et de prise auraient la même puissance de sortie. Dans nos coupleurs, le signal se propage toujours du bleu au rouge ou du blanc au blanc, tandis que le robinet se propage toujours du bleu au blanc ou du blanc au rouge [27]

2.5.2 Caractéristiques optiques :

Le Tableau II.3 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 maximal était de 0,17 dB. Nous confirmons que le coupleur (à fibres optiques) prototype présente des caractéristiques d'affaiblissement optique satisfaisantes [28].

Elément	Longueur D'onde (nm)	Affaiblissement (dB)			
		Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
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

Les valeurs soulignées sont les valeurs d'affaiblissement d'insertion maximal d'affaiblissement lié à la polarisation maximal et d'affaiblissement d'adaptation minimal.

Tab.2. 3. Caractéristiques optiques

2.5.3 Quelque types des coupleurs optiques :

2.5.3.1 Coupleur monolithique à mode unique :

Les coupleurs monolithiques à mode unique sont fabriqués par la technique de la fusion biconique (FBT). Le principe est que deux fibres sont fusionnées par une flamme oxyhydrogène et tirées pour subuler en utilisant le dispositif de traction spécial. Ensuite, la lumière introduite sur une longueur de fibre est divisée en une autre fibre, de même que la puissance lumineuse. Le rapport (rapport de couplage) de la distribution d'énergie peut être défini à la demande. L'ensemble du processus d'extraction doit être surveillé par ordinateur et peut s'arrêter en fonction du réglage de l'appareil (voir fig.2.20) [29].

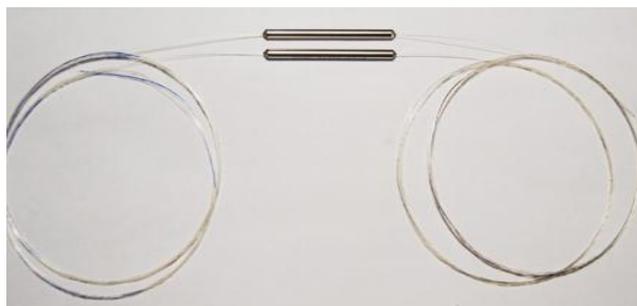


Fig.2. 20. Coupleur monolithique à mode unique

Caractéristiques

Fiabilité élevée, stabilité élevée, performances de coût élevées, petite taille d'encapsulation, PDL faible, faible perte excédentaire, télécommunications longue distance, rapport de couplage varié, taille locale compacte La fiabilité des produits est

Chapitre 2 Différentes technologies de multiplexeurs et switches optiques

conforme à toutes sortes d'exigences expérimentales de BellCore GR-1221-CORE et GR-1209-CORE. [29]

Spécification optique :

Configuration		Ulente	1×3		3×3	
Type			Coupleur monolithique à mode unique 1 × 3/3 × 3 (MSMC)			
en fonctionnement Longueur d'onde		Nm	1310 ou 1550	1310 et 1550	1310 ou 1550	1310 ou 1550
en fonctionnement Bande passante		Nm	± 40	± 40	± 20	± 40
Max Insertion Loss	33.3 / 33.3 / 33.3	%	5,50 / 5,50 / 5,50	5.80 / 5.80 / 5.80	6h00 / 6h00 / 6h00	6.20 / 6.20 / 6.20
	10/45/45	%	11.00 / 4.10 / 4.10	11.00 / 4.10 / 4.10	-	-
	2,5 / 2,5 / 95	%	0.60 / 18.00 / 18.00	0.60 / 18.00 / 18.00	-	-
PDL		dB	≤0.15	≤0.25	≤0.20	≤0.25
Uniformité Loss		dB	≤0.80	≤1.20	≤1,50	≤1.80
Revenir Loss		dB	≥50.00			
Directivité		dB	≥55,00			
Température de fonctionnement		Degré	-5-75			
Espace de rangement Température		Degré	-40-85			
Longueur de la fibre		M	1,00 ± 0,10			
Type de fibre			Clear Curve & reg; XB			
Fibrer éíameter		euh	250		900	
Paquet		Mm	3.0×35,3.0×45		3.0×54, 4,0× 60	

Tab.2. 4. Spécifications du Coupleur monolithique à mode unique [29]

2.5.3.2 Coupleur directionnel à large bande de FBT :

Le coupleur à bande large de fibre de mode unitaire basé sur la fibre deux parallèles a fondu la technologie biconique de chandelle. Il a la fenêtre simple ou multi. Les dispositifs sont conçus et fabriqués pour rencontrer des conditions et RoHS de Telcordia GR-1209-CORE conformes (**voir fig.2.21**) [30].



Fig.2. 21. Coupleur directionnel à large bande de FBT

Caractéristiques :

Paramètre		P	A
Longueur d'onde fonctionnante (nanomètre)		1310&1550	
Largeur de bande fonctionnante (nanomètre)		± 1310 40nm, ± 1550 40nm	
Type de fibre (DB)		Corning G652D OU Corning G657 A1	
Perte par insertion (DB)	50 : /50	≤3.3	≤3.5
	40/60	3.70~4.40/≤2.5	3.50~4.60/≤2.8
	30/70	5.00~5.60/≤1.8	4.90~6.10/≤2.1
	20/80	6.80~7.40/≤1.2	6.50~7.70/≤1.2
	10/90	9.60~10.50/≤0.6	8.80~11.40/≤0.8
	5/95	12.70~13.50/≤0.4	12.05~14.05/≤0.5
	3/97	14.60~15.50/≤0.3	13.60~16.05/≤0.4
	2/98	16.60~17.90/≤0.25	15.60~18.20/≤0.3
	1/99	19.20~20.80/≤0.2	18.80~21.40/≤0.25
PDL (DB)		≤0.1	≤0.15
Perte de retour (DB)		≥50	≥45
Directivité (dB)		≥55	
Température de fonctionnement (°C)		-40 +85	

Tab.2. 5. Spécifications du Coupleur directionnel à large bande de FBT [30]

2.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement les différentes technologies de multiplexage et Switch optique, ou nous avons fait une étude théorique sur les différents types de Switch optiques ainsi que leurs spécifications, les différentes techniques de multiplexages. Nous avons évoqué aussi les caractéristiques des coupleurs optiques.

Le chapitre qui suit va entamer l'étude pratique des caractéristiques physique et techniques des fibres optiques monomodes ainsi que la réalisation d'un multiplexeur et Switch optique, ensuite nous avons fait une étude pratique sur le coupleur et le diviseur optique.

Chapitre 3

*Etude pratique sur un
multiplexeur/Switch
optique 2*2 basé sur des
atténuateurs
optoélectroniques*

3.1. Introduction

Les technologies optiques basées sur l'utilisation de fibre et de dispositifs optiques et Optoélectroniques intégrés, sont de nos jours très utilisées et tendent à le devenir de plus en plus [1]. Ce troisième chapitre expose tout d'abord le contexte de ce sujet de thèse. Celui-ci permettra ensuite de définir les éléments nécessaires à l'étude et qui sera décliné en deux parties.

Dans un premier temps, nous allons présenter les manipulations pratiques que nous avons effectuées au niveau de laboratoire avec notre encadreur afin de connaître les différents types des connecteurs, les éléments de la fibre monomode vue dans la partie théorique des chapitres précédant, réalisé une bonne soudure et de tester les pertes optiques. Et dans un deuxième temps, nous allons passer à l'étude pratique sur les coupleurs 50 :50 ,99 :1 et les diviseurs optiques, multiplieur / Switch (commutateurs optiques), ou nous avons vus les différents types des coupleurs, et comment réaliser un multiplexeur et Switch optique 2 x 2.

3.2. Caractéristiques physiques de la fibre monomode (P1-SMF-28-FC-1) :

Les caractéristiques de la fibre monomode que nous avons traité sont résumées dans le tableau (Tab.3.1) :

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

Tab.3. 1. Caractéristique de la fibre SMF-28-FC-1 (Thorlabs)

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

Le type de connecteur optique utilisé est le FC (Férule en Céramique) / PC (Polished Connector), le diamètre de la férule en céramique égale à 2.5 mm avec une clé étroite (Narrow Key) de diamètre égal à 2 mm [2].

3.2.1 L'ouverture numérique

Le guidage de la lumière se fait grâce à la réflexion totale interne. Par conséquent il est nécessaire que les rayons se propageant dans la fibre soient complètement réfléchis à chaque fois qu'ils rencontrent la surface de séparation cœur-gaine. Le paramètre Ouverture Numérique (O.N) est un indice de capacité de la fibre à accepter le signal optique à l'entrée. Il permet de définir l'angle d'incidence limite, permettant le guidage du signal lumineux (voir fig.3.1) [3].

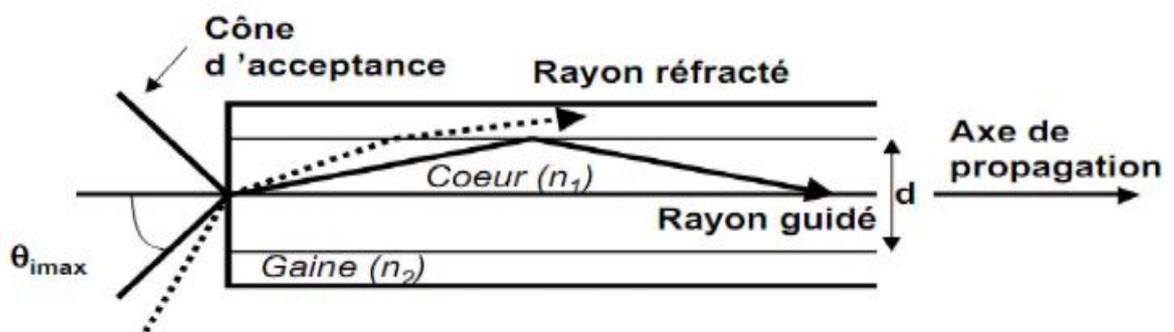


Fig.3. 1. Le guidage des rayons dans une fibre optique

L'ouverture numérique est définie par :

$$ON = \sin(\theta_{imax}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$Avec \begin{cases} \theta_{imax} \text{ angle d'acceptance} \\ n_1 \text{ indice de réfraction du coeur} \\ n_2 \text{ indice de réfraction de la gaine} \end{cases}$$

3.2.2 Câbles de raccordement à fibre optique monomode :

Thorlabs propose des câbles de raccordement à fibre optique monomode avec une variété d'options de connecteurs, y compris FC / PC, FC / APC et hybride FC / PC vers FC / APC et FC / PC vers SMA. Sont également disponibles des câbles de raccordement monomode avec connecteurs FC/ PC ou FC/ APC revêtus de AR pour un couplage fibre-espace libre amélioré des câbles de raccordement à faible perte d'insertion, des câbles de raccordement à noyau expansé thermiquement (TEC), des câbles de raccordement à capuchon d'extrémité, des câbles de raccordement rétro réflecteurs et à réflecteur partiel et des câbles de raccordement à infrarouge moyen à base de fibre de fluorure. En plus de nos câbles de raccordement monomode stockés, nous proposons un service de câble de raccordement à fibre optique personnalisé qui peut généralement expédier des commandes personnalisées le jour même de leur passation (**voir fig.3.2**) [4].



Fig.3. 2. Fibre optique monomode P1-SMF-28-FC-1 du fabricant Thorlabs

3.3. Caractéristiques techniques des appareils de mesure :

3. 3.1 Source laser/testeur de pertes optique du fabricant ANRITSU :

Les sources de lumière de la série CMA5 fournissent une source laser économique et stable pour une utilisation dans la mesure d'atténuation point à point. Ils présentent une conception robuste, conçue pour résister à l'environnement de test difficile de l'installation et de la maintenance des câbles à fibres optiques. Un système d'alimentation à double sens comprenant une batterie 9V et un adaptateur d'alimentation en option, garantit que la série CMA5 s'adaptera à toutes les situations.

Les sources de lumière CMA5 sont idéales pour tester les fibres monomodes et multi-modes car elles sont disponibles dans une variété de longueurs d'onde pour répondre aux applications de test de la datacom avec 850 et 1300 nm au WDM avec la longueur d'onde de 1310/1550/1625 nm. Des modèles à simple et double longueurs d'onde sont disponibles et n'ont qu'un seul port de sortie. Basé sur des technologies avancées de contrôle laser de précision, aide à réduire le temps de mesure (**voir fig.3.3**) [5].



Fig.3. 3. Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d'ANRITSU

Le tableau (**Tab.3.2**) résume les caractéristiques de cet appareil :

Marque	Anritsu
Modèle	5L6
Type d'émetteur	Diode laser
Longueur d'onde	1310 nm à 1550 nm \pm 40 nm
Puissance de sortie	-7 dBm (sur fibre SM)
Largeur de ligne source	Moins de 5 nm
Précision de longueur d'onde	\pm 20 nm
La stabilité	\pm 0,1 dB
Modulation	CW, 270 Hz, 1 kHz ou 2 kHz
Garantie	3 années
Temps de préchauffage	0s
Afficher	Indicateurs LED
Source de courant	Batterie 9V ou adaptateur secteur 9V en option
Avertissement de batterie	Oui
Arrêt automatique	Oui
Connecteur de sortie	FC, SC, ST
Dimensions	145 x 75 x 25 mm

Poids	250g
Plage de températures de fonctionnement	-10 degrés C à + 50 degrés C
Plage de température de stockage	-25 degrés C à + 60 degrés C
Humidité relative	0% à 95% sans condensation

Tab.3. 2. Caractéristiques de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5 [5]

3.3.1 .1Description de mode de fonctionnement

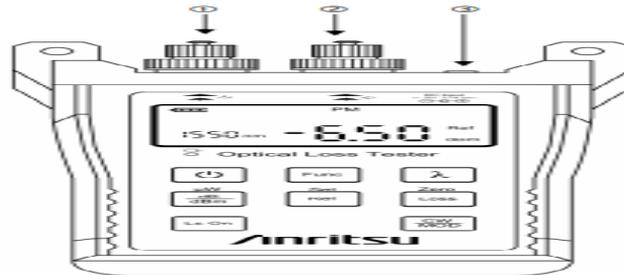


Fig.3. 4. Commandes de fonctionnement de la source laser/testeur de pertes de la série CMA5

Le tableau (**Tab.3.3**) récapitule les fonctions des différentes touches de la Source laser/testeur de pertes, model 5LT35 d’ANRITSU

Clé	Description
	Allumez et éteigner l’instrument.
Func	Appuyer pour basculer entre l’affichage LCD CMA5 5LT35/83 de la source de lumière et du tester de perte optique.
λ	λ est utilisé pour sélectionner la longueur d’onde de la puissance optique
dB/dBm	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)
Ref	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.
Loss	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.
CW/MOD	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 fibre .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 utilisé pour l’identification des fibre optiques. Le mode Wave est affiché sue l’écran LCD.

Tab.3. 3. Description des différentes touches de la source laser/testeur de pertes optique de la série CMA5 [6]

3.3.2 Wattmètre optique (Optical Power Meter) :

Les wattmètres de la série CMA5 sont des appareils portatifs économiques, précis et faciles à utiliser pour les mesures d'atténuation et de débit de puissance sur les liaisons fibre optique point à point. Leur conception robuste permet de résister à l'environnement d'essai difficile de l'installation et de l'entretien des câbles à fibres optiques. Un grand écran LCD et un système d'alimentation bidirectionnel comprenant une pile de 9 V et un adaptateur d'alimentation en option permettent à la série CMA5 de s'adapter à toutes les situations. Sans temps de préchauffage, temps de réponse rapide, mise à zéro automatique et détection de tonalité, la série CMA5 permet de réduire le temps de mesure.

Les wattmètres CMA5 sont idéaux pour tester les fibres monomodes et multimodes dans divers types d'applications, grâce à l'étalonnage de longueurs d'onde multiples à 850/1300 nm pour les besoins de test de datacom, 1310/1550/1625 nm pour tous les tests WDM, ainsi que 1490 nm pour les tests FTTx (voir fig.3.5) [7].

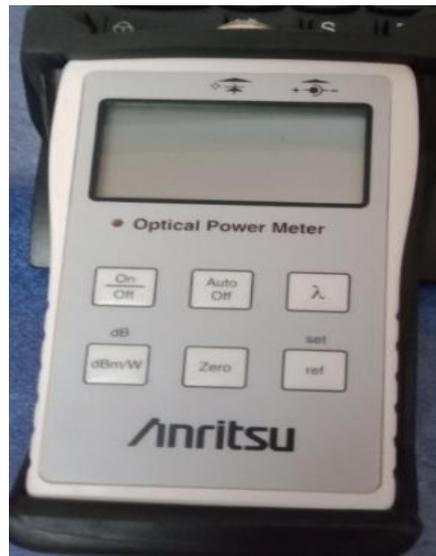


Fig.3. 5. Wattmètre optique (Optical Power Meter)

3.4. Mesure de l'affaiblissement en utilisant deux fibres monomodes :

La procédure suivante dans la figure (fig.3. 6) décrit comment on mesure une perte optique à l'aide d'un testeur de perte optique de la série CMA5 [8].

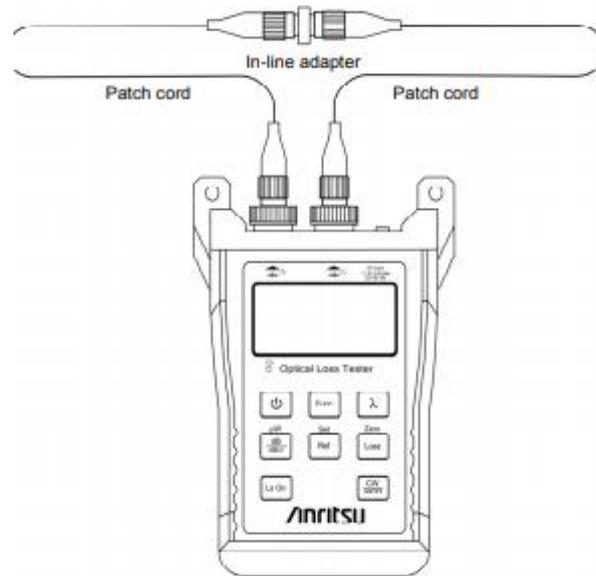


Fig.3. 6. Configuration de la mesure de perte optique

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

3.5.1 Mesure de l'affaiblissement en utilisant le testeur de pertes optique et le wattmètre optique :



Fig.3. 7. Méthode expérimentale de mesure de pertes d'insertion optiques

La puissance d'entrée générée par la source laser : = -6.68 dBm (Voir fig.3.8).



Fig.3. 8. Puissance d'entrée générée par la source laser

On sélectionne la longueur d'onde a 1550nm, nous avons obtenu une puissance de sortie $P_s = -7.32$ dBm (Voir fig.3.9).



Fig.3. 9. Puissance reçue sur le wattmètre optique

Alors on peut calculer la perte optique exprimé en dBm :

$$A = 10 \log \frac{P_e}{P_s} \dots \dots \dots (3.2)$$

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

$$-6.68 \text{ dBm} = 10 \log P_e (\text{mW}) \Rightarrow P_e = 10^{\frac{-6.68}{10}}$$

$$P_e = 0.20 \text{ mW}$$

$$-7.32 \text{ dBm} = 10 \log P_s (\text{mW}) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-7.32}{10}}$$

$$P_s = 0.18 \text{ mW}$$

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.20}{0.18} \Rightarrow A = 0.4 \text{ dB}$$

3.6. Etapes de réalisation d'une soudure optique :

Pour réaliser une soudure optique, nous aurons besoin du matériel cité dans le tableau (Tab.3.4)

 <p>Valise de préparation fibre</p>	 <p>un tampon alcool</p>
 <p>Pince pour dénuder le fibre, 600-900 μm</p>	 <p>Pince pour dénuder la fibre, 250-125 μm Dénudeur de gaine fibre : gain 2/3mm</p>
	 <p>Cliveuse FC-6RS-C</p>
 <p>Soudeuse optique</p>	 <p>Protections d'épissures</p>

Tab.3. 4. Matériel nécessaire pour une soudure optique

3. 6.1 Dénudage :

Le dénudage de la fibre est une technique qui permet d'ôter la gaine de la fibre afin de procéder à la soudure. Cette technique demande trop d'attention. En effet, une fibre est très fine, enlever la gaine demande trop de précision car une fausse manipulation peut entraîner des coupures de la fibre. Or si on se trouve au niveau d'une tête optique ou boîte de protection d'épissure, il y'a des longueurs de la fibre réservées au lovage [9].

Pour cela nous avons utilisé le trou intermédiaire pour enlever la protection à 900 μm , après nous avons utilisé le troisième trou pour dénuder 250 μm comme le montre la figure (fig.3.10). Une fois que cette étape est terminée nous avons devoir passer au nettoyage de la fibre.



Fig.3. 10. Dénudage de fibre optique monomode de 3mm

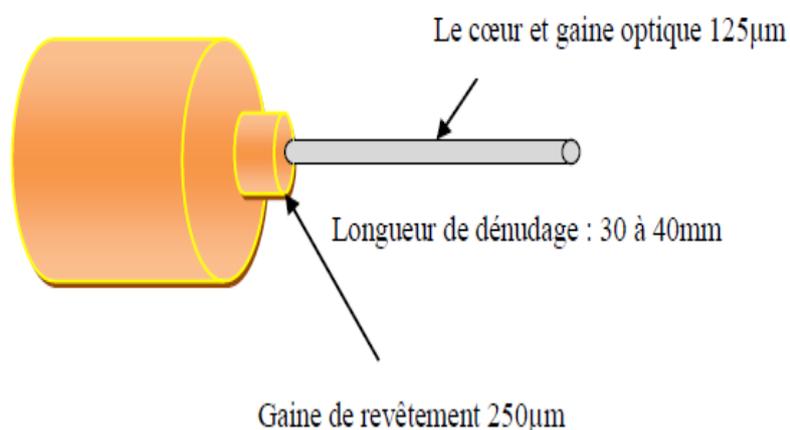


Fig.3. 11. Dénudage [10]

3.6. 2 Nettoyage

Il est très important de nettoyer la fibre optique donc nous avons utilisé un tampon alcool pour enlever le dernier résidu qui se situe sur la fibre optique, refaite l'application jusqu'à on entend un champ de la fibre. (Voire **Fig.3.12**).



Fig.3. 12. Le nettoyage de la fibre optique

3.6.3 Le clivage de la fibre optique :

Le clivage est une étape importante de la préparation de la fibre pour la soudure qui consiste à couper la fibre avec un angle le plus droit possible ($90^{\circ} \pm 2^{\circ}$) de façon à ce que les deux extrémités de la fibre à souder soient propres, ceci afin de faciliter l'étape de fusion. Pour cela nous plaçons la fibre nue dans la cliveuse de précision, en s'assurant que la partie dénudée de la fibre repose sur les deux patins en caoutchouc de part et d'autre de la lame afin d'assurer la stabilité de la fibre durant le passage de la lame, puis on bloque la fibre et on fait passer la lame sous la fibre. On doit faire attention à la fibre clivée de ne pas toucher l'extrémité puisqu'elle sera très fragile (**Fig.3.13**) [11].



Fig.3. 13. Étape de clivage

3.6.4 Mise en place dans la soudeuse :

Par la suite, il faut positionner les deux fibres que nous avons déjà clivés délicatement près des électrodes mais n'oublier pas de placer la protection d'épaisseur pour pouvoir renforcer la partie souder , une fois cette opération faite nous avons fermés le capot et la soudure va semestres en marche automatiquement ,les moteurs vax rapprocher les deux fibres de deux Cotés ,une fois cette opération est terminé, nous avons obtenir sur l'écran une estimation des valeurs de perte qui est donc très bonne comme le montre la Figures (**Fig.3.14**).

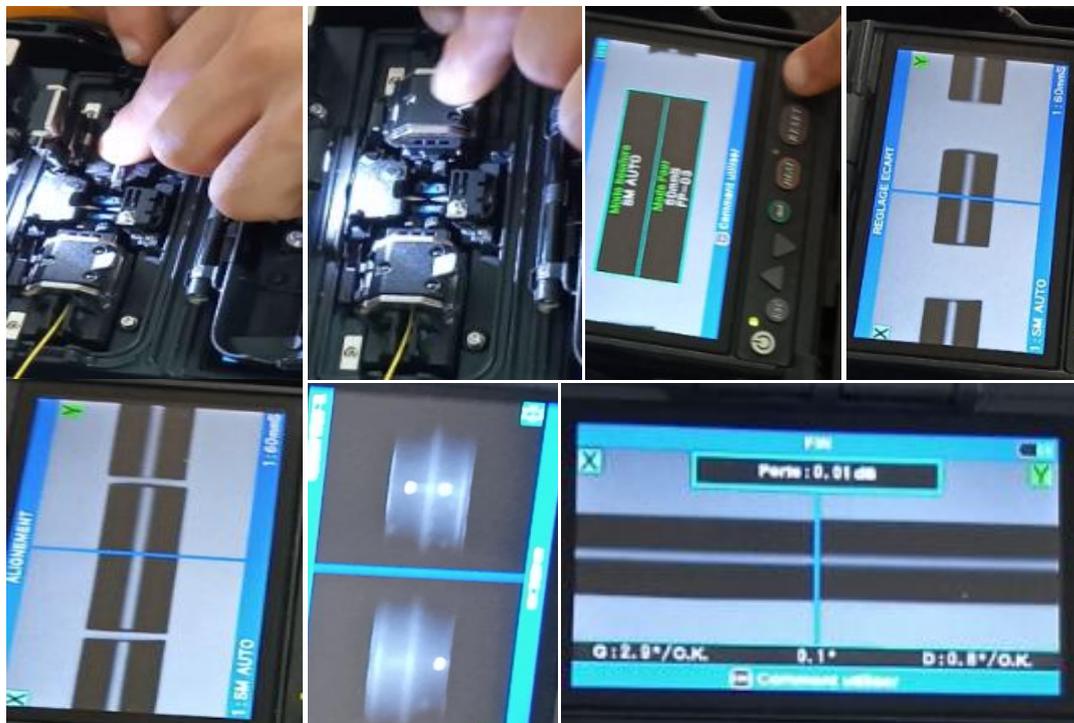


Fig.3. 14.Etape déplacements dans la soudeuse

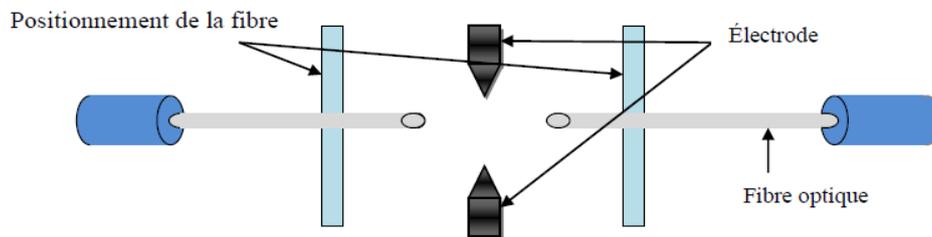


Fig.3. 15. Schéma de fusion [12]

3.6.5 La retraite de la protection d'épissure :

Ensuite nous plaçons la protection dans le four afin de la retraire autour de la soudure. Pour cela il faut maintenir la fibre en tension en tirant légèrement sur les deux bouts autour de la protection et descendre le tout dans le four en maintenant la tension. Il est nécessaire de tester le four avant l'utilisation finale afin de déterminer en fonction de la longueur et de la qualité de la protection utilisée. Si l'on ne chauffe pas suffisamment longtemps la protection peut ne pas être fermée, elle ne jouera pas son rôle de protection contre l'humidité, trop chauffée la protection peut être altérée et peut se détériorer avec le temps [11].



Fig.3. 16. La retraite de la fibre optique

3.7. Etude pratique sur les coupleurs 50 :50 ,99 :1 :

7.1 Coupleur optique 50 :50 :

7.1.1 Mesure de la puissance et la perte d'un coupleur optique 50 :50

On réalise le montage suivant en reliant les deux extrémités du coupleur optique avec le testeur de perte optique d'une extrémité, et le wattmètre optique avec l'autre extrémité (Voir fig.3.17).

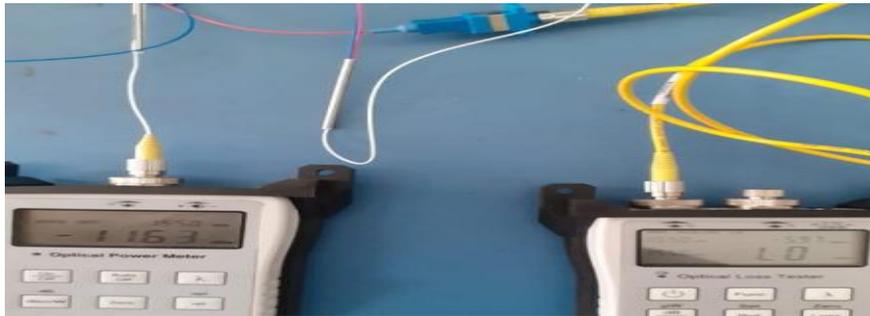


Fig.3. 17. Méthode expérimentale de mesure de pertes D'un coupleur optique 50 :50

Port bleu

La puissance de sortie mesurée par la source laser est $P_s = -9.34$ dBm, sachant qu'on a injecté une puissance $P_e = -5.97$ dBm (Voir fig.3.18, fig.3.19).

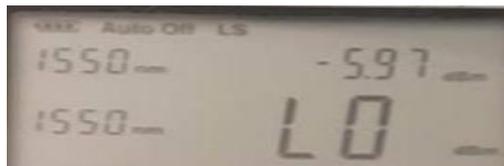


Fig.3. 18. Puissance d'entrée du port bleu d'un coupleur optique



Fig.3. 19. Puissance de sortie du port bleu d'un coupleur optique

3. 7.1.1.1 Perte d'insertion

La perte d'insertion est définie comme le rapport entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie à l'une des branches de sortie du coupleur (signal ou prise). La perte d'insertion est toujours spécifiée en décibels (dB). Il est généralement défini à l'aide de l'équation ci-dessous [13].

$$\text{Insertion Loss (dB)} = 10 \log \frac{P_e(mW)}{P_s(mW)} \dots\dots\dots (3.3)$$

3.7.1.1.2 Calcul de la perte d'insertion à l'aide de la puissance exprimée en dBm :

La perte d'insertion peut également être facilement calculée avec la puissance exprimée en unités de dBm. L'équation ci-dessous montre la relation entre la puissance exprimée en mW et dBm [13].

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)} \dots\dots\dots (3.4)$$

Donc $-5.97 \text{ dBm} = 10 \log P_e \text{ (mW)} \Rightarrow P_e = 10^{\frac{-5.97}{10}}$

Pe= 0.25 mW

$-9.34 \text{ dBm} = 10 \log P_s \text{ (mW)} \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-9.34}{10}}$

Ps=0.116 mW

On peut donc calculer les pertes optiques en utilisant la formule de la perte d'insertion

$$A = 10 \log \frac{P_e}{P_s} \Rightarrow A = 10 \log \frac{0.25}{0.116} \Rightarrow A = 3.33 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $3.33 - 0.41 = 2.92 \text{ dB}$.

Port rouge

La puissance de sortie mesurée par la source laser est $P_s = -9.47 \text{ dBm}$, sachant qu'on a injecté une puissance $P_e = -5.97 \text{ dBm}$ (**Voir fig3.20, fig.3.21**).

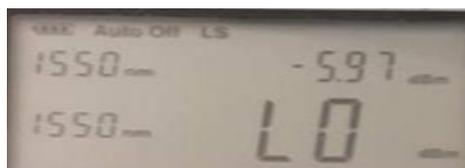


Fig.3. 20. Puissance d'entrée du port rouge d'un coupleur optique 50 :50



Fig.3. 21. Puissance de sortie du port rouge d'un coupleur optique 50 :50

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

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

Pe= 0.25 mW

$$-9.47 \text{ dBm} = 10 \log P_s(mW) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-9.47}{10}}$$

Ps=0.112 mW

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.112} \Rightarrow A = 3.48 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à 3.48-0.41=3.07 dB.

Remarque :

Une perte d’insertion d’adaptateur égale à 0.18 dB

Perte du connecteur égale à 0.22 dB

Perte de soudure égale à 0.01 dB

Comparaison

Le tableau III.5 présente une comparaison entre 1*2 séparateur de coupleur monomode et 2*2 coupleur optique 50 :50

1*2 le rapport de test de séparateur de coupleur monomode 2*2 coupleur optique 50 :50			
Channel	IL (dB)		
	1310 nm	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%	/	/	2.92
CH2 50%	/	/	3.07

Tab.3. 5. Comparaison entre 1*2 le séparateur de coupleur monomode et 2*2 coupleur optique 50 :50

3.7. 2 Coupleur optique 99:1 :

7.2.1 Mesure de la puissance et la perte d’un coupleur optique 99:1

Nous avons réalisé le branchement illustré sur la **fig.3.22.**



Fig.3. 22. Méthode expérimentale de mesure de pertes

Port bleu

Puissance injecté $P_e = -5.97$ dBm (voir fig.3.23)

Puissance de sortie $P_s = -7.63$ dBm (voir fig.3.24)

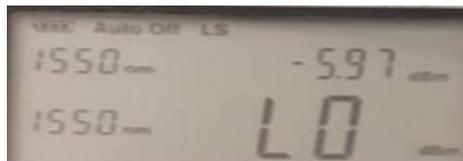


Fig.3. 23. Puissance d'entrée du port bleu d'un coupleur optique 99 :1

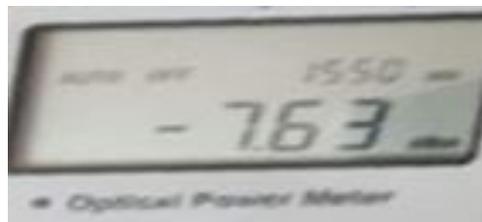


Fig.3. 24. Puissance de sortie du port bleu d'un coupleur optique 99 :1

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

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

$P_e = 0.25$ mW

$$-7.63 \text{ dBm} = 10 \log P_s(mW) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-7.63}{10}}$$

$P_s = 0.172$ mW

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.172} \Rightarrow A = 1.62 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $1.62 - 0.42 = 1.2$ dB.

Port rouge

Puissance injecté $P_e = -5.97$ dBm

Puissance de sortie $P_s = -25.19$ dBm

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

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

$P_e = 0.25$ mW

$$-25.19 \text{ dBm} = 10 \log P_s(\text{mW}) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-25.19}{10}}$$

$P_s = 3.02 * 10^{-3}$ mW

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{3 * 10^{-3}} \Rightarrow A = 19.20 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $19.17 - 0.42 = 18.78$ dB.

Remarque

Perte de soudure égale à 0.02 dB (voire Fig.3.25).



Fig.3. 25. Perte de soudure

3.8 Etude pratique sur un multiplexeur/Switch 2 x 2 optique et le diviseur optique :

3.8.1 Switch Optique

Les switches optiques 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 pour différents besoins sont disponibles. Des configurations de 1×2 à $1 * n$ peuvent être réalisées aussi bien en version SM qu'en MM [14].

3.8.2 Diviseurs Optiques :

En complément des commutateurs ; les diviseurs optiques sont également disponibles pour une utilisation dans les équipements de test des applications télécoms. Ces diviseurs (splitter) optiques peuvent être équipées jusqu'à 128 canaux dans les plages

De longueur d'onde suivantes : IR (1260-1650 nm), NIR (700-1100 nm), or Vis (400-690 nm) [14].



Fig.3. 26. Un diviseur optique à une entrée et 4 sorties

3.8.3. Mesure de l'affaiblissement d'un diviseur optique 1 x 4 en utilisant le testeur de pertes optique et le wattmètre optique :

Pour commencer ce test avec les deux instruments le testeur de pertes optique et le wattmètre optique, on choisit un mode d'utilisation, tout d'abord on va fixer la longueur d'onde a valeur 1550 nm puis on branche l'entrée de diviseur avec le testeur de pertes et leur sortie avec le wattmètre optique comme le montre la **fig.3.27**.

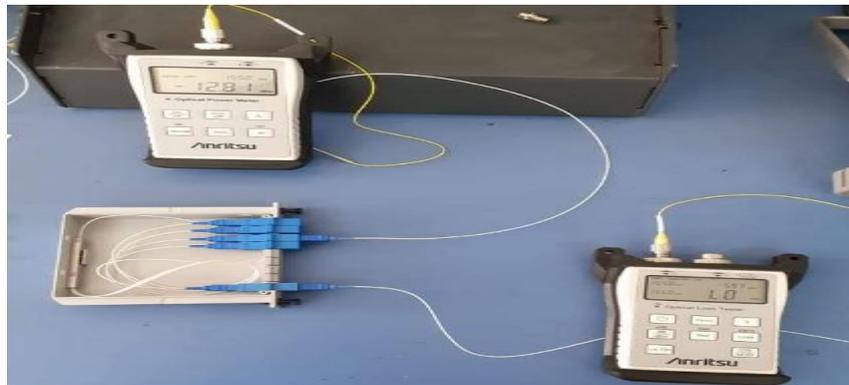


Fig.3. 27. Méthode expérimentale de mesure de pertes d'un diviseur optique

On a établi à la partie précédente l'expression de l'affaiblissement :

$$A = 10 \log \frac{P_e}{P_s}$$

On sait que notre diviseur possède une entrée et 4 sortie donc la puissance injecté a l'entrée égale à $P_e = -5.97$ dBm (voire Figure III.28)



Fig.3. 28. Puissance d'entrée du premier port d'un diviseur optique

Maintenant on va calculer l'affaiblissement pour chaque port de sortie du diviseur.

Premier port

Puissance de sortie $P_s = -12.79 \text{ dBm}$ (voir fig.3.29)



Fig.3. 29. Puissance de sortie du premier port d'un diviseur optique

Application numérique :

On convertit les valeurs de puissance obtenues en mW :

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

$$P_e = 0.25 \text{ mW}$$

$$-12.79 \text{ dBm} = 10 \log P_s(mW) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-12.79}{10}}$$

$$P_s = 0.0526 \text{ mW}$$

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.0526} \Rightarrow A = 6.76 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $6.76 - 0.2 = 6.56 \text{ dB}$.

Deuxième port

Puissance de sortie $P_s = -12.83 \text{ dBm}$ (voir Fig.3.30)



Fig.3. 30. Puissance de sortie du deuxième port d'un diviseur optique

Application numérique :

$$-12.83 \text{ dBm} = 10 \log P_s (\text{mW}) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-12.83}{10}}$$

$$P_s = 0.0521 \text{ mW}$$

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.0521} \Rightarrow A = 6.81 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $6.81 - 0.2 = 6.61 \text{ dB}$.

Troisième port

Puissance de sortie $P_s = -12.89 \text{ dBm}$ (voir fig.3.31)



Fig.3. 31. Puissance de sortie du troisième port d'un diviseur optique

Application numérique :

$$-12.89 \text{ dBm} = 10 \log P_s (\text{mW}) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-12.89}{10}}$$

$$P_s = 0.0514 \text{ mW}$$

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.0514} \Rightarrow A = 6.86 \text{ dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $6.86 - 0.2 = 6.66 \text{ dB}$

Quatrième port

Puissance de sortie $P_s = -12.65 \text{ dBm}$ (voire fig.3.32)

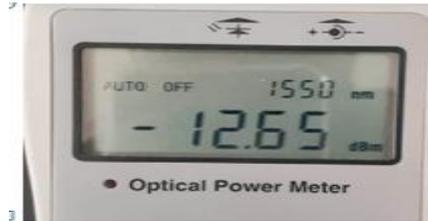


Fig.3. 32. Puissance de sortie du quatrième port d'un diviseur optique

Application numérique :

$$-12.65\text{dBm} = 10 \log P_s(\text{mW}) \Rightarrow P_s = 10^{\frac{-12.65}{10}}$$

$$P_s = 0.054 \text{ mW}$$

$$\text{Donc } A = 10 \log \frac{0.25}{0.054} \Rightarrow A = 6.65\text{dB}$$

Alors La perte optique totale égale à $6.65 - 0.2 = 6.45\text{dB}$.

Remarque :

Une perte d'insertion d'adaptateur égale à 0.18 dB.

Perte de soudure égale à 0.02 dB.

3.9. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de connaître les caractéristiques de la fibre optique monomode et les appareils de mesures et de teste ANRITSU avec leurs caractéristiques techniques, afin de réaliser une bonne soudure et de faire les mesures des pertes optique puis nous avons déterminé si ces pertes est acceptables ou non a partir des comparaisons avec des résultats réels.

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

Conclusion générale

Conclusion générale

L'évolution des communications optiques a permis aux réseaux de Télécommunications d'atteindre un niveau de performances extraordinaires et a ouvert les portes devant l'apparition de nouvelles disciplines qui visent l'amélioration de l'existant et la création de nouveaux dispositifs pour la transmission et le traitement du signal optique.

De nos jours, des débits d'informations de plus en plus élevés sont demandés aux supports de transmission et en particulier les fibres optiques. En revanche, des efforts considérables sont nécessaires pour le développement de la fibre optique permettant d'avoir le minimum de perte et de dispersion. Le développement de la fibre optique nécessite la maîtrise de ses aspects théoriques d'un côté et des méthodes de mesures d'un autre côté. En effet, les méthodes de mesure peuvent être utilisées à la fabrication, au câblage et même à l'installation. Comparés aux fibres optiques monomodes, les fibres multi-modes présentent des problèmes de caractérisation énormes, ce qui rend leurs méthodes de mesure très coûteuse.

D'un autre côté les fibres monomodes sont plus utilisées dans les télécommunications compte tenu de leurs avantages par rapport aux fibres multi-modes. L'objectif de ce travail consiste à étudier le principe d'un multiplexeur/Switch optique 2x2 basé sur des atténuateurs optoélectroniques.

Tout d'abord ce travail nous a permis de renforcer et enrichir nos connaissances théoriques dans le domaine de communications optiques. En effet, comme vous avez pu le constater, la partie pratique de notre rapport occupe une place très importante. La première partie de ce travail a été consacrée à l'étude théorique d'une liaison par fibre optique en précisant ces composants et en citant ces différents types, dans la deuxième partie nous avons parlé sur la Présentation des différentes technologies de multiplexeurs et switches optiques détaillés, la dernière partie est une description exacte de notre partie d'étude pratique sur un Multiplexeur/Switch optique 2x2 basé sur des atténuateurs optoélectroniques, coupleur optique et le diviseur optique, nous avons effectué aussi une série de soudage de fibre optique.



Bibliographie

Chapitre 1 : Généralités sur la fibre optique

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

[2] : Jean- Louis Verneuil « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbit/s » Université de LIMOGES 2003.

[3] : 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.

[4] : Younes Zouine « Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant technique CDMA » Thèse de doctorat Université de LIMOGES 2005.

[5] : Nassima Boudrioua « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » Thèse de doctorat Université Paul Verlaine – Metz 2007.

[6] : David Massoubre « Composant passif à absorbants saturables sur InP pour la régénération tout-optique à très hauts-débits » Thèse de doctorat. Université Paris XI, UFR scientifique d'Orsay 2006.

[7] : 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.

[8] : Irène et Michel Joindot « Les télécommunications par fibres optiques » 1996 DUNOD et CENT-ENST, Paris.

[9] : Pierre Lecoy « Télécoms sur fibres optiques, 3e édition » 2008 Lavoisier.

[10] : Julien Maury « Etude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et Compensatrice de dispersion chromatique » Université de LIMOGES 2003.

Chapitre2 : Présentations des différentes technologies de multiplexeurs et switcher optiques

- [1] REGIS. A ; VENOT.R « Les techniques de transmission optiques ».
- [2] VERNEUIL. J – L ; 2003 - « Simulation de system par fibre optique a 40Gbit/s », Telecom. Hautes Fréquences et optiques. Thèse de doctorat de l'université de Limoges.
- [3] CALVEZ. S ; 2002 - « Laser a fibre pour les télécommunications multiplexées en longueur d'onde : étude de l'accordabilité en longueur d'onde et de la génération de trains d'impulsions multi-longueur d'onde par voie électro-optique », Thèse de doctorat de l'université de Franche-Comté.
- [4] CORDETTE. S ; 2010 - « Continuum de fréquences optiques pour application OCDMA » Electronique et Communications. Thèse de doctorat. Ecole Doctorale d'Informatique, Télécommunications et Electronique de paris.
- [5] MEUNIER. J - P; 2003 – « Télécoms Optique »: Composants a fibres systèmes de Transmission. Ed. Hermes. Paris.
- [6] SEGURA. D ; LABAUD. A ; 2007 -«Réseaux optiques et routage optique ».
- [7] BEAUQUIER, B; 2000 – «Communication dans les réseaux optiques par multiplexage en longueur d'onde »Es Sc. Informatique. Thèse de doctorat de NICE - SOPHIA ANTIPOLIS.
- [8] P. Lecoy, Télécoms sur fibres optiques 2me ed. (Hermes, réseaux et télécommunications, 1997)
- [9] GEROME. F ; 2005 - «Conception et caractérisation de fibres compensatrices de dispersion chromatique pour application aux liaisons optiques WDM » Thèse de doctorat de l'Université de LIMOGES.
- [10] Thèse de master de l'université SAAD DAHLAB DE BLIDA réalisé par *BOULILA Rachid et HAOUCHE Salim* «Etudes des différents multiplexages dans les liaisons par fibre optique »2011/2012
- [11]<https://fr.wikipedia.org/wiki/Multiplexeur>
- [12]<https://www.promosoft.fr/quel-est-le-role-du-switch-dans-un-reseau-informatique/>

[13] 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

[14] Lesson 14: Mach-Zehnder Interféromètre Switch (Optical BPM) :
<http://optiwave.com/optibpm-manuals/bpm-lesson-14-mach-zehnder-interferometer-switch-2/>

[15] Cube Optics AG, « Electro-mechanical Switch 1x1 or 1x2, single mode and multimode »Robert-Koch-Strasse 30, 55129 Mainz Germany,
<http://www.cubeoptics.com>,Année 2016

[16] <http://www.o-eland.com/French%20Version/passive/other/switch.htm>

[17] <https://agiltron.com/product/lightbend-1x1-1x2-pm-optical-switch/>

[18] Sentronic, voir <http://www.getspec.com>

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

[20] <http://www.diconfiberoptics.com/products/scd0239/scd0239a.pdf>

[21]https://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/LightwaveLink/2X2_NonLatching_Optical_Switch/159404/0

[22] https://shopee.co.id/5Pcs-Splitter-Mini-1-*4-SC-UPC-Fiber-Optic-PLC
i.159860045.2616186046

[23]https://www.amazon.fr/Splitter-Interface-Insertion-Project-Company/dp/B083WH3ZKF#detail_bullets_id

[24]<https://www.lasercomponents.com/fr/produit/switch-optique/>

[25] <https://sites.google.com/site/lesdifferentstypesdereseaux/les-differents-types-de-reseaux-fibre/coupleur-optique>

[22] https://fineabc.top/newgroupepage9.cfm?objectgroup_id=10758

[27] https://fineabc.top/newgroupepage9.cfm?objectgroup_id=10758

[28] <file:///C:/Users/lagammestar/Downloads/T-REC-L.52-200305-W!!PDF-F.pdf>

[29] <https://fr.gz-honsun.com/china/monolithic-single-mode-coupler>

chapitre3 : Etude pratique sur un multiplexeur/Switch optique 2 x 2 basé sur des atténuateurs optoélectroniques

- [1] Thèse de master de l'université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM réalisé par Mr KADDOUR Abdellah Mr MOULESSEHOUL Abderrahmane «Etude et simulation d'un routeur optique avec OptiBPM»2015/2016
- [2] Thèse de master de Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen ; réalisé par Mr BELDJILALI Khaled et Mr KHELLADI Mohammed «Etude pratique sur la maintenance des fibres optiques monomodes»2018.
- [3] Thèse de master de l'université Abderrahmane MIRA de Bejaia réalisé par Melle. MERROUCHE Lila «*Etude et optimisation des paramètres d'une liaison Optique à SONATRACH (Béjaïa)* »2012/ 2013.
- [4] www.thorlabs.com › navigation
- [5]<https://www.indiamart.com/proddetail/anritsu-5l6-optical-loss-test-set-19426666097.html>
- [6]https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5olt_opm_e_6_0.pdf
- [7]<https://www.directindustry.fr/prod/anritsu/product-12133-536215.htm>
- [8]https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/cma5olt_opm_e_6_0.pdf
- [9] www.nourdineabdallah.fr › Files › Other › Fibre optique mémoire 2010
- [10] Thèse de master de l'université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent réalisé par *SEDDIK YAMINA KHEIRA* Et *SEGHIUER HOUDA* «Etudes Des Propriétés Des Fibres Optiques Utilisées En FTTH»2018/2019
- [11] Thèse de master de l'université UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI D'OUM EL BOUAGUI réalisé par Melle. Boudemagh Hana «IMPACT DE LA DISPERSION CHROMATIQUE SUR LA TRANSMISSION SUR FIBRE OPTIQUE SIMULATION PAR COMSIS »2016.
- [12] Thèse de master de l'université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent réalisé par *SEDDIK YAMINA KHEIRA* et *SEGHIUER HOUDA* «Etudes Des Propriétés Des Fibres Optiques Utilisées En FTTH»2018/2019
- [13]https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=10758
- [14] <https://www.lasercomponents.com/fr/produit/switch-optique/>