

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par

Mlle Rahmouni Imen

Mlle Moussaoui Faiza

Thème

Etude et Optimisation des liaisons optiques

Soutenu le : 07/09/2019

Devant le jury :

- | | |
|---------------------|-------------|
| • Dr Aidel saleh | Président |
| • Mme Lakhlef Noura | Examinateur |
| • Dr Slimani Wahiba | Encadreur |

Année Universitaire 2018/2019

Remerciement :

Avant tout on tient nos remerciements à notre Dieu tout puissant de nous avoir donné la foi, la force et le courage.

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre encadreur :

Dr Slimani Wahiba pour l'intéressante documentation qu'elle a mise à notre disposition, pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'elle nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à Mr Ben Aldjia Khaled, le chef de centre d'amplification à ALGERIE TELECOM de Bordj Bou Arréridj qui a contribué vivement à la réalisation de notre stage et nos applications pratiques.

Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Rahmouni imen

Moussaoui faiza

Dédicace

Avant tout, merci « Allah » de nous avoir donnée la patience d'aller jusqu'au bout de nos rêves

On dédié ce mémoire à

Nos très chères mères

Nous vous remercions pour tout les soutiens et l'amour que vous nous avez portez depuis notre enfance et les encouragements durant toutes nos études, nous ne serions pas là aujourd'hui sans vous. Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde la santé, la longue vie et le bonheur ...

Nos très chers pères

Nos sources de joies et de tendresses, ceux qu'ils se sont toujours sacrifiés pour nous voir grandir et réussir, aucune dédicace ne peut exprimer nos respects, nos considérations pour leurs sacrifices consentis pour notre instruction et le bien être, que ce travail traduit nos gratitudes ...

A tous nos amis, nos collègues et à toute personne qui a participé à la réalisation de ce mémoire de près ou de loin ...

Imen et Faiza

Sommaire :

Introduction Générale	5
Chapitre I : Généralités sur la liaison optique.....	6
I-1 Historique des fibres optiques :	7
I-2 Généralités sur la fibre optique:.....	8
I-2-1 Fibre optique :.....	8
I-2-2 Structure de la fibre optique :	8
› Le cœur :	8
› La gaine :	8
› Le revêtement :	8
I-2-2 Les types de fibres :	9
I-2-2-1 Fibres multimodes :	9
I-2-2-2 Fibres monomodes.....	9
I-2-3 Caractéristiques de Fibre optique	10
I-2-3-1 Propagation.....	10
I-2-3-2 Principe de propagation (loi de snell).....	10
I-2-3-3 - L'indice de réfraction	11
I-2-3-4-Fréquence de coupure.....	11
I-2-3-5-L'ouverture numérique.....	11
I-2-3-6 La dispersion dans la fibre optique.....	12
I-2-3-6-1 Dispersion modale	13
I-2-3-6-2 Dispersion chromatique.....	13
I-2-4 Perte du signal ou atténuation.....	14
I-2-4-1 Les pertes lors de l'épissage	15
I-2-5 Composants optique.....	15
I-2-5-1 Amplificateurs à fibre dopée à l'erbium	15
I-2-5-1-1 Le principe d'amplification optique.....	16
I-2-5-1-2 Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium	16
I-2-5-1-3 Performances des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium	17
I-2-5-2 Fibre et module de compensation de dispersion chromatique	17
I-2-4 Avantages de la fibre optique	18

I-2-5 Inconvénients de la fibre optique.....	18
I-2-5 Les applications usuelles de la fibre optique	18
I-2-5-1 Les télécommunications	18
I-2-5-2 La médecine.....	19
I-2-5-3 Les capteurs de température, de pression,	20
I-2-5-3 L'éclairage.....	21
I-3 La liaison optique	21
I-2-1 Définition.....	21
I-2-2-Emetteur optique	22
I-2-2-1 Les diodes électroluminescentes (LED)	22
I-2-2-2 LASER.....	23
I-2-3 La modulations	23
I-2-4 Récepteur optique	23
I-2-4-1 Photodétecteur	23
I-3 Critères de qualité d'une transmission.....	24
I-3-1 Diagramme de l'œil	24
I.3.2 Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q	25
I.3.3 Le taux d'erreurs binaire (BER).....	25
I-4 Conclusion.....	26
Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM.....	27
II-1 L'entreprise d'accueil ALGERIE TELECOM.....	28
II-2 Les techniques de transmission	29
II-2-1 Modulation numérique d'un signal analogique	29
II-2-1-1 Modulation par impulsions codées (MIC)	29
II-3 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM).....	29
II-3-1 Multiplexage Dense WDM (DWDM).....	30
II-4 Les techniques de raccordement et de câblage.....	31
II-4-1 Préparation du câble	31
II-4-2 Préparation de la fibre optique	32
II-4-2-1 Dénudage.....	32
II-4-2-2 Nettoyage	32
II-4-2-3 Clivage	33

II-4-2-3 Soudage	33
II-4-2-3 -1 Étalonnage d'arc.....	33
II-4-2-3-2 Soudure.....	34
II-4-2-3-3 Evaluation de la qualité de soudure.....	34
II-4-2-3 -3-1 Test en traction	34
II-4-2-3 -3-2 Evaluation de la protection d'épissure	35
II-5 Instrument de control des liaisons de fibres optiques	35
II-5-1 Mesure de perte de puissance optique.....	35
II-5-2 Réflectomètre OTDR (Optical Time Domain reflectometer)	36
II-6 Mesures effectués sur quelques liaisons optiques	38
II-6-1 La liaison optique : BBA- Beni Mansour.....	38
II-6-1 -1 Les paramètres de la liaison optique BBA- Beni Mansour	38
II-6-1-2 La trace d'OTDR	39
II-6-1 -3 Le tableau de paramètres des événements.....	39
II-6-2 Liaison optique : BBA- M'SILA	41
II-6-2 -1 Les paramètres de la liaison optique BBA- M'SILA.....	41
II-6-2 -2 la trace d'OTDR.....	42
II-6-2 -3 Le tableau des paramètres des événements	42
II-6-3 La liaison Hammadia- Belimour	43
II-6-3-1 Les paramètres de la liaison optique Hammadia- Belimour	43
II-6-3-2 La trace d'OTDR	44
II-6-3 -3 Le tableau des paramètres des événements	44
II-7 Conclusion.....	45
Chapitre III : SIMULATION.....	46
III-1 Introduction.....	47
III-2 Présentation du logiciel Optisystem.....	47
III-2-1 Principales caractéristiques du logiciel Optisystem.....	48
III-3 La simulation	48
III-3-1 La liaison de BBA – Beni Mansour :.....	49
III-3-3-1Montage équivalent de la liaison de BBA – Beni Mansour.....	49
III-3-2 La liaison BBA- M'sila.....	51
III-3-2-1 Montage équivalent de la liaison de BBA – M'sila.....	51

III-3-3 La liaison Hammadia – Belimour.....	52
III-3-3-1 Montage équivalent de la liaison de Hammadia – Belimour.....	52
III-3-3-2 comparaison des résultats de simulation et de l’OTDR des puissances.....	53
III-3-4 Evaluation de qualité des liaisons optiques	54
III-3-4-1 Le montage de mesure	54
III-3-4-2 Etudes des signaux des liaisons dans le domaine temporel	54
III-3-4-2-1 Paramètres des liaisons simulées	54
III-3-4-2-2 la visualisation des signaux dans le domaine temporelle.....	55
III-3-4-2-2-1 La liaison BBA- Msila	55
III-3-4-2-2-4 Interprétation 1	57
III-3-4-2-2-5 La puissance optique à la sortie de chaque liaison	57
III-3-4-2-3 Le diagramme d’œil des trois liaisons optiques	58
III-3-4-2-3-1 Interprétations 2	59
III-3-4-2-4 Facteur de qualité Q.....	59
III-3-4-2-4-1 Interprétation 3.....	60
III-3-4-2-5 Le taux d'erreur binaire (BER).....	60
III-3-4-2-5-1 Interprétation 4.....	61
III-3-4-3 L’optimisation proposée pour la résolution des problèmes	62
III-3-4-3 -1 Compensation de l’atténuation	62
III-3-4-3-1-1 Le diagramme d’œil et facteur de qualité de la liaison BBA-M’sila après amplification	62
III-3-4-3-1-2 Interprétation 5.....	63
III-3-4-3 -2 Compensation de la dispersion	63
III-3-4-3 -2 -1 le montage de mesure.....	64
III-3-4-3 -2 -2 le montage de mesure pour la compensation de la dispersion chromatique et l'amplification.....	65
III-3-4-3 -2 -3 Interprétation 6.....	66
III -4 Conclusion.....	67
Conclusion générale	68

Liste de tableaux :

Tableau (II-1): Les paramètres de la liaison optique BBA- Beni Mansour	38
Tableau (II-2): Les données numériques de la trace de l'OTDR.....	40
Tableau (II-3): Calcul des intervalles.....	41
Tableau (II-4): Les paramètres de la liaison optique BBA- M'SILA.....	41
Tableau (II-5): Les données numériques de la trace de l'OTDR.....	42
Tableau (II-6): Calcul des intervalles entre évènements.....	43
Tableau (II-7): Les paramètres de la liaison optique Hammadia- Belimour.....	43
Tableau (II-8): Les données numériques de la trace de l'OTDR.....	44
Tableau (II-9): Calcul des intervalles.....	45
Tableau (III-1): Les puissances déterminées à chaque connecteur de la liaison BBA – Beni Mansour.....	50
Tableau (III-2): Les puissances à chaque connecteur de la liaison BBA – M'sila	52
Tableau (III-3): Les puissances à chaque segment de la liaison Hammadia – Belimour. .	53
Tableau (III-4): Tableau comparatif des résultats de simulation et de l'OTDR des puissances.....	53
Tableau (III-5): Les paramètres de la liaison.....	54
Tableau (III-6): Les puissances des liaisons optiques.....	58
Tableau (III-7) : Les diagrammes d'œil des trois liaisons optiques.....	59
Tableau (III-8) : La courbe de facteur de qualité pour chaque liaison.....	60
Tableau (III-9): La trace de taux d'erreur binaire de chaque liaison.....	61
Tableau (III-10): Les valeurs numériques des paramètres étudiés.....	61
Tableau (III-11) : Les différentes caractéristiques après amplifications de la liaison BBA- M'sila.....	63

III-3-4-3 -2 -2 le montage de mesure pour la compensation de la dispersion chromatique et l'amplification..... **Erreur ! Signet non défini.**

III-3-4-3 -2 -3 Interprétation 6..... **Erreur ! Signet non défini.**

III -4 Conclusion.....
Erreur ! Signet non défini.

Conclusion générale
Erreur ! Signet non défini.8

Liste de figures :

Figure (I-1): Structure d'une fibre optique.....	9
Figure (I-2): Fibre optique multimodes.	9
Figure (I-3): Fibre optique monomodes.	10
Figure (I-4): Principe de propagation dans une fibre optique.	11
Figure (I-5): Ouverture numérique	12
Figure (I-6): Phénomène de la dispersion dans une fibre optique.....	12
Figure (I-7): Dispersion modale, propagation d'un mode rapide et d'un mode lent. ... Erreur ! Signet non défini.	3
Figure (I-8): Pertes optiques dans une fibre optique standard.....	14
Figure (I-9): Pertes lors de l'épissage.....	15
Figure (I-10): Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium.	17
Figure (I-11): Un câble coaxiale et une paire de fibre.....	19
Figure (I-12) : Un endoscope.....	19
Figure (I-13) : Chirurgie	20
Figure (I-14): Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.	21
Figure (I-15): L'éclairage.	21
Figure (I-16): Schéma synoptique d'un système de transmission optique.....	22
Figure (I-17): Symbole de la source optique.	22
Figure (I-18): Symbole du Photodétecteur. Erreur ! Signet non défini.	3
Figure (I-19): Diagrammes d'œil d'un signal codé NRZ, et un autre codée RZ.	24
Figure (I-20): à gauche : trace temporelle du signal avec les niveaux moyens « 1 » et « 0 » (Respectivement I1 et I0), et le seuil de décision optimal (ID). A droite : distributions des deux niveaux et écarts-types associés.....	25

Figure (II-1): Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique avec trois longueurs d'ondes.....	30
Figure (II-2): L'espacement des longueurs d'onde pour la technique Dense WDM.	30
Figure (II-3): Préparation du câble des fibres optiques.	31
Figure (II-4): Matériel nécessaire pour la préparation	31
Figure (II-5): Pince à dénuder	32
Figure (II-6): Un dispenseur.....	32
Figure (II-7): Lingettes pré saturées d'alcool.....	32
Figure (II-8): Clivage avec la cliveuse FC-7.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure (II-9): La soudeuse	33
Figure (II-10): Evaluation de la qualité de la soudure.....	34
Figure (II-11): Evaluation de la protection d'épissure.	35
Figure (II-12): Mesure de puissances avec le power mètre.....	36
Figure (II-13): Mesure de l'atténuation avec les powers mètres.	36
Figure (II-14): Réflectomètre optique portable OTDR.	37
Figure (II-15): Courbe caractéristique d'un OTDR.....	37
Figure (II-16): La trace de la liaison optique BBA- Beni Mansour.	39
Figure (II-17): La trace de la liaison optique BBA- M'sila	42
Figure (II-18): la trace de la liaison optique Hammadia- Belimour.....	44
Figure (III-1): La bibliothèque des composants.....	47
Figure (III-2): L'interface de l'OPYISYSTEM.	48
Figure (III-3): Le montage équivalent de la liaison BBA – Beni Mansour.	49
Figure (III-4): Le montage équivalent de la liaison BBA – M'sila.....	51
Figure (III-5): Le montage équivalent de la liaison Hammadia – Belimour.....	52
Figure (III-6): Le montage équivalent de la chaine de transmission avec les appareils de mesures.	54

Figure (III-7): Le signal d'entrée	54
Figure (III-8): La visualisation des signaux dans le domaine temporelle des liaisons optiques.	57
Figure (III-9): La liaison BBA – M'sila avec un amplificateur optique EDFA.....	62
Figure (III-10): Montage de mesure de la liaison optique avec compensation.....	64
Figure (III-11): Le diagramme de l'œil de la liaison avec la fibre compensatrice.	65
Figure (III-12): Le montage de mesure pour la compensation de la dispersion et l'amplification.	65
Figure (III-13): Diagramme d'œil de la liaison après compensation et amplification	66
Figure (III-14): facteur de qualité, taux d'erreur binaire de la liaison après l'amélioration.	66

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale :

La grande quantité d'informations véhiculée à travers le monde a donné naissance, depuis quelques années, à un besoin croissant en débit de transmission dans les systèmes de télécommunication. De nombreux services et applications multimédia se sont développés, et nécessitent aujourd'hui d'importantes capacités de transmission. Un besoin d'autant plus important que les informations échangées grâce à ces applications.

Une liaison de télécommunication par fibre optique requiert les fonctions fondamentales qui sont respectivement : la génération de signal (émetteur), la propagation (transmission, amplification et routage des données) et la détection en réception.

Le but de cette étude, est de chercher les difficultés et les problèmes qui causent la dégradation du signal transmis et comment assurer une bonne qualité de transmission.

Nous débuterons ce manuscrit par décrire la fibre optique et les techniques de transmission. Nous aborderons de même, les phénomènes qui causent les différentes pertes dans une liaison à fibre optique.

Dans le deuxième chapitre on présentera un extrait du rapport de stage pratique effectué chez la société nationale ALGERIE TELECOM de Bordj Bou Arréridj (BBA) et décrira aussi notre application pratique menée sur trois liaisons optiques liant cette ville, avec : M'sila, Beni Mansour et une autre entre Hammadia et Belimour avec les l'appareillage approprié.

Le troisième chapitre sera consacré à une étude comparative, simulatrice de ces liaisons conçus par le logiciel : OPTISYSTEM ce dernier a des propriétés émouvantes, par l'insertion des instruments de mesures appropriés, le contrôle par le BER, le contrôle visuel par le diagramme d'œil...etc. Ces performances nous seront utiles pour accomplir la tâche de l'étude et l'optimisation de ces liaisons optiques.

En fin nous terminerons notre travail par une conclusion générale qui récapitule le déroulement du travail et les résultats acquis.

Chapitre I :
Généralités sur la liaison optique

I-1 Historique des fibres optiques :

La possibilité de transporter la lumière le long de fines fibres de verre fut exploitée au cours de la première moitié du XXe siècle. En 1927, Baird et Hansell tentèrent de mettre au point un dispositif d'images de télévision à l'aide de fibres. Hansell put faire breveter son invention, mais elle ne fut jamais vraiment utilisée. Quelques années plus tard, en 1930, Heinrich Lamm réussit à transmettre l'image d'un filament de lampe électrique grâce à un assemblage rudimentaire de fibres de quartz. Cependant, il était encore difficile à cette époque de concevoir que ces fibres de verre puissent trouver une application.

La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, lorsque le fibroscope flexible fut inventé par Van Heel et Hopkins. Cet appareil permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre. Il fut particulièrement utilisé en endoscopie, pour observer l'intérieur du corps humain, et pour inspecter des soudures dans des réacteurs d'avion. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées. En 1957, le fibroscope (endoscope flexible médical) est inventé par Basil Hirschowitz aux États-Unis.

Les télécommunications par fibre optique restèrent impossibles jusqu'à l'invention du laser en 1960. Le laser offre en effet l'occasion de transmettre un signal avec assez de puissance sur une grande distance. Dans sa publication de 1964, Charles Kao, des Standard Télécommunications Laboratoires, décrit un système de communication à longue distance et à faible perte en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Peu après, soit en 1966, il démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges Hockman, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique. Cette expérience est souvent considérée comme la première transmission de données par fibre optique.

Cependant, les pertes dans une fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres, non par perte de lumière, mais parce que les différents chemins de réflexion du signal contre les parois finissaient par en faire perdre la phase. Cela la rendait peu avantageuse par rapport au fil de cuivre traditionnel. Les pertes de phase entraînées par l'usage d'une fibre de verre homogène constituaient le principal obstacle à l'utilisation courante de la fibre optique.

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre ; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre pour la longueur d'onde 1550 nm. utilisée dans les télécommunications). Leur fibre optique était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'informations qu'un simple câble de cuivre.

Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. On estime qu'aujourd'hui plus de 80 % des communications à longue distance sont transportées par plus de 25 millions de kilomètres de câbles à fibres optiques partout dans le monde.

Avec la baisse des coûts entraînée par sa fabrication en masse et les besoins croissants des particuliers en très haut débit, on envisage depuis 2005 son arrivée même chez les particuliers : FTTH (Fiber To The Home), FTTB (Fiber To The Building), FTTC (Fiber To The Curb), etc. [1]

I-2 Généralités sur la fibre optique:

I-2-1 Fibre optique :

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de lumière et transmetteur de données. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transmet aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

I-2-2 Structure de la fibre optique [2] :

La fibre optique est un guide d'onde cylindrique, composée des éléments de base suivants :

- › **Le cœur :** C'est la région centrale de la fibre qui permet le guidage des ondes lumineuses, d'indice de réfraction n_1 .
- › **La gaine :** Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui du cœur, ce qui permet par conséquent, la réflexion totale et perpétuelle des modes à l'interface cœur-gaine.
- › **Le revêtement :** Le revêtement assure la protection, voir figure suivante :

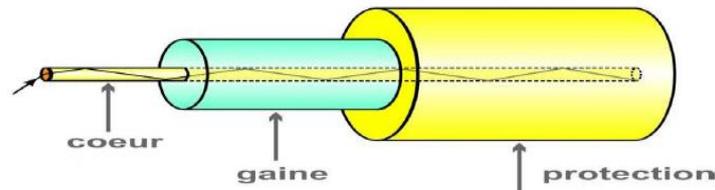


Figure (I-1): Structure d'une fibre optique.

I-2-2 Les types de fibres [3] [4]:

I-2-2-1 Fibres multimodes :

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multimode 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 multimode, 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 multimodes, 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).

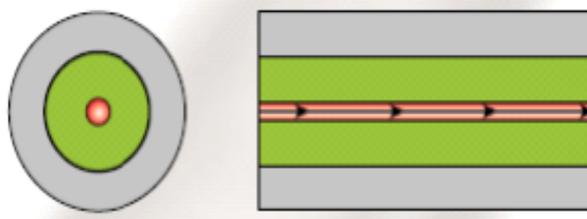


Figure (I-2): Fibre optique multimodes.

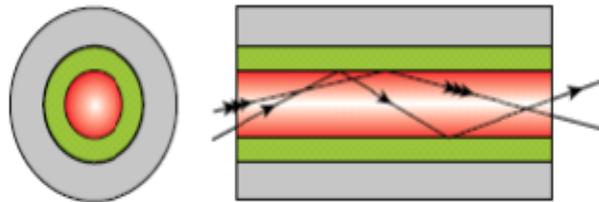
I-2-2-2 Fibres monomodes :

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

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

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 coeur 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 conséquent une dispersion modale quasiment nulle. Leur petit diamètre du coeur nécessite une grande



puissance d'émission.

Figure (I-3): Fibre optique monomodes.

I-2-3 Caractéristiques de Fibre optique :

I-2-3-1 Propagation [2]:

La lumière est une onde électromagnétique que l'on définit habituellement par sa longueur d'onde dans le vide. $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$ (I-1)

C : Célérité dans le vide = $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$, f : fréquence de l'onde.

La lumière infrarouge utilisée dans les fibres optiques est dans les longueurs d'ondes : 0,85 μm ; 1,3 μm et 1,5 μm principalement.

I-2-3-2 Principe de propagation (loi de snell):

Le guidage de la lumière dans une fibre optique se base sur le principe de la réflexion totale à l'interface entre le coeur et la gaine optique où les indices de réfraction sont différents.

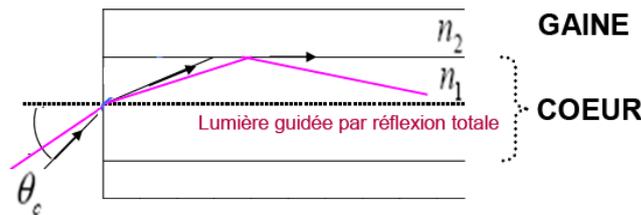


Figure (I-4): Principe de propagation dans une fibre optique.

La loi de Snell Descartes permet de relier l'angle de la lumière incidente à l'angle réfracté en fonction des indices des milieux :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\text{I-2})$$

Pour $n_1 > n_2$, il existe un angle d'incidence θ_c , appelé angle critique, pour lequel la lumière n'est pas transmise et au-delà duquel elle est totalement réfléchi, c'est bien entendu la réflexion totale [1].

I-2-3-3 - L'indice de réfraction [5] :

L'indice d'optique ou indice de réfraction peut être vu comme la "résistance" du milieu à la pénétration de la lumière. Dans un milieu de faible indice optique la vitesse de propagation de la lumière est plus grande que dans un milieu d'indice optique élevé. L'indice optique est une quantité sans dimension, c'est à dire sans unité, la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu quelconque, est donnée par : $V = \frac{c}{n}$ (I-3)

L'indice de réfraction du vide est égale à « 1 », c'est la valeur la plus faible possible et celui de la silice est de 1.5, et d'un semi-conducteur est de l'ordre de 3.5.

I-2-3-4-Fréquence de coupure [6] :

Lorsque la lumière pénètre dans une fibre, il faut que la fréquence de celle-ci soit supérieure à une fréquence de coupure déterminée par le diamètre de la fibre. En pratique, le diamètre de la fibre ne doit pas être inférieur à la longueur d'onde à transmettre.

$$FC = \frac{0.23 \cdot 10^9}{a \sqrt{\epsilon_2 \epsilon_1}} \quad (\text{I-4})$$

ϵ_2 : Permittivité du cœur. ϵ_1 : Permittivité de la gaine.

I-2-3-5-L'ouverture numérique [7]:

L'ouverture numérique (NA) est une caractéristique de la fibre optique liée à l'angle d'acceptance ; elle est calculée à partir des indices de réfraction du cœur et de la gaine.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

Elle est donnée par la relation suivante

$$NA = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gain}}^2} \quad 0 \leq NA \leq 1 : \quad (\text{I-5})$$

Le cône d'acceptation est déterminé en utilisant l'ouverture numérique $NA = \sin \theta_C$

Avec :

θ_C angle critique

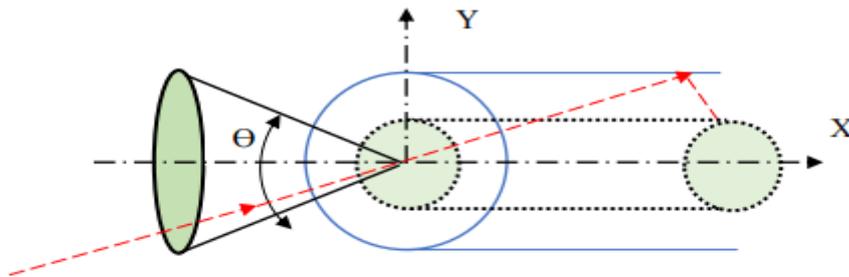


Figure (I-5): Ouverture numérique

I-2-3-6 La dispersion dans la fibre optique [8] :

La dispersion se réfère à tous les processus aboutissant à une différence de temps de propagation des différents modes ; elle entraîne une réduction de l'amplitude de modulation des hautes fréquences et un étalement temporel de l'impulsion.

Pour que l'information soit bien transmise, deux impulsions successives distinctes à l'entrée de la fibre doivent être également distinctes à la sortie. Cependant, il se produit dans la fibre un élargissement des impulsions appelée dispersion temporelle, deux impulsions distinctes à l'entrée de la fibre seront mélangées à la sortie. En effet, lorsque l'on envoie une impulsion lumineuse infiniment étroite (Dirac) dans la fibre optique, à la sortie de la fibre, on constate alors un élargissement de l'impulsion dans le domaine temporel, voir la figure suivante :

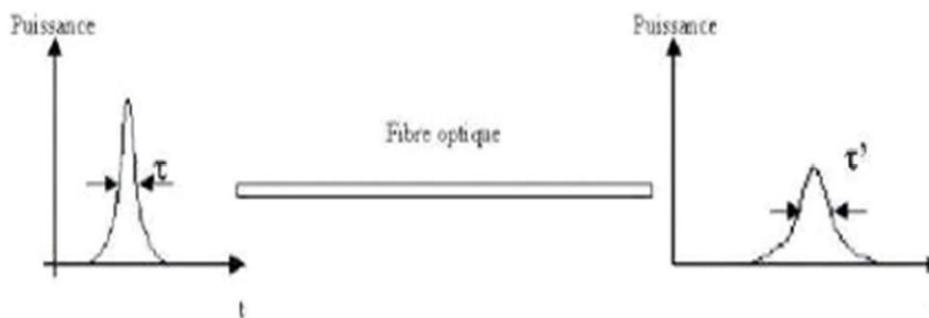


Figure (I-6): Phénomène de la dispersion dans une fibre optique.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

Plusieurs types de dispersion existent, contribuant tous à l'étalement de l'impulsion au cours de sa propagation dans le guide : Dispersion modale, dispersion de polarisation, et la dispersion chromatique dont la dispersion matérielle et la dispersion du guidage.

I-2-3-6-1 Dispersion modale :

La dispersion modale est la principale cause de dispersion dans les fibres multimodes, elle limite la distance de propagation et le débit de transmission de l'information, elle n'existe pas dans les fibres monomodes. La dispersion modale provient de la différence de temps de parcours de la lumière des chemins, dans la fibre.

C-à-d elle est due à la différence de temps des trajets du rayon axial (mode rapide) et du rayon réfléchi (mode lent).

La dispersion intermodale D_i est définie par l'élargissement temporel maximum τ d'une impulsion par unité de longueur de fibre.

$$D_i = \frac{t_{max} - t_{min}}{L} = \frac{\tau}{L} \quad (I-6)$$

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

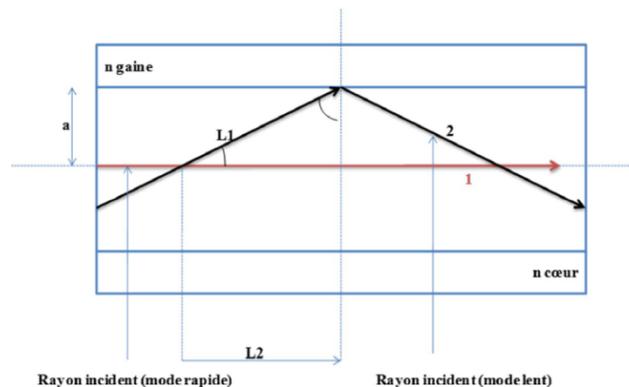


Figure (I-7): Dispersion modale, propagation d'un mode rapide et d'un mode lent.

I-2-3-6-2 Dispersion chromatique :

Une dispersion chromatique non nulle peut se compenser optiquement, par l'intermédiaire d'une courte section de fibre de forte dispersion négative dite DCF (son atténuation est élevée). On peut aussi utiliser un dispositif compensateur de dispersion chromatique qui joue le rôle de retarder les longueurs d'onde arrivées en premier.

I-2-4 Perte du signal ou atténuation [9] :

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

$$\alpha(\lambda)_{(dB/KM)} = -\frac{10}{L} \text{LOG} \left[\frac{P_S}{P_E} \right] \quad (I-7)$$

P_S : la puissance de sortie . P_E : la puissance d'entrée .

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

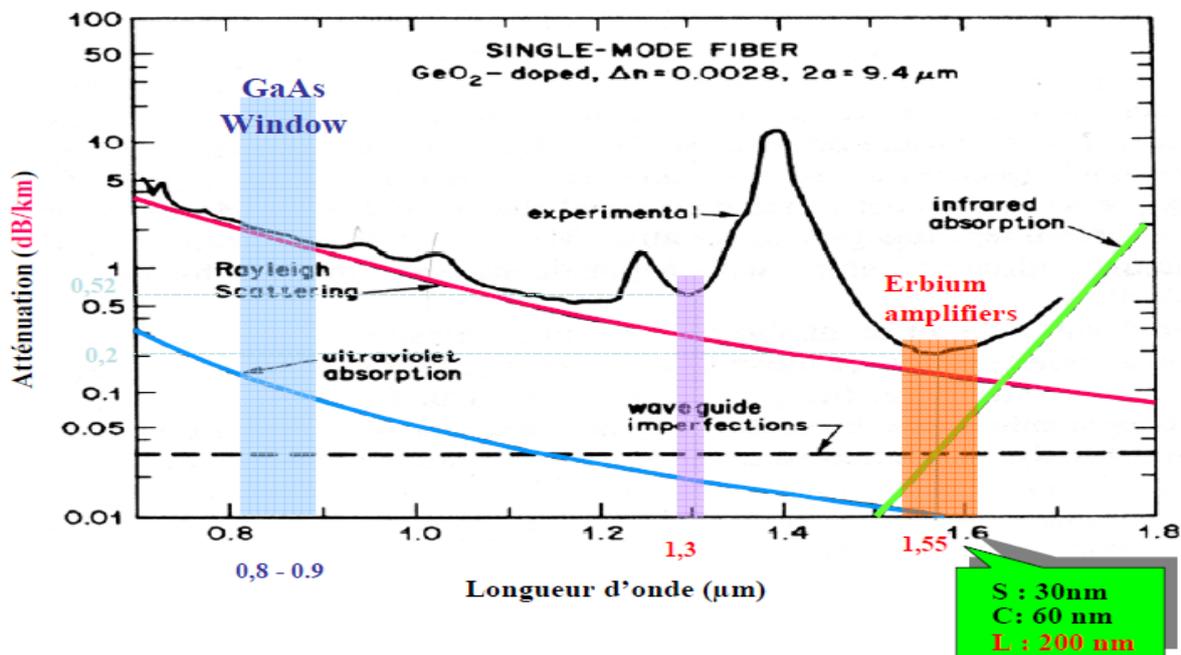


Figure (I-8): Pertes optiques dans une fibre optique standard.

L'atténuation provient principalement de deux phénomènes : l'absorption et la diffusion de la lumière. Les fibres optiques peuvent être utilisées pour la transmission essentiellement dans deux fenêtres en longueur d'onde : les fenêtres 1300 nm et 1500 nm. La fenêtre 800 nm étant pratiquement complètement abandonnée.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

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

La fenêtre à 1550 nm a une largeur de bande de 100 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,2 dB/km ; Elle se divise en trois bandes S, C et L (figure (I-7)). Elle est utilisée généralement pour les télécommunications de longues distances et à haut débit car la faible atténuation dans cette fenêtre permet d'espacer bien d'avantage les coûteux régénérateurs et/ou amplificateurs nécessaires pour la compensation de l'atténuation.

I-2-4-1 Les pertes lors de l'épissage [10]:

C'est l'une des sources les plus importantes des pertes d'une ligne de fibre optique monomode. Telles qu'illustrées sur la figure (I-8), les causes de pertes lors d'une connexion bout-à-bout sont :

- La séparation longitudinale D
- Le désalignement angulaire α .
- Le désalignement radial d .
- L'excentricité des cœurs.
- L'ellipticité des cœurs.

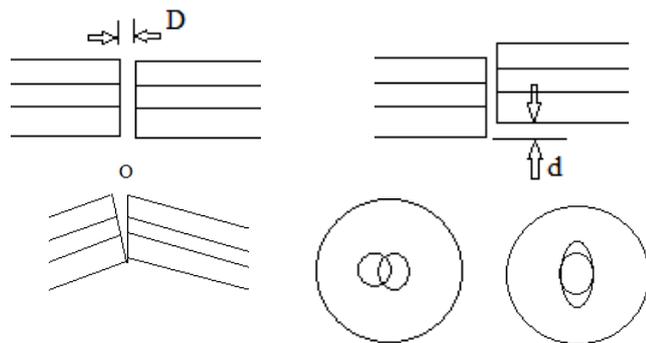


Figure (I-9): Pertes lors de l'épissage.

1-2-5 Composants optique [11]:

Il existe différents composants optiques qui sont nécessaire dans une liaison comme les amplificateurs optiques, les fibres compensatrices de dispersion ... Dans ce qui suit nous allons présenter ces composants.

1-2-5-1 Amplificateurs à fibre dopée à l'erbium [12] :

L'amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA pour Erbium doped Fibre Amplifier) s'est imposé dans le domaine des télécommunications grâce à sa transparence au débit et aux canaux adjacents.

Le principe d'amplification est basé sur le phénomène d'émission stimulée.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

L'amplificateur est en effet constitué de fibre dont le coeur est dopé aux ions terre rare (la plupart du temps des ions Erbium car ils présentent une transition radiative autour de 1,55 μm). Un pompage optique conduit à l'inversion de la population des ions terre rare qui passent dans un état excité. Le pompage s'effectue autour de 980 nm ou 1480 nm, où les ions Erbium présentent deux pics d'absorption. Le signal optique qui traverse la fibre dopée stimule le retour à l'équilibre des ions Erbium dans la fibre. L'émission radiative stimulée autour de 1,55 μm qui en résulte amplifie le signal.

1-2-5-1-1 Le principe d'amplification optique [13]:

Il est basé sur le phénomène d'émission stimulée. L'amplificateur à fibre dopée à erbium s'est imposé dans le domaine des télécommunications grâce à sa transparence au débit. L'amplificateur est en effet constitué de fibre dont le coeur est dopé aux ions de terre rare, les ions d'Erbium. Un pompage optique par une diode laser auxiliaire conduit à l'inversion de population des ions d'Erbium qui passe à un état excité. Le pompage s'effectue autour de la longueur d'onde : 980 nm habituellement utilisée pour des équipements à faible bruit, par contre on doit utiliser des sources lasers stabilisées de longueur d'onde : 1480 nm pour des amplifications de plus forte puissance.

les EDFA se composent essentiellement: d'une fibre dopée avec des ions d'Erbium de quelques mètres de longueur (20m), connectée à la fibre de ligne. En général, ils possèdent des gains de 25 à 45 dB et des puissances de saturation allant de 1 à 10 mW (0 à 10 dBm). Enfin, les EDFA ont une large bande passante (1530-1560 nm) pour laquelle le gain est quasiment identique (pour toutes les longueurs d'ondes de cette bande), ce qui rend intéressant ces amplificateurs quand on veut amplifier simultanément plusieurs signaux multiplexés en longueur d'onde.

1-2-5-1-2 Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium [14]:

Le schéma d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium monomode classique est représenté sur la figure (1- 9). Le multiplexeur optique permet de coupler, d'injecter simultanément dans la fibre dopée, le signal à amplifier et la pompe respectivement aux longueurs d'onde λ_s et λ_p . Ce dispositif doit présenter une perte d'insertion faible aux deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système. La pompe est en général

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

fournie par une diode laser. La fibre a une longueur qui peut varier de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

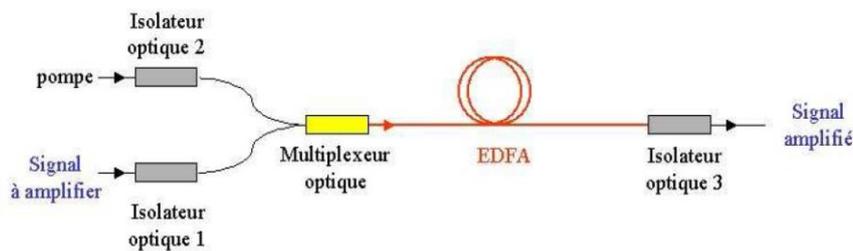


Figure (I-10): Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium.

Un isolateur est placé en sortie de la fibre afin de découpler les résidus de pompe et le signal amplifié mais aussi pour empêcher l'amplification d'un signal qui arriverait en sens inverse dans la fibre. En effet, le milieu amplificateur constitué par la fibre est naturellement bidirectionnel.

1-2-5-1-3 Performances des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium :

L'avantage de ce type d'amplification est qu'il a une faible dépendance du gain vis à vis de la polarisation du signal, et qu'on a besoin de faible puissance de pompage (quelque dizaine de mW) grâce à une forte concentration de l'onde pompe. De manière générale, les gains sont de l'ordre de 30 à 40 dB avec une bande passante de 30 nm.

Les EDFA se caractérisent par un faible bruit proche des 3 dB.

1-2-5-2 Fibre et module de compensation de dispersion chromatique DCF:

On peut utiliser un dispositif compensateur de dispersion chromatique qui joue le rôle de retarder les longueurs d'onde arrivées en premier.

La réalisation de ces dispositifs est délicate mais leur principe est simple, la compensation est possible tant que l'on reste en régime linéaire, les différentes longueurs d'onde d'un même signal ne se couplent pas [15].

Dans un système à multiplexage en longueur d'onde WDM, la compensation de dispersion s'applique en deux temps :

- ❖ Une compensation grossière pour tout le spectre, au niveau de chaque section, cette méthode n'est pas précise car il est difficile d'avoir une fibre dont la dispersion est symétrique de celle de la fibre en ligne sur tout le spectre.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

- ❖ Une compensation fine par longueur d'onde après le démultiplexeur.

Si L_{smf} et D_{smf} sont respectivement la longueur (en km) et la dispersion (en ps/nm/km) de la fibre standard utilisée, L_{dcf} et D_{dcf} respectivement celles de la fibre de compensation on doit avoir [16]:

$$(L_{smf} * D_{smf}) + (L_{dcf} * D_{dcf}) = 0 \quad (I-7)$$

I-2-4 Avantages de la fibre optique [3]:

Les principaux avantages de la fibre optique sont les suivants:

- Faible atténuation: la fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de plus longues distances en nécessitant moins de répéteurs.
- Grande bande passante: la fibre optique permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre. Les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz.km pour des fibres multimodes, et > 10 GHz.km pour des fibres monomodes, comparées à 10 à 25 MHz.km pour des câbles électriques usuels.
- Insensibilité aux perturbations électromagnétiques: les fibres optiques sont immunes aux parasites électromagnétiques, et elles-mêmes n'émettent aucune radiation.
- N'est pas affecté par l'interférence car elle ne génère pas des signaux électriques
- Sécuriser ce système ne permet pas la mise en écoute

I-2-5 Inconvénients de la fibre optique :

- La difficulté de raccordement.
- Coût d'exploitation élevé.

I-2-5 Les applications usuelles de la fibre optique :

I-2-5-1 Les télécommunications [17]:

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

C'est l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important, et a le plus d'avenir. Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300000 pour la fibre optique. Les fibres optiques sont alors utilisées en particulier pour les réseaux à haut débits de l'ordre du gigabit par seconde (câbles transatlantiques) avec une atténuation très faible et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s.

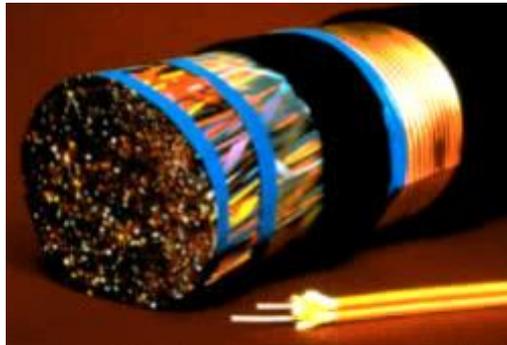


Figure (I-11): Un câble coaxiale et une paire de fibre.

I-2-5-2 La médecine :

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Pour le diagnostic, un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. Cette lumière est réfléchiée par les organes internes et est captée par un autre câble de fibres optiques qui achemine cette lumière vers un système d'imagerie vidéo. Il est donc possible d'avoir un aperçu de grande qualité de ce qui se passe dans le corps, et ce, en temps réel. Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie.



Figure (I-11) : Un endoscope.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

Pour une intervention, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de pulvériser un canal rénal, découper une tumeur, réparer une rétine...



Figure (I-13) : Chirurgie.

Ces interventions sont moins complexes, moins dangereuses et moins invasives que la chirurgie traditionnelle. De plus, puisqu'elles ne nécessitent le plus souvent, qu'une anesthésie locale, le patient peut subir l'intervention et retourner chez lui, la même journée.

L'application de ces techniques de diagnostic et de traitement a donc eu une incidence importante sur le plan économique.

I-2-5-3 Les capteurs de température, de pression,... [18]:

Un domaine où la fibre optique a trouvé une application importante, est celui de la mesure. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle sera, entre autres, légèrement déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subite par la fibre optique aura une influence sur la façon dont la lumière s'y propage.

Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer.

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

Ces capteurs ont l'avantage d'être très petits, très précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques.

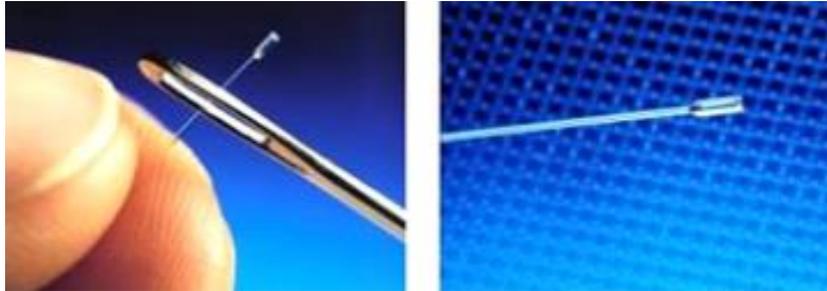


Figure (I-14): Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins.

I-2-5-3 L'éclairage :

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.



Figure (I-15): L'éclairage.

I-3 La liaison optique [19] :

I-2-1 Définition :

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est

Chapitre I: Généralités sur la liaison optique.

ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un convertisseur.

Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique (voir figure ci-dessous).

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

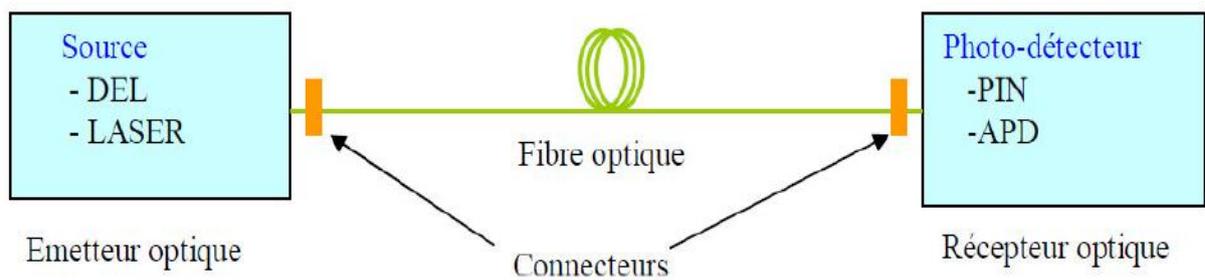


Figure (I-16): Schéma synoptique d'un système de transmission optique.

I-2-2-Emetteur optique :

Il existe deux types d'émetteurs utilisables pour la génération de signaux lumineux : les diodes LASER (DL) et les diodes électroluminescentes (LED). Ces deux matériaux présentent des avantages et des inconvénients et chacun s'adapte à un type de multiplexage. La figure suivante représente le symbole de la source optique.

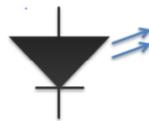


Figure (I-17): Symbole de la source optique.

I-2-2-1 Les diodes électroluminescentes (LED) :

Sont des composants bons marchés mais elles ne permettent pas l'émission de signaux à des débits trop élevés et elles émettent un signal sur plusieurs longueurs d'onde à la fois,

I-2-2-2 LASER :

De son côté, le Laser coûte beaucoup plus cher et nécessite une certaine attention du fait qu'il chauffe beaucoup. Cependant, il est plus performant que les LED car il n'émet que sur une seule longueur d'onde donnée et le signal émis est beaucoup plus puissant.

I-2-3 La modulations :

On a deux méthodes distinctes pour moduler les ondes optiques destinées aux communications : la modulation directe, dans ce cas c'est la source elle-même qui fait varier sa sortie, et la modulation extérieure, un modulateur est alors situé dans le faisceau de sortie. Dans les deux cas, l'alimentation électrique nécessaire doit être réduite le plus possible, les principaux formats de modulation d'amplitude sont le format **RZ** (Return-to-Zéro) et le format **NRZ** (Non-Return-to-Zéro).

I-2-4 Récepteur optique

Le récepteur optique est un dispositif qui permet d'extraire l'information du signal optique reçu de la fibre; il est constitué en général de quatre parties essentielles : un photodétecteur ou photodiode, un convertisseur courant tension, un amplificateur et un circuit de traitement de l'information.

I-2-4-1 Photodétecteur [20] :

Le rôle du photodétecteur, qui peut être une diode PIN ou diode à avalanches, est de convertir le signal lumineux, reçu de la fibre, en un signal électrique en lui apportant le minimum de dégradation ; il se comporte comme un capteur et un générateur de courant . La sensibilité, le courant d'obscurité et le temps de réponse sont des paramètres importants qui le caractérisent, ils dépendent du matériau de construction et de sa structure. Le photodétecteur est une diode à jonction qui produit un courant en fonction de l'éclairement reçu. La figure suivante représente son symbole.

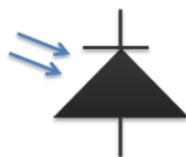


Figure (I-18): Symbole du Photodétecteur.

I-3 Critères de qualité d'une transmission [21] :

En vue de toutes les dégradations que peut subir le signal lors de son transport via la fibre optique, il s'est avéré nécessaire d'établir des critères pour juger la qualité d'une transmission. En pratique, ces critères sont évalués après détection du signal et sont surtout utilisés en laboratoire pour juger ses performances.

I-3-1 Diagramme de l'œil :

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme d'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Ce diagramme dépend du type de codage utilisé comme le montre la figure :

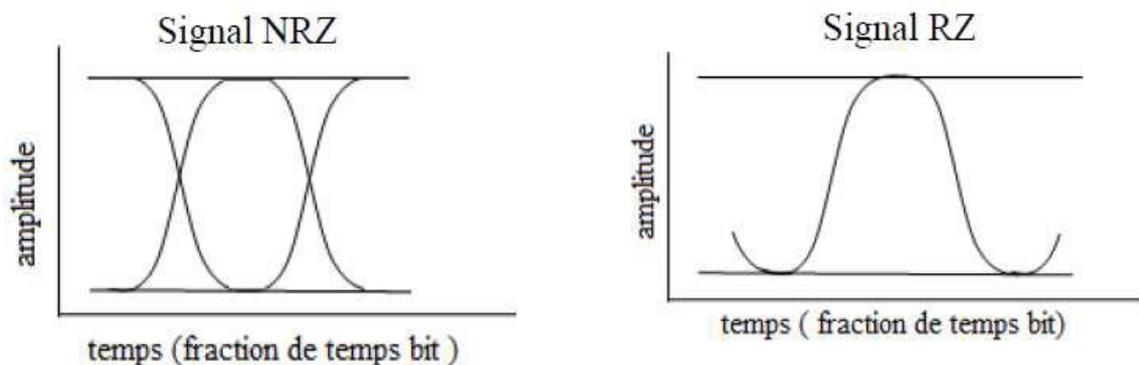


Figure (I-19): Diagrammes d'œil d'un signal codé NRZ, et un autre codé RZ.

Cette courbe permet de visualiser, dans le domaine électrique après détection à l'aide d'une photodiode, la qualité du signal en termes :

- ❖ Interférences entre symboles qui sont la conséquence principale de l'élargissement temporel des impulsions du signal due à la dispersion ou d'autres problèmes.
- ❖ Bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission spontanée amplifiée sur le signal tout au long de son parcours dans la liaison.
- ❖ Gigue temporelle provoqué par la dispersion de mode de polarisation mais également du couplage entre les impulsions et le bruit d'émission spontanée amplifiée.

I.3.2 Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q [22]:

Le facteur Q, ou facteur de qualité, est un critère de qualité d'un signal optique. Il est obtenu à partir des statistiques de bruit (moyennes et écarts-types) des niveaux « 1 » et « 0 » du signal à détecter.

Le facteur Q est défini par :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (I-7)$$

où I_1 et I_0 désignent les valeurs moyennes des niveaux « 1 » et « 0 » du signal, et σ_1 et σ_0 désignent leurs écarts-types respectifs.

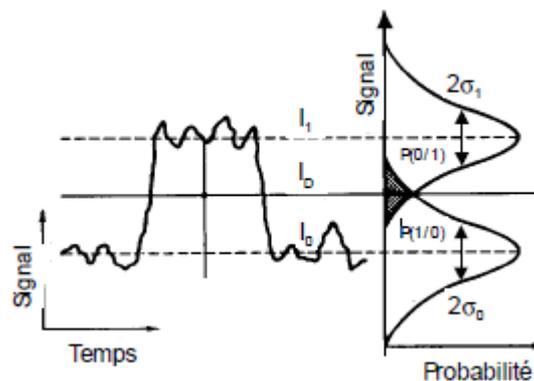


Figure (I-20): à gauche : trace temporelle du signal avec les niveaux moyens « 1 » et « 0 » (Respectivement I_1 et I_0), et le seuil de décision optimal (I_D). A droite : distributions des deux niveaux et écarts-types associés.

I.3.3 Le taux d'erreurs binaire (BER) :

Comme nous transmettons des données numériques, c'est-à-dire une succession de « 0 » et de « 1 », le critère le plus intuitif quant à la caractérisation de la qualité du signal transmis est le taux d'erreurs binaire, ou BER (Bit Error Ratio). Du fait du bruit et des effets de propagation, le signal se déforme et il peut arriver qu'un « 1 » soit détecté en lieu et place d'un « 0 » ou réciproquement, si le signal à détecter passe de l'autre côté du seuil de décision. Le BER est le rapport du nombre d'erreurs de transmission, c'est-à-dire du nombre de fois où un « 1 » a été détecté à la place d'un « 0 » ou vice-versa, sur le nombre total de bits transmis.

$$TEB=BER = \frac{\text{nombre d'erreurs détectées}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (I-8)$$

I-4 Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre l'historique de la fibre optique et l'innovation qu'elle a apporté aux différents domaines scientifique. Puis on a exploité son intégration dans le domaine de la télécommunication. On a cité aussi, les différentes caractéristiques d'une liaison optique et on a invoqué les critères qui servent à qualifier une liaison optique de transmission.

**Chapitre II : Extraits du rapport de stage
pratique chez ALGERIE TELECOM.**

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

II-1 L'entreprise d'accueil ALGERIE TELECOM :

C'est le premier opérateur Algérien en téléphonie et télécommunication. Il est détenteur d'un programme de développement d'un grand réseau de télécommunications très ambitieux, dans ce contexte, le chef de division commercial de communication et marketing a annoncé en 2018 :

- La mise en place d'un nouveau Back bon dorsale national qui assure le transport de l'information sur tout le territoire Algérien.
- Un nouveau système de facturation répond aux normes internationales pour optimiser le temps d'attente et la prise en charge adéquate des clients.
- Le raccordement de plus de 2000 bureaux de postes avec la fibre optique pour maitre fin aux coupures répétés.
- Le lancement du paiement électronique munis d'un système de sécurité rigide.
- La numérisation des établissements étatique pour rapprocher les services aux citoyens et faciliter l'obtention des documents requis, dans les banques, les assurances, les cours de justice, les hôpitaux,..., et arriver ainsi à la télémédecine, la téléjustice..etc
- Renforcement du réseau par 140000 km de Fibre optique pour plus de performances.
- Dans le cadre de la promotion des produits Algérien, ENIE de Bel Abbes a assuré la production des modems 4G et le groupe GETEX a pris en charge l'habillement officiel du staff de l'entreprise.

On note aussi les interactions avec le dispositif ANSEJ ou on compte plus de 200 micros entreprise de jeunes activent dans la sous-traitance et la mise en place des réseaux d'accès, et près de 6000 jeunes sont formés dans la nouvelle technologie FTTH (Fibre To The Home).

Cet environnement est établi pour contribuer à l'économie numérique, le commerce électronique, la recherche..etc et même au développement personnel de l'individu.

Notre stage pratique s'est déroulé au **CENTRE DE TRANSMISSION d'ALGERIE TELECOM** à la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Notre principale mission est l'étude des liaisons optiques et savoir les méthodes de contrôle et d'optimisation utilisés pour leurs liaisons.

Dans ce chapitre on a rédigé un extrait de notre rapport de stage remis, pour donner uniquement l'essentiel ; On l'a réparti sur deux volets :

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

- La première partie présente les techniques de transmission utilisée à ALGERIE TELECOM.
- La seconde partie explique la manipulation faite sur les fibres optiques. (connexion, soudure, test de fiabilité ...etc) et le contrôle de qualité avec les instruments appropriés

II-2 Les techniques de transmission :

En transmission, un des problèmes essentiels est d'adapter le signal transmis au support de communication. La transmission en bande de base (sans modulation) utilise le câble coaxial, la paire torsadée ou la fibre optique. Qui sont connues comme supports de transmission pour acheminer les trains d'impulsions. Par contre, la transmission sur canal téléphonique et la transmission à large bande qui fait appel à des techniques de modulation dont nous allons citer leurs principaux types.

II-2-1 Modulation numérique d'un signal analogique :

Nous distinguons trois types de modulation numérique : La modulation d'impulsions en amplitude (PAM), en durée (PDM), en position (PPM).

Nous comptons également une modulation numérique générant des impulsions codées : La modulation par impulsions codées (MIC).

II-2-1-1 Modulation par impulsions codées (MIC):

La modulation MIC (PCM pour Pulse Code Modulation) est une technique qui consiste à convertir un signal analogique en une série d'impulsions binaires codées.

Ainsi, pour réaliser un système de modulation MIC, trois opérations de base sont indispensables

- L'Echantillonnage, La Quantification, Le Codage.

II-3 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) [10] :

Le multiplexage WDM c'est au lieu de transmettre l'information sur une seule longueur d'onde, on peut augmenter le taux de transmission d'une fibre optique, et la chargée

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

avec plusieurs longueurs d'ondes, il suffit de disposer d'un émetteurs/ récepteurs capables de distinguer ces différentes longueurs d'ondes utilisées.

Le multiplex WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde utilisables, si cet intervalle est inférieur ou égal à 0.8 nm pour 100 GHz on parle de multiplexage DWDM.

La figure (II-1) représente un exemple d'une liaison optique utilisant le multiplexage WDM :

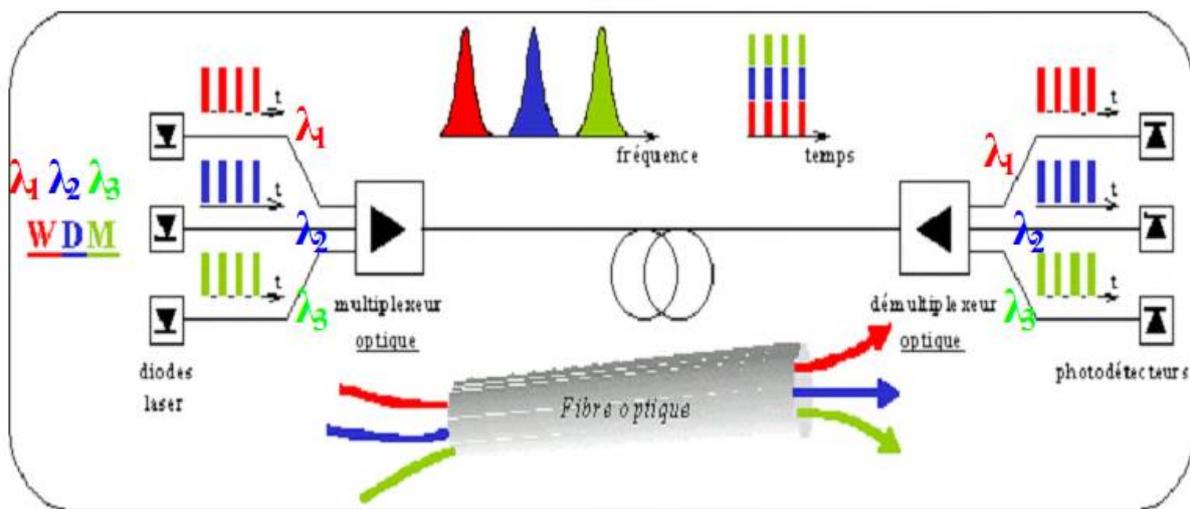


Figure (II-1): Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique avec trois longueurs d'ondes.

II-3-1 Multiplexage Dense WDM (DWDM) :

Pour un espacement plus faible où il y a plus de longueurs d'onde en propagation simultanée (plus de 32 longueurs d'onde). Les systèmes DWDM commerciaux espacent les longueurs d'onde d'environ 0,8 nm (100 GHz), 0,4 nm (50 GHz) voire 0,1 nm (12,5 GHz). Il est ainsi possible de combiner 160 longueurs d'onde optiques et plus. [16]

La figure (II.2) présente l'espacement de 0.8 nm (1550nm) pour la technique DWDM, qui transmet 128 canaux.



Figure (II-2): L'espacement des longueurs d'onde pour la technique Dense WDM.

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

C'est ce qui est utilisé actuellement à ALGERIE TELECOM, Un multiplexeur /Démultiplexeur DWDM à 100 Gbits/s.

II-4 Les techniques de raccordement et de câblage [23] :

Le raccordement d'une fibre optique c'est sa connexion à une autre fibre. Il a un impact direct sur les performances du réseau et sur la facilité d'intervention lors de la maintenance. Il doit être fait, en suivant une méthodologie et des règles d'art associées

II-4-1 Préparation du câble :

On procède selon les étapes suivantes :

1- Dégainer la gaine extérieure du câble.

2- Couper le kevlar ou fil d'aramide.

3- Détuber les tubes ou microgaines à la main ou à la pince.

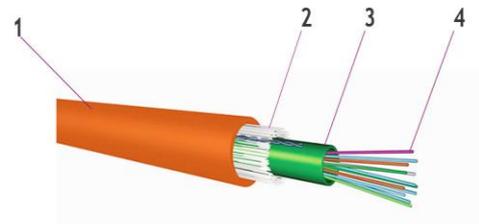


Figure (II-3): Préparation du câble des fibres optiques.

Les fibres optiques individuelles sont logées dans une seule gaine remplie de « gel », ce qui rend le câble étanche dans les installations horizontales et verticales.

4- Dégraisser le gel à l'aide du dégraissant, ou d'une lingette spécifique.

- Matériel nécessaire pour réaliser cette opération :

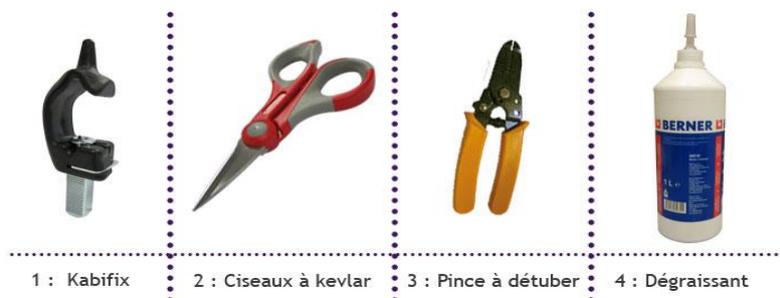


Figure (II-4): Matériel nécessaire pour la préparation.

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

Après la récupération de la fibre optique on ensuite à sa préparation.

II-4-2 Préparation de la fibre optique :

II-4-2-1 Dénudage :-Matériel requis : pince à dénuder.



Figure (II-5): Pince à dénuder.

- A l'aide de cette pince on prépare la fibre c-à-d, ôter les gaines de 900 μm et de 250 μm pour une longueur de dénudage de 30 à 40 mm.

II-4-2-2 Nettoyage : -Matériel requis : lingette non pelucheuse, un distributeur d'alcool: isopropylique dénaturé à 99% qui permet de nettoyer parfaitement la fibre sans laisser aucun résidu.



Figure (II-6): Un distributeur.

On trempe la lingette d'alcool puis on la passe, sur la fibre, il existe aussi des lingettes pré saturées d'alcool. Voir figure (II-7°).



Figure (II-7): Lingettes pré saturées d'alcool.

II-4-2-3 Clivage : Matériel requis : la cliveuse FC-7.

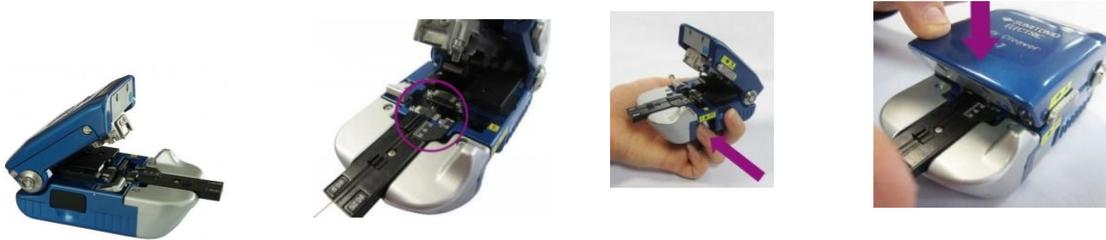


Figure (II-8): Clivage avec la cliveuse FC-7.

Les étapes à suivre :

- 1– On positionne la fibre en respectant les longueurs de clivage.
- 2– On arme la cliveuse en enfonçant la pièce coulissante.
- 3– On appui sur le couvercle : la fibre se coupe et la chute est recueillie dans le récepteur amovible.

II-4-2-3 Soudage :

II-4-2-3 -1 Étalonnage d'arc :

On réalise un test d'arc pour ajuster automatiquement la puissance et la position de la ligne centrale de fusion.

Cela permet de prendre en compte :

- les conditions environnementales (Pression, humidité, température).
- les caractéristiques des fibres (composition, excentricité des cœurs, taille des cœurs etc...)
- la qualité des électrodes

Cette étape est primordiale et vivement conseillée lors de l'allumage de la soudeuse, avant de démarrer toute opération de raccordement.



Figure (II-9): La soudeuse.

II-4-2-3-2 Soudure : On doit faire :

- 1 – Le choix du mode de soudure.
- 2– Le choix du mode de four (taille de la protection d'épissure : 40 ou 60 mm).
- 3– Mise en place de la protection d'épissure.
- 4– Mise en place des fibres préparées (dénudées, nettoyées et clivées) dans la soudeuse.
- 5 – Lancement du cycle de fusion.

II-4-2-3-3 Evaluation de la qualité de soudure :

La qualité d'une soudure se base sur deux critères :

- L'estimation de perte affichée par la soudeuse qui doit être inférieure à 0.1 dB.
- Le contrôle visuel de la soudure.

Attention ! La valeur réelle de la perte de soudure est celle donnée par le réflectomètre.

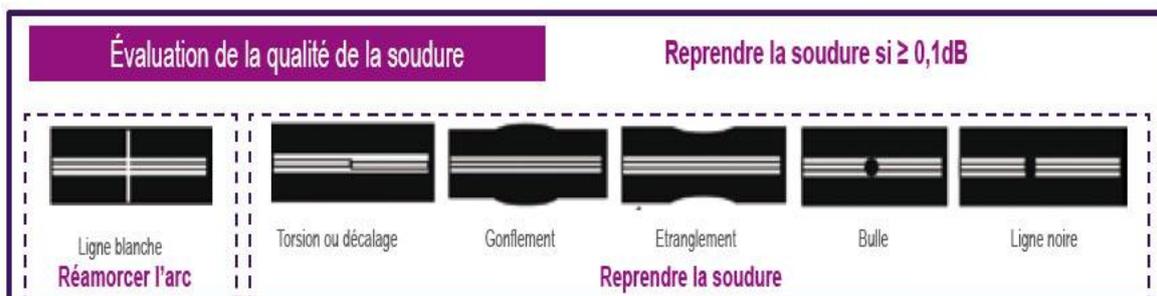


Figure (II-10): Evaluation de la qualité de la soudure.

II-4-2-3 -3-1 Test en traction :

A l'ouverture du capot, la soudeuse exerce une force sur les deux fibres pour tester la résistance du point de fusion. Si la soudure casse, il faut refaire un étalonnage d'arc. Si la casse persiste après recalibrage de l'arc, le problème provient généralement du vieillissement des électrodes. Il est alors conseillé de les remplacer.

II-4-2-3 -3-2 Evaluation de la protection d'épissure :



Figure (II-11): Evaluation de la protection d'épissure.

1. – On ramène la protection d'épissure au niveau du point de fusion en prenant soin de bien le centrer.
2. – On positionne la protection d'épissure dans le four en tendant les fibres pour que le capot du four se referme automatiquement.
3. – Après 30 sec de rétreint, le ventilateur se met en route pour refroidir la protection d'épissure.
4. – On laisse refroidir le smoove sur le support de manchon thermorétractable situé à l'arrière de la soudeuse.

Attention On ne doit pas toucher le smoove pendant cette opération pour ne pas créer de contrainte sur la fibre.

II-5 Instrument de control des liaisons de fibres optiques :

II-5-1 Mesure de perte de puissance optique :

On utilise un mesureur de puissance (ou power mètre qui peut indiquer :

- la valeur réelle de la perte due à l'insertion d'un composant sur la liaison.
- la valeur globale de la perte sur la liaison,
- la valeur de référence pour l'utilisateur du réseau.

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

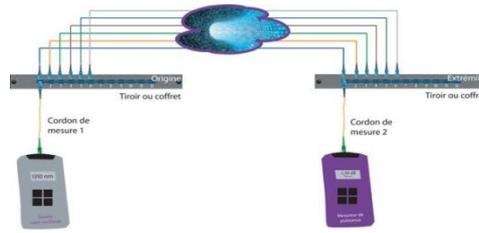


Figure (II-12): Mesure de puissances avec le power mètre.

On a injecté un débit connue de lumière :-10 dB, à une extrémité d'une fibre, et on a mesuré le débit de lumière sortante de la fibre à l'autre extrémité, on a obtenu : -10 .14 dB. La différence entre la valeur injectée et la valeur mesurée, nous a donné l'atténuation du canal optique. Qui est calculée par : $-10 + 10.14 = 0.14\text{dB}$.

C'est la manière la plus précise pour mesurer l'affaiblissement d'un canal.



Figure (II-13): Mesure de l'atténuation avec les powers mètres.

II-5-2 Réflectomètre OTDR (Optical Time Domain reflectometer) [24]:

L'OTDR est un outil précieux pour toute personne fabrique, installe et entretient des fibres optiques. C'est un instrument utilisé pour créer une image virtuelle d'une liaison optique. Les données analysées fournissent des informations sur la fibre, ainsi que sur les composants optiques passifs tels que les connecteurs, les épissures, les coupleurs et les multiplexeurs présents tout au long de la liaison.



Figure (II-14): Réflectomètre optique portable OTDR.

Le chemin optique parcouru dans la fibre par la méthode OTDR est déterminée en fonction du temps de vol de l'impulsion:

$$L = \frac{c \cdot t}{n} \quad (II.1)$$

Où : t est le temps de vol dans la fibre.

c : est la vitesse de lumière dans le vide.

n : est l'indice de groupe de la fibre optique.

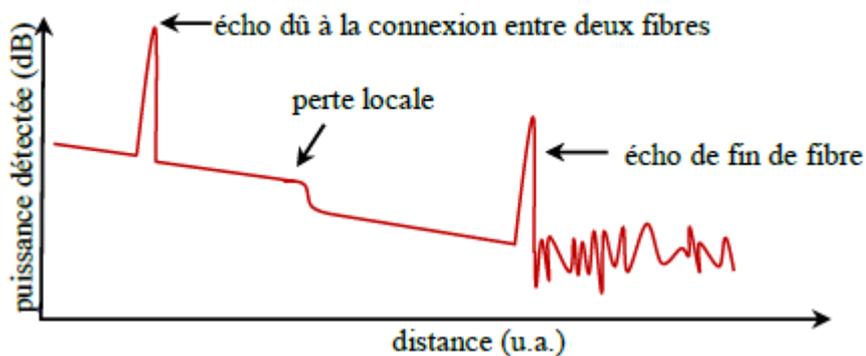


Figure (II-15): Courbe caractéristique d'un OTDR.

Lorsqu'un défaut apparaît dans une fibre, résultant de micro-courbures, de micro déformations, etc., il apparaît une descente de la courbe à l'endroit concerné, mais lorsque

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

la distance entre deux défauts est trop petite, il ne peut pas les discernés. La résolution de mesure δz du système OTDR est déterminée par la largeur τ des impulsions laser injectées dans la fibre, par l'intermédiaire de la relation :

$$\delta z = \tau \frac{v_g}{2} \quad (\text{II.2})$$

Où : $v_g = c/n$ la célérité de l'onde sur l'indice de réfraction.

II-6 Mesures effectués sur quelques liaisons optiques :

Dans le but d'étudier les liaisons optiques déployées par Algérie Telecom on a inspecté dans cette partie trois liaisons :

- ❖ La liaison Bordj Bou Arréridj (BBA) – Beni Mansour.
- ❖ La liaison BBA- M'sila.
- ❖ La liaison Hammadia- Belimour.

II-6-1 La liaison optique : BBA- Beni Mansour:

Pour commencer, on a fait le choix du mode manuel. Pour ajuster le réflectomètre.

II-6-1 -1 Les paramètres de la liaison optique BBA- Beni Mansour:

Le tableau suivant définit les paramètres requis pour la liaison de BBA –Beni Mansour :

Longueur d'onde	1550 nm	Temps acquisition	30 s
Plage	36 km	Largeur impulsion	1 s
Indice de réfraction	1.46	Seuil perte d'épaisseur	>0.16
Débit émis	220 Géga.b/s	Nbr des événements	27
Bilan des pertes	16.510 db	Seuil de réflectance	>-30

Tableau (II-1): Les paramètres de la liaison optique **BBA- Beni Mansour.**

Le seuil d'épaisseur est fixé à plus de 0.16, et le seuil de réflectance à plus de -30, comme il est indiqué par le tableau (II-1). Pour cette liaison on a obtenu 27 événements pour une plage de 36 km, le bilan des pertes est égale à : 16.510db.

II-6-1-2 La trace d'OTDR:

Avec les paramètres précédents du tableau, l'OTDR affiche la trace illustrée sur la figure suivante:

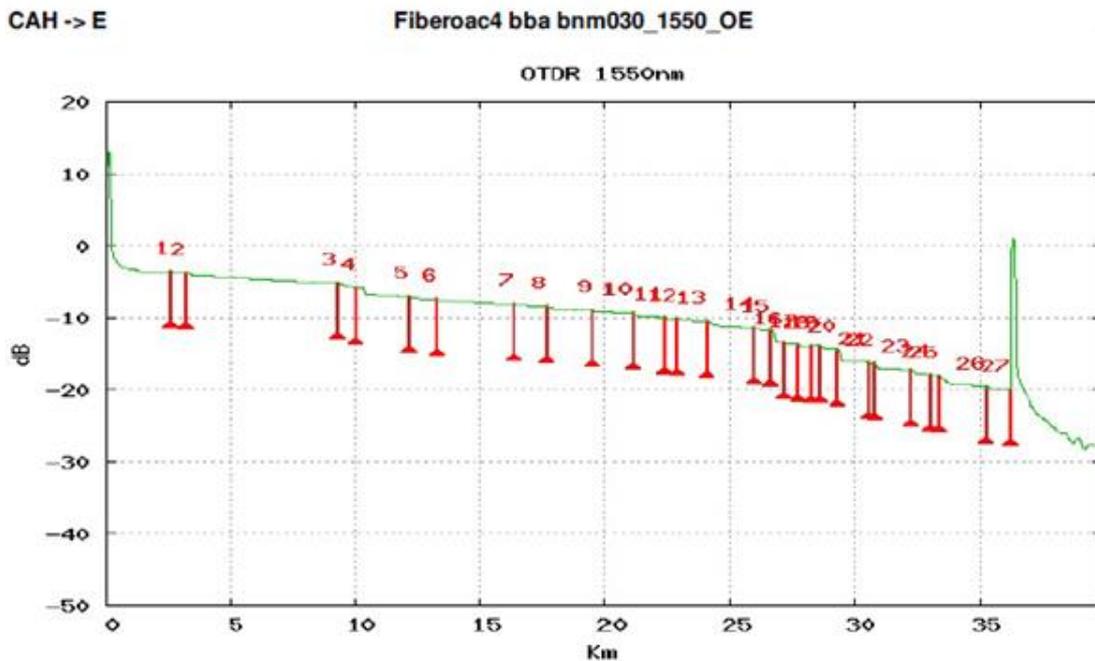


Figure (II-16): La trace de la liaison optique **BBA- Beni Mansour**.

Les événements illustrés sur la trace de l'OTDR présentent des anomalies provoquant l'atténuation du débit, la distance entre 4km et 9km présente une liaison sans événements, par contre la distance entre 25km et 34km présente un enchaînement sérieux des événements atténuant le débit, ça est dû à la géographie du terrain et les difficultés de mise en place de la liaison, le pic du dernier événement est dû à la réflectance du bout de la fibre.

II-6-1 -3 Le tableau de paramètres des événements :

L'OTDR nous donne aussi un tableau détaillé de paramètres de tous les événements :

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

Evt		Distance	Affaib.	Réfect.	Bilan
		Km	dB	dB	dB
1	■	2.634	0.087		0.312
2	⊕	3.206	0.209	-66.73	0.410
3	■	9.333	0.341		1.883
4	■	10.007	0.885		2.359
5	■	12.192	0.179		3.689
6	■	13.315	0.084		4.094
7	■	16.378	0.078		4.783
8	■	17.685	0.154		5.117
9	■	19.564	0.060		5.641
10	■	21.096	0.306		6.001
11	■	22.341	0.113		6.589
12	■	22.872	0.103		6.819
13	■	24.098	0.470		7.167
14	■	25.956	0.173		8.017
15	■	26.650	1.702		8.343
16	■	27.120	0.123		10.088
17	■	27.712	0.212		10.316
18	■	28.264	-0.184		10.629
19	■	28.611	0.265		10.493
20	■	29.326	1.527		11.002
21	■	30.571	0.229		12.753
22	■	30.817	0.581		13.002
23	■	32.246	0.510		13.858
24	■	33.022	0.107		14.474
25	■	33.390	1.000		14.709
26	■	35.289	0.284		16.176
27	⊕	36.249		> -9.30	16.510

Tableau (II-2): Les données numériques de la trace de l'OTDR.

Les 11 points mentionné en vert ont une perte d'épissure inférieure au seuil : 0.16, par contre les points en rouge restante, présentent une perte d'épissure supérieure au seuil.

La réflectance donnée au deuxième point : -66.73 a dépassé le seuil de : plus -30 par contre le point 27 est inférieur au seuil.

On calcule les intervalles qui séparent chaque point de son voisin et on regroupe les résultats sur le tableau suivant :

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

Nbr des evt	1	2	3	4	5	6	7	8
Distance	2.634	0.572	6.127	0.674	2.185	1.123	3.063	1.307
Nbr des evt	9	10	11	12	13	14	15	16
Distance	1.879	1.532	1.245	0.531	1.226	1.858	0.694	0.47
Nbr des evt	17	18	19	20	21	22	23	24
Distance	0.592	0.552	0.347	0.715	1.245	0.246	1.429	0.776
Nbr des evt	25	26	27					
Distance	0.368	1.899	0.96					

Tableau (II-3): Calcul des intervalles.

Ces intervalles nous intéressent, pour faire notre simulation développée dans le troisième chapitre.

II-6-2 Liaison optique : BBA- M'SILA :

II-6-2 -1 Les paramètres de la liaison optique BBA- M'SILA :

Longueur d'onde	1550 nm	Temps acquisition	20 s
Plage	80 km	Largeur impulsion	1 s
Indice de réfraction	1.46800	Seuil perte d'épissure	>0.16
Débit	600 Gb/S	Nbr des evt	18
Bilan	22.802 db	Seuil reflectance	>-30

Tableau (II-4): Les paramètres de la liaison optique BBA- M'SILA.

II-6-2 -2 la trace d'OTDR:

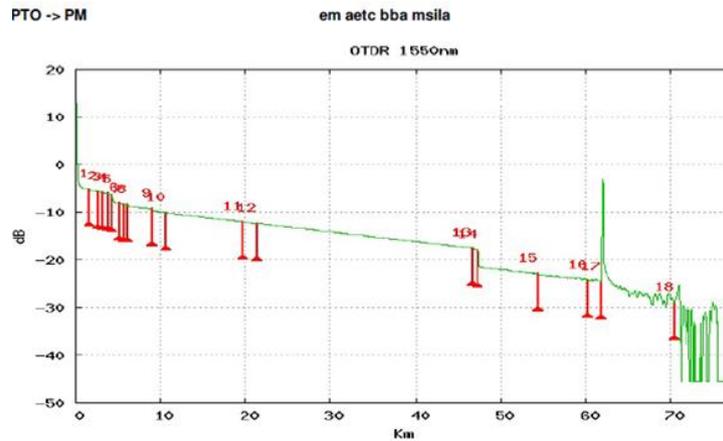


Figure (II-17): La trace de la liaison optique **BBA- M'sila**.

Pour ces événements illustrés sur la trace de l'OTDR, des anomalies persistent provoquant l'atténuation du débit mais en comparant avec la liaison précédente, le nombre des événements était minime. Le segment entre 0km et 6km présente un enchaînement serrés des événements atténuant la puissance, ça est dû toujours à la géographie du terrain et les difficultés de mise en place du réseau, par contre la distance entre 21km et 47km présente une liaison sans évènements, c'est dû aux bonnes conditions géographiques. On remarque un évènement réfléchissant à la distance 62km sous forme d'un pic il peut être une discontinuité abrupte de l'indice de réfraction, une présence de connecteur défectueux, une fissure ou bien une épissure par fusion de mauvaise qualité...suivie par une grande distabilité. A la fin de la fibre, on remarque une mauvaise réflectance traduit par la chute de la courbe.

II-6-2 -3 Le tableau des paramètres des événements :

Evt	Distance Km	Affaib. dB	Réfléct. dB	Bilan dB
1	1.634	0.247		0.028
2	2.696	0.065		0.469
3	3.165	0.090		0.669
4	3.839	0.148		0.932
5	4.309	1.552		1.167
6	5.248	0.226		2.907
7	5.698	0.091		3.234
8	6.065	0.184		3.354
9	9.026	0.454		4.166
10	10.762	0.128		4.951
11	19.809	0.134		6.829
12	21.361	-0.090		7.270
13	46.664	0.204		12.387
14	47.277	3.576		12.739
15	54.363	0.423		17.765
16	60.306	0.097		18.923
17	61.817	1.761	-7.72	19.321
18	70.414		-44.72	22.802

Tableau (II-5): Les données numériques de la trace de l'OTDR.

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

Par rapport au seuil de perte d'épissures le tableau indique presque la moitié des événements présentant une mauvaise connexion, ou les pertes dépassent le seuil de : 0.16 quand à la réflectance, le point 17 présente une grande réflectance.

On détermine la distance qui sépare chaque deux connecteur par soustraction. Ces données sont utilisées dans l'étude de simulation développées au troisième chapitre.

Nbr des evt	1	2	3	4	5	6	7	8
Distance	1.634	1.062	0.469	0.674	0.47	0.939	0.45	0.367
Nbr des evt	9	10	11	12	13	14	15	16
Distance	2.961	1.736	9.074	1.552	25.303	0.613	7.086	5.943
Nbr des evt	17	18						
Distance	1.511	8.597						

Tableau (II-6): Calcul des intervalles entre évènements.

II-6-3 La liaison Hammadia- Belimour:

II-6-3-1 Les paramètres de la liaison optique Hammadia- Belimour:

Longueur d'onde	1550 nm	Temps acquisition	10 s
Plage	20 km	Largeur impulsion	30 ns
Indice de réfraction	1.46800	Seuil perte d'épissure	>0.16
Débit	155Méga.b/s	Nbr des événements	6
Bilan de pertes	3.994 db	Seuil réflectance	>-30

Tableau (II-7): Les paramètres de la liaison optique Hammadia- Belimour.

II-6-3-2 La trace d'OTDR:

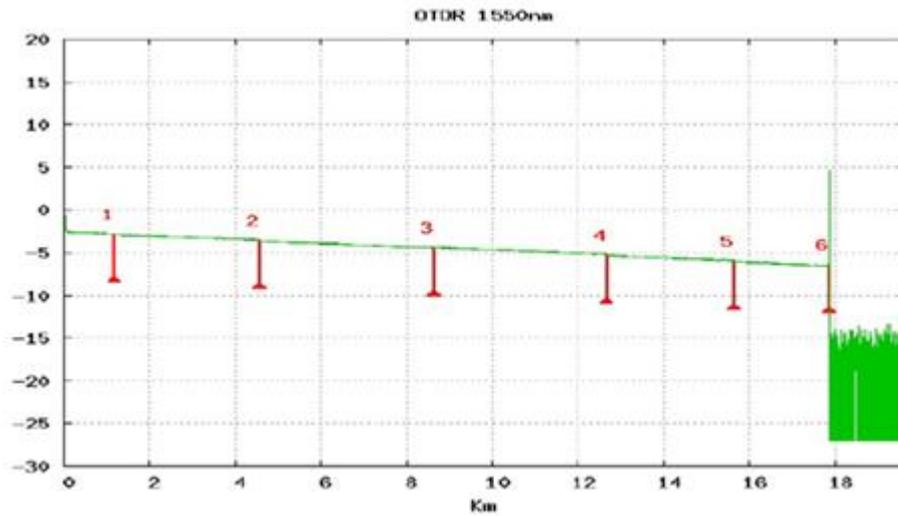


Figure (II-18): la trace de la liaison optique **Hammadia- Belimour**.

On remarque un nombre très réduit de connecteurs et aussi une très faible atténuation et aussi une bonne réflectance au bout de la fibre optique ce qui est illustré par la trace de l'OTDR.

Les données numériques de cette liaison sont illustrées sur le tableau suivant.

II-6-3 -3 Le tableau des paramètres des événements :

Evt		Distance	Affai.	Réfect.	Bilan
		Km	dB	dB	dB
1	■	1.198	0.109		0.213
2	■	4.574	0.138		0.925
3	■	8.651	-0.091		1.889
4	■	12.651	0.146		2.616
5	■	15.640	0.146		3.345
6	■	17.860		-42.59	3.994

Tableau (II-8): Les données numériques de la trace de l'OTDR.

L'épaisseur est restée inférieure au seuil de .16 et la réflectance est en dessus de -30

- Calcul des intervalles :

Nbr des evt	1	2	3	4	5	6
distance	1.198	3.376	4.077	4	2.989	2.22

Tableau (II-9): Calcul des intervalles.

Chapitre II : Extraits du rapport de stage pratique chez ALGERIE TELECOM

II-7 Conclusion :

On prenant en compte les réflectances et les épissures déterminées pour les trois liaisons étudiées et aussi le nombre des événements détectés dans chaque liaison on peut dire que les conditions géographiques ont un effet major, négatif sur la qualité des liaisons optiques. Plus qu'elles sont difficiles plus que la performance des liaisons diminuera, ce qui provoque des pertes évidentes en puissance. On peut ajouter d'autres facteurs c'est l'utilisation des équipements de performance limitée et aussi les travaux d'entretien des routes et des canalisations qu'ils n'ont jamais cessé.

Pour la dernière liaison qui relie Hammadia- Belimour, l'utilisation d'une fibre optique de telle qualité a réduit énormément les pertes, on a marqué :- 3.994 db sur une plage de 20km contrairement avec la liaison de BBA- Beni Mansour était :-10 db et la liaison de BBA-M'sila : -11.5db. On a constaté aussi que tous ses événements ont marqué des épissures dans les normes, inférieur à 0.16 et aussi cette fibre à présenter une forte réflectance qui est rentable pour la transmission.

Chapitre III : SIMULATION.

Chapitre III : SIMULATION

III-1 Introduction :

Notre objectif dans ce chapitre consiste à étudier les liaisons optiques traitées dans le chapitre II, dans notre stage pratique à ALGERIE TELECOM, et à trouver les paramètres compromis pour les optimisées à l'aide du logiciel de simulation OPTISYSTEM.

III-2 Présentation du logiciel Optisystem :

OptiSystem est un Logiciel conçu pour la conception, le test et l'optimisation, pratiquement de tout type de liaison optique. OptiSystem dispose d'un puissant environnement de simulation. Ses capacités peuvent être facilement étendues grâce à l'ajout de composants utilisateur et d'interfaces transparentes à une gamme d'outils largement utilisés. OptiSystem contient un composant MATLAB qui permet à l'utilisateur de l'appeler dans son environnement pour incorporer de nouveaux composants ou modèles au logiciel [25]. Voir figure (III-1).

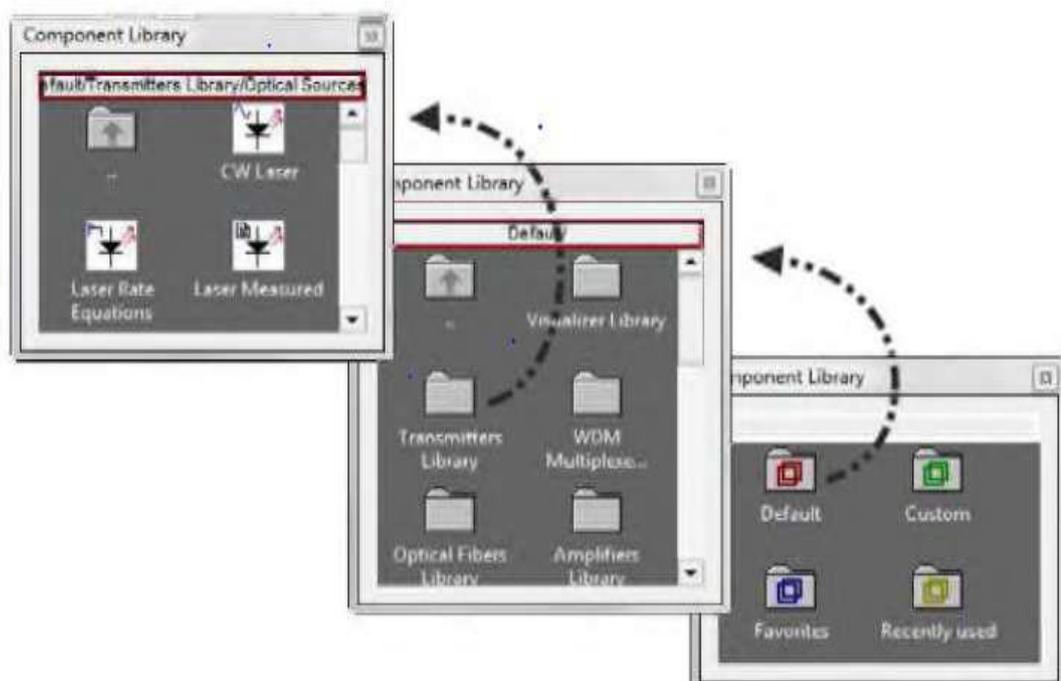


Figure (III-1): La bibliothèque des composants.

Chapitre III : SIMULATION

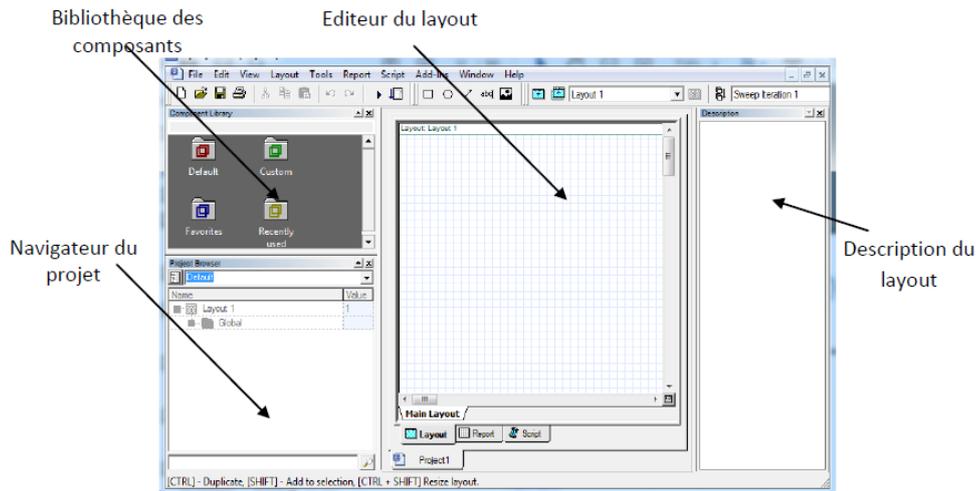


Figure (III-2): L'interface de l'OPYISYSTEM.

III-2-1 Principales caractéristiques du logiciel Optisystem :

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifique en les ajustant selon les paramètres des composants réels.
- La bibliothèque de composants permet de déduire des paramètres qui peuvent être mesurés à partir des équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
- Les outils de visualisation peuvent produire : le signal sonore, le diagramme de l'œil, le TEB...etc.

III-3 La simulation :

Dans cette partie nous avons fait la simulation avec Optisystem des liaisons optique : **BBA –Beni Mansour**, **BBA–M'SILA** et **Hammadia-Belimour**, étudiées dans le chapitre II. La conception des trois liaisons sous l'interface Optisystem est basée sur les données des tableaux (II-2-5-8).

Nous avons remplacé évènement par un connecteur représentant ses paramètres: la distance, l'atténuation...etc.

Chapitre III : SIMULATION

III-3-1 La liaison de BBA – BeniMansour :

III-3-3-1 Montage équivalent de la liaison de BBA – Beni Mansour :

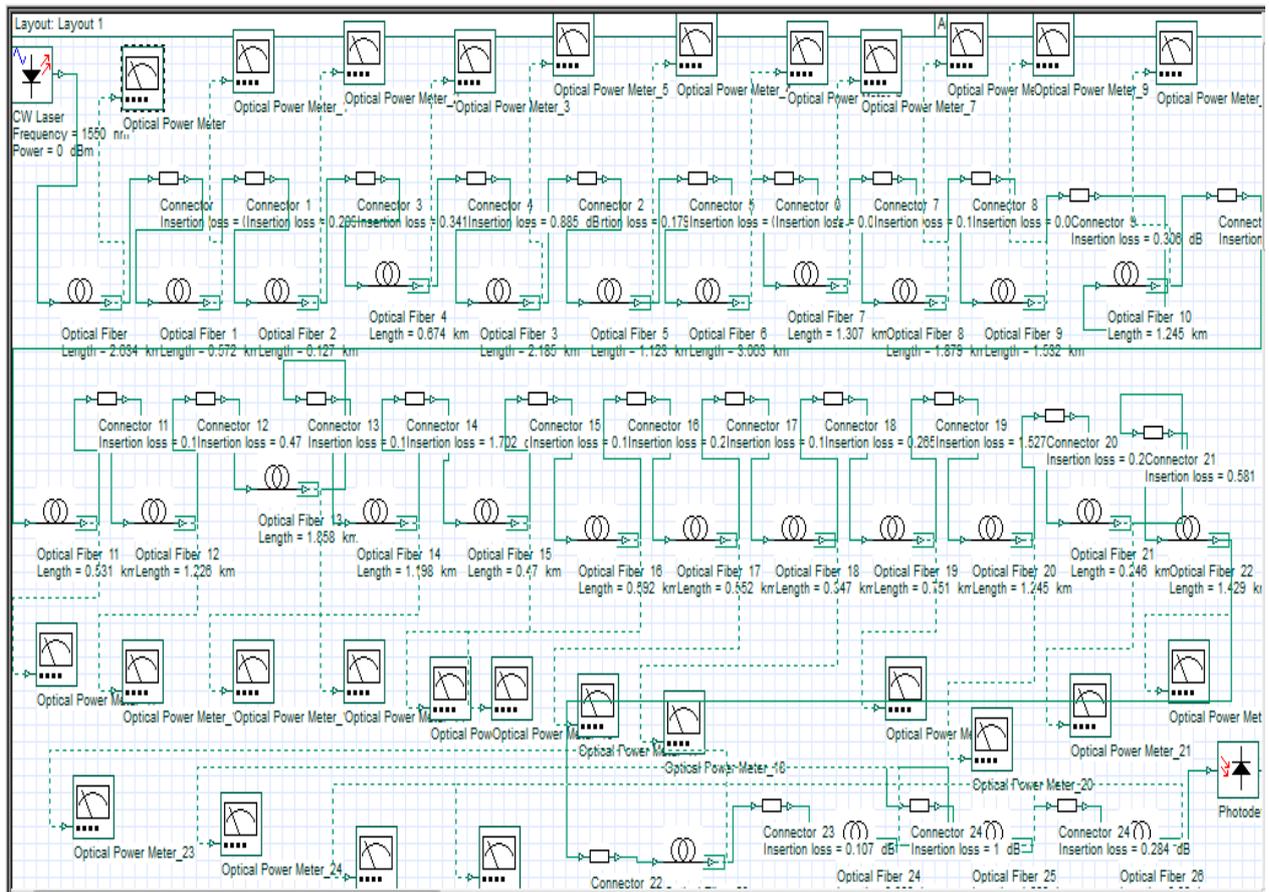


Figure (III-3): Le montage équivalent de la liaison BBA – Beni Mansour.

Les puissances de chaque connecteur, déterminées à partir du montage équivalent de la liaison BBA – Beni Mansour.

Connecteur :	La puissance de chaque segment :	Connecteur :	La puissance de chaque segment :
1		2	
3		4	
5		6	

Chapitre III : SIMULATION

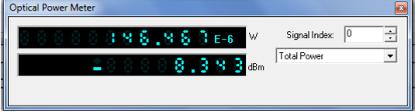
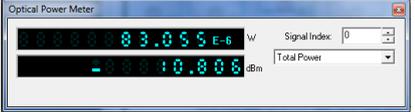
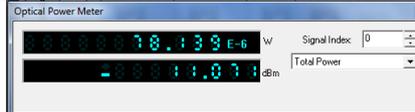
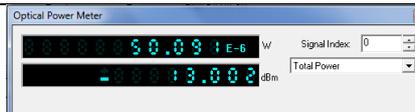
7		8	
9		10	
11		12	
13		14	
15		16	
17		18	
19		20	
21		22	
23		24	
25		26	
27			

Tableau (III-1): Les puissances déterminées à chaque connecteur de la liaison BBA – Beni Mansour.

Chapitre III : SIMULATION

III-3-2 La liaison BBA- M'sila :

III-3-2-1 Montage équivalent de la liaison de BBA – M'sila :

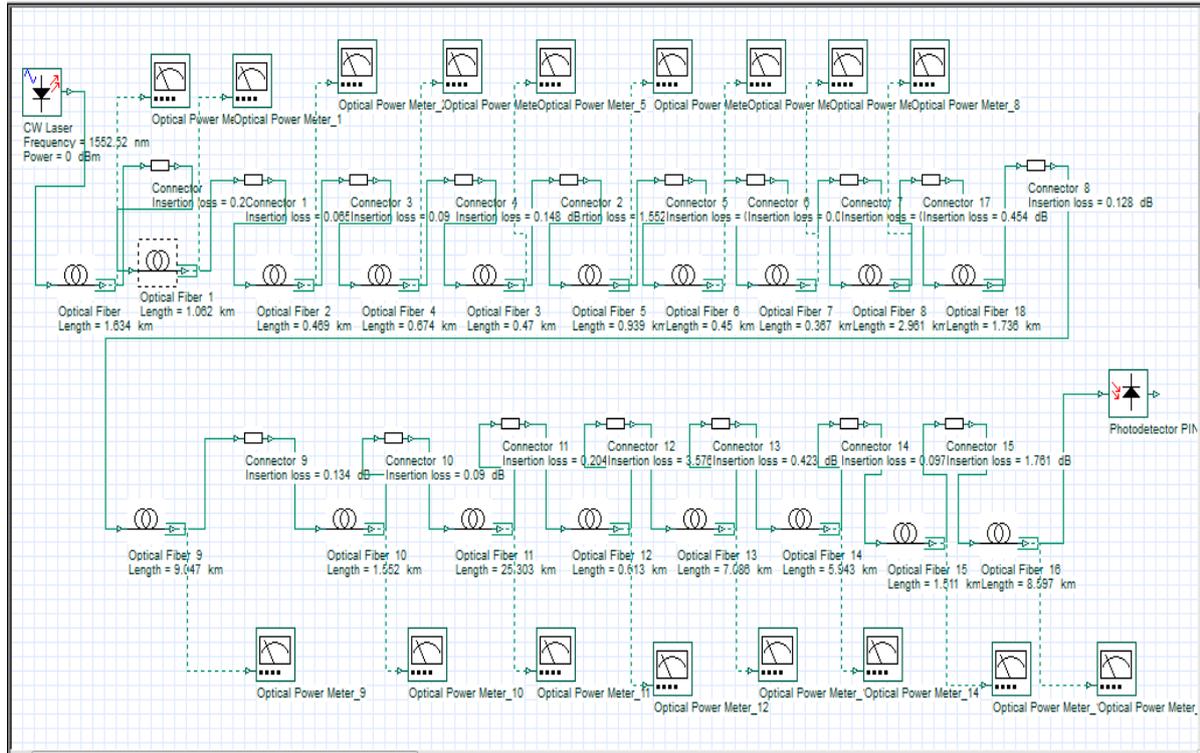


Figure (III-4): Le montage équivalent de la liaison BBA – M'sila

Les puissances obtenues par le montage équivalent de liaison BBA – M'sila sont mentionnées dans le tableau suivant :

Connecteur :	La puissance de chaque segment :	Connecteur :	La puissance de chaque segment :
1		2	
3		4	
5		6	

Chapitre III : SIMULATION

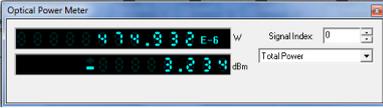
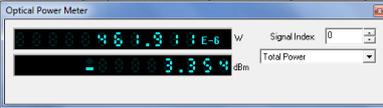
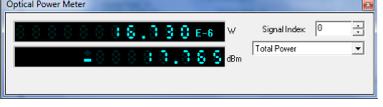
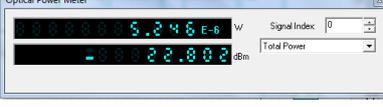
7		8	
9		10	
11		12	
13		14	
15		16	
17		18	

Tableau (III-2): Les puissances à chaque connecteur de la liaison BBA – M'sila.

III-3-3 La liaison Hammadia – Belimour :

III-3-3-1 Montage équivalent de la liaison de Hammadia – Belimour:

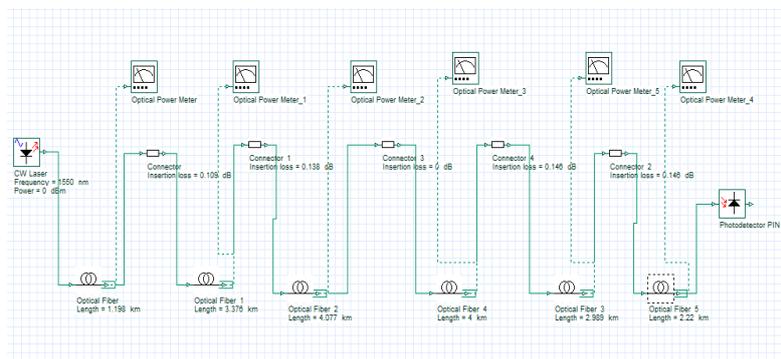


Figure (III-5): Le montage équivalent de la liaison Hammadia – Belimour.

Les puissances déterminées par le montage équivalent de la liaison Hammadia – Belimour :

Connecteur :	La puissance de chaque segment :	Connecteur :	La puissance de chaque segment :
1		2	

Chapitre III : SIMULATION

3		4	
5		6	

Tableau (III-3): Les puissances à chaque segment de la liaison Hammadia – Belimour.

III-3-3-2 Comparaison des résultats de simulation et de l'OTDR des puissances :

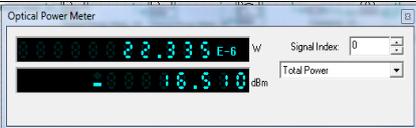
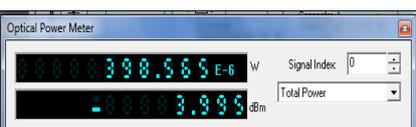
Liaison	OTDR (dbm)	Simulation
BBA-Beni Mansour	16.510	
BBA-M'sila	22.802	
Hammadia – Belimour	3.994	

Tableau (III-4): Tableau comparatif des résultats de simulation et de l'OTDR des puissances.

D'après le tableau précédent, on remarque que les puissances obtenues par la simulation sont identiques aux résultats donnés par l'OTDR.

Chapitre III : SIMULATION

III-3-4 Evaluation de qualité des liaisons optiques :

III-3-4-1 Le montage de mesure :

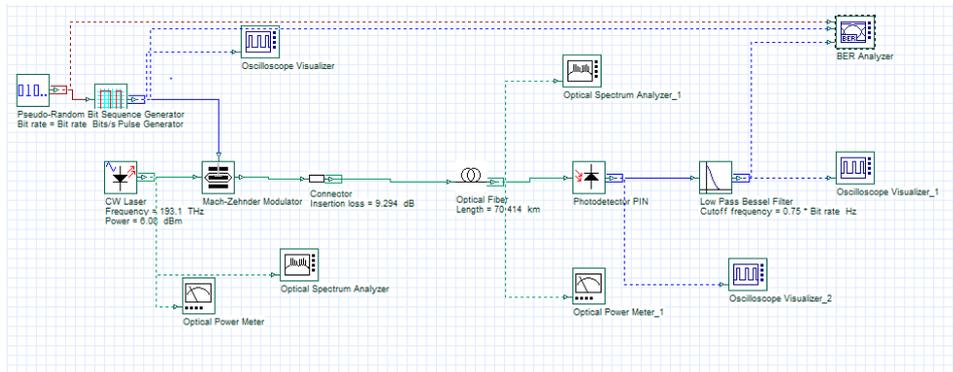


Figure (III-6): Le montage équivalent de la chaîne de transmission avec les appareils de mesures.

III-3-4-2 Etudes des signaux des liaisons dans le domaine temporel :

Dans cette partie nous allons évaluer les trois liaisons avec Optisystem par l'étude des signaux d'entrée, de sortie et de bruit ainsi que le signal de sortie après filtrage.

III-3-4-2-1 Paramètres des liaisons simulées:

Les paramètres :	BBA- M'sila	BBA- BeniMansour	Hammadia – Belimour
Débit d'émissions	600Gbits/s	220 Gbits/s	155 Mbits/s
La distance (Km)	70.414	36.249	17.860
L'atténuation moyenne (dB/Km)	0.188	0.1602	0.1937
Les pertes totales des joints (dB)	9.294	2.482	0.448

Tableau (III-5): Les paramètres de la liaison.

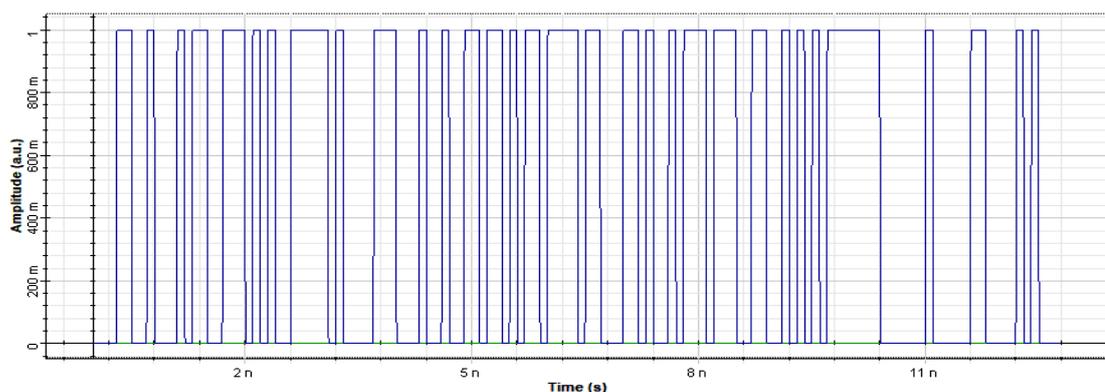
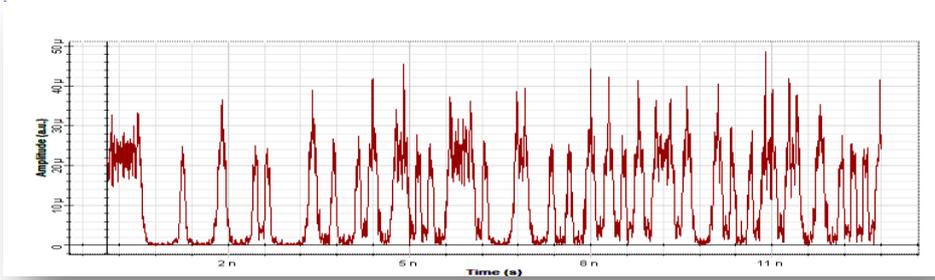
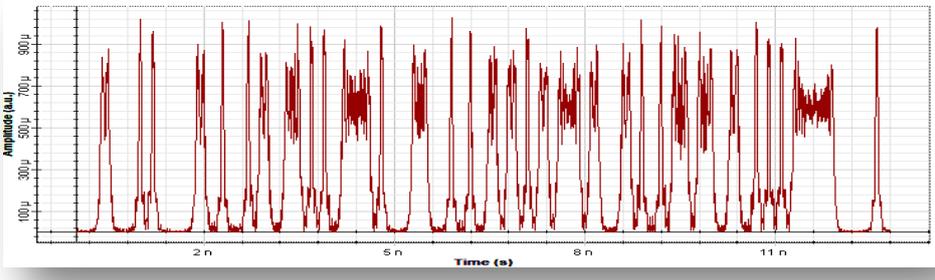
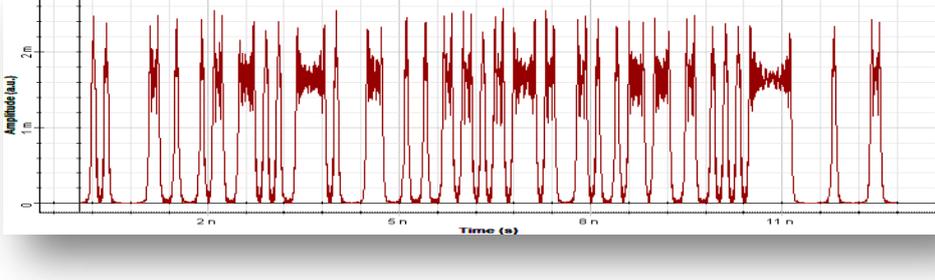


Figure (III-7): Le signal d'entrée.

Chapitre III : SIMULATION

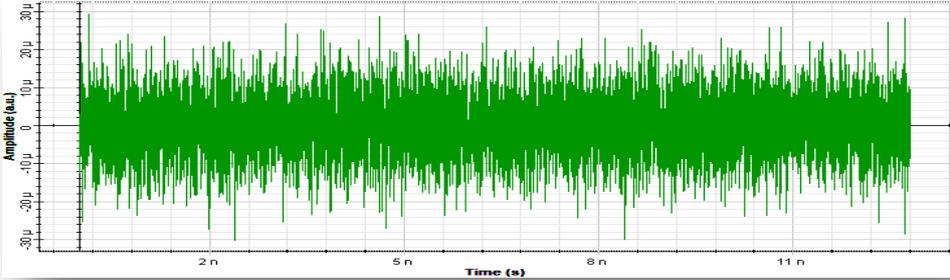
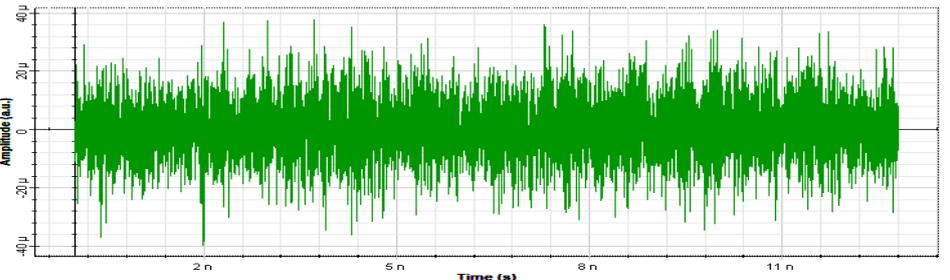
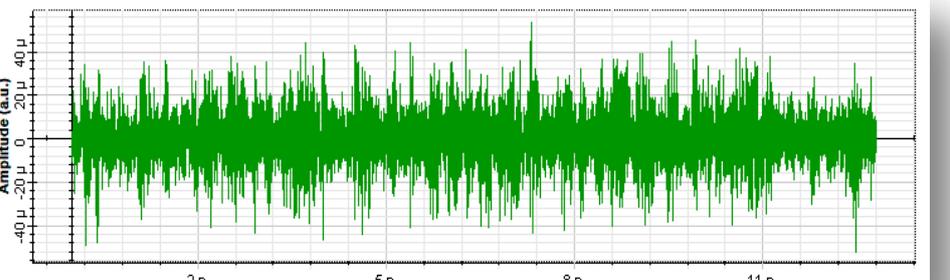
III-3-4-2-2 la visualisation des signaux dans le domaine temporelle :

III-3-4-2-2-1 La liaison BBA- Msila :

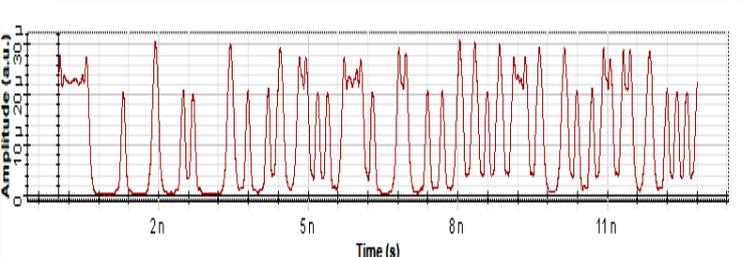
BBA- M'sila	 <p>The graph shows a signal with a peak amplitude of approximately 50 μ and a time axis from 0 to 11 ns. The signal exhibits a series of sharp, periodic pulses.</p>
BBA- BeniMansour	 <p>The graph shows a signal with a peak amplitude of approximately 90 μ and a time axis from 0 to 11 ns. The signal exhibits a series of sharp, periodic pulses.</p>
Hammadia – Belimour	 <p>The graph shows a signal with a peak amplitude of approximately 2 m and a time axis from 0 to 11 ns. The signal exhibits a series of sharp, periodic pulses.</p>

a- Le signal de sortie.

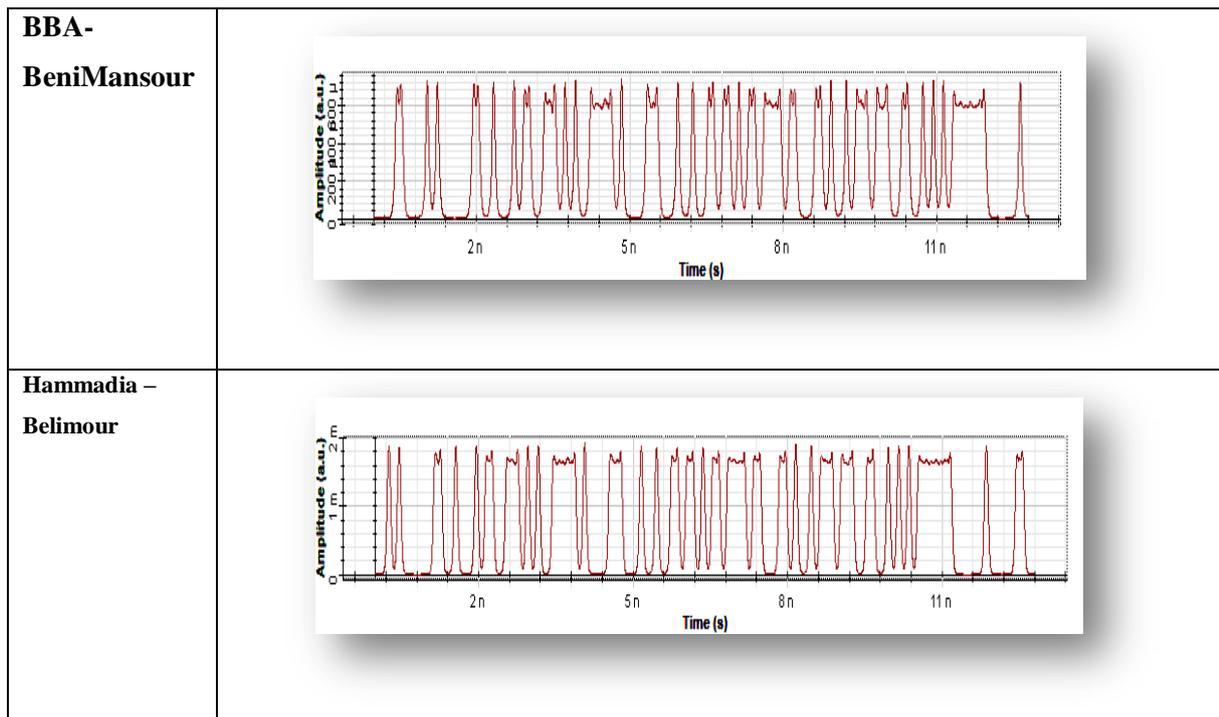
Chapitre III : SIMULATION

BBA- Msila	
BBA- BeniMansour	
Hammadia – Belimour	

b- Le signal de bruit.

BBA- Msila	
-------------------	--

Chapitre III : SIMULATION



c- Après filtrage.

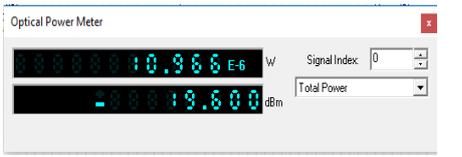
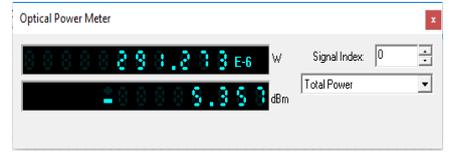
Figure (III-8): La visualisation des signaux dans le domaine temporelle des liaisons optiques.

III-3-4-2-2-4 Interprétation1 :

On comparant les signaux de sortie après filtrage, la première observation constatée, c'est que l'amplitude du signal s'est réduite surtout pour la liaison de BBA- M'sila, dont sa réduction était remarquable avec un bruit élevé causant la dégradation des impulsions.

III-3-4-2-2-5 La puissance optique à la sortie de chaque liaison :

Par simulation on a déduit les puissances totales des trois liaisons, elles sont illustrée dans le Tableau (III-5) si dessous, la liaison de Hammadia – Belimour a gardé une puissance très élevée vu sa petite distance par rapport aux autres liaisons, et aussi grâce à la bonne qualité de fibre utilisée (liaison récente).

<p>BBA- Msila</p>	
<p>BBA- Beni Mansour</p>	

Chapitre III : SIMULATION

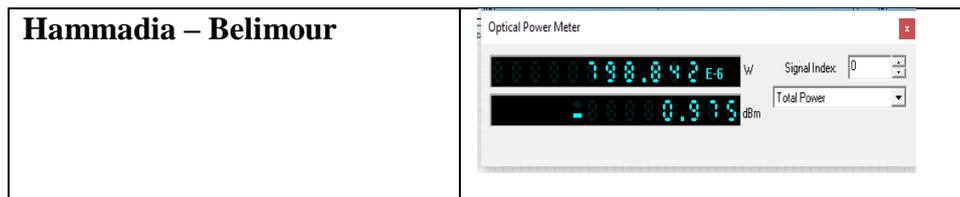
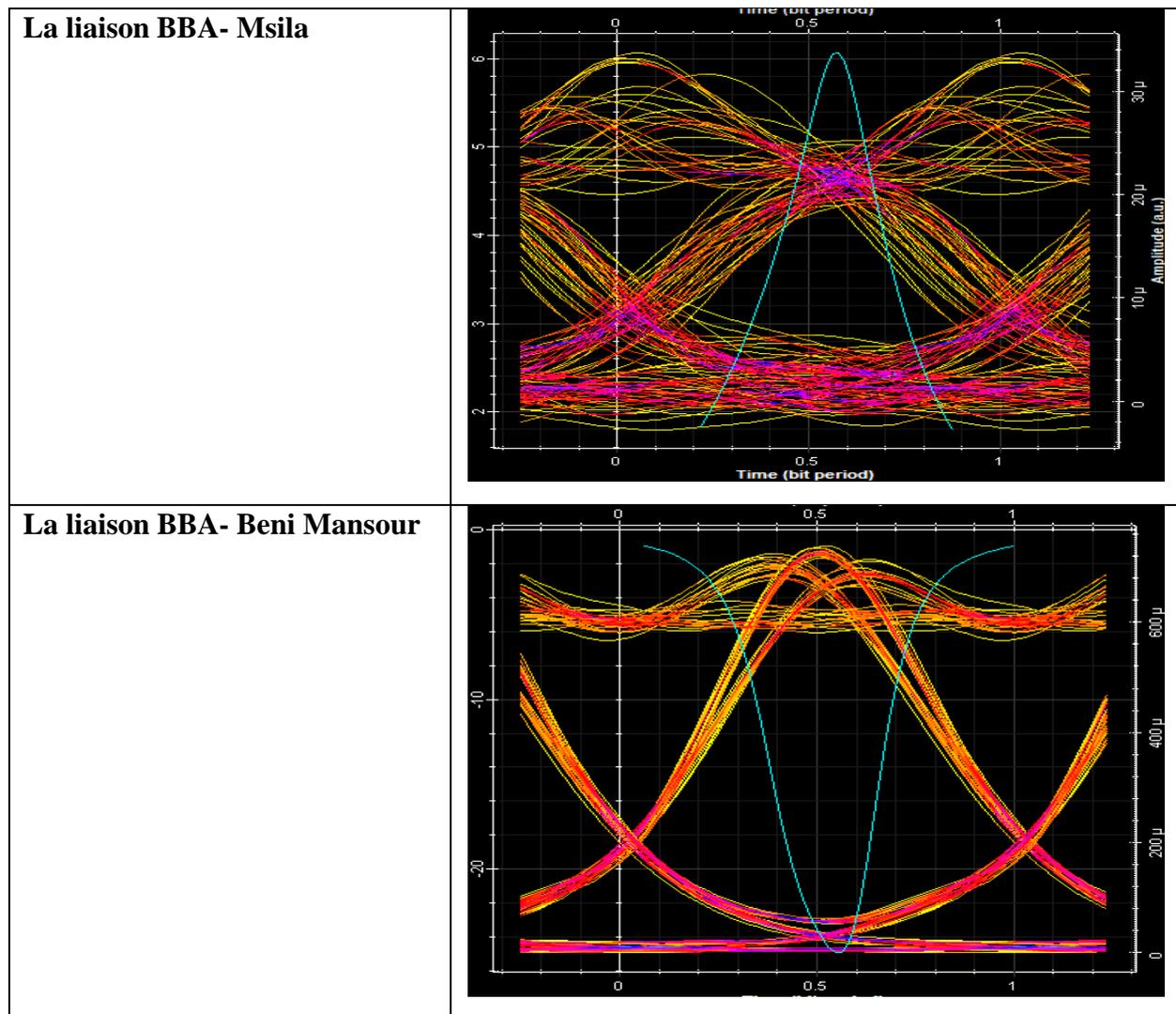


Tableau (III-6): Les puissances des liaisons optiques.

Le diagramme d'œil est une méthode visuelle pour juger la qualité des signaux, pour cela on l'a déterminé pour les trois liaisons et faire l'évaluation autrement.

III-3-4-2-3 Le diagramme d'œil des trois liaisons optiques :



Chapitre III : SIMULATION

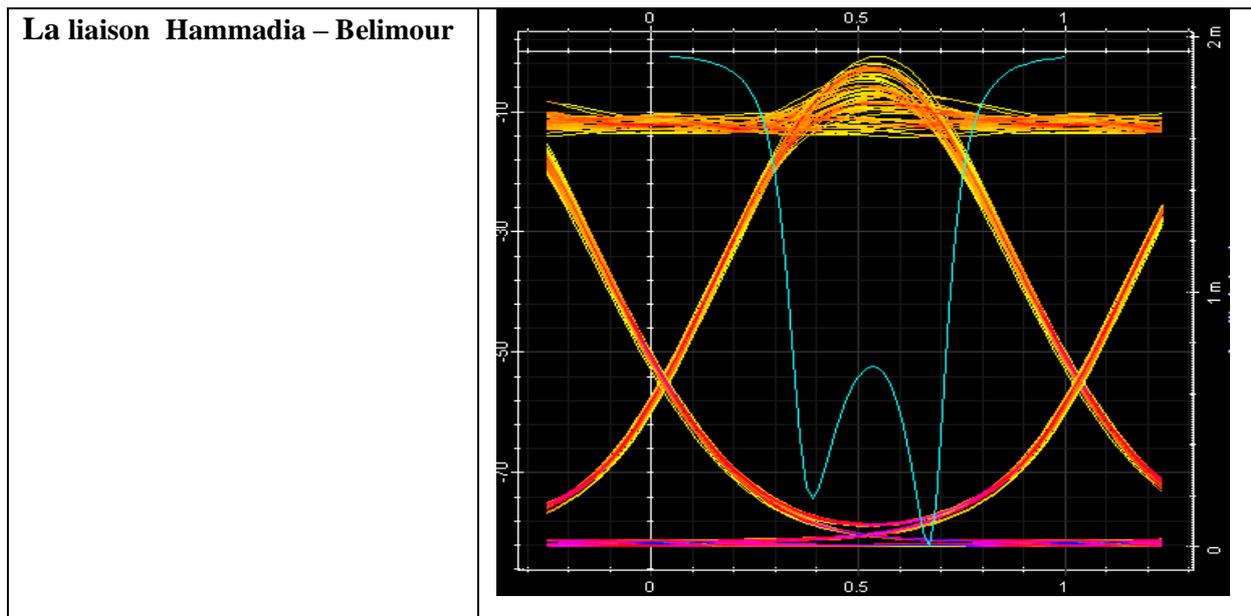
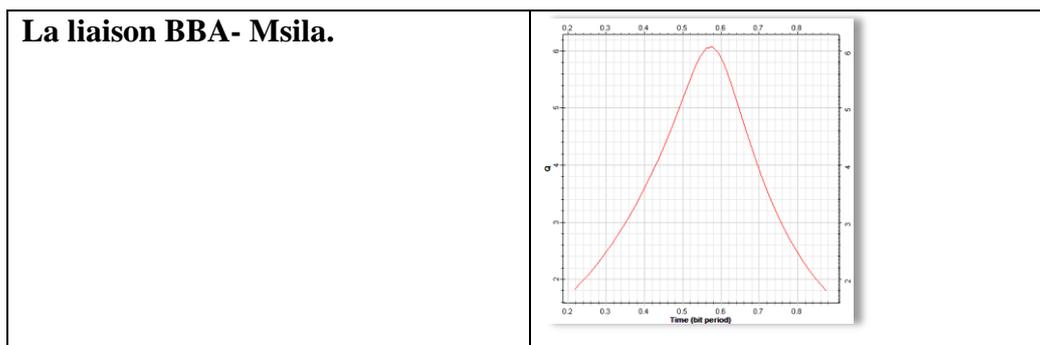


Tableau (III-7) : Les diagrammes d'œil des trois liaisons optiques.

III-3-4-2-3-1 Interprétations 2 :

Le diagramme d'œil représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise, plus qu'ils sont cohérent et synchrone entre eux, avec moins de bruit concentré au centre, plus que la qualité de transmission est bonne. La liaison de BBA- Msila est la plus mauvaise, comme il est indiqué par le Tableau (III-6). On remarque beaucoup de bruit et une atténuation remarquable par rapport aux autres liaisons.

III-3-4-2-4 Facteur de qualité Q : Il est défini par le rapport de la fréquence et la largeur de la bande passante du système.



Chapitre III : SIMULATION

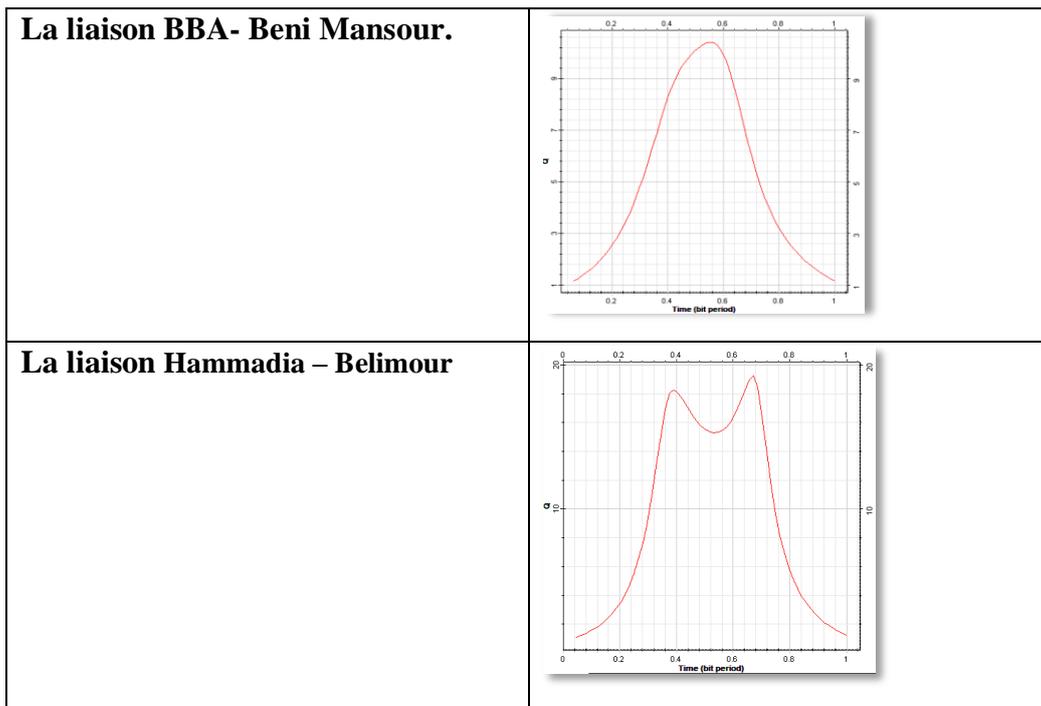


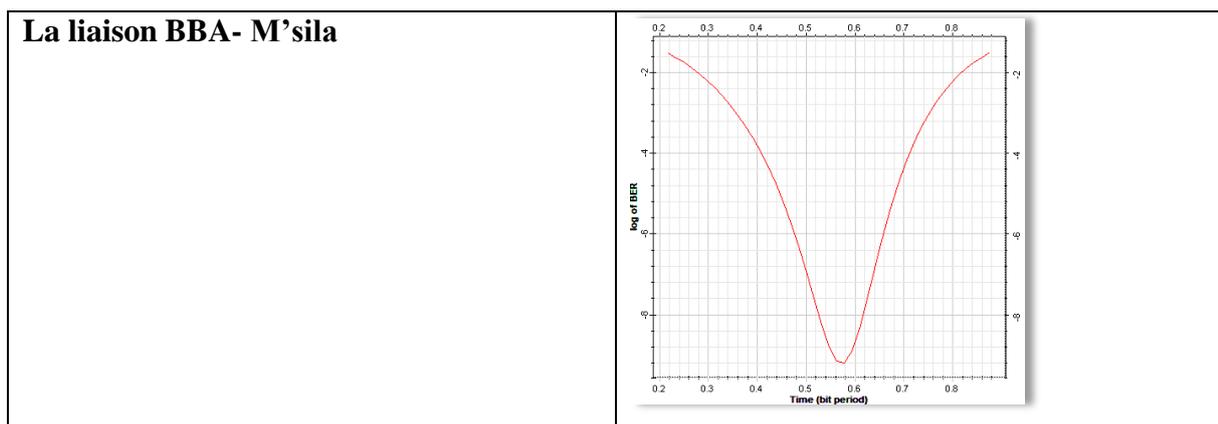
Tableau (III-8) : La courbe de facteur de qualité pour chaque liaison.

III-3-4-2-4-1 Interprétation 3 :

Toujours la liaison optique de M'sila donne de mauvaise réplique, le facteur de qualité n'a atteint que la valeur : 6, par contre la liaison BBA- Beni Mansour a abouti la valeur 10 et la liaison de BBA-BELIMOUR a achevé la valeur 18.

III-3-4-2-5 Le taux d'erreur binaire (BER) :

On définit le taux d'erreurs binaire (Bite Error Rate) en anglais (BER) par le nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis pendant la durée de la mesure.



Chapitre III : SIMULATION

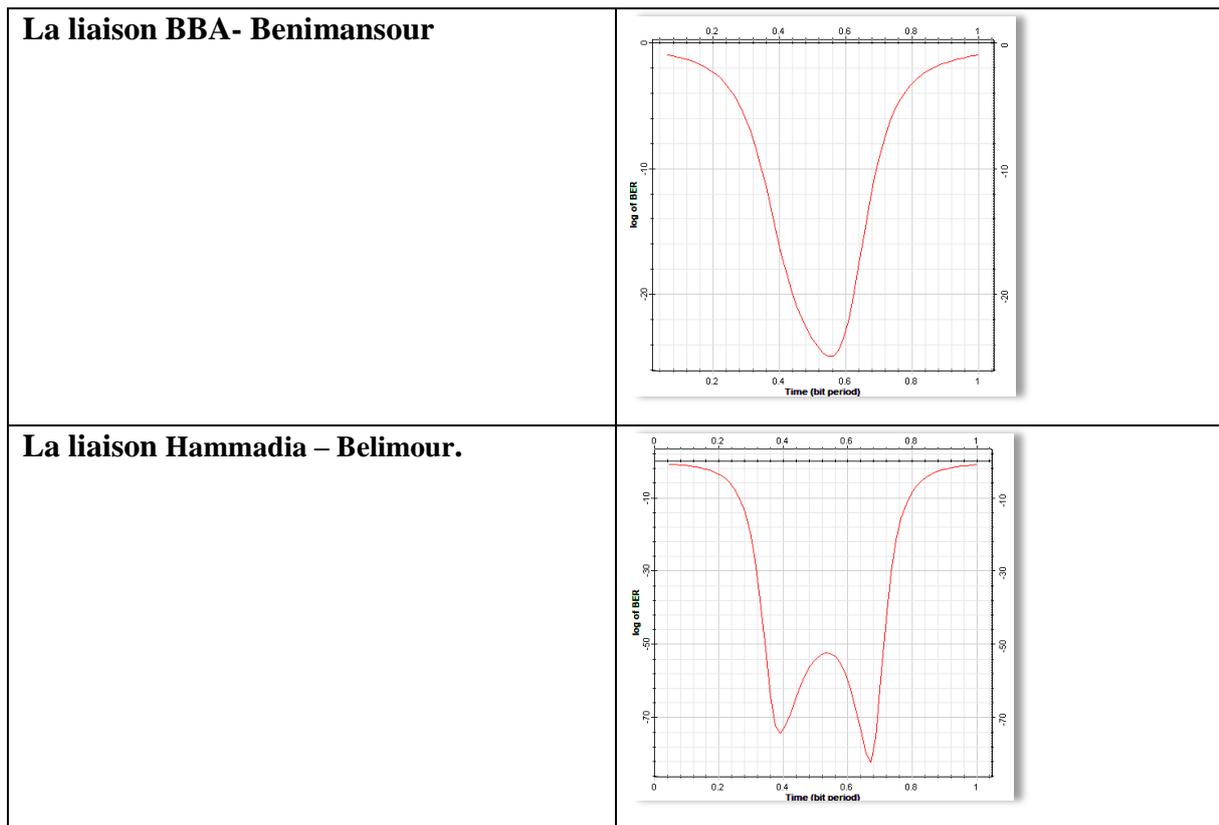


Tableau (III-9): La trace de taux d'erreur binaire de chaque liaison.

La liaison BBA- M'sila	La liaison BBA- Benimansour	La liaison BBA- BELIMOUR.																														
<table border="1"> <tr><td>Max. Q Factor</td><td>6.06892</td></tr> <tr><td>Min. BER</td><td>6.38872e-010</td></tr> <tr><td>Eye Height</td><td>9.99755e-006</td></tr> <tr><td>Threshold</td><td>1.30169e-005</td></tr> <tr><td>Decision Inst.</td><td>0.578125</td></tr> </table>	Max. Q Factor	6.06892	Min. BER	6.38872e-010	Eye Height	9.99755e-006	Threshold	1.30169e-005	Decision Inst.	0.578125	<table border="1"> <tr><td>Max. Q Factor</td><td>19.2571</td></tr> <tr><td>Min. BER</td><td>6.13853e-083</td></tr> <tr><td>Eye Height</td><td>0.0013948</td></tr> <tr><td>Threshold</td><td>0.000952777</td></tr> <tr><td>Decision Inst.</td><td>0.671875</td></tr> </table>	Max. Q Factor	19.2571	Min. BER	6.13853e-083	Eye Height	0.0013948	Threshold	0.000952777	Decision Inst.	0.671875	<table border="1"> <tr><td>Max. Q Factor</td><td>10.3948</td></tr> <tr><td>Min. BER</td><td>1.2031e-025</td></tr> <tr><td>Eye Height</td><td>0.000451306</td></tr> <tr><td>Threshold</td><td>0.000225823</td></tr> <tr><td>Decision Inst.</td><td>0.546875</td></tr> </table>	Max. Q Factor	10.3948	Min. BER	1.2031e-025	Eye Height	0.000451306	Threshold	0.000225823	Decision Inst.	0.546875
Max. Q Factor	6.06892																															
Min. BER	6.38872e-010																															
Eye Height	9.99755e-006																															
Threshold	1.30169e-005																															
Decision Inst.	0.578125																															
Max. Q Factor	19.2571																															
Min. BER	6.13853e-083																															
Eye Height	0.0013948																															
Threshold	0.000952777																															
Decision Inst.	0.671875																															
Max. Q Factor	10.3948																															
Min. BER	1.2031e-025																															
Eye Height	0.000451306																															
Threshold	0.000225823																															
Decision Inst.	0.546875																															

Tableau (III-10): Les valeurs numériques des paramètres étudiés.

III-3-4-2-5-1 Interprétation 4 :

Il est bien évident que la liaison de BBA- M'sila présente la mauvaise qualité de transmission vue : sa grande distance, les problèmes de mise en place, les travaux d'entretien des routes...plus la qualité fruste de fibre optique utilisée (ligne ancienne).

Chapitre III : SIMULATION

III-3-4-3 L'optimisation proposée pour la résolution des problèmes :

III-3-4-3-1 Compensation de l'atténuation :

Pour l'amélioration de la qualité des liaisons optiques, on a recours à l'amplification pour compenser l'atténuation. On utilise un amplificateur optique (EDFA).

La simulation de l'insertion de l'amplificateur optique EDFA de gain 20db et de pertes de connections de 4db, dans la liaison BBA – M'sila, est illustrée dans la figure suivante:

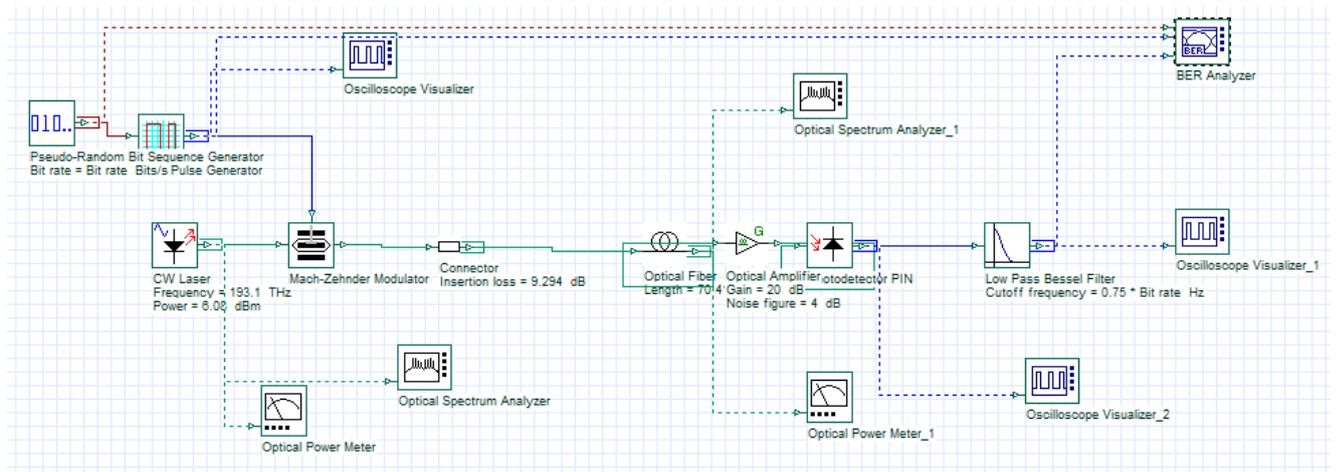
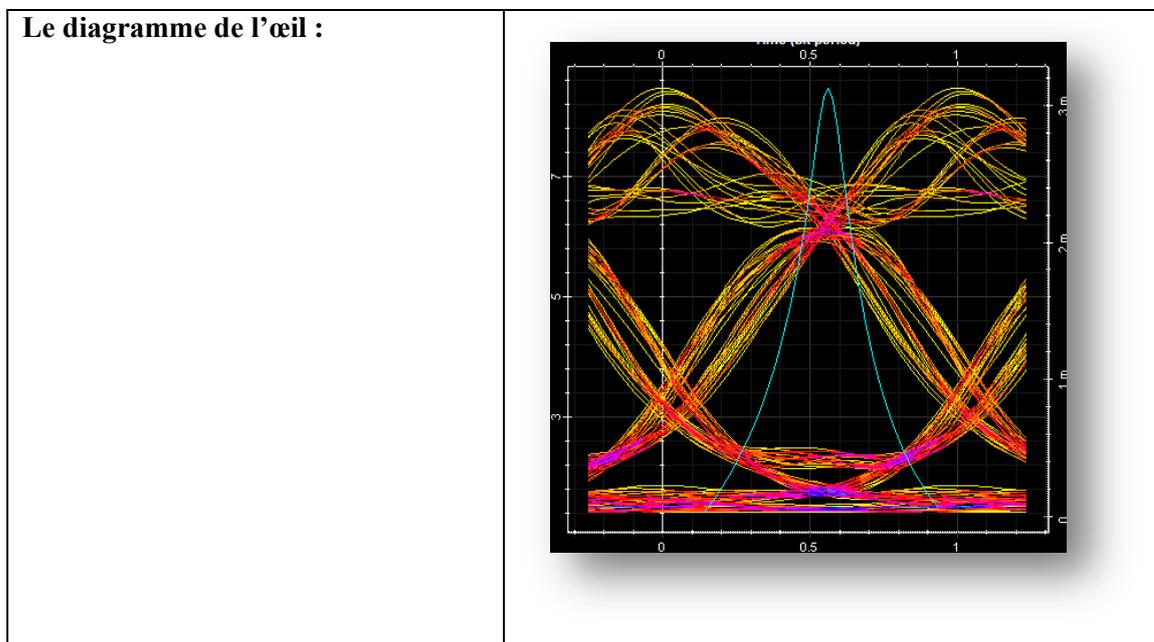


Figure (III-9): La liaison BBA – M'sila avec un amplificateur optique EDFA.

III-3-4-3-1-1 Le diagramme d'œil et facteur de qualité de la liaison BBA-M'sila après amplification :



Chapitre III : SIMULATION

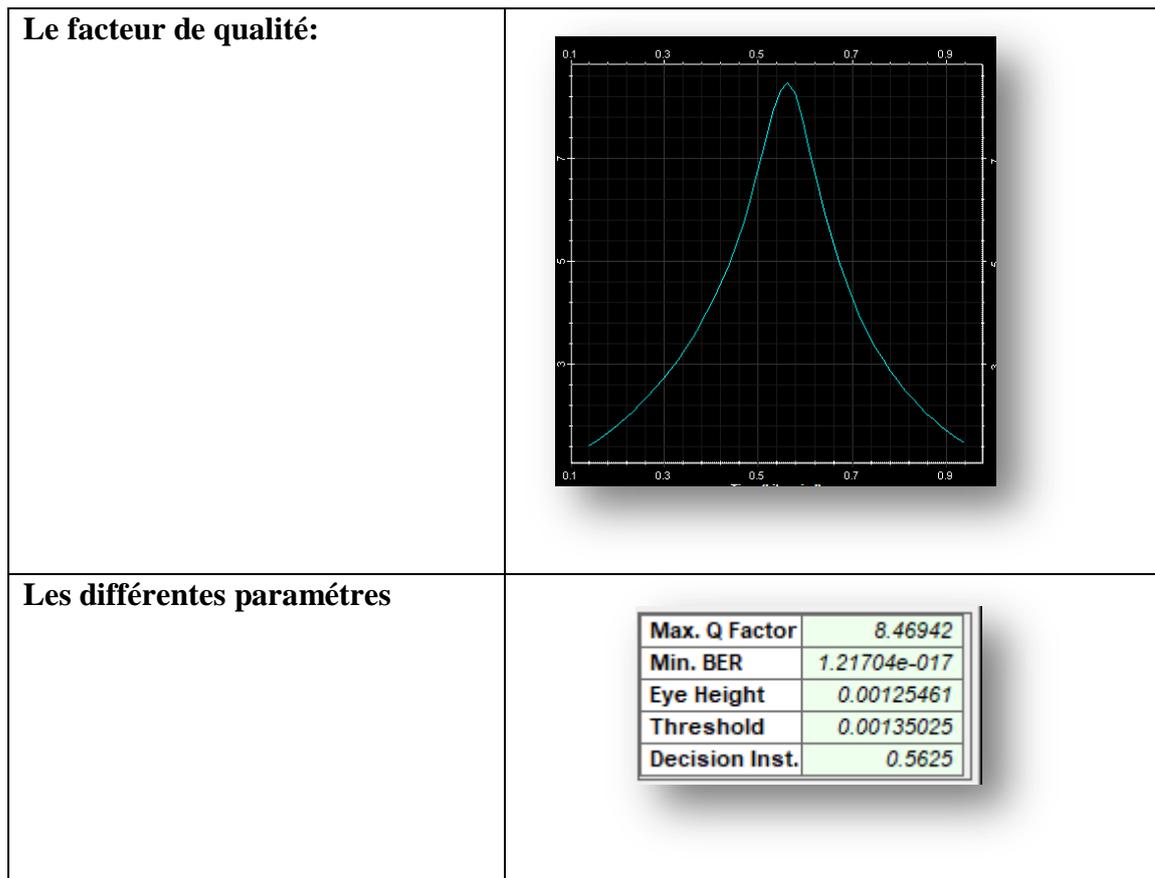


Tableau (III-11) : Les différentes caractéristiques après amplifications de la liaison BBA- M'sila.

III-3-4-3-1-2 Interprétation 5 :

L'insertion de l'amplificateur dans la liaison optique a donné une amélioration de facteur de qualité en comparant les valeurs du Tableau (III-9) et les valeurs du Tableau (III-10), le diagramme d'œil le confirme très bien, on remarque un dégagement de bruits du centre du ce diagramme et une amplification remarquable.

III-3-4-3 -2 Compensation de la dispersion :

Ce sont des fibres qui sont conçues pour avoir de fortes dispersions négatives grâce à des modifications de leurs paramètres géométriques. Par design du profil d'indice de la fibre, il est possible d'ajuster la dispersion et d'obtenir ainsi une fibre à dispersion négative (jusqu'à -200 ps / (nm.km)), qui serve de fibre compensatrice de dispersion DCF. Cette technique est considérée comme meilleure solution permettant de minimiser les pénalités introduites par la dispersion chromatique sur une large bande de longueurs d'onde. Commençons par calculer la

Chapitre III : SIMULATION

longueur de la fibre de compensation en se référant à la relation (I-7) donné dans le premier chapitre :

$$-L_{DCF} \times C_{DCF} = L_{DSF} \times C_{DSF} \quad (\text{III-1})$$

Où

L_{DCF} : est la longueur de la fibre compensatrice.

C_{DCF} : est la dispersion chromatique de la fibre compensatrice.

C_{DSF} : la dispersion chromatique positive de la fibre de la liaison.

L_{DSF} : est la longueur de la fibre de la liaison.

Application numérique :

$$L_{DSF} = 70.414 \text{ km}$$

$$C_{DSF} = 16.75 \text{ ps/nm*km.}$$

$$C_{DCF} = -80 \text{ ps/nm*km.}$$

$$L_{DCF} = 14.742 \text{ km}$$

D'où :

Donc pour compenser cette valeur de dispersion, on doit incorporer à la fin de la liaison précédente, une fibre compensatrice de longueur de 14.742 Km et de dispersion : - 80 ps/nm.Km, avec une atténuation de 0,6 (dB/Km).

III-3-4-3 -2 -1 le montage de mesure :

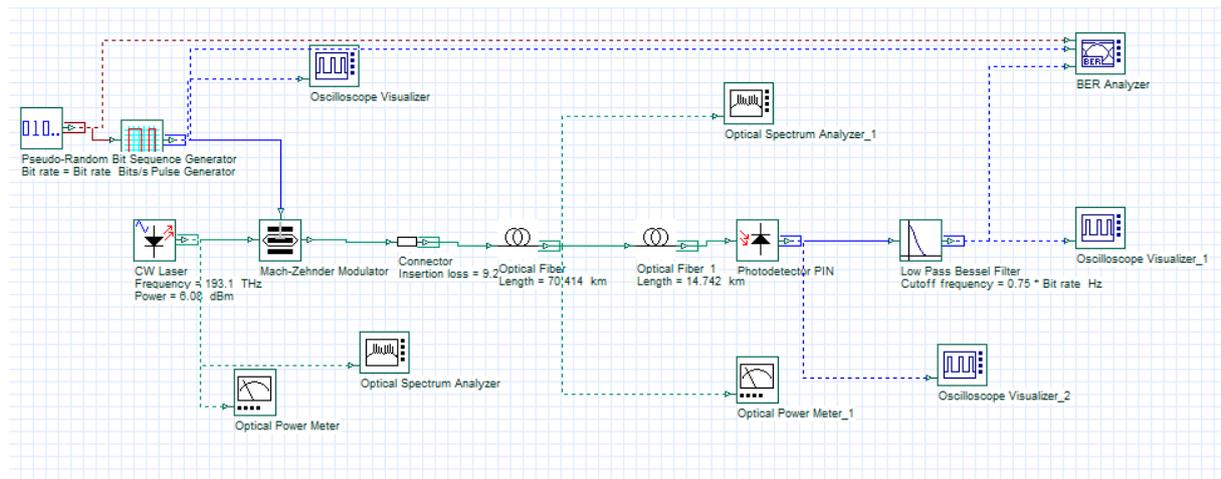


Figure (III-10): Montage de mesure de la liaison optique avec compensation

Chapitre III : SIMULATION

Les résultats obtenus sont :

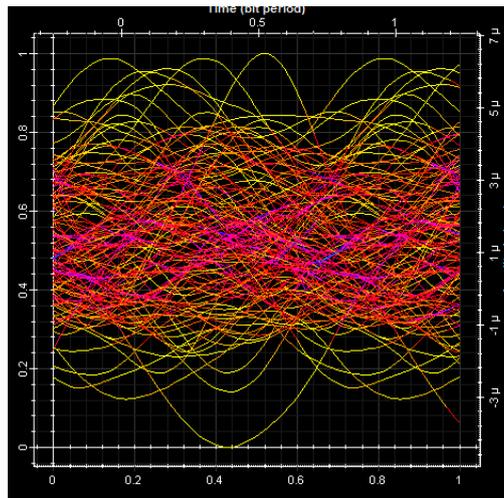


Figure (III-11): Le diagramme de l'œil de la liaison avec la fibre compensatrice.

Le diagramme de l'œil de la liaison avec la fibre compensatrice montre une forte distorsion c'est l'inconvénient majors de cette fibre, elle cause une forte atténuation. Pour régler ce problème on ajoute à notre montage l'amplificateur EDFA pour la compenser. En conséquence on aura la compensation de la dispersion et l'amplification comme il est indiqué par l'étude suivante.

III-3-4-3 -2 -2 le montage de mesure pour la compensation de la dispersion et l'amplification :

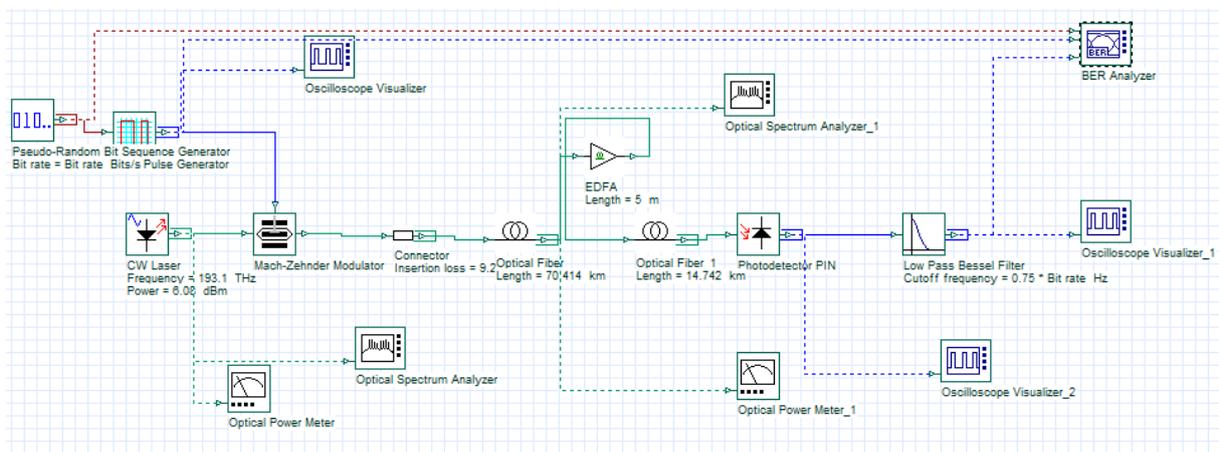


Figure (III-12): Le montage de mesure pour la compensation de la dispersion et l'amplification.

Chapitre III : SIMULATION

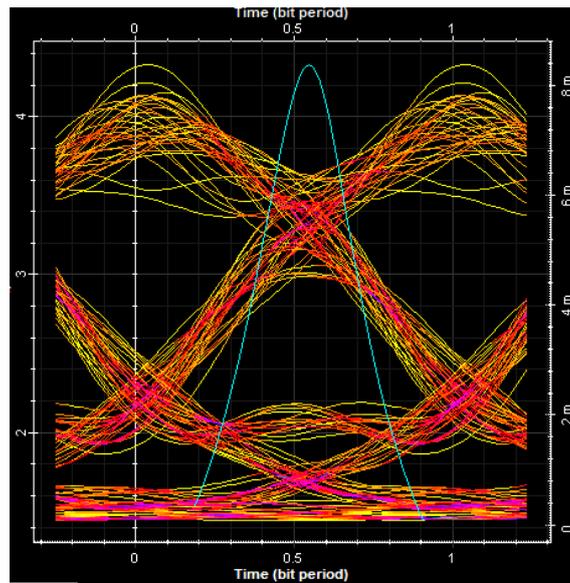
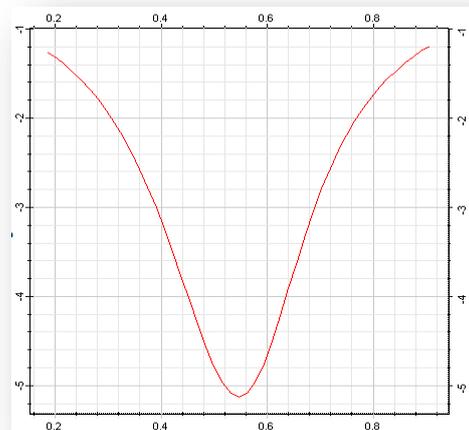
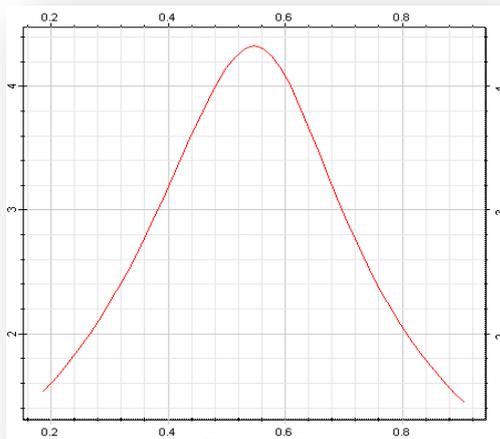


Figure (III-13): Diagramme d'oeil de la liaison après compensation et amplification.

Figure (III-14): facteur de qualité, taux d'erreur



binaire de la liaison après l'amélioration.

III-3-4-3 -2 -3 Interprétation 6:

Après l'insertion de l'amplificateur et la fibre compensatrice DCF, et d'après le diagramme d'œil et le facteur de qualité, on constate une amélioration considérable de la qualité du signal.

Chapitre III : SIMULATION

III -4 Conclusion :

L'étude des trois liaisons optiques de différentes distances et de conditions topologiques variantes, nous a mené à conclure que ces paramètres varient inversement avec la qualité de transmission du débit.

Le nombre excessif de connecteurs implique les pertes d'épissures, l'atténuation du signal et aussi la dispersion. On peut les éviter par :

- l'éloignement des conditions géographiques difficiles le plus possible.
- Le respect des normes lors des connexions des fibres optiques, des générateurs, des récepteurs... etc
- Choisir des chemins loin des travaux d'entretien des routes et des canalisations, pour ne pas les abîmer au moment de leur entretien.
- l'utilisation des fibres récentes de bonnes qualités physiques.

L'utilisation de l'amplificateur optique EDFA et la fibre compensatrice a boosté l'amplitude et a amélioré d'une façon marquante, la transmission du débit donc ils sont recommandés pour une mauvaise transmission.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Ce mémoire est consacré à faire l'étude de la liaison optique qui est le support de la télécommunication aujourd'hui, et à optimiser les méthodes de travaux pour surmonter les problèmes affaiblissant son efficacité, comme l'atténuation et la dispersion.

On a commencé ce travail, par une étude théorique de la fibre optique dont laquelle on a décrit les différents types de fibres optiques et ses caractéristiques physiques.

Durant notre stage à ALGERIE TELECOM, de Bordj Bou Arréridj, nous avons pris une vue sur les techniques de transmissions. On s'est familiarisé avec leurs instruments ou on a appris les méthodes de teste et de contrôles utilisés par les techniciens, pour évaluer leurs liaisons optiques. Ensuite on a passé à notre application consacré à une étude menée sur trois liaisons de distances et de topologies différentes, les liaisons de : BBA- M'sila, Hammadia - Belimour et BBA- Beni Mansour, qui existent encore jusqu'à ce moment.

L'obtention des propres caractéristiques de chaque liaison a été effectuée par le réflectomètre optique L'OTDR. Cet instrument a la propriété de scanner la liaison optique et d'afficher une courbe déterminant les différents événements qui existent le long de cette liaison, comme des coupures, de mauvaises épissures...etc, et de les localiser à leurs endroits exactes pour faire le dépannage nécessaire. Plus il nous donne une description continue du débit et de puissances.

Ces paramètres obtenus ont été confirmés par la simulation, des trois liaisons, faite en opposé avec le logiciel OPTISYSTEM dans le chapitre III. La liaison de BBA- M'sila était la mauvaise par rapport aux autres lignes et la liaison de Hammadia -Belimour a présenté de meilleures performances constatées sur les études effectuées sur les diagrammes d'œil, le BER et le facteur de qualité mené sur les trois liaisons.

Les problèmes nuisant la qualité de transmission sont généralement: le nombre important de joints qui causes l'atténuation, les pertes en raccordement, les pertes par épissure, la géographie difficile, les travaux d'entretien des routes et des canalisations qui abiment parfois ces liaisons optiques et aussi à la fibre elle-même et ses propriétés physiques.

Pour optimiser la qualité de transmission, on doit bien maîtriser la mise au point des liaisons optiques et d'assurer une bonne qualité d'interconnexion en respectant les normes et aussi

Conclusion générale :

suivre la tendance des composants utilisés pour une transmission toujours meilleurs, car les performances des systèmes dépendent des dispositifs utilisés.

Techniquement notre simulation a confirmé que l'utilisation de l'amplificateur optique EDFA à donner de bons résultats et a vraiment booster l'amplitude du signal, donc il est recommandé pour des liaisons moins rentables.

En perspective de ce travail, on compte à étudier le multiplexage en longueur d'onde par la technologie WDM, la technique qui permet d'augmenter les tendances de transmission dans un seul canal c-à-d, augmenter le débit transmis avec moins d'équipements et aussi voir l'effet de l'insertion de fibre dopée dites compensatrice qui peut annulé la dispersion par sa pente négative contrairement à la fibre ordinaire qui a une pente positive.

REFERENCES

Référence

Références:

- [1] A. Daoui « Fibres optiques microstructurées : Modélisation et optimisation des propriétés optiques » Magistère. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2009
- [2] C. Amari, « Optimisation des paramètres d'une liaison optique » Master, Université Abderrahmane Mira – Bejaia 2013.
- [3] K.D.Kungwa «Etude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau » Initelematique–Ingenieur Industriel 2016.
- [4] F. FARHAOUI et F.ZAIDI « Etude et Simulation d'une Chaîne de Transmission Numérique sur Fibre Optique Haut Débit » MASTER UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY - SAIDA .2017
- [5] M. Peyrard, T « Dauxios 'Physique des solitons », EDP Sciences, 2004 - 408 pages
- [6] H. Apithy, Y. Bouslimani et H. Hamam, « Communications à fibres optiques : Limitations causées par la dispersion et les effets non linéarités », Faculté d'ingénierie, Université. De Moncton, 2004.
- [7] M. GUERMAT ABDELHAK « capteur de température a fibre optique a extremite microstructuree chimiquement »Doctorat en Sciences .UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS SÉTIF 1 UFAS (ALGERIE)
- [8] A. Benammar et W. Miloudi « Etude d'une liaison optique WDM Radio sur Fibre » MASTER Télécommunications Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen 2017,
- [9] N. Boudrioua « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » THESE de Doctorat .Université de Metz 2007.
- [10] L. Merrouche «Etude et optimisation des paramètres d'une liaison optique à SONATRACH » Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2013.
- [11] A.Belkhira et S .Mokrani, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications », Mémoire d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, Promotion juin 2010

Référence

- [12] M.GAY « Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit » Doctorat devant l'institut National des sciences Appliquées de Rennes 2006
- [13] S.KIMBIRI et P.KPEMISSI EYANA « Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s » Master en Télécommunications Univ. ABB.Tlemcen. Algérie 2012
- [14] J. Maury « Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion Chromatique » Thèse de doctorat ; Faculté des Sciences et École Doctorale Science, Technologique et Santé, Université de Limoges 2003
- [15] P.LECOY; « Communications sur fibres optiques ». Lavoisier Librairie.2014 .336 p.
- [16] HAMINI, A. et MERGHACHE, M.; 2008 « Etude et optimisation d'une liaison par fibre optique longue distance »Mém. Ing. Telecom. Univ. ABB.Tlemcen.
- [17] J.Arnaud, « Réseaux télécoms », Aide mémoire 3e Edition, DUNOND Éditions professionnelles, 2009
- [18] A.REGIS et R. VENOT : « Les Techniques de transmission optique », 2009
- [19] S.Haroun Ibrahim et M.Ould Mahmoud, « Etude du budget optique d'une liaison longue distance et à haut débit », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut des télécommunications Abdelhafid Boussouf-Oran, Promotion 2005/2006
- [20] S.KIMBIRI et P.KPEMISSI EYANA « Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s » Master en Télécommunications. Univ. ABB.Tlemcen. Algérie 2012
- [21] F.LARIBI Hidayet et S.AISSA MADAOUÏ « Etude d'un système OCDMA avec les codes Hadamard pour les signaux optiques incohérents » MASTER en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunication UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD TLEMEN 2016
- [22] Mathieu LEFRANÇOIS « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s» DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SUD 2007
- [23] <http://www.soudeuse-optique.fr/>

Référence

[24] E. Boldyreva, « Meures reparties par réflectométrie fréquentielle sur fibre optique », Doctorat de l'université de toulouse, Ecole doctorale Génie Electrique, Electronique, Télécommunications (GEET) le jeudi 20 octobre 2016

[25] OPTISYSTEM, optical communication system design software, Mathworks, product.

Résumé

La fibre optique est un guide de lumière qui constitue aujourd'hui le support privilégié pour le transport de l'information à haut débit. Mais pour répondre aux besoins sans cesse, plus importants, engendrés par le développement d'internet en particulier, il s'avère nécessaire d'améliorer toujours les caractéristiques de propagation dans ce genre de guide, surtout celles relatives aux pertes et aux dispersions sur toute la bande spectrale utilisée.

Dans ce contexte, nous avons réalisé une étude sur trois liaisons optiques déployés par Algérie Telecom avec le réflectomètre optique l'OTDR et afin d'optimiser leurs efficacité on les a conçu par le logiciel : OPTISYSTEM, ou on a pu proposer les solutions pour l'amplification et de la restauration du signal.

Abstract

Optical fiber is a light guide that is now the preferred medium for high-speed information transport. But in order to meet the ever-increasing needs, generated by the development of the internet in particular, it is necessary to always improve the propagation characteristics in this kind of guide, especially those relating to losses and dispersions over any the spectral band used.

In this context, we have carried out a study on three optical links deployed by Algérie Telecom with the optical reflectometer OTDR and to optimize their efficiency they have been designed by the software: OPTISYSTEM, where we have been able to propose solutions for the amplification and restoration of the signal.