



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



Université Amar Thelidji – Laghouat

FACULTE : DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE MASTER

Réalisé par : Ben djedid Zineb

Ben sahraoui Nassima

DOMAINE : Science et Technologie

FILIERE : Télécommunication

OPTION : Système de télécommunication

Thème

**Etude, simulation et optimisation des liaisons
optiques pour l'amélioration de la rentabilité
d'une chaine de transmission**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BIRANE Mouhoub	MCA	Encadrant
REGUIGUE Mourad	MCB	Président
MESMOUDI Samira	MCB	Examineur
BELLAKHDER Aissa	MCA	Co.Encadreur

Promotion : 2022 / 2023

Remerciement

*Mes remerciements les plus vifs et les plus chaleureux, vont à mon directeur de Thèse : **Dr.BIRANE MOUHOU** et également **Dr Belakhdar Aissa** , pour son aide, sa confiance, son orientation judicieuse et sa disponibilité.*

*J'adresse également mes chaleureux remerciements à tous les personnes de la direction de **TELECOM Laghouat** en général et en particulier au personnel du **CAH** “Centre d’amplification Hertzien “ et spécialement **Mr. AHMED BENFARHAT** aussi **Mr. AHMED KHORSI** et **Mr.BOUZAIDA**.*

J'apporter manifester toute ma gratitude à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait, en acceptant la lecture de cette thèse en vue d'apporter leurs jugements les plus précieux sur ce travail.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes de l'université Amar Thelidji, enseignants et administrateurs et mes collègues de promotion 2022/2023.

Je veux aussi dire un mot à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu pour réaliser ce travail, et m'ont permis de le finaliser.

Dédicace

*Avant tout, merci « Allah » de nous avoir donnée la patience
d'aller jusqu'au bout de nos rêves On dédie ce mémoire à*

....

Nos très chères mères

*Nous vous remercions pour tous les soutiens et l'amour que
vous nous avez portés 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 gratitudee ...*

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

الملخص

تطورت تقنيات إرسال البيانات بسرعة كبيرة لزيادة كفاءة الخدمات للمستخدمين. الألياف البصرية هي وسيلة لنقل البيانات التي توفر قيمة أفضل من قبل الحبال لمشغلي الاتصالات. الهدف من مذكرة الماستر هذه هو دراسة الإرسال البصري في الاتصالات المرئية واللاسلكية لهذا قدمنا سلسلة من عمليات الإرسال ومكونات الإرسال / الاستقبال اللازمة لإنشاء ارتباط بصري أظهرت لنا القياسات التي تم الحصول عليها على الروابط البصرية التي تمت دراستها بواسطة مقياس الانعكاس أن الأداء لا يعتمد فقط على جودة الألياف ولكن أيضا على وحدات البث والاستقبال والوصلات التي تم إجراؤها. الطول الموجي له تأثير مهم على جودة الإرسال البصري

كلمات مفتاحية: الألياف البصرية، الإرسال، مكونات الإرسال، ارتباط بتركيبي، نقل البيانات

Résumé :

Les techniques de transmission actuelles n'ont cessé d'évoluer pour transmettre les données, afin d'améliorer les services aux utilisateurs. La fibre optique est le support de transmission qui assure un meilleur rapport qualité / prix pour les opérateurs de télécommunications. L'objectif de ce travail de master est l'étude de transmissions optiques des télécommunications. Pour cela nous avons présenté une chaîne de transmissions et les composants d'émission /réception nécessaire à la mise en place d'une liaison optique. Les mesures obtenues sur les liaisons optiques étudiées par le réflectomètre, nous a montré que les performances ne dépendent pas uniquement de la qualité de la fibre mais aussi des modules d'émissions et de réceptions et de jonctions réalisés. La longueur d'onde a une influence importante sur la qualité de transmission optique.

Mot clé: transmission optique, télécommunications, composants nécessaires, uniquement, transmettre, performances.

Abstract:

Current transmission techniques have constantly evolved to transmit data, in order to improve services to users. Optical fiber is the transmission medium that provides better value for money for telecommunications operators. The objective of this master's work is the study of optical transmissions in telecommunications. For this we have presented a chain of transmissions and the transmission / reception components necessary for the establishment of an optical link. The measurements obtained on the optical links studied by the reflectometer, showed us that the performance does not depend only on the quality of the fiber but also on the emission and reception modules and the junctions made. The wavelength has an important influence on the optical transmission quality.

Key words: transmission, components demission, bindings, uniquely, to transmit, performances.

Sommaire

Remercîment	I
Dédicace	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
Liste d'abréviation	VII
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralité sur les fibres optiques

I.1 Introduction	3
I.2 Transmission optique	5
I.2.1 Définition	5
I.2.2 Les supports de transmission	5
I.2.3Caractéristiques globales des supports de transmission	8
I.3 Les supports optiques	9
.3.1 Liaison optique a l'air libre	9
I.3.2 Les fibres optiques	9
I.4 Architecture d'une liaison optique	10
I .4.1 Emetteur	10
I.4.2 La diode DEL	10
I.4.3 La diode laser	11
I.4 .4 Modulateurs de transmission	11
I.4.5 Récepteurs	11
I.4.6 Photodiode PIN	11
I.5 Structure de la fibre optique	12
I.6 Principe de fonctionnement De la fibre optique	12
I.7 Type de fibre optique	13
I.7.1 Les fibres multi modes	13
I.7.1.1 La fibre à saut d'indice	14

Sommaire

I.7.1.2 La fibre à gradient d'indice	14
I.7.2 Fibre optique monomode	14
I.8 comparaisant entre les déférents types de la fibre optique	15
I.9 Les effets limitent la capacité de transmission	15
I.9.1 Les effets linéaires	16
I.9.1.1 Atténuation	16
I.9.1.2 Dispersion chromatique	16
I.9.2 Les effets non linéaires	19
I.9.2.1 L’effet Kerr	19
I.9.2.2 Les effets Raman et Brillouin	19
I.10 Les avantages de la fibre optique	20
I.11 les inconvénients de la fibre optique	20
I.12 Quelques applications de la fibre optique	20
I.13 Conclusion	20

Chapitre II : Les techniques des multiplexages

II.1 Introduction	22
II.2 Les réseaux informatiques	22
II .2.1 Les types des réseaux informatiques	22
II.3 Modulateur optique	23
II.3.1 Modulation directe	23
II.3.2 Modulation externe	24
II.4 Multiplexage	24
II .4.1 Définition	24
II.4.2 Les techniques de multiplexage	25
II.4.2.1 Multiplexages temporels la TDM	25
II.4.2.2 Multiplexages mode spatial SDM	25
II.4.2.3 Multiplexage par répartition de codes CDMA	26
II.4.2.4 Multiplexages en longueur d’onde WDM	26
II4.2.4.1 Fonctionnement général de WDM	27

Sommaire

II.4.2.4.2Principe de WDM	27
II.4.2.4.3Description de WDM	29
II.4.2.4.4Application de WDM	29
II.4.2.4.5Principales composantes d'un réseau WDM	29
II.4.2.4.6Les paramètres importants d'un système WDM	30
II.4.2.4.7Avantages et Inconvénients du multiplexage en longueur d'onde	31
II.4.2.4.8Les différentes technologies WDM	32
II.4.3. La technologie DWDM	32
II.4.3.1Multiplexage DWDM (Dense WDM)	33
II.4.3.2Principe de DWDM	33
II.4.3.3L'architecture de base d'un réseau DWDM	34
II.4.3.4 Avantages et inconvénients du DWDM	34
II.4.4Multiplexage U-DWDM (Ultra DWDM)	34
II.4.5Multiplexage CWDM	35
II.4.6 Comparaison entre les techniques de multiplexage	35
II.5 L'avenir du WDM	35
II.6 Conclusion	36

Chapitre III : Simulation et discussions

III.1 Introduction	38
III.2 Présentation du logiciel OPTISYSTEM	38
III .2.1 Principales caractéristiques du logiciel Opti-System	38
III .2.2 Interface de l'Opti-System L'interface Opti-System	39
III .3 La simulation	39
III.3.1Chaîne de transmission de base	40
III.3.2Les montages équivalents des liaisons testées	41
III.3.3 Les différentes analyses des deux liaisons	42
III.4 Résolution des problèmes	45
III.4.1 L'atténuation	45
III.4.2 La dispersion	46
III.7 Chaîne de transmission optique de base	48

Sommaire

III.7.1	Chaîne de transmission de base avec filtre	49
III.7.2	Modulation directe	50
III.7.3	Modulation externe	51
III.7.3.1	Effet de la distance sur la transmission	51
III.7.3.1	Effet du débit sur la transmission	52
III.7.4	Comparaison entre la modulation Direct et la modulation Externe	52
III.8	Chaîne de transmission optique multiplexé WDM	53
III.9	Chaîne de transmission optique multiplexé DWDM	55
III.9.1	Description de la chaîne 32 x 5Gbps	56
III.9.2	Longueur d'ondes utilisées pour la transmission	57
III.9.3	Système 32 x 5Gbps (160 Gbps)	58
III.9.4	Système 32 x 10 Gbps (320 Gbps)	60
III.10	Conclusion	60

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : comparaisant entre les déférents types de la fibre optique	15
---	----

Chapitre II

Tableau II. 1 : Comparaison entre les techniques de multiplexage	35
---	----

Chapitre III

Tableau III. 1 : Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison LAGOUAT-SIDI-MAKHLOUF longueur d'onde 1550nm 5 (Annexe1)	41
---	----

Tableau III. 2 : Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison LAGOUAT- BELIL longueur d'onde 1310nm. (Annexe1)	41
---	----

Tableau III.3 : les composantes de la liaison simulée	42
--	----

Tableau III.4 : puissance totale à chaque segment de la liaison LAGOUAT-SIDI-MAKHLOUF	42
--	----

Tableau III.5 : puissance total à chaque segment de la liaison LAGHOUAT-BELIL	43
--	----

Tableau III. 6 : tableaux comparatifs des résultats de simulation et de l'OTDR des pertes totales de puissances	43
--	----

Tableau III. 7: Les paramètres de chaque liaison	44
---	----

Tableau III.8: puissance optique à la sortie de chaque liaison	46
---	----

Tableau III.9: diagramme de l'œil des liaisons	51
---	----

Tableau III.10: diagramme de l'œil de la liaison (LGHOUAT-BELIL) avec débit de 10 Gbit/s sans et avec amplification	51
--	----

Tableau III.11 : variation du facteur de qualité en fonction du débit	51
--	----

Tableau III.12 : tableau variation du facteur de qualité en fonction de la distance (le cas de la modulation externe)	52
--	----

Tableau III.1 3 : Fréquences utilisées pour les 32 utilisateurs	56
--	----

Tableau III.14 : Facteurs de qualité des 32 utilisateurs pour un débit de 160 Gbps	58
---	----

Tableau III.16 : Facteurs de qualité des 32 utilisateurs pour 320 Gbps.32 x 10 Gbps (320 Gbps)	60
---	----

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Faisceau hertzien	6
Figure I.2 : Les types de paires torsadés	7
Figure I.3: Câble coaxial	7
Figure I.4: Les câbles à fibre optique	7
Figure I.5 : Satellite de télécommunication	8
Figure I.6 : l'architecture d'une liaison optique	10
Figure I.7 : spectre d'émission d'une DEL	11
Figure I.8: spectre d'émission d'une DL	11
Figure I.9 : structure d'une fibre optique	12
Figure I.10 : Angle d'incidence d'entrée dans une fibre optique	13
Figure I.11 : fibre à saut d'indice	14
Figure I.12 : fibre à gradient d'indice	14
Figure I.13 : fibre monomode	15
Figure I.14 : atténuation spectrale d'une fibre optique G.652	16
Figure I.15: dispersion matériau dans la silice pure en fonction de la longueur d'onde	17
Figure I.16: courbes de dispersion de quelques fibres optiques	18
Figure I.17 : dispersion chromatique	19

Chapitre II

Figure II.1 : Schéma synoptique de la modulation directe	23
Figure II.2: Schéma synoptique d'un modulateur externe	24
Figure II.3: Schéma de principe d'un système de multiplexé	24
Figure II.4: Schéma du découpage en temps TDMA	25
Figure II.5: Accès multiples par répartition en code	26
Figure II.6: Schéma de découpage en longueur d'onde WDM	27
Figure II.7 : Principes d'un system WDM	28
Figure II.8: Schéma d'une liaison utilisant le multiplexage WDM	28
Figure II.9 : Utilisation du WDM couplé avec l'amplification optique	29
Figure II.10: Principales composantes d'un réseau WDM	30

Liste des figures

Figure II.11: Exemple d'un lien DWDM	32
Figure II.12: Technique de multiplexage Ultra DWDM	34
Figure II.13: Multiplexage CWDM	35
Chapitre III :	
Figure III.1: L'interface de travail sur opti-system	39
Figure III.2: Fenêtre montre le lancement de la simulation	39
Figure III.3: Synoptique d'une chaine de transmission optique	40
Figure III.4 : Le montage équivalent des deux liaisons	41
Figure III. 5 : montages de simulation des deux liaisons	43
Figure. III.6: Installation d'un amplificateur optique dans une liaison	45
Figure. III.7: la configuration d'une liaison avec fibre de compensation et un amplificateur EDFA	47
Figure. III.8: diagramme de l'œil et facteur de qualité de la liaison après la configuration d'amélioration	47
Figure III.9 : chaine de transmission de base	48
Figure III.10 : diagramme de l'œil avec débit de 1Gbit/s	48
Figure III.11: Chaine de base avec filtre	49
Figure III.12 : diagramme de l'œil avec débit de 1Gbit/s avec filtre	49
Figure III.13 : Chaîne de transmission optique avec modulation externe	51
Figure III.14: Schéma bloc de la technique WDM (partie d'émission)	53
Figure III.15 : Schéma bloc de la technique WDM. (Partie de réception)	53
Figure III.16 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 1	53
Figure III.17 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 2	54
Figure III.18 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 3	54
Figure III.19: Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 4	54
Figure III.20 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 5	55
Figure III.21: Schéma bloc de la technique DWDM	56
Figure III.22: Diagramme de l'œil du 1er utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps)	57
Figure III.23 : Diagramme de l'œil du 16ème utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps).	57
Figure III.24 : Diagramme de l'œil du 32ème utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps)	57

Liste des figures

Figure III.24 : Diagramme de l'œil du 1er utilisateur pour le système 32 x 10 Gbps (320 Gbps)	59
Figure III.25 : Diagramme de l'œil du 16ème utilisateur pour le système 32 x 10 Gbps (320 Gbps)	59
Figure III.26: Diagramme de l'œil du 32ème utilisateur pour le système	59

Liste des acronymes

FO : Fibre Optique.

ON: Ouverture Numérique.

BER: Bite Error Rate.

TEB: taux d'erreur binaire.

OTDR : Optical Time Domain reflectometer.

NRZ: No Return to Zero.

DEL : Diode électroluminescence.

DL : Diode laser

LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Amplification de lumière par radiation d'émission stimulée

EDFA : un faisceau lumineux incident est amplifié

EDFA : Erbium-Doped Fiber Amplifier - Amplificateur à fibre dopée à l'erbium

WDM : Wavelength Division Multiplexing - Multiplexage en longueur d'onde

PIN : Photodiode

DCF : Dispersion Compensating Fiber.

DCM : Dispersion Compensating Module.

SMF: Single Mode Fiber

LED: Light Emitting Diode.

DWDM : Dense multiplexage en longueurs d'onde

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis des années, de plus en plus de réseaux d'opérateurs et d'entreprises demandent des larges bandes passantes pour les communications multimédia, les applications Internet, les commerces électroniques, etc.

Aujourd'hui, l'introduction de nouveaux services, tels que la télévision haute définition, la vidéo à la demande, le bouquet télévisuel, etc. requiert des débits importants. Le réseau d'accès cuivre n'a pas les propriétés physiques suffisantes pour les supporter. Dans ce contexte, l'infrastructure optique permet des débits de 2.5 Gbps ATM (Asynchronous Transfer Mode) à 10 Gbps SONET-SDH (Synchronous Optical Networking – Synchronous Digital Hierarchy). Avec une telle capacité cela permet de réduire les coûts pour la mise en œuvre des services. L'introduction des techniques d'accès optiques a constitué une avancée majeure pour répondre aux demandes et proposer des possibilités incroyables au niveau du temps de transmission et du débit. De plus, la fibre optique se caractérise par une très faible perte et une très large bande passante (de l'ordre de THz). [1]

Près de 200.000 Km de câble en fibre optique ont été déployés à travers le territoire national en Algérie à fin 2021, dans le cadre de la stratégie nationale visant à raccorder entre-elle les 58 wilayas du pays au réseau téléphonique et internet très haut débit.

Les systèmes de communications à base de fibre optique ont une conception similaire à n'importe quel système de communication classique. [2]

La simulation peut jouer un rôle important dans toutes les phases du développement des systèmes de télécommunication, depuis les premières étapes de conception, jusqu'aux étapes de réalisation, de test et de mise en œuvre du système.

Ainsi, il est important de pouvoir optimiser les performances des liaisons en termes du bruit, et de comparer ces résultats avec ceux obtenus expérimentalement.

Ceci consiste à comprendre le principe de fonctionnement d'une liaison optique, surtout les effets dans la fibre optique car entre deux bouts de la fibre se passe

Introduction

des phénomènes aussi divers que complexes, où nous allons introduire les principaux problèmes qui se manifestent lors de la transmission de la lumière.

Il faut que l'atténuation dans la fibre soit relativement faible pour que l'information soit détectée à la fin de la fibre et d'avoir une faible dispersion, en effet, la largeur temporelle des impulsions doit demeurer relativement acceptable, car cet élargissement limite le débit dans un système de télécommunications optique, car il force à augmenter le délai entre deux impulsions.

Le premier chapitre présente les détails de l'ensemble des composants d'un système optique, après a été décrité d'une liaison par fibre optique avec tous ses éléments : émetteur, récepteur et canal de transmission. Pour le canal de transmission, nous avons défini une fibre optique avec toutes ses caractéristiques.

En suite en second chapitre couvre toute la gamme des techniques de multiplexage utilisées dans les systèmes de transmission optique , en mettant l'accent sur le multiplexage WDM , qui permet de mélanger différentes longueurs d' ondes, ou signaux, dans une seule fibre .Le bénéfice est évident, et il est proportionnel au nombre de canaux que la fibre peut transporter .

Par la suite dans le troisième chapitre est consacré à la simulation avec le logiciel Opti-system avec une comparaison à des données pratiques.

En fin on terminera ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralité sur Les fibres Optiques

I.1 Introduction :

L'infrastructure du réseau, la qualité du service rendu, les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent en grande partie du support de transmission utilisé. Les supports de transmission exploitent les propriétés conductrices des métaux (paire torsadée, coaxial), les ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou le spectre visible (fibre optique). En règle générale, ces supports se répartissent en deux catégories [3]

- les supports guidés (supports cuivre et supports optiques)
- les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites).

Toutes ces directives ont des caractéristiques communes, à savoir : bande passante, bruit et distorsion, etc. L'augmentation du nombre d'utilisateurs et de la quantité d'informations échangées dans les réseaux de communication a conduit au développement de solutions pour augmenter la capacité du réseau et profiter des avantages de bande passante offerts par la fibre optique. Des techniques de multiplexage se sont donc développées, mais il faut respecter l'exigence que les données propres à chaque utilisateur puissent être récupérées après transmission sans interférence entre les données des différents utilisateurs...

I.2 Transmission optique

I.2.1 Définition :

La transmission optique étudie la propagation de la lumière plutôt que celle des ondes radio et nécessite un support de transmission spécial appelé "fibre optique". Les fibres optiques sont des conduits diélectriques, filamenteux et translucides qui permettent à la lumière de se propager. Il est fait de verre de quartz ou de dioxyde de silicium extrêmement pur, additionné de bore, de phosphore ou de germanium. Ces fibres sont placées dans un tube de protection puis reliées entre elles dans un câble à plusieurs fibres renforcées d'acier pour supporter l'attraction, leur diamètre de cœur est de quelques dizaines à centaines de microns. [4]

I.2.2 Les supports de transmission :

Pour transmettre des informations d'un point à un autre, il faut un canal qui servira de chemin pour le passage de ces informations. Ce canal est appelé canal de transmission ou support de transmission. En réseau informatique, téléinformatique

ou télécoms, on distingue plusieurs sortes de support de transmission. Parmi ceux-ci, on distingue :

- Les liaisons hertziennes,
- Les câbles à paires torsadées (Câble concéder),
- Les câbles coaxiaux,
- Les câbles à fibre optique (Câble concéder),
- Les Satellites. [2-3]

➤ ***Les liaisons hertziennes :***

Un faisceau hertzien est une onde électromagnétique qui se propage dans l'air ou le vide. L'onde peut être polarisée : horizontale, verticale ou circulaire. En transmission de données il faut souvent des débits information élevés, donc des canaux assez larges et par conséquent des porteuses élevées (800Mhz à 40Ghz). [5]

Figure I.1 : Faisceau hertzien.



➤ ***Les câbles à paires torsadées :***

Une paire se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal, généralement plusieurs paires sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée gaine pour former un câble. Les câbles contiennent 1 paire (desserte téléphonique), 4 paires (réseaux locaux), ou plusieurs dizaines de paires (câble téléphonique). [3]

On distingue généralement deux types de paires torsadées :

- Les paires non blindées (UTP : Unshielded Twisted – Pair).
- Les paires blindées (STP : Shielded Twisted – pair).

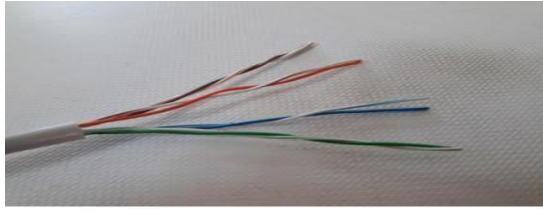


Figure I.2 : Les types de paires torsadés.

➤ ***Les câbles coaxiaux:***

Une paire coaxiale ou câble coaxial est constitué de deux conducteurs concentriques maintenus à distance constante par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit appelée blindage, est mis à la terre. L'ensemble est protégé par une gaine isolante. [3]



Figure I.3: Câble coaxial.

➤ ***Les câbles à fibre optique (Câble concéder):***

Les fibres optiques sont constituées de fils de verre très fins. Il se compose d'un cœur de fibre à travers lequel se propage la lumière d'une diode électroluminescente ou d'une source laser, et d'une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste à l'intérieur de la fibre. [7]

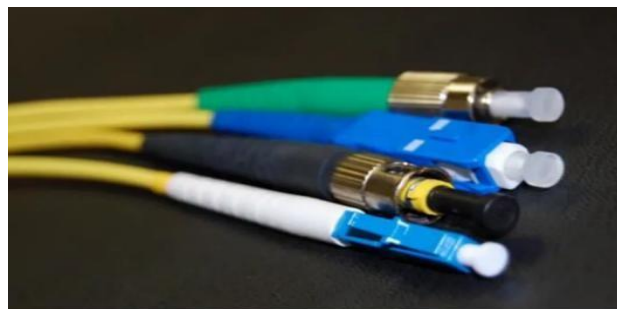


Figure I.4: Les câbles à fibre optique

➤ **Les Satellites :**

Les satellites de télécommunications représentent des points de relais radio. En fait, il ne se soucie pas de donner du sens aux données : c'est simplement un miroir dont le rôle est de régénérer le signal qu'il reçoit et de le retransmettre sous forme amplifiée à la station réceptrice. Il fournit également une fonction de diffusion, c'est-à-dire qu'il peut retransmettre le signal reçu de la terre vers plusieurs stations... [8]



Figure I.5 : Satellite de télécommunication.

I.2.3 Caractéristiques globales des supports de transmission

▪ **Bande passante :**

La bande passante est la grandeur de base qui renseigne sur les possibilités de transmission d'une ligne. [6]

L'affaiblissement A (en dB) d'un signal est donné par la formule suivante :

- $A = 10 \cdot \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right)$ (I.1)

Avec : P_e : la puissance d'entrée.

P_s : la puissance de sortie

Pour que A inférieur à 3dB, il faut, donc, que la puissance de sortie soit supérieure à la moitié de la puissance d'entrée c'est-à-dire : $P_s \geq P_e/2$ (I.2).

▪ **Bruits et distorsion :**

La distorsion du signal (par exemple l'atténuation) peut affecter le signal à un point tel qu'il ne peut pas être reconnu par le récepteur. Par exemple, le bruit

impulsionnel est souvent de forte intensité et peut entraîner des erreurs de transmission... [6]

▪ Notion de rapports signal sur bruit :

La quantité de bruit présente sur le trajet de transmission est exprimée par le rapport entre une puissance du signal transmis et la puissance du bruit, appelé rapport signal/bruit, qui s'écrit S/B et s'exprime généralement de la manière suivante. . [8]

$$R = 10 \cdot \log \left(\frac{S}{B} \right) \text{ (dB) (I.3)}$$

▪ Capacité:

La capacité d'un support de transmission représente la quantité d'information maximale transportée par unité de temps:

$$D_{\max} = M_{\max} \cdot \ln \left(\sqrt{1 + \frac{S}{B}} \right) = BP \cdot \ln \left(1 + \frac{S}{B} \right) \text{ (I.4)}$$

Ou D le débit (en bit/s), BP est la bande passante du support (en Hz) et S/B est le rapport signal sur bruit.

I.3 Les supports optiques

I.3.1 Liaison optique a l'air libre :

Elle se compose d'un émetteur qui émet un faisceau de lumière (généralement un laser), lequel se propage jusqu'à un récepteur, qui est un détecteur de lumière. Cette liaison est utilisée pour les courtes distances, par exemple entre deux ordinateurs.

I.3.2 Les fibres optiques :

La fibre optique est le moyen de transmission privilégié en raison de ses excellentes propriétés, notamment sa très grande largeur de bande et sa très faible atténuation, et son utilisation augmentée de jour en jour. L'utilisation de la fibre optique pour la transmission d'informations signifie que les signaux transmis sont des ondes lumineuses. Ce rôle est généralement assuré par une diode laser ou une diode électroluminescente et un photodétecteur qui reconnaît le signal et garantit la conversion inverse à la réception. D'un point de vue technique, une fibre optique est constituée d'un cylindre de verre de quartz ou de plastique très fin entouré d'une

gaine généralement du même matériau mais avec un indice de réfraction optique plus faible et entièrement protégé par une gaine extérieure.

I.4.1 Architecture d'une liaison optique:

L'architecture d'une liaison optique est décrite par la figure (I.6), dans cette liaison le signal optique est émis, transporté, régénéré (s'il y a lieu) et détecté aux moyens de composants optiques ou optoélectroniques. [13]

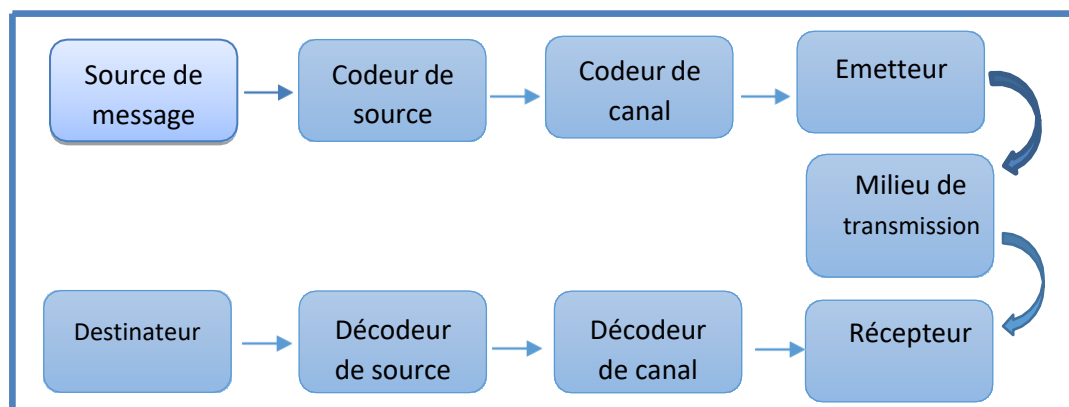


Figure I.6 : l'architecture d'une liaison optique.

I.4.1.1 Emetteur (source optique):

Les sources optiques sont des composantes actives dans le domaine de La Communication par fibre optique. Leur fonction fondamentale est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique). En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix des sources à spectres réduits telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). [16]

I.4.1.2 La diode DEL (diode électroluminescente):

La diode électroluminescente (DEL) ou LED est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et polychromatique, elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre typique d'émission spontanée, continu et assez large d'où une forte sensibilité à la dispersion chromatique (figure I.7 _ I.8). [16]

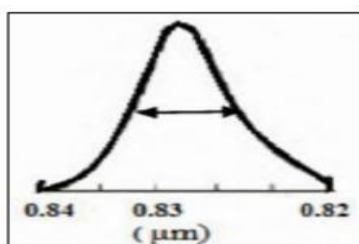


Figure I.7 : spectre d'émission d'une DEL

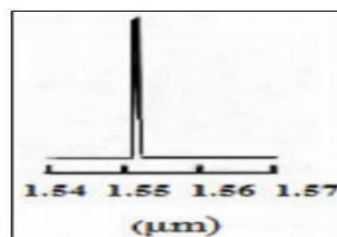


Figure I.8: spectre d'émission d'une DL (laser).

I.4.1.3 La diode laser (DL):

Laser est l'acronyme anglais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (en français, amplification de la lumière par émission stimulée de radiations). La diode laser est une source cohérente et monochromatique, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance, elle est caractérisée par une faible largeur spectrale et une bande passante importante. [16]

I.4.1.4 Modulateurs de transmission :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, qui est une fonction essentielle de tout système de transmission. [16]

I.4.1.5 Récepteurs:

La photo détectrice est un composant essentiel dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de traduire le signal optique envoyé par la fibre optique en signal électrique, qui sera traité par des dispositifs électroniques. La photo détectrice la plus utilisée dans les systèmes de transmission par fibre optique est la photodiode PIN. [16]

I.2.1 Photodiode PIN (Positive Intrinsèque Négative Photodiode):

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante. [16]

I.5 Structure de la fibre optique

La fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données. [7]

La fibre optique est composée des éléments de base suivants comme la figure I.9 :

Cœur :

Milieu diélectrique intérieur, conducteur de la lumière où sera confinée la plus grande partie de l'énergie lumineuse véhiculée dans la fibre d'indice de réfraction n_1 .

Gaine :

Entoure le cœur d'un milieu diélectrique, d'indice de réfraction n_2 plus faible. Les pertes des rayons lumineux se produisent dans la gaine.

Manteau de protection:

Assure une protection mécanique de la fibre.

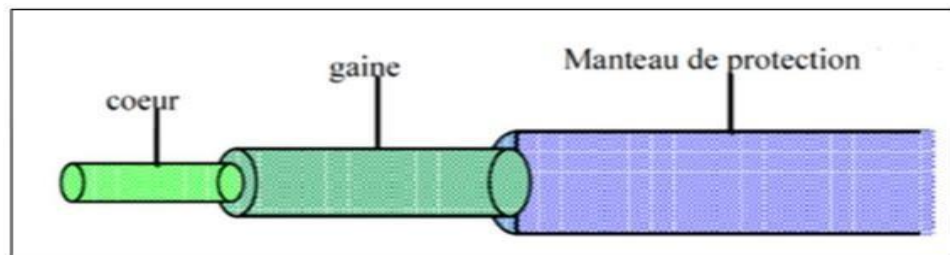


Figure I.9 : structure d'une fibre optique. [7]

Le cœur et la gaine optique sont responsables de la propagation du signal lumineux au sein de la fibre. En effet, nous verrons par la suite, que c'est grâce à la différence d'indice de réfraction des deux milieux (cœur + gaine) que la propagation est possible. [7]

I.6 Principe de fonctionnement de la fibre optique :

Le principe de fonctionnement d'une fibre optique est basé sur multiples réflexions totales internes de la lumière à la surface de séparation des deux milieux

Si $n_2 > n_1$ le rayon s'écarte de la normale et si $\theta_1 > \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$, il y a réflexion totale.

Ce principe a été démontré par Snell-Descartes qui a établi la relation suivante :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

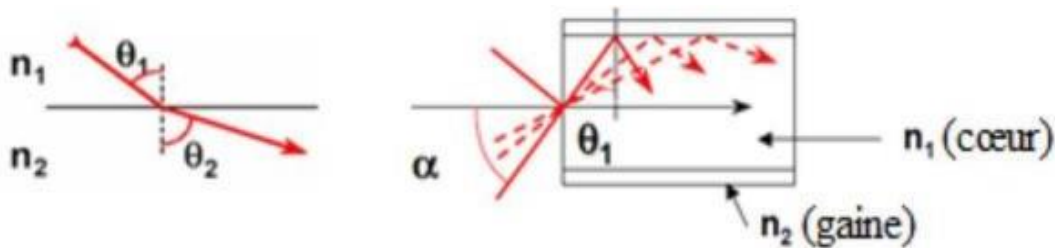


Figure I.10 : Angle d'incidence d'entrée dans une fibre optique.

L'angle d'incidence maximal ($\alpha_{\max}$) à l'entrée d'une fibre c'est-à-dire l'ouverture numérique (ON) est définie par la relation suivante [10] :

$$ON = \sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (I.5)$$

I.7 Type de fibre optique :

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon leur diamètre et la longueur d'onde utilisée.

I.7.1 Les fibres multi modes :

Les fibres multimodes ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristiques de transporter plusieurs modes (trajets lumineux) simultanément. Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits et de courtes distances. La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62.5 microns pour le bas débit). Au sein de cette famille, il existe deux sous-catégories :

I.7.1.1 La fibre à saut d'indice :

C'est le plus "normal". Le diamètre du noyau est relativement important par rapport à la longueur d'onde de la lumière (de l'ordre du micromètre dans l'infrarouge). Tous les inconvénients mentionnés ci-dessus apparaissent ici. Regardez la forme de l'impulsion de sortie par rapport à l'impulsion d'entrée. Il s'agit bien sûr d'une information non quantitative. La figure I.11 ci-dessous illustre le fibre à saut d'indice.

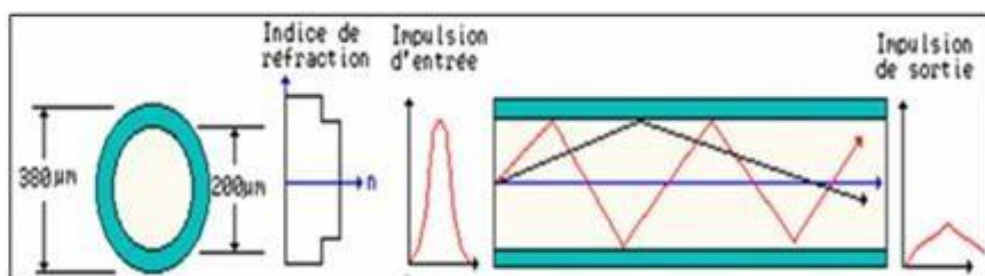


Figure I.11 : fibre à saut d'indice

I.7.1.2 La fibre à gradient d'indice :

Diamètre du noyau réduit d'un facteur de 2 à 4. Le diamètre du cœur est 2 à 4 fois plus petit. Les rayons qui ne suivent pas l'axe central de la fibre sont donc remis "en douceur" sur le bon chemin. Comme vous pouvez le constater, les résultats sont déjà de grande qualité. La figure I.12 ci-dessous illustre le fibre à gradient d'indice.

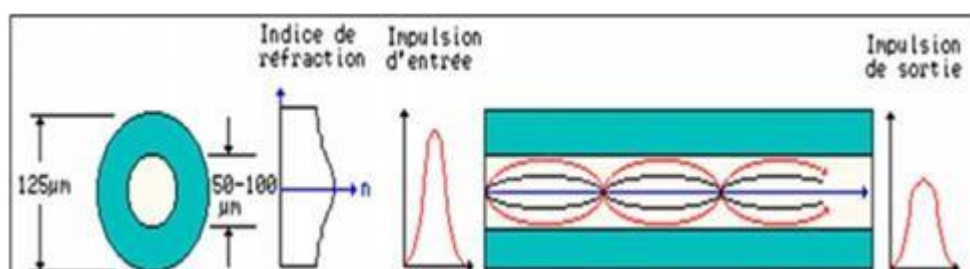


Figure I.12 : fibre à gradient d'indice

I.7.2 Fibre optique monomode :

La fibre monomode (SMF) est une fibre utilisée pour les communications dans les réseaux métropolitains et par les transporteurs longue distance. Elle se caractérise par un cœur très fin (environ 9 microns). La transmission des données est

assurée par des lasers émettant des longueurs d'onde comprises entre 1300 et 1550 nanomètres. . La figure I.11 ci-dessous illustre le fibre monomode .

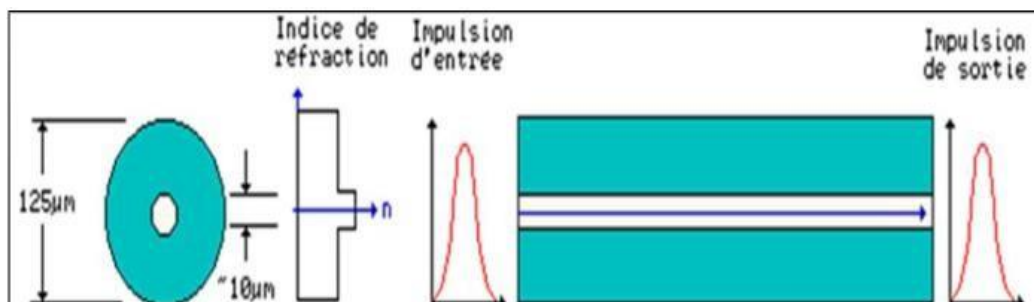


Figure I.13 : fibre monomode.

I.8 comparaisant entre les déférents types de la fibre optique :

Tableau I.1 : comparaisant entre les déférents types de la fibre optique

Structure	Avantage	Inconvénients	Applications pratique
Multi mode A saut indice	-Grande ouverture numérique -Connexion facile -Faible prix -Facilité de mis en œuvre	Pertes, Dispersion et distorsion élevées du signal	Communications Courtes distances, réseaux locaux
Multi mode à gradient indice	Bande passante Raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications Courtes et moyennes distances
Monomode	Bande passante très Grande ; atténuation très faible, faible dispersion	Prix très élevé	Communications longues distances

I.9 Les effets limitants la capacité de transmission:

Les systèmes de communication par fibre sont conçus pour une transmission linéaire. La transmission linéaire et les effets non linéaires deviennent alors des effets parasites qui dégradent les performances. Les performances se dégradent au fur et à mesure que la puissance de transmission augmente. Actuellement, les systèmes de transmission à grande vitesse et à longue distance ont été conçus pour une transmission linéaire.

I.9.1 Les effets linéaires :

I.9.1.1 Atténuation :

Les fibres optiques ont des pertes très élevées aux faibles longueurs d'onde. En outre, la présence d'impuretés peut entraîner l'apparition de différentes bandes d'absorption. Pour la silice pure, l'atténuation minimale théorique devrait tomber à 0,14 dB/km autour de $\lambda=1550$ nm de longueur d'onde.

En outre, des pertes par diffusion (diffusion de Rayleigh) se produisent en raison d'irrégularités structurales involontaires. En outre, il existe des pertes dues aux conditions d'utilisation de la fibre. Un pliage trop serré entraîne des pertes par rayonnement. Les micro-courbures sont des courbures très petites mais répétées, presque incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans le câble. Ces pertes s'ajoutent directement aux pertes intrinsèques.

Toutefois, dans des conditions normales d'utilisation, elles sont négligeables dans les fibres de télécommunication standard. Enfin, la fibre est toujours utilisée en longueur finie, est épissée. La figure (1.14) montre l'atténuation spectrale des fibres de quartz de télécommunications.

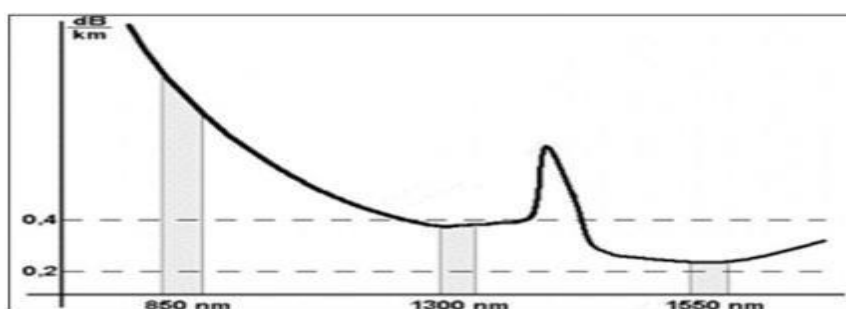


Figure I.14 : atténuation spectrale d'une fibre optique G.652 [16].

Théoriquement l'atténuation peut être donnée par cette formule :

$$\text{Atténuation} \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] = \frac{ps [\text{dBm}] - pe [\text{dBm}] * 100}{\text{distan} [\text{m}]} \quad (\text{I.6})$$

I.9.1.2 Dispersion chromatique :

Le temps de propagation de groupe, c'est-à-dire le temps que met un signal pour parcourir une unité de longueur, dépend de la longueur d'onde λ (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Dans le cas d'un signal provenant d'une source lumineuse émettant sur

une ligne de largeur $\delta\lambda$, ces temps de propagation seront répartis sur une certaine période de temps.

Le paramètre de dispersion des couleurs (D) est défini comme la dérivée du temps de propagation de groupe par rapport à la longueur d'onde pour une longueur de fibre de 1km. Il est généralement donné par ps/(nm.km), où la picoseconde est la largeur de temps, le nanomètre est la largeur spectrale et le kilomètre est la longueur de la fibre.

En fait, la dispersion chromatique est la somme d'un terme de matériau pur (dispersion matériau) et d'un terme dû au guidage de l'onde (dispersion modale). La figure (1.15) montre l'évolution avec λ du terme matériau pour la silice

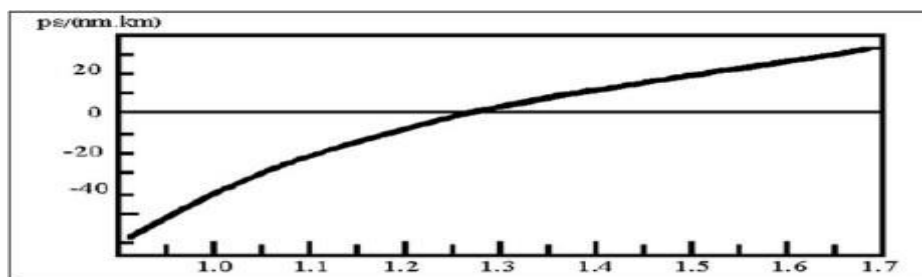


Figure I.15: dispersion matériau dans la silice pure en fonction de la longueur d'onde [8]

On voit sur cette courbe, que la fibre monomode standard G.652 [12] présente une dispersion maximale de 20 ps/(nm.km) à 1550 nm. Classiquement, on la considère de 17ps/(nm.km). Dans la bande 1288 à 1359 nm, elle est de 3,5 ps/(nm.km). Ainsi, la capacité de transmission est la plus grande possible pour une longueur d'onde d'environ 1300 nm. Elle est donc idéale pour cette fenêtre spectrale et permet de transporter de très hauts débits. Malheureusement, ce n'est pas là que l'atténuation est la plus faible. On a donc cherché à déplacer le point de dispersion nulle vers 1550 nm. On dit que ce genre de fibre, la G.653, est à dispersion décalée (Figure 1.16). Il existe aussi des fibres à dispersion aplatie pour lesquelles la dispersion totale reste très faible, de l'ordre de quelques ps/(nm.km), sur plus d'une centaine de nanomètres (Figure 1.16) [13].

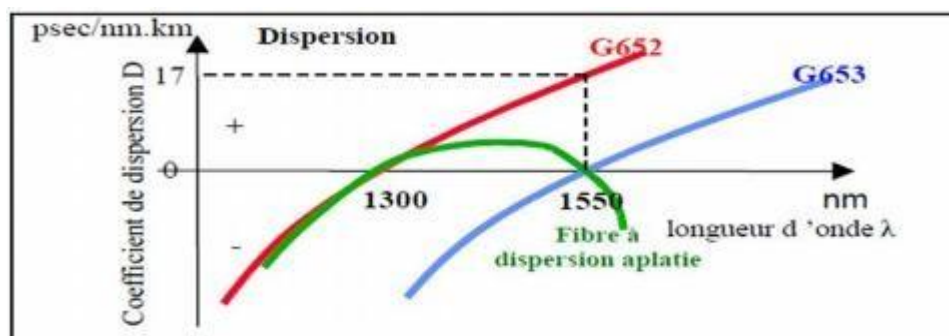


Figure I.16: Courbes de dispersion de quelques fibres optiques.

➤ Effets sur la transmission :

La dispersion des couleurs des fibres conduit donc à des temps de propagation différents. Si les impulsions émises ne sont pas complètement monochromatiques, la largeur de temps des impulsions émises augmente. Au bout d'une certaine distance, si cet étalement devient relativement important, un recouvrement générateur d'interférences entre symboles est possible. Cet élargissement τ se calcule ainsi :

$$\tau = D \text{ (Ps/nm.km)} \times L \text{ (km)} \times \Delta\lambda \text{ (nm)} \quad (I.7)$$

Avec :

D : le coefficient de dispersion chromatique de la fibre,

L : la longueur de la fibre et $\Delta\lambda$ la largeur spectrale de la source.

La dispersion chromatique est donc un facteur majeur qui limite les performances des systèmes de transmission par fibre à haut débit. En effet, les longueurs d'onde autour de 1550 nm sont principalement utilisées dans les environnements de télécommunication (car l'atténuation est moindre dans cette région spectrale). En outre, plus le débit de données transmis est élevé, plus le chevauchement est rapide et plus il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques de compensation élaborées. Il existe deux possibilités principales : utiliser une fibre dont la dispersion chromatique corrigée est presque nulle à cette longueur d'onde, ou ajouter une deuxième fibre à dispersion négative à la première fibre à dispersion chromatique positive. C'est ce qu'on appelle la compensation de la dispersion.

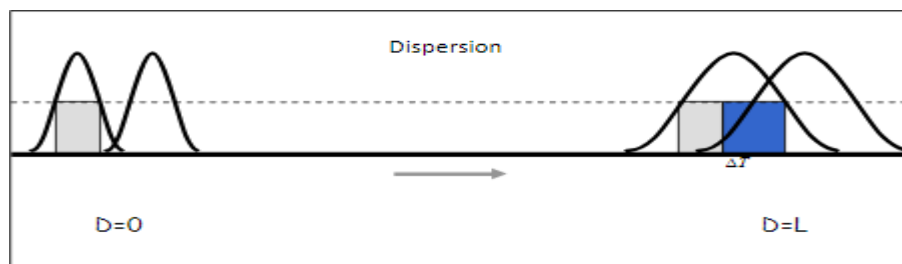


Figure I.17 : dispersion chromatique (le signal qui se propage s'élargit, le signal reçu est déformé par rapport au signal émis (dégradations)).

I.9.2 Les effets non linéaires:

I.9.2.1 L'effet Kerr :

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variable.

L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique : $n = n_0 + n_2$ avec n_0 une constante et n_2 une fonction quadratique de la puissance. La non-linéarité induit une modulation de phase croisée (cross phase modulation), ainsi que des phénomènes connus sous le nom de mélange à trois ou quatre ondes, sources d'intermodulations entre les différents canaux d'un système de transmission utilisant plusieurs longueurs d'onde. [11]

I.9.2.2 Les effets Raman et Brillouin:

L'effet Raman est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des photons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques. Ces effets sont sensibles dès que la puissance injectée dépasse un certain seuil. Une solution mise en œuvre pour les combattre consiste à moduler en amplitude à très basse fréquence le courant d'injection du laser par un signal sinusoïdal, ce qui provoque une modulation de fréquence du signal optique émis et élargit le spectre jusqu'à quelques GHz [15].

I.10 Les avantages de la fibre optique :

- ✚ Insensibilité au bruit: les interférences électromagnétiques ou le brouillage radioélectrique n'ont aucune influence sur la transmission
- ✚ Atténuation de perte inférieure: perte monomode aussi basse que 0,2 dB/km ($\cong 4,5\%$), et perte multi mode d'environ 1 dB/km ($\cong 30\%$)
- ✚ Température environnementale: Une fibre peut fonctionner à l'intérieur d'une vaste plage de température (-40°C à 100°C).
- ✚ Sécurité électrique : la fibre n'est pas sensible aux parasites électriques et n'en crée pas.
- ✚ Largeur de bande élevée
- ✚ Sécurité de transmission

I.11 les inconvénients de la fibre optique :

- ✚ Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement).
- ✚ Coût: les câbles de fibre optique sont plus coûteux à installer, mais durent plus longtemps que les câbles de cuivre.
- ✚ Fragilité: les fibres peuvent être cassées ou perdre la transmission quand le câble est rayé ou fissuré.
- ✚ Protection: les Fibres Optiques exigent plus de protection autour du câble comparé au cuivre.

I.12 Quelques applications de la fibre optique :

- ✚ Transmission numérique à haute débit
- ✚ Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.
- ✚ Réseaux locaux en environnement bruyant.
- ✚ Détection.

I.1 Conclusion :

Ce chapitre a permis de situer le contexte de la description d'une liaison optique. Les différentes pertes linéaires telles que l'atténuation et la dispersion ont été présentées, ainsi leurs effets sur la propagation de la lumière. Nous avons également présenté dans ce chapitre les autres modules de la ligne de transmission optique et nous avons donné leurs principales propriétés. Par la suite dans le chapitre suivant nous allons maintenant aborder un autre domaine de la fibre optique: les techniques des multiplexages.

Chapitre II :

Les techniques des multiplexages

II.1 Introduction :

Le multiplexage sur une longue distance est une technique de transmission optique développée pour répondre au problème économique posé par le nombre croissant d'installations à fibres optiques nécessaires pour répondre à la demande croissante de transfert de données.

Cette augmentation est principalement due à l'abondance d'images, de sons et de vidéos disponibles sur Internet, ainsi qu'au nombre toujours croissant d'utilisateurs.

Dans ce chapitre couvre toute la gamme des techniques de multiplexage utilisées dans les systèmes de transmission optique, en mettant l'accent sur le multiplexage WDM, qui permet de mélanger différentes longueurs d'ondes, ou signaux, dans une seule fibre. Le bénéfice est évident, et il est proportionnel au nombre de canaux que la fibre peut transporter.

II.2 Les réseaux informatiques :

Un réseau informatique est un ensemble d'appareils (ordinateurs et périphériques) reliés entre eux grâce à des lignes physiques en échangeant des informations sous forme de données numériques (valeurs binaires).

II.2.1 Les types de réseaux informatiques :

On distingue différents types de réseaux selon leur taille (en termes de nombre de machines), leur vitesse de transfert des données ainsi que leur étendue. On distingue généralement trois catégories de réseaux :

- ✓ **LAN (Local Area Network)** : Ce sont des réseaux à couverture géographique réduite (entreprises, bâtiments...etc.). Les débits de ces réseaux vont de quelques mégabits à plusieurs centaines de mégabits par seconde. La taille d'un réseau local peut atteindre jusqu'à 1000 utilisateurs.
- ✓ **MAN (Metropolitan Area Network)** : Ce réseau est généralement utilisé pour interconnecter un ensemble de réseaux locaux géographiquement dispersés. Il peut couvrir une circonscription géographique importante, tel, un grand campus ou une ville...etc.

- ✓ **WAN (Wide Area network)** : Également appelé réseau étendue (langue distance).

Ce réseau comme son nom l'indique, peut couvrir de grandes distances. En effet, sa zone de couverture est à l'échelle d'un pays, voire d'un continent ou de plusieurs continents.

- ✓ **Le RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services)** : connu en France sous le nom commercial donné par France Télécom « Numéris » (ISDN= Integrated Services Digital Network).

II.3 Modulateur optique :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les emporter sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre, pour cela, il est nécessaire de réaliser une convention des données électriques en données optiques. Le dispositif optique qui module le faisceau laser continu est appelé un modulateur. En fonction de la technologie et du taux de modulation, généralement elle est utilisée par deux techniques : la modulation directe et la modulation externe.

II.3.1 Modulation directe :

On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. En première approximation, la puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant.

Ce type de modulation provoque une modification dynamique du spectre due à la conversion amplitude-fréquence (désignée par le terme anglo-américain de chip) et du diagramme de rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation.

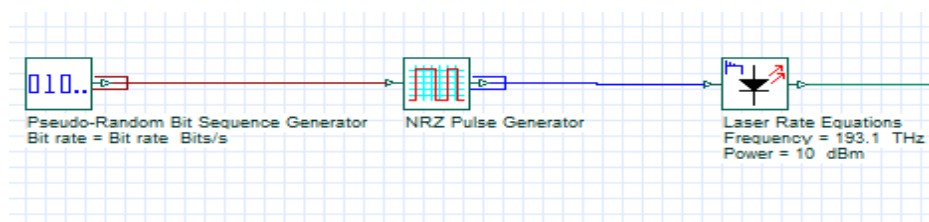


Figure II.1 : Schéma synoptique de la modulation directe.

II.3.2 Modulation externe :

Le champ émis par la source n'est pas modulé et passe par un circuit optique spécial ou l'on peut provoquer une modulation de phase ou d'amplitude.

Les modulateurs d'amplitude ne présentent aucune propriété de linéarité mais introduisent beaucoup moins de conversion amplitude-fréquence. Le signal module envoyé dans la fibre est donc nettement moins affecté par ce phénomène mais également moins puissant que dans le cas de la modulation directe.

Le principe physique utilise dans ces modulateurs externes est soit la variation de l'indice de réfraction soit la variation de l'absorption (dispositifs à base de semi-conducteurs).

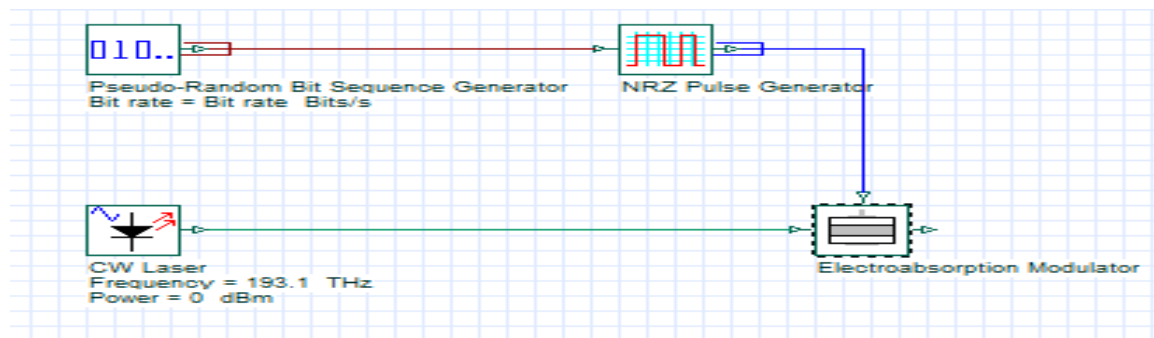


Figure II.2: Schéma synoptique d'un modulateur externe.

II.4 Multiplexage :

II.4.1 Définition :

Le multiplexage est une technologie qui permet aux signaux de plusieurs canaux d'être acheminés via un seul canal. Les signaux qui entrent dans le multiplexeur (mux) et sortent du démultiplexeur (demux) sont appelés routes à faible vitesse. Un chemin à grande vitesse peut être trouvé entre ces deux équipements. [2]

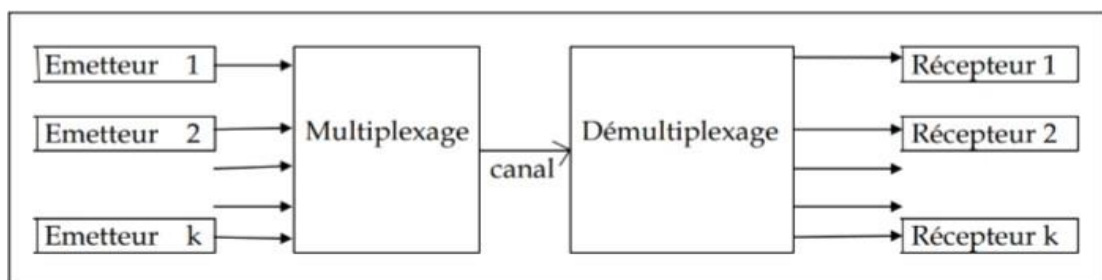


Figure II.3: Schéma de principe d'un système de multiplexé.

II.4.2 Les techniques de multiplexage :

La technique la plus efficace pour gérer cette opération est le multiplexage car il intervient dès qu'on souhaite transmettre plusieurs flux d'information indépendants (canaux) en utilisant le même support (une fibre).

- ❖ Il existe quatre (4) techniques de multiplexage :
 - ✓ Le multiplexage temporel (TDM pour Time Division Multiplexing).
 - ✓ Le multiplexage mode spatial (SDM Space Division Multilexing).
 - ✓ Le multiplexage par répartition de code (CDM Code Division Multiplexing).
 - ✓ Le multiplexage en longueur d'onde (WDM pour Wavelength Division Multiplexing).

II.4.2.1 Multiplexages temporels la TDM :

Le TDMA consiste à partager les ressources de la fibre optique en les allouant de façon temporaire à chaque utilisateur (Figure II.8)

Les utilisateurs ne peuvent pas accéder aux ressources simultanément, mais uniquement durant les intervalles temporels définissant le canal qui leur est alloué. A la réception, un démultiplexage temporel est effectué permettant de récupérer les données de chaque utilisateur suivant les intervalles temporels du canal correspondant. .[5]

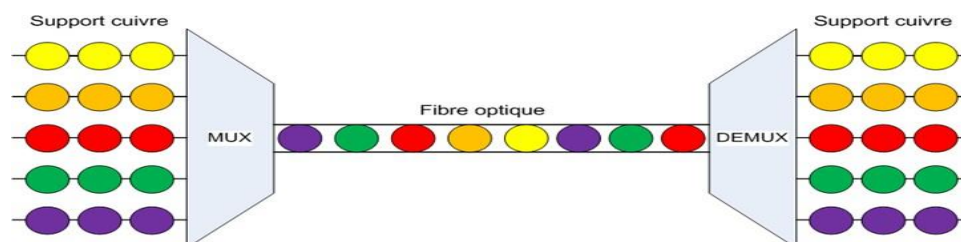


Figure II.4: Schéma du découpage en temps TDMA

II.4.2.2 Multiplexages mode spatial SDM :

Le multiplexage spatial ou SDM (Space Division Multilexing) consiste à multiplexer plusieurs fibres dans un même câble ou à utiliser des fibres à multi-cœurs pour la propagation des signaux optiques. .

Le SDM s'illustre comme la technologie de rupture pour dépasser ces limites et réaliser les réseaux optiques de demain. En utilisant plusieurs formes de lumière simultanément dans une fibre optique multi mode comme autant de canaux indépendants, le multiplexage spatial permet d'augmenter la capacité dans les fibres optiques. .[21]

II.4.2.3 Multiplexage par répartition de codes CDMA:

L'étalement du spectre occupé par un message sur un support de transmission donné, permet une plus grande tolérance en termes de bruit. Le bruit peut être (et est essentiellement) constitué des messages des autres utilisateurs. Pour que le récepteur reconnaisse le message qui lui est destiné, l'étalement est produit par une séquence déterminée : le code, connu de l'émetteur et du récepteur. Les codes sont en général choisis de façon à être dotés des propriétés statistiques d'une séquence aléatoire mais les propriétés ne sont pas toutes nécessaires. .[14]

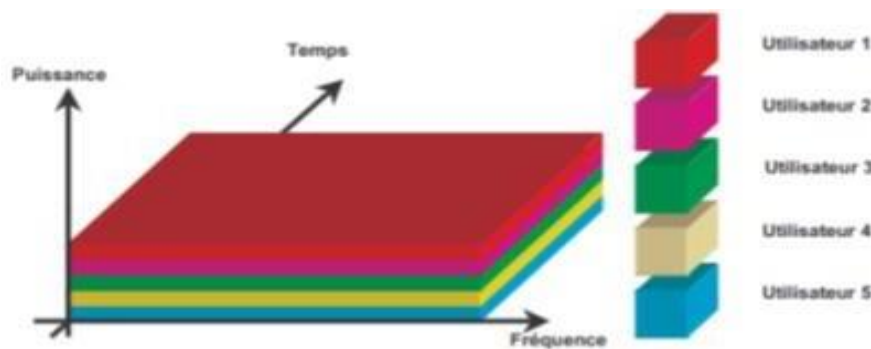


Figure II.5: Accès multiples par répartition en code.

II.4.2.4 Multiplexages en longueur d'onde WDM :

Le multiplexage en longueur d'onde (WDM pour Wavelength Division Multiplexing) (Figure II. 6) a permis une augmentation significative de la capacité des systèmes de transmission optique. Le principe du multiplexage en longueur d'onde consiste à moduler en parallèle plusieurs sources laser émettant à différentes longueurs d'onde plus ou moins rapprochées, et à les faire propager simultanément dans la fibre optique[17].

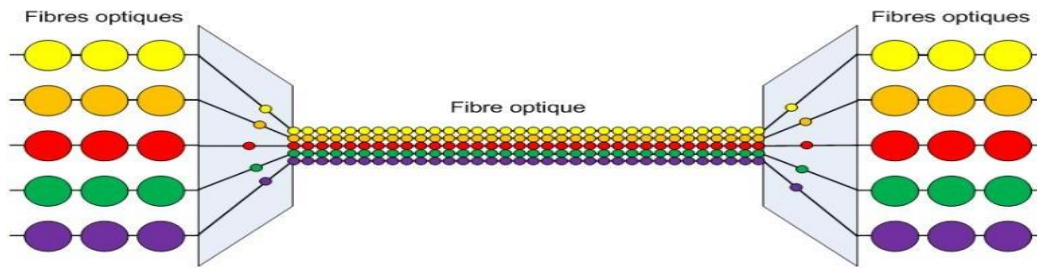


Figure II.6: Schéma de découpage en longueur d'onde WDM.

II.4.2.4.1 Fonctionnement général de WDM :

La technologie du WDM est représentée par deux terminaux et un lien optique monomode les reliant. Le premier est un multiplexeur, le second un démultiplexeur. Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur.

Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Étant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroné l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger la longueur d'onde d'un deux signaux. Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase.

Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal. Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme un ensemble de filtres, dans des zones de longueurs d'ondes données. Sachant que le démultiplexeur connaît les longueurs d'ondes circulant dans le lien optique. Il peut récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé. [27]

II.4.2.4.2 Principe de WDM :

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit DB. La bande passante est découpée en plusieurs sous-bandes dont chacune est affectée à une voie. L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches, sans qu'il y ait de

mélange entre eux au cours de la propagation. Ainsi un multiplexeur/démultiplexeur optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans de la fibre. [6]
7]

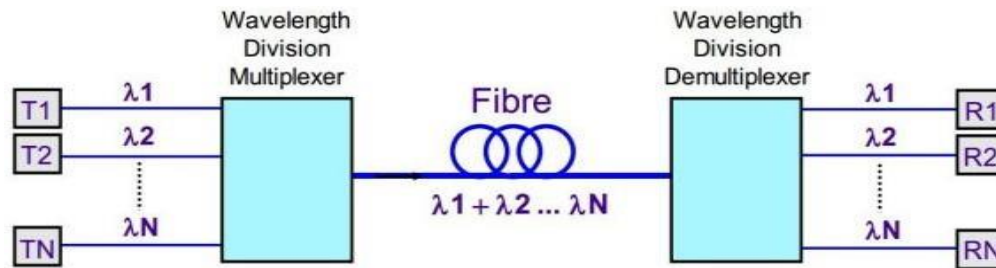


Figure II.7 : Principes d'un system WDM.

II.4.2.4.3 Description de WDM :

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à longueurs d'ondes différentes mais assez proches dans le voisinage des 1550 nm, et de multiplexeur / démultiplexeur optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre.

La figure représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM.

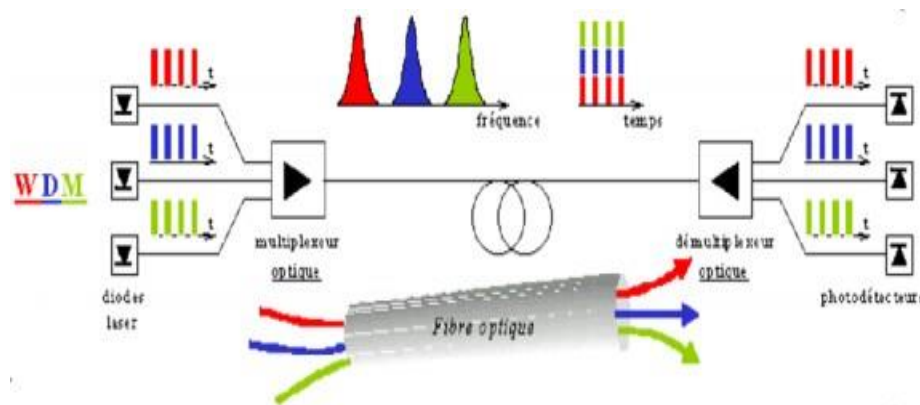


Figure II.8: Schéma d'une liaison utilisant le multiplexage WDM.

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiple dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'ondes émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs chose qualité de la fibre, qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source. La fibre optique transporte

alors un débit numérique égal à $N \cdot D$. Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système. [8]

II.4.2.4.4 Application de WDM :

L'intérêt premier du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. Les systèmes actuels autorisent 4, 8, 16, 32 et même 64 canaux optiques différents.

L'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des N canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile. Envoyer N canaux dans une fibre optique plutôt que N fibres devenait un avantage économique indiscutable. Si, il y a encore peu de temps, l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1nm, le terme de DWDM est maintenant utilisé.

En effet, avec l'apparition, sur le marché, de lasers accordables de très bonne qualité, l'espacement entre les longueurs d'onde a pu être progressivement réduit, et est descendu à 0,8 nm ou 0,4nm.[6]

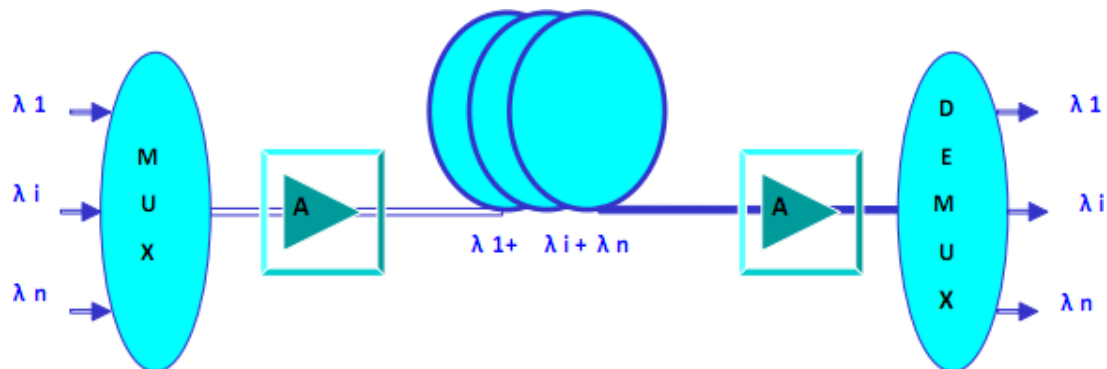


Figure II.9 : Utilisation du WDM couplé avec l'amplification optique.

II.4.2.4.5 Principales composantes d'un réseau WDM :

La figure II.14 ci-dessous décrit l'architecture de base et le fonctionnement d'un réseau DWDM. Ce réseau se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons par fibres optiques. Les nœuds d'extrémité consistent en modulateurs démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi qu'en multiplexeurs et démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses de fréquences différentes.

- ✚ **Les modulateurs** : convertissent les données numériques en ondes par modulation d'intensité ou d'amplitude, tandis que les démodulateurs reconvertissent les signaux optiques en données numériques. Les nœuds de commutation se composent de multiplexeurs et de démultiplexeurs à insertion-extraction, de commutateurs de longueur d'onde et de convertisseurs de longueur d'onde.
 - ✚ **Les multiplexeurs** : servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes à des fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux à des fins de commutation. Le commutateur de longueur d'onde interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie voulues.
 - ✚ **Les convertisseurs** : de longueur d'onde ont pour fonction de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'onde surexploitées en longueurs d'onde disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies.
- .[12]

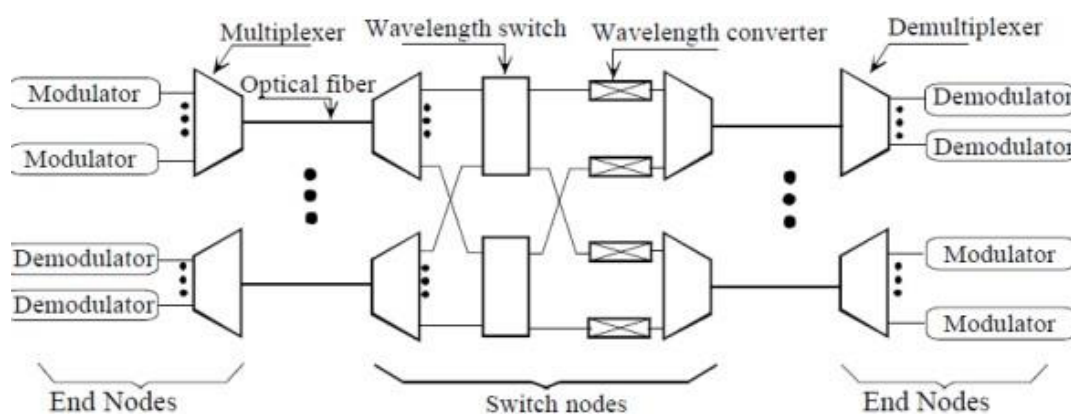


Figure II.10: Principales composantes d'un réseau WDM.

II.4.2.4.6 Les paramètres importants d'un système WDM :

Un système WDM est caractérisé par trois paramètres importants : le premier est sa portée optique, le second est l'espacement entre amplificateurs et le dernier est sa capacité.

○ La portée optique :

La portée optique est la distance maximale qui peut être couverte sans régénération optoélectronique du signal.

Cette portée est principalement limitée par le niveau de bruit en réception et donc par le rapport signal à bruit admissible en fin de transmission ainsi que par l'accumulation des défauts de propagation.

- **Espacement entre amplificateurs :**

Le choix de l'espacement entre amplificateurs influence fortement les limites de la portée. Pour une distance donnée, la puissance de bruit augmente de manière quasi exponentielle avec l'espacement entre amplificateurs.

- **La capacité :**

La capacité d'un système relève du choix de deux paramètres : le nombre de longueurs d'onde et le débit unitaire transporté par chacune. Le choix pour obtenir une capacité donnée dépend de considérations à la fois technique et économiques et des caractéristiques des équipements en interface.

II.4.2.4.7 Avantages et Inconvénients du multiplexage en longueur d'onde :

- **Les Avantages :**

- ✓ Optimiser et rentabiliser les coûts d'installation.
- ✓ Passer plusieurs canaux de transmission simultanément.
- ✓ Si on divise le débit d'une transmission par n canaux alors on augmente d'autant la distance que peut couvrir la transmission.

- **Les Inconvénients :**

- ✓ Sensibilité aux effets non- linéaires générés dans la fibre de ligne (FWM).
- ✓ Spécificités propres des amplificateurs optiques (platitude du gain...).
- ✓ Source d'émissions très stables en longueur d'onde.

II.4.2.4.8 Les différentes technologies WDM :

Il existe plusieurs technologies WDM à savoir la Broad WDM, Coarse WDM, Dense WDM et Ultra WDM. Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploités dans une fibre.

II.4.3. La technologie DWDM :

II.4.3.1 Multiplexage DWDM (Dense WDM) :

La technologie DWDM (Figure II.15) est adaptée pour le transport courte et longue distance de données. En outre, le système DWDM est parfaitement adapté dans le Metro ou longue distance où les demandes de capacité sont extrêmement élevées.

Cette grande capacité demande un résultat de l'agrégation des services reçus des clients multiples à la périphérie de l'entreprise, utilisent des lasers qui ont un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps et peuvent multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 2,4 Tbps sur une seule fibre optique.

De plus, les nouveaux systèmes DWDM seront en mesure de soutenir 40 Gbps avec un maximum de longueurs d'onde de 300 chaînes, résultant en 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre optique.

Les émetteurs-récepteurs optiques des systèmes DWDM consomment plus d'énergie et dissiper la chaleur beaucoup plus que les émetteurs-récepteurs des systèmes CWDM. Cela crée une obligation pour le refroidissement des sous-systèmes de DWDM. .[28]

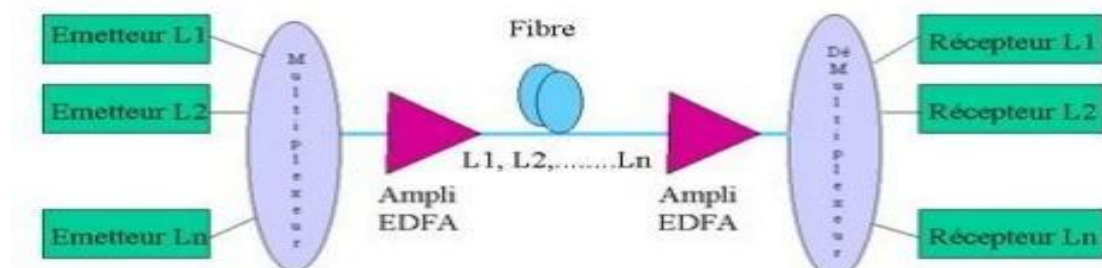


Figure II.11: Exemple d'un lien DWDM.

II.4.3.2 Principe de DWDM :

La technologie WDM est dite DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) lorsqu'on regroupe plusieurs canaux de communications sur une même fibre optique, où l'espacement est égal ou inférieur à 0.8 nm (espace inter canaux), ou lorsque plus

de 16 canaux sont utilisés. Des tests ont déjà été effectués avec des espacements de 0.4 et 0.2 nm.

Les systèmes commercialisés aujourd'hui proposent 4, 8, 16, 32, 80 et même 160 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal. Les débits atteints avec de tels systèmes sont de 10, 20, 40, 80, 200 et même 400 Gbit/s.

II.4.3.3 L'architecture de base d'un réseau DWDM :

Le réseau DWDM se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons aux fibres optiques. Les nœuds d'extrémités consistent en modulateur/démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi qu'en multiplexeurs et démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses et fréquences différentes.

II.4.3.4 Avantages et inconvénients du DWDM :

○ **Les avantages :**

- ❖ Faible distorsion du signal et faible consommation d'énergie.
- ❖ Bande passante élevée (environ 50 Tbps).
- ❖ Extension plus facile du réseau.
- ❖ Aucune nouvelle fibre nécessaire.
- ❖ Ajoutez simplement une nouvelle longueur d'onde.
- ❖ Le coût différentiel pour une nouvelle chaîne est faible.
- ❖ Pas besoin de remplacer de nombreux composants tels que les amplificateurs optiques.
- ❖ Systèmes DWDM capables de portées plus longues.

○ **Inconvénients :**

- ❖ Pas rentable pour les numéros de canal bas.
- ❖ Coût fixe de mux / demux, transpondeur, autres composants du système.
- ❖ Introduit un autre élément, le domaine fréquentiel, dans la conception et la gestion du réseau.
- ❖ Les systèmes de gestion de réseau SONET / SDH ne sont pas bien équipés pour gérer le DWDM topologies.
- ❖ Développement de méthodologies de surveillance et de protection des performances DWDM

II.4.4 Multiplexage U-DWDM (Ultra DWDM) :

Les systèmes de communications optiques sans fil utilisent le multiplexage par répartition en longueur d'onde ultra-dense (UDWDM) (Figure II.118) est la meilleure solution pour fournir une transmission à haut débit avec un très faible taux d'erreur de bits (BER).

Ce type de multiplexage est le phénomène le plus récent pour l'avancement de la technologie, il s'agit d'une technologie qui peut transmettre plusieurs données simultanément sur la fibre unique avec un espacement des canaux très étroit, où l'espacement entre les canaux est de 0,4 nm et le nombre de canaux utilisables est égal à 100. [9]



Figure II.12: Technique de multiplexage Ultra DWDM.

II.4.5 Multiplexage CWDM :

En effet, dans les équipements CWDM (Figure II.19), on peut utiliser des lasers non régulés en température, d'un coût moindre et qui émettent à des longueurs d'onde espacées de 20 nm dans la fenêtre de transmission 1270-1610 nm.

CWDM fait l'objet de la recommandation ITU-T G.695 qui prévoit des solutions souples et modulables, notamment la solution de 8 à 16 canaux optiques avec deux fibres (une pour chaque sens de transmission), offrant des débits de 1,25 Gb/s à 2,5 Gb/s par canal. Cependant, les systèmes CDWM n'étant pas compatibles avec les amplificateurs optiques, sont limités en portée.

Deux longueurs de liaison indicatives sont spécifiées dans la recommandation G.695 : jusqu'à 40 Km et jusqu'à environ 80 Km, ce qui est généralement suffisant pour les besoins des réseaux métropolitains.

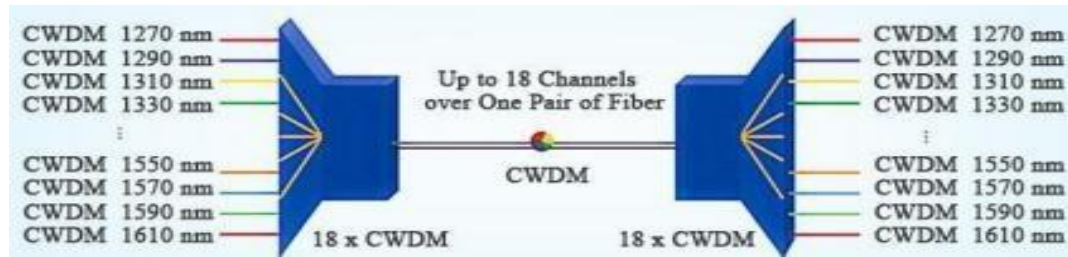


Figure II.13: Multiplexage CWDM.

II.4.6 Comparaison entre les techniques de multiplexage :

Le tableau II.1 suivant résume la différence entre les systèmes de multiplexage WDM, CWDM, DWDM et UDWDM :

Tableau II. 1 : Comparaison entre les techniques de multiplexage

Type de multiplexage	Espacement inter canaux en (nm)	Nombre de canaux	Bande de signaux en (nm)
WDM	8	32	1530-1565
CWDM	20	8-18	1270-1610
DWDM	0.8	80-160	1525-1565
UDWDM	0.4	400	1675-1625

L'un des éléments primordiaux de la technique du multiplexage est l'amplificateur optique. Il en existe différents qui seront exposés plus loin. L'apparition de l'amplification optique fut le véritable point de départ du développement de la technologie WDM longue portée.

En effet, l'amplificateur procure un avantage économique décisif par son aptitude à amplifier l'ensemble des N longueurs d'ondes. De ce fait, un seul amplificateur se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec le nombre de canaux et la longueur de la liaison c.

II-5 L'avenir du WDM:

La capacité des systèmes de transmission à la multiplexage en longueur d'onde (WDM) à récemment augmenté d'une manière spéculaire, en raison notamment de la multiplication du nombre de canaux, toutefois pour atteindre des capacités encore plus grandes, il faudra augmenter le débit binaire par canal (10Gbits/s vers 40Gbits/s), rapprocher les canaux et élargir la bande passante optique exploitée.

Aujourd'hui, la technologie DWDM n'a pas encore atteint ses limites. De plus, de nouvelles techniques en cours de développement vont permettre à priori de multiplier encore plus les capacités des systèmes optiques. On peut citer :

- Des amplificateurs optiques à faible bruit, de grande puissance, à large bande.
- Une fibre optique optimisée et des techniques de gestion de la dispersion.
- La transmission soliton permettant le transport d'impulsions très étroites sur des milliers de kilomètres sans déformation, tout en conservant une bande passante très large.
- Des composants électroniques et optoélectroniques rapides pour les équipements émetteurs et récepteurs.
- La réduction de la dispersion en polarisation.
- Des modules de compensations de dispersion compatibles avec de larges bandes passantes optiques.
- Une technologie de traitement optique rapide pour la régénération 2R, 3R autorisant une régénération efficace mais peu coûteuse par comparaison avec les équipements d'émission-réception.
- Des équipements à très haut débit binaire mettant en œuvre le multiplexage temporel
- Une nouvelle génération de technique de correction d'erreurs directe pour faciliter la transmission en présence de bruit.
- Des filtres optiques à forme d'amplitude et de phase bien définies pour un filtrage très étroit (plus étroit que la bande passante de canal WDM) [30].

II.6 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les techniques de multiplexage en longueur d'onde (WDM), le multiplexage en longueur d'onde (WDM pour Wavelength Division Multiplexing) a permis une augmentation significative de la capacité des systèmes de transmission optique.

Le principe du multiplexage en longueur d'onde consiste à moduler en parallèle plusieurs sources laser émettant à différentes longueurs d'onde plus ou moins rapprochées, et à les faire propager simultanément dans la fibre optique. Pour ce faire, les signaux optiques modulés sur chaque longueur d'onde porteuse sont multiplexés au moyen de dispositifs à matrice de fibre.

Nous avons présenté également la technologie de DWDM et leur architecture de base en expliquant son principe de fonctionnement, ses avantages et ses inconvénients... etc.

Par la suite dans le chapitre suivant en vas m'intéresse à la partie de simulation pour justifier notre étude théorique

Chapitre III :

Simulations et discussions

II.1 Introduction :

Notre objectif dans ce chapitre est l'étude par simulation de deux liaisons de fibres optiques en termes de pertes et d'atténuations à l'aide du logiciel Optisystem.

Le logiciel Opti-System permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique, il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optiques. la conception de différents liaisons optiques et d'effectuer des tests sur plusieurs types de liaisons et possède un environnement de simulation très riche.

III.2 Présentation du logiciel OPTISYSTEM :

Opti-System est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. Opti-System est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale. La démarche à suivre se décompose en deux étapes:

- Construire le schéma bloc,
- Analyser le schéma.

III.2.1 Principales caractéristiques du logiciel Opti-System :

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 fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
- La bibliothèque de composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels, ces composants s'intègrent aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs.
- Les outils de visualisation avancée produisent le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation.

IV.2.1 Il est possible de joindre un nombre arbitraire des visualiseurs sur le moniteur au même port.

III.2.2 Interface de l'Opti-System :

Contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties (voir figure III.1) :

- Bibliothèque.
- Editeur du layout.
- Projet en cours.

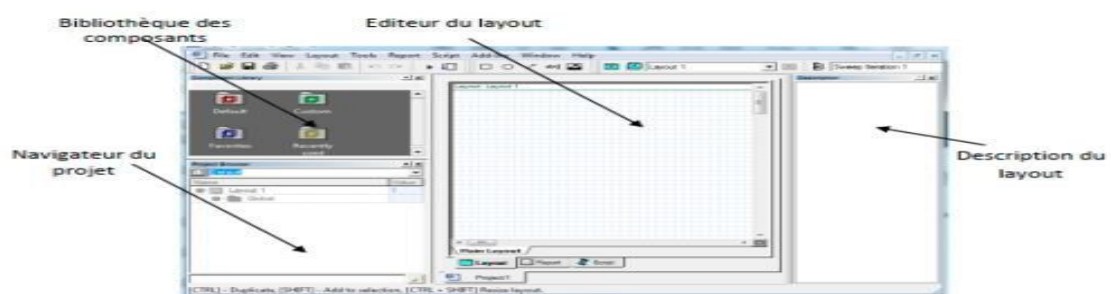


Figure III.1:L'interface de travail sur opti-system.

- Lancer une simulation : Pour exécuter une simulation, procédez comme suit.

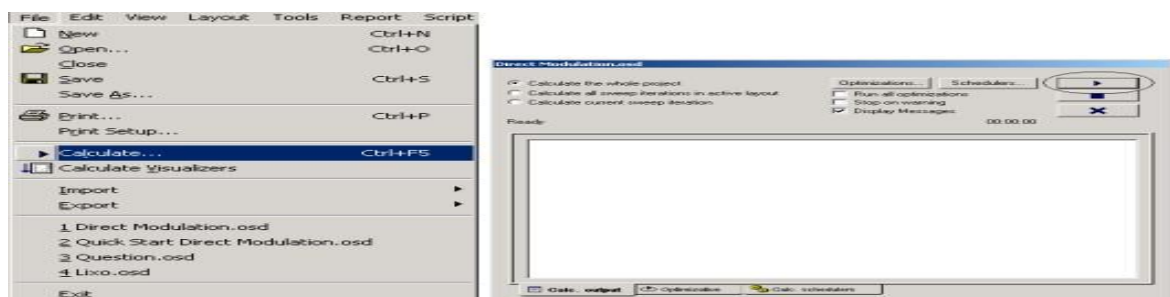


Figure III.2: Fenêtre montre le lancement de la simulation.

III.3 Simulation (Dimensionnement D'une Liaison Optique) :

Le but est de pouvoir réussir à faire la conception d'une liaison optique, qui nous permettra d'effectuer des variations soit sur la distance parcourue par le faisceau lumineux, soit sur des composants (modulateur, amplificateur optique,...), et savoir mettre en pratique nos connaissances théoriques sur la liaison optique en générale.

III.3.1 Chaîne de transmission de base :

Dans son synoptique le plus général et le plus simple possible, un système de télécommunications optique est donné par la chaîne de la figure suivante:

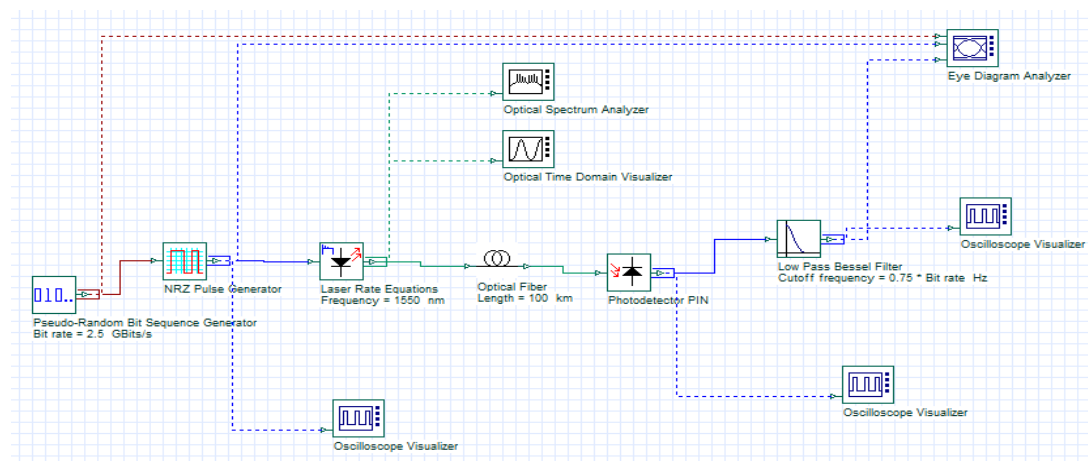
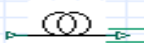


Figure III.3: Synoptique d'une chaîne de transmission optique.

- Dans la partie suivante nous allons faire la simulation sous le logiciel Opti-system des montages équivalents des liaisons **LAGHOUAT-SIDI-MAKHOLOUF** longueur d'onde 1550nm et **LAGHOUAT- BELIL** longueur d'onde 1310nm.
- L'implémentation des deux liaisons sous l'interface Opti-system est basé sur les données des Tableau III (01-02) (voir Annexe 1) que nous avons obtenu **d'Algérie Télécom-CT Laghouat (10/05/2023)** , lors de l'implémentation nous avons remplacé chaque segment par une longueur de fibre qui sépare deux événements, et chaque événement est remplacé par un connecteur comme elles sont représentées dans les Figure III.4 ; les paramètres de la distance, atténuation et dispersion sont indiquées dans le Tableau III.03.Cette simulation a pour but de reproduire les différents pertes rencontré dans les Deux liaisons testées, puis on fait une comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux.

Tableau III.3 : les composantes de la liaison simulée.

Le composant	Les Tableaux de modification des paramètres																																													
La fibre  Optical Fiber 6 Length = 0.87176 km	Optical Fiber_6 Properties Label: Optical Fiber_6 Cost\$: 0.00 <table><tr><th colspan="5">Main Disp... PMD Nonl... Num... Gr... Simu... Noise Rand...</th></tr><tr><th>Disp</th><th>Name</th><th>Value</th><th>Units</th><th>Mode</th></tr><tr><td>☐</td><td>User defined reference w</td><td>☒</td><td></td><td>Normal</td></tr><tr><td>☐</td><td>Reference wavelength</td><td>1550</td><td>nm</td><td>Normal</td></tr><tr><td>☒</td><td>Length</td><td>0.87176</td><td>km</td><td>Normal</td></tr><tr><td>☐</td><td>Attenuation effect</td><td>☒</td><td></td><td>Normal</td></tr><tr><td>☐</td><td>Attenuation data type</td><td>Constant</td><td></td><td>Normal</td></tr><tr><td>☐</td><td>Attenuation</td><td>0.2</td><td>dB/km</td><td>Normal</td></tr><tr><td>☐</td><td>Attenuation vs. wavelength</td><td>Attenuation.dat</td><td></td><td>Normal</td></tr></table> OK Cancel Evaluate Script Load... Save As...	Main Disp... PMD Nonl... Num... Gr... Simu... Noise Rand...					Disp	Name	Value	Units	Mode	☐	User defined reference w	☒		Normal	☐	Reference wavelength	1550	nm	Normal	☒	Length	0.87176	km	Normal	☐	Attenuation effect	☒		Normal	☐	Attenuation data type	Constant		Normal	☐	Attenuation	0.2	dB/km	Normal	☐	Attenuation vs. wavelength	Attenuation.dat		Normal
Main Disp... PMD Nonl... Num... Gr... Simu... Noise Rand...																																														
Disp	Name	Value	Units	Mode																																										
☐	User defined reference w	☒		Normal																																										
☐	Reference wavelength	1550	nm	Normal																																										
☒	Length	0.87176	km	Normal																																										
☐	Attenuation effect	☒		Normal																																										
☐	Attenuation data type	Constant		Normal																																										
☐	Attenuation	0.2	dB/km	Normal																																										
☐	Attenuation vs. wavelength	Attenuation.dat		Normal																																										
Le connecteur  Connector 5 Insertion loss = 0.113 dB	Connector_5 Properties Label: Connector_5 Cost\$: 0.00 <table><tr><th colspan="5">Main Simulation</th></tr><tr><th>Disp</th><th>Name</th><th>Value</th><th>Units</th><th>Mode</th></tr><tr><td>☒</td><td>Insertion loss</td><td>0.113</td><td>dB</td><td>Normal</td></tr></table> OK Cancel Evaluate Script	Main Simulation					Disp	Name	Value	Units	Mode	☒	Insertion loss	0.113	dB	Normal																														
Main Simulation																																														
Disp	Name	Value	Units	Mode																																										
☒	Insertion loss	0.113	dB	Normal																																										

III.3.2 Le montage équivalent des liaisons testées :

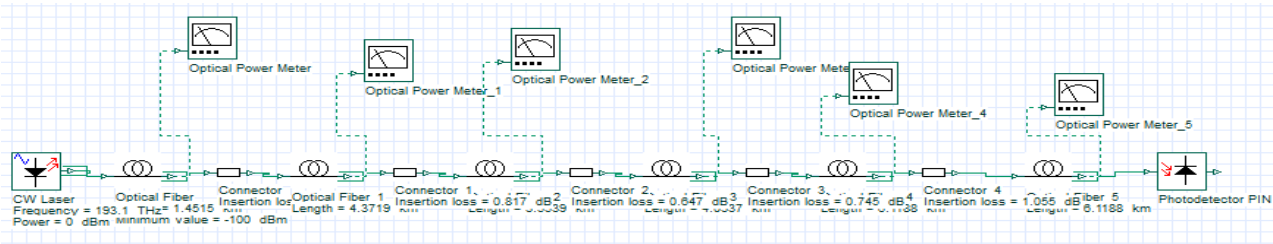


Figure III. 4 : Le montage équivalent des deux liaisons.

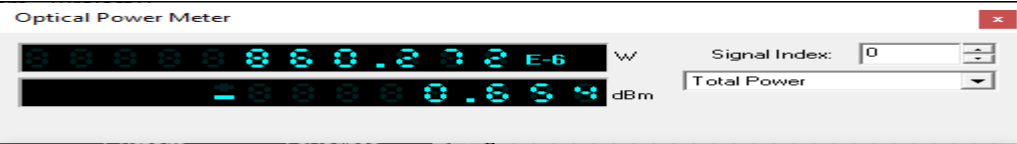
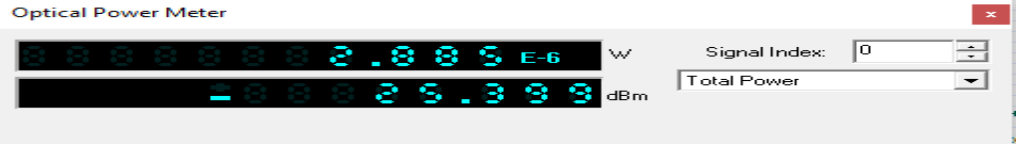
- Les résultats obtenus par le montage équivalent de liaison LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF

Tableau III.4 : puissance totale à chaque segment de la liaison LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF.

Le segment	La puissance totale de chaque segment
1	Optical Power Meter 000000935.341E-6 W 0000008.230 dBm Signal Index: 0 Total Power
2	Optical Power Meter 000000140.355E-6 W 0000008.520 dBm Signal Index: 0 Total Power

- Les résultats obtenus par le montage équivalent de liaison LAGHOUAT-BELIL

Tableau III.5 : puissance total à chaque segment de la liaison LAGHOUAT-BELIL.

Le segment	La puissance totale de chaque segment
1	
é	

Les résultats de simulations donnés dans les tableaux 03-04 montrent une diminution de la puissance du signal émit à chaque fois que la longueur de la fibre augmente d'où la présence du phénomène d'atténuation en fonction de la distance qui est de 0.187 dB /Km pour 43.0601km LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF et de 0.327 dB/Km pour 76.1941 km LAGHOUAT- BELIL.

Tableau III. 6 : tableaux comparatifs des résultats de simulation et de l'OTDR des pertes totales de puissances

Liaison	Simulation	OTDR
LAGHOUAT-BELIL	25.399 dbm	25.618 dbm
LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF	8.528 dbm	8.323 dbm

On constate dans cette simulation que les résultats obtenus par la simulation presque sont identiques aux résultats donnés par l'OTDR.

III.3.3 Les différentes analyses des deux liaisons :

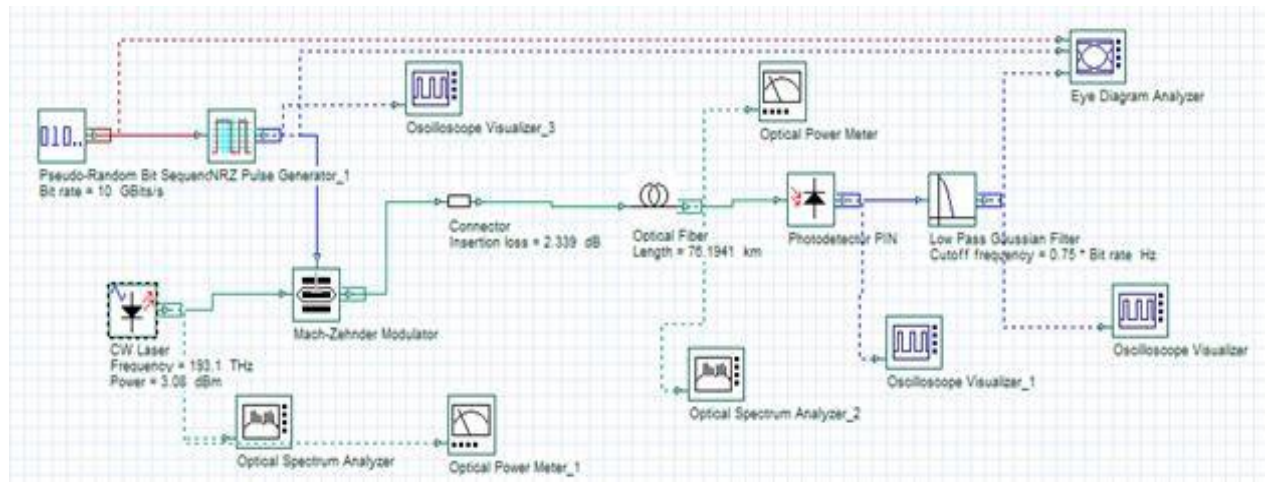
Dans cette partie nous allons modélisé les deux liaisons avec Opti-system afin d'évaluer les performances de chaque une d'elles.

- Les paramètres des liaisons simulées :

Le signal d'entrée à 10 Gbits/s pour chaque liaison

Tableau III. 7: Les paramètres de chaque liaison.

Les paramètres	(LAGHUAT-sidi-MAKHLOF)	(LAGOUAT-BELIL)
La longueur (Km)	43,0601	76,1941
L'atténuation moyenne (dB/Km)	0.187	0.327
La dispersion (ps/nm/Km)	16.75	16.75
Les pertes totales des joints (dB)	0.092	2.339

**Figure III. 5 :** montages de simulation des deux liaisons.

- **La puissance optique:**

Tableau III.8: puissance optique à la sortie de chaque liaison.

Liaison (LGOUAT-BELIL).	
Liaison (LAGOUAT-SIDI-MAKHLOUF).	

On remarque une diminution de la puissance en fonction de la distance (la diminution est plus grand dans la liaison **(LGHOUAT-BELIL)** que la liaison **(LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF)**).

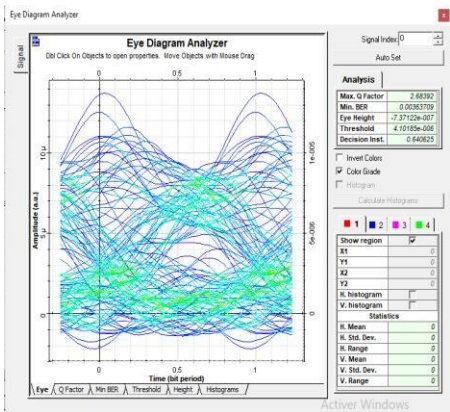
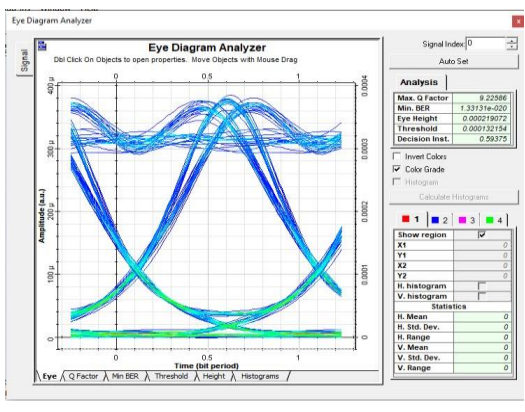
- **Le diagramme de l'œil :**

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles

binaires de la séquence transmise. Cette courbe permet de visualiser, après détection, la qualité du signal en termes:

- ✓ De l'élargissement temporel des impulsions du signal qui est dû à la dispersion.
- ✓ Du 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.

Tableau III.9: diagramme de l'œil des liaisons.

Les liaisons	(LGHOUEAT-BELIL)	(LAGHOUEAT-SIDI-MAKHLOUF)
diagramme de l'œil		
Facteur de qualité	Q = 2.68392	Q = 9.22712
Le taux d'erreur binaire	BER=0.00363709	BER=1.3157e-020

➤ Interprétation des résultats:

D'après les courbes on remarque clairement une augmentation de la distorsion en fonction de la longueur de la fibre pour un même signal d'entrer de 10 Gbits/s , nous constatons que la qualité de la liaison **(LAGHOUEAT-SIDI-MAKHLOUF)** est meilleur que la liaison **(LGHOUEAT-BELIL)**, et cela à cause de plusieurs raisons tel que la distance parcouru, les nombres de jonctions et les types de connectiques.

III.4 Résolution des problèmes :

Dans cette partie on essaie de trouver des solutions pour l'amélioration de la qualité de la liaison (**LGHOUAT-BELIL**), on donne une idée sur la compensation des effets linéaires dans la fibre optique (atténuation et dispersion) avec les deux méthodes les plus courantes telles que l'amplification pour l'atténuation et les fibres de compensation pour la dispersion.

III.4.1 L'atténuation :

On utilise un amplificateur optique pour compenser l'atténuation d'un signal optique (EDFA).

Le schéma de simulation de la liaison (**LGHOUAT-BELIL**) avec amplificateur optique est montré dans la figure suivante:

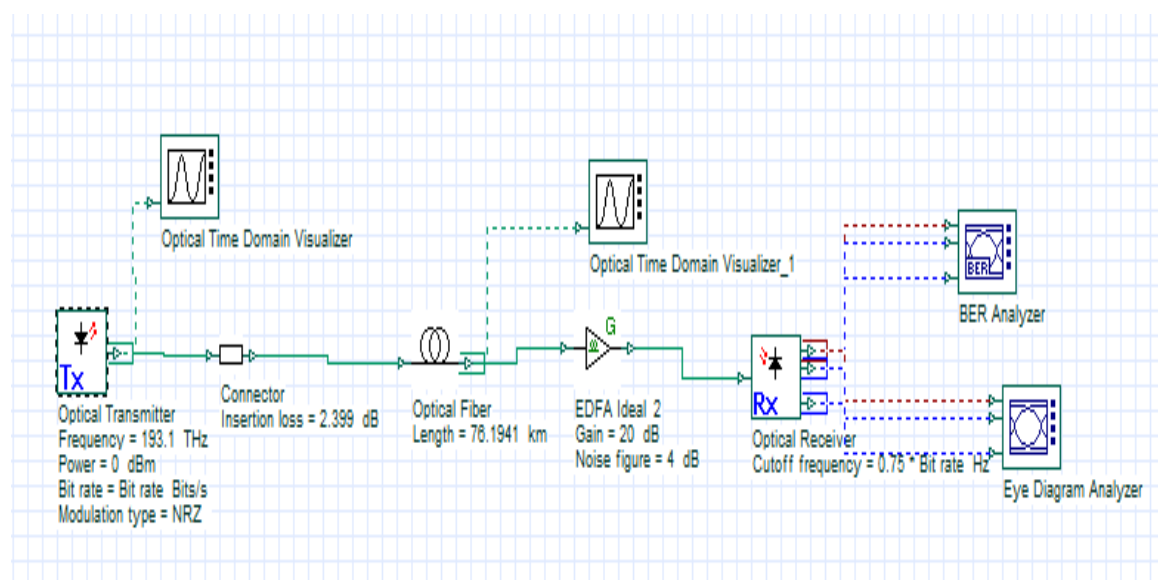
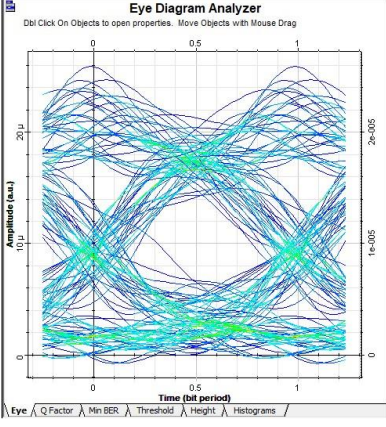
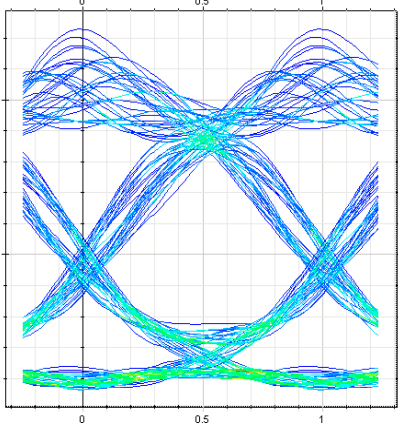


Fig. III.6: Installation d'un amplificateur optique dans une liaison.

• Les caractéristiques d'amplificateur de simulation

Type	Le gain	Pertes d'insertion
EDFA	20 dB	4 dB

Tableau III.10: diagramme de l'œil de la liaison (**LGHOUAT-BELIL**) avec débit de 10Gbit/s sans et avec amplification.

Les liaisons	(sans amplificateur)	(avec amplificateur)
diagramme de l'œil		
Facteur de qualité	Q = 4.74072	Q = 7.31084
Le taux d'erreur binaire	TEB = 1.06379e-006	TEB= 1.3246e-013

Remarque: L'insertion de l'amplificateur dans la liaison optique donne une amélioration de facteur de qualité ainsi que la qualité du signal comme monter dans le diagramme de l'œil.

III.4.2 La dispersion

• Compensation de la dispersion :

Pour compenser la valeur de dispersion, on doit installer à la fin de la liaison précédente, un câble de 15.953 Km de dispersion -80 ps/nm.Km.²²

Commençons par calculer la longueur de la fibre de compensation :

$$L(\text{DCF}) * C(\text{DCF}) = -L(\text{NZ-DSF}) * C(\text{NZ-DSF})$$

Où :

- L(DCF) est la longueur de la fibre de compensation = 15.953 Km.

- C(DCF) est la dispersion chromatique de la fibre de compensation = -80 ps/nm*km.
- C (NZ-DSF) la dispersion chromatique positive de la fibre NZ-DSF à cette même longueur d'onde = 16.75 ps/nm*km.
- L (NZ-DSF) est la longueur de la fibre NZ-DSF = 76,1941 km.

• Paramètres de la fibre optique de compensation

Longueur	Dispersion chromatique
15.953 Km	-80 (ps/nm/Km)

• Le montage

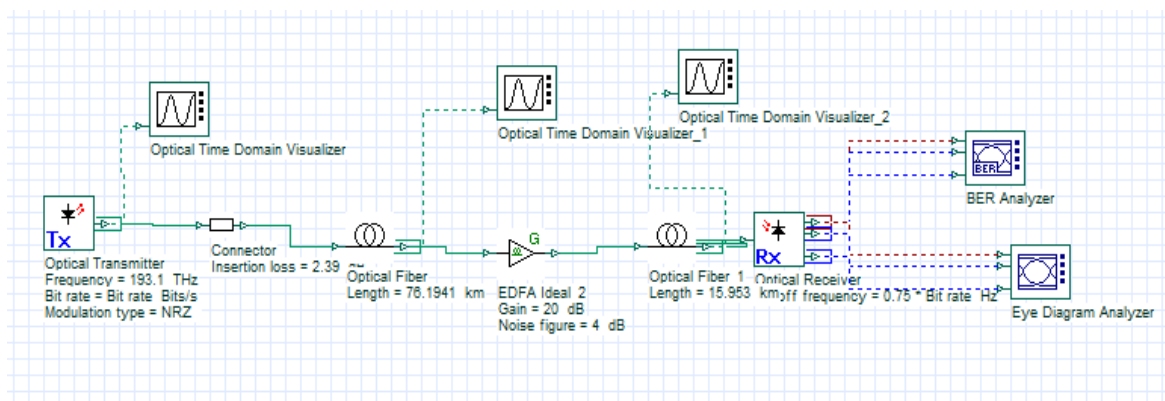


Fig. III.7: la configuration d'une liaison avec fibre de compensation et un amplificateur EDFA.

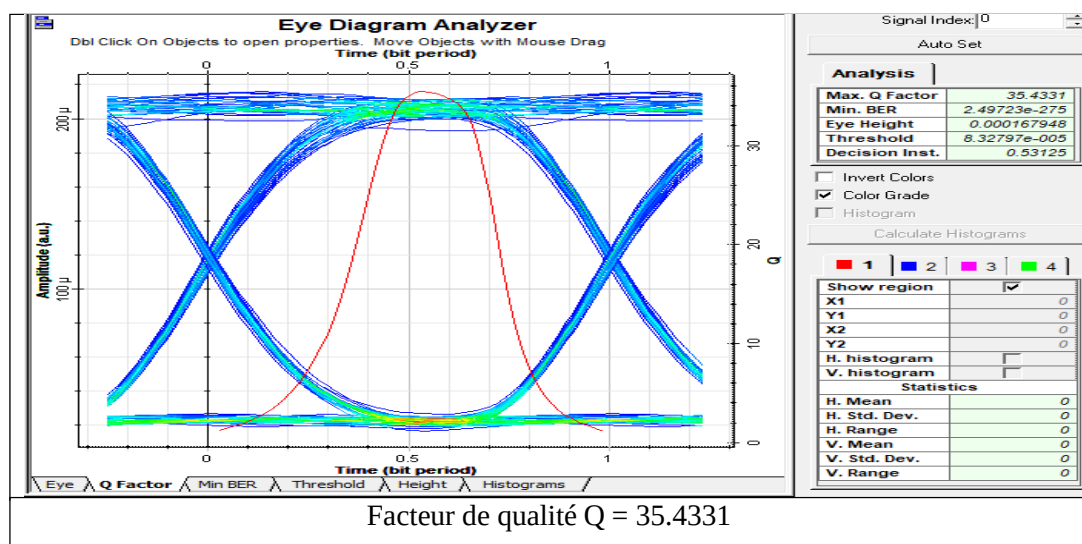


Figure. III.8: diagramme de l'œil et facteur de qualité de la liaison après la configuration d'amélioration.

Après l'insertion de l'amplificateur avec la fibre de compensation DCF on observer une amélioration considérable de la qualité du signal en terme de distorsion et d'atténuation.

III.5 Chaîne de transmission optique de base :

Dans cette partie nous avons simulés une chaîne de transmission de base qui contient une information de 1 Gbps, un codage NRZ, un Laser pour la conversion (électrique-optique), cette information sera par la suite propager dans une fibre optique mono mode, dans la partie détection on trouve une photodiode PIN, la qualité de transmission sera mesurée par un visualiser du diagramme de l'œil.

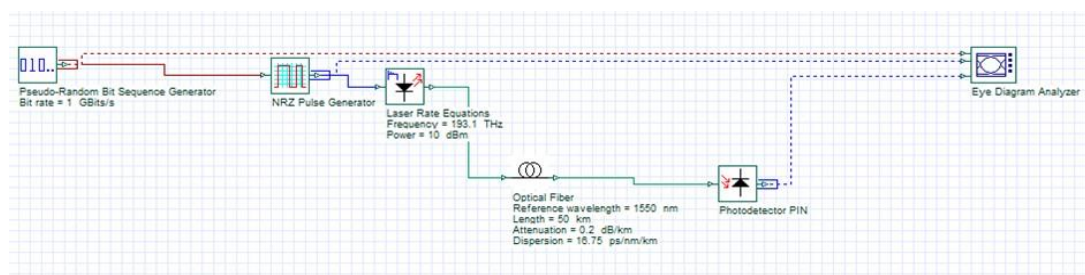


Figure III.9 : chaîne de transmission de base

La simulation de cette chaîne avec un débit de 1Gbpr nous a donné les résultats présentés dans la Figure III.9 ci-dessous :

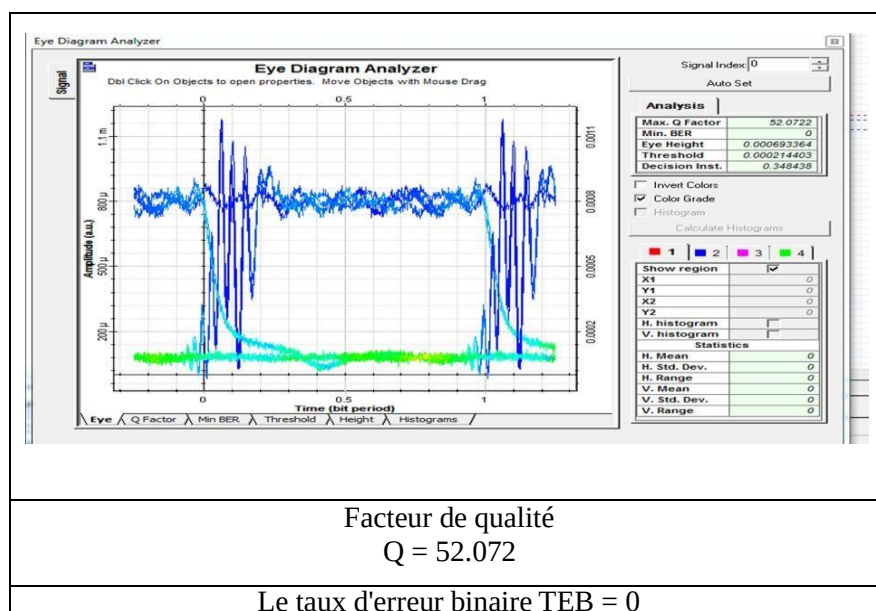


Figure III.10 : diagramme de l'œil avec débit de 1Gbit/s

L'obtention d'un facteur de qualité égale à 52.072 montre que la qualité de transmission est très bonne. On remarque aussi la présence du bruit dans le diagramme de l'œil. Ce qui nécessite l'ajout d'un filtre.

III.5.1 Chaîne de transmission de base avec filtre :

Dans cette partie nous avons introduit un filtre passe bas de Bessel a notre chaine comme le montre la figure suivante :

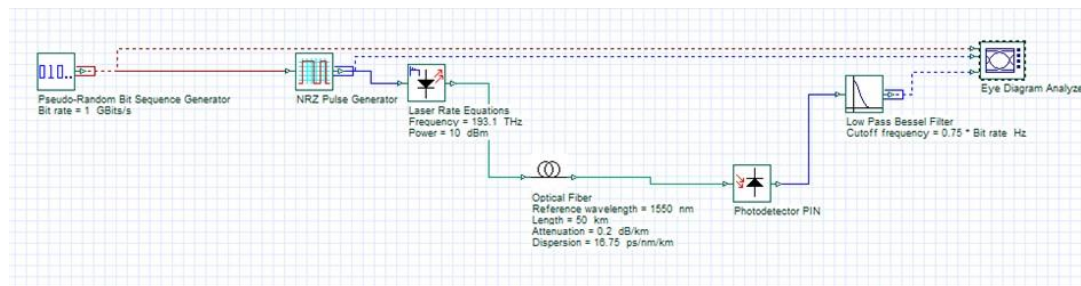


Figure III.11: Chaîne de base avec filtre

- Résultat pour D= 1Gbps avec filtre.

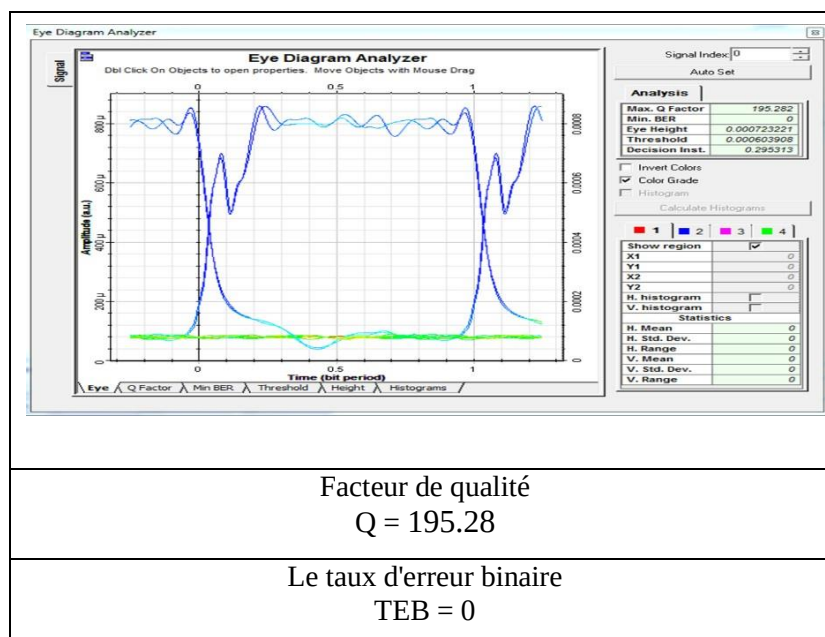


Figure III.12 : diagramme de l'œil avec débit de 1Gbit/s avec filtre.

On remarque que l'ajout du filtre nous a aidés à éliminer le bruit et avoir un diagramme d'œil sans bruit. Il nous a aussi augmenter le facteur de qualité. Par conséquence la qualité de transmission devient plus en meilleure.

III.5.2 Modulation directe :

Dans un but de déterminer les limites de la modulation directe, nous avons augmenté le débit de transmission en visualisant à chaque fois le diagramme de l'œil ainsi que le facteur de qualité. Nos résultats sont présentés dans le tableau suivant : qualité. Nos résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.11 : variation du facteur de qualité en fonction du débit

Débit	Q	TEB
4Gbps	4.82	5.81×10^{-7}

On remarque aussi que le facteur de qualité 4.82 qu'est inférieur à 6 montrant qu'avec la modulation directe on ne peut pas transmettre au-delà de 3.5 Gbps au maximum.

Malgré que la modulation directe soit simple a utilisé puisqu'elle ne comporte pas trop de composants vu qu'elle module directement un laser sauf qu'elle a une limitation elle ne dépasse pas 3.5Gbps

Dans le but de concevoir un système de 40 Gbps, nous avons changé le type de modulation pour la suite de notre travail.

III.5.3 Modulation externe :

Dans cette partie nous avons changé le type de modulation en remplaçant la modulation directe par une modulation externe en introduisant le modulateur électro-absorbant comme le montre la figure suivante :

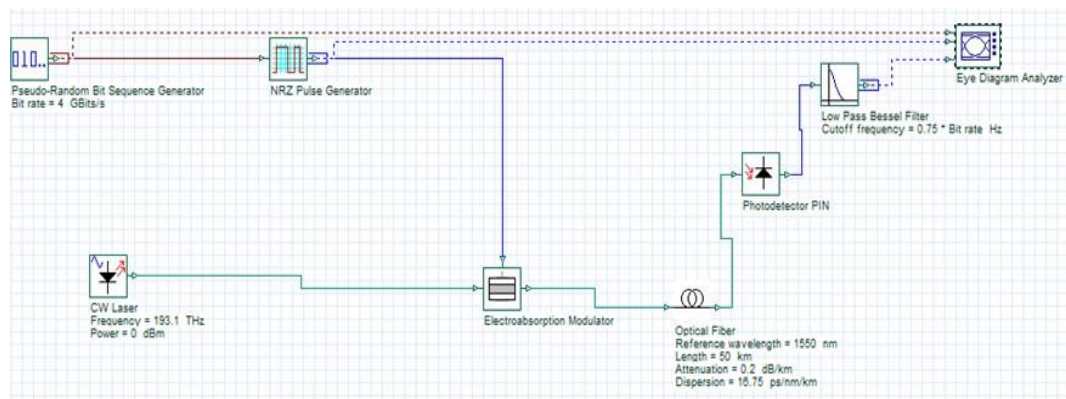


Figure III.13 : Chaîne de transmission optique avec modulation externe.

La simulation de cette chaîne avec 4Gbps nous a donné un facteur de qualité de 21.17 les résultats du tableau III.12

Tableau III.12 : variation du facteur de qualité en fonction du débit

Débit	Q	TEB
4 Gbps	21.17	7.62×10^{-100}

On peut dire que l'utilisation de la modulation externe est efficace car son application à augmenter le facteur de qualité de 4,82 à 21,17.

III.7.3.1 Effet de la distance sur la transmission :

Dans cette partie on a fixé le débit à 3Gbps. En faisant varié la distance nous avons obtenus les résultats présentés dans le Tableau III.13 :

Tableau III.13 : tableau variation du facteur de qualité en fonction de la distance (le cas de la modulation externe)

Distance (Km)	Q	TEB
10	121.25	0
30	49.77	0
50	28.64	9.45×10^{-181}
70	11.18	2.43×10^{-29}
80	8.53	7.06×10^{-18}
90	6.00	9.43×10^{-10}

On constate que le facteur de qualité à une relation inversement proportionnelle avec la distance c-à-dire lorsqu'on augmente la distance le facteur de qualité diminue.

III.5.3.1 Effet du débit sur la transmission :

Dans cette partie on a fixé la distance à 50 km

Tableau III.14 : variation du facteur de qualité en fonction du débit (le cas de la modulation externe).

Débit (Gbps)	Q	TEB
1	81.15	0
1.5	42.93	0
2	33.59	1.07×10^{-247}
2.5	30.42	9.7×10^{-204}
3	28.64	9.45×10^{-181}
4	21.17	7.62×10^{-100}
4.5	20.22	2.97×10^{-91}
5	19.98	3.56×10^{-89}
6	17.93	3.10×10^{-72}
7.5	13.26	1.72×10^{-40}
8	11.14	3.5×10^{-29}
11.5	8.99	1.12×10^{-19}
12	7.55	2.07×10^{-14}
12.5	6.38	8.65×10^{-11}
13	5.34	4.41×10^{-8}

D'après on remarque que lorsqu'on augmente le débit le facteur de qualité diminue.

III.5.4 Comparaison entre la modulation Direct et la modulation Externe :

Dans ce cas on va faire une comparaison entre la modulation directe et la modulation externe après la simulation.

On a conclu que malgré la modulation externe nous permet d'envoyer des débits plus élevés et même le bruit n'est pas excitant dans ce type de modulateur sauf qu'elle a causé des effets linaires (l'atténuation et la dispersion chromatique). Et les limites de capacité sont repousse vers les fréquences plus élevées donc on va utiliser le multiplexage WDM pour affranchir les conséquences de la modulation externe.

III.6 Chaîne de transmission optique multiplexé WDM

Dans cette partie nous allons simuler une chaîne de transmission optique avec un multiplexeur WDM de 5 utilisateurs chacun d'entre eux fais l'émission de 8 Gbps ce qui donne un débit total de $8 \times 5 = 40$ Gbps. Pour cette raison nous avons introduit au niveau du canal : un amplificateur à fibre dopé erbium EDFA et une fibre de compensation de longueur égale à 10.46 Km

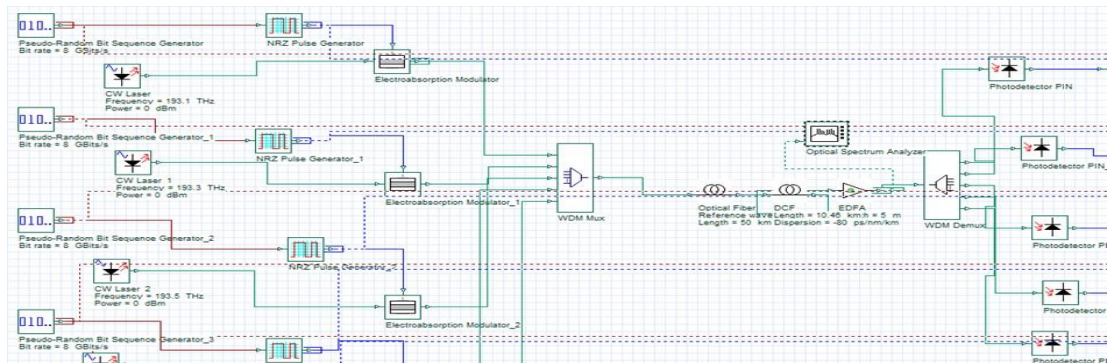


Figure III.14: Schéma bloc de la technique WDM (partie d'émission)

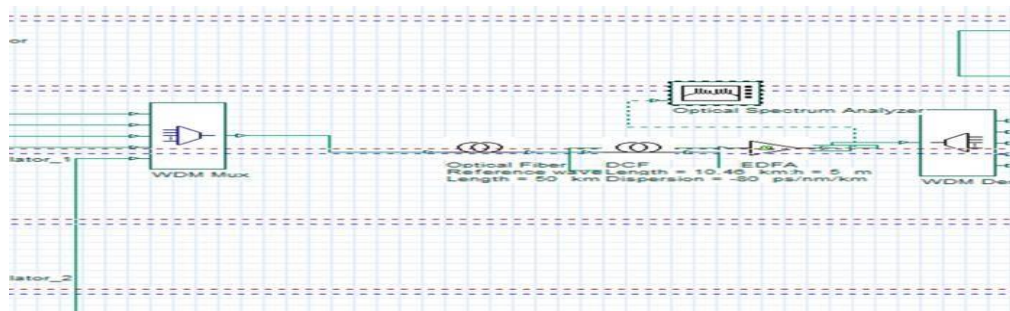


Figure III.15 : Schéma bloc de la technique WDM. (Partie de réception)

Après la simulation on a trouvé les résultats suivants :

- L'utilisateur numéro 1 : « 193.1 THZ »

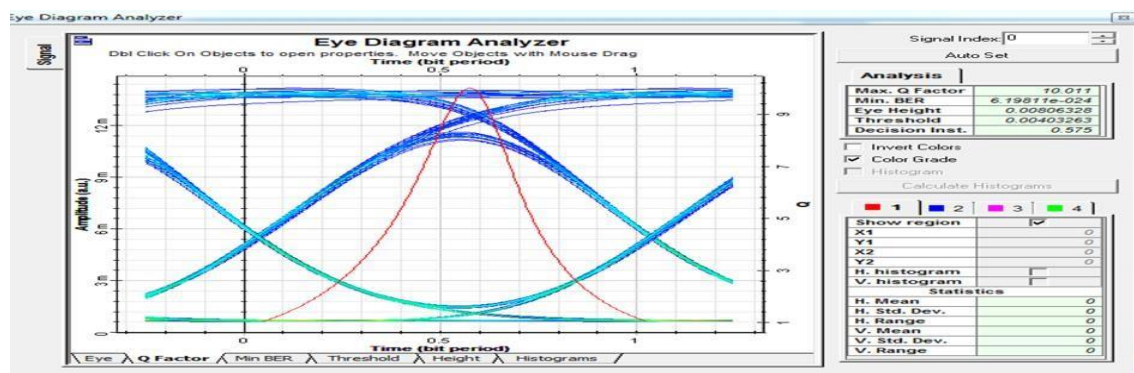


Figure III.16 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 1

- L'utilisateur numéro 2 : « 193.3 THZ »

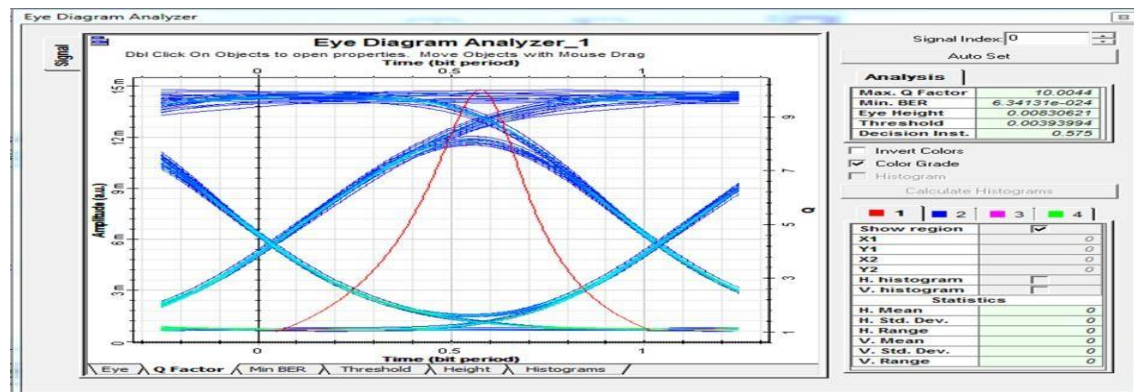


Figure III.17 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 2

- L'utilisateur numéro 3 : « 193.5 THZ »

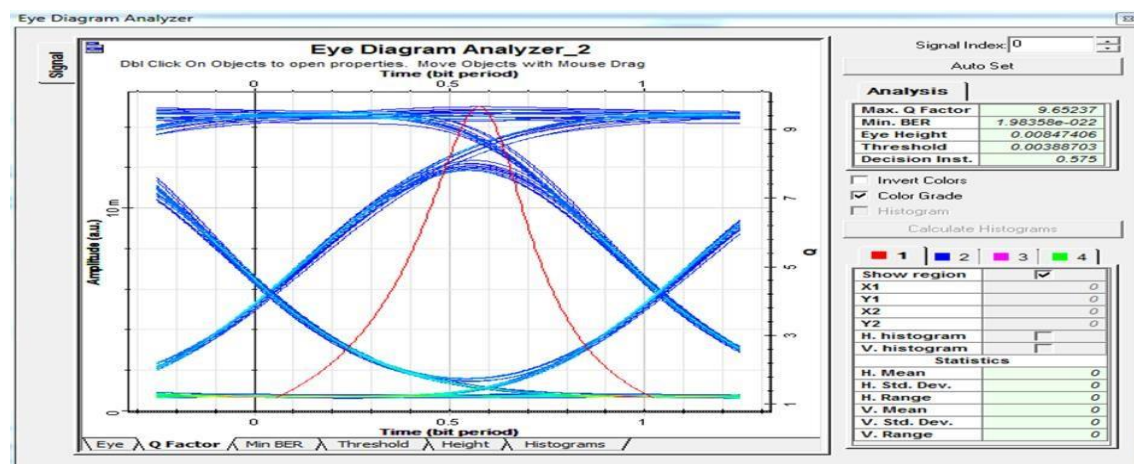


Figure III.18 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 3

- L'utilisateur numéro 4 : « 193.7 THZ »

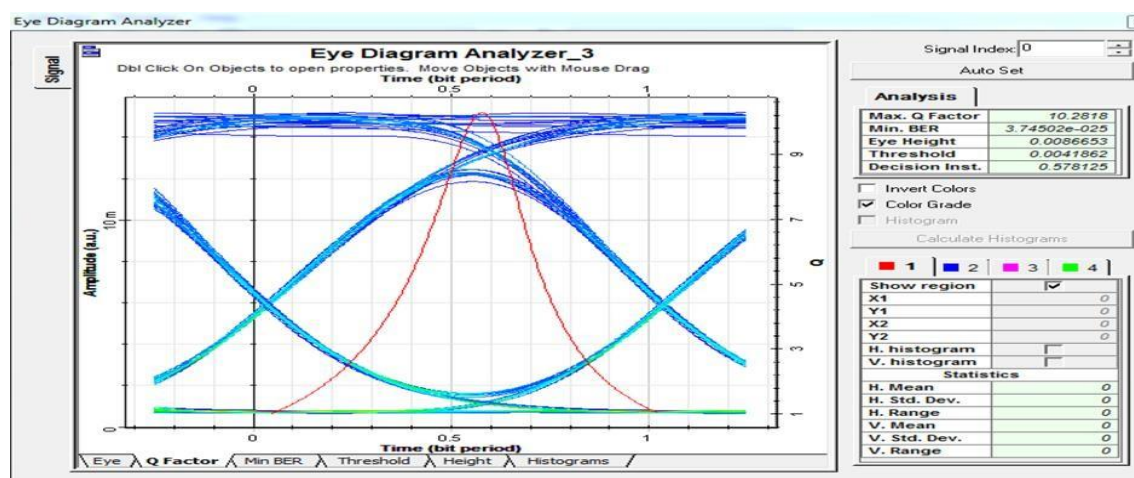


Figure III.19: Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 4

- L'utilisateur numéro 5 : « 193.9 THZ »

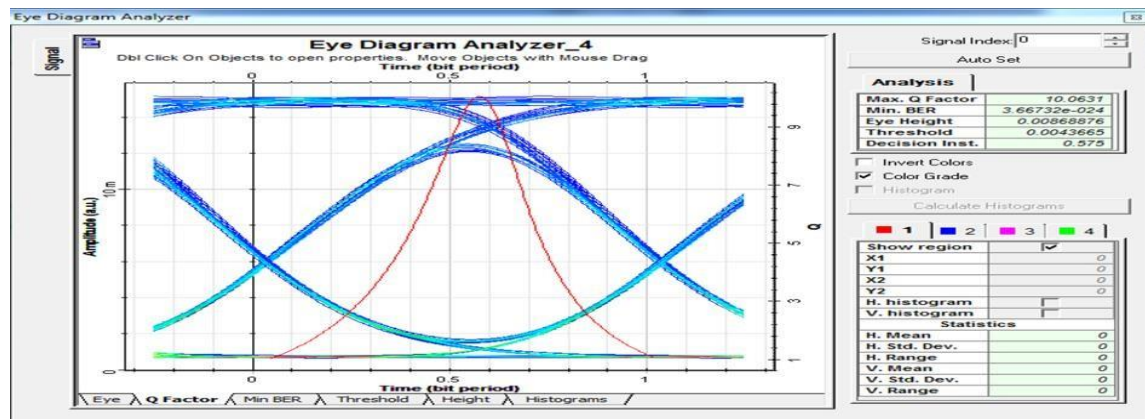


Figure III.20 : Diagramme de l'œil pour l'utilisateur numéro 5

Les résultats obtenus montrent que chaque utilisateur peut transmettre avec un débit de 8 Gbps ça se traduit par l'obtention d'un facteur de qualité supérieur à 6 pour tous les utilisateurs. Alors que notre système conçu peut se fonctionner avec un débit $5 \times 8 = 40$ Gbps. On remarque que l'ouverture de l'œil est bien ouverte ce que le facteur de qualité est entre 9 et 10 qui est supérieur à 6 ça veut dire que le système fonctionne correctement. Le TEB est supérieur à 10-12 ce qu'il exprime que la transmission est moins d'erreur.

III.7 Chaîne de transmission optique multiplexé DWDM

Dans cette partie nous avons choisie d'utiliser un multiplexage DWDM avec 32 utilisateurs, chaque utilisateur transmis 5 Gbps. Pour cela nous avons utilisé un multiplexeur WDM 32 x 1 et un démultiplexeur Demux WDM 1 x 32. Le Mux et Demux fonctionnent avec 32 longueurs d'ondes

III.7.1 Description de la chaine 32 x 5Gbps :

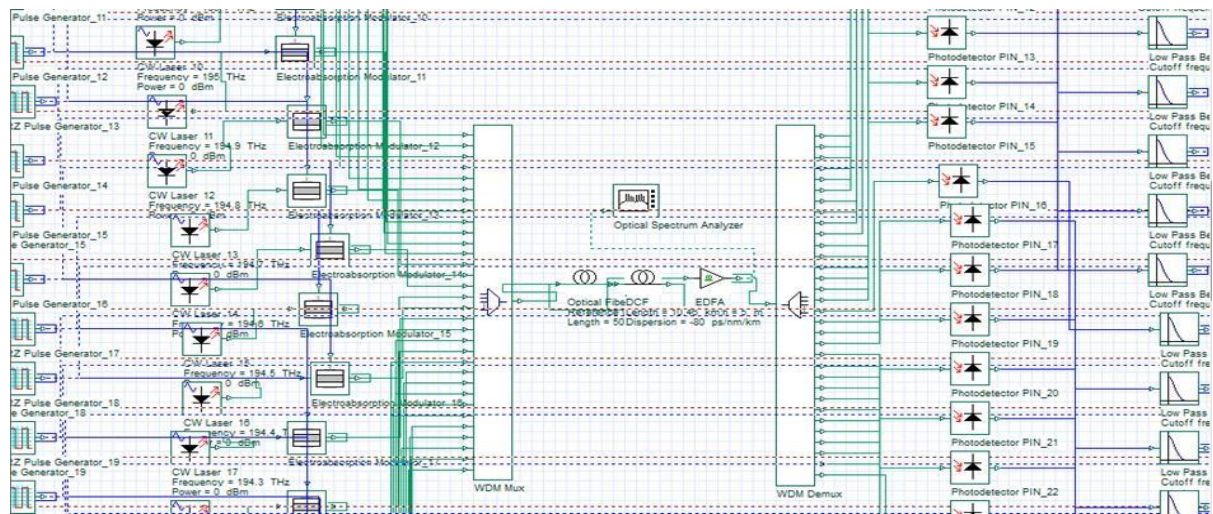


Figure III.21: Schéma bloc de la technique DWDM

III.7.2 Longueur d'ondes utilisées pour la transmission :

Un système à plusieurs utilisateurs exige l'utilisation de multiples fenêtres de transmission. Dans ce travail, nous avons utilisés un multiplexeur WDM avec 32 entrées donc 32 longueurs d'onde. Les longueurs d'ondes utilisées (Algérie TELECOM-CT Laghouat) sont les longueurs comprises entre 196 THz et 192.9 THz avec un pas de 0.1 THz qui représente l'espacement entre les canaux comme le montre le tableau III.14. Ces longueurs d'ondes sont aussi utilisées pour le démultiplexage avec WDM Demux.

Le tableau ci-dessous représente quelques fréquences utilisées dans l'Algérie TELECOM-CT Laghouat (voir Annexe2).

Tableau III.14 : Fréquences utilisées pour les 32 utilisateurs.

User N	Fréquence (THz)	User N	Fréquence (THz)	User N	Fréquence (THz)	User N	Fréquence (THz)
1	196.0	9	195.2	17	194.4	25	193.6
2	195.9	10	195.1	18	194.3	26	193.5
3	195.8	11	195.0	19	194.2	27	193.4
4	195.7	12	194.9	20	194.1	28	193.3
5	195.6	13	194.8	21	194.0	29	193.2
6	195.5	14	194.7	22	193.9	30	193.1
7	195.4	15	194.6	23	193.8	31	193.0
8	195.3	16	194.5	24	193.7	32	192.9

IV.7.2 Système 32 x 5Gbps (160 Gbps)

Dans cette partie nous avons commencés par un débit de 5 Gbps par utilisateur et $32 \times 5 = 160$ Gbps du système. Ce système montre une excellente qualité de transmission traduit par des diagrammes d'œil très ouvertes (Voir figures III.22, III.23 et III.24) et des facteurs de qualités Q suffisamment supérieur à la valeur critique ($Q=6$). Les figures III.25, III.26 et III.27 représentent trois diagrammes de l'œil des canaux 1, 16 et 32. Le tableau III.15 rassemble les valeurs de qualité des 32 utilisateurs.

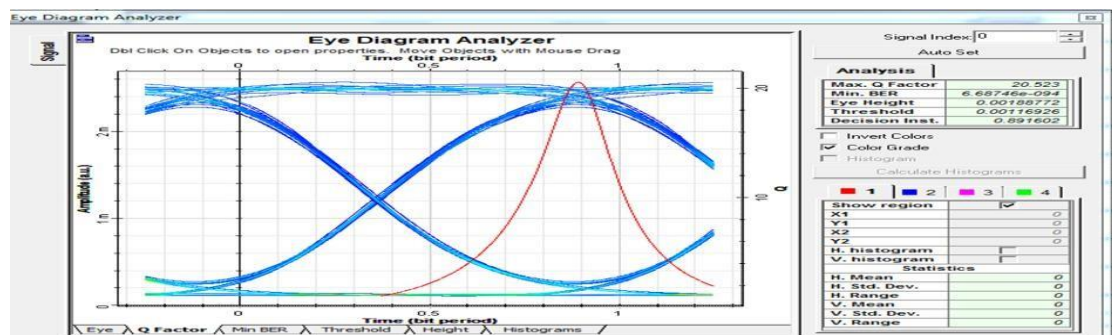


Figure III.22: Diagramme de l'œil du 1er utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps)

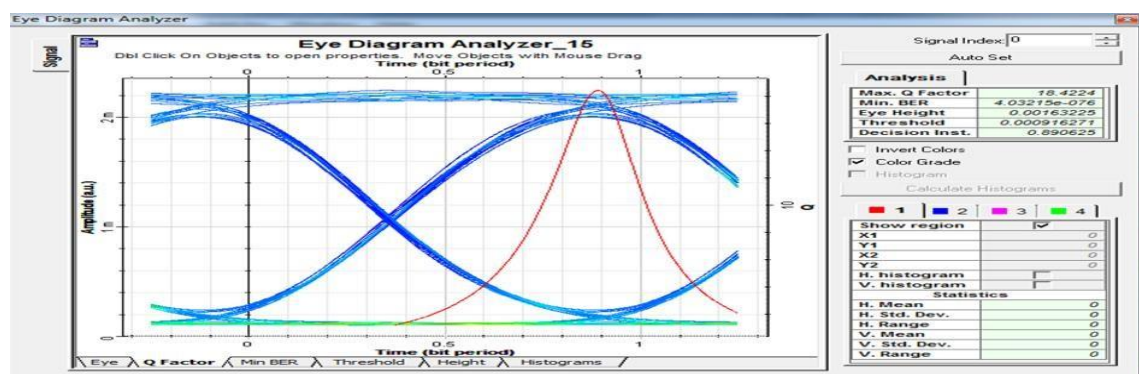


Figure III.23 : Diagramme de l'œil du 16ème utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps).

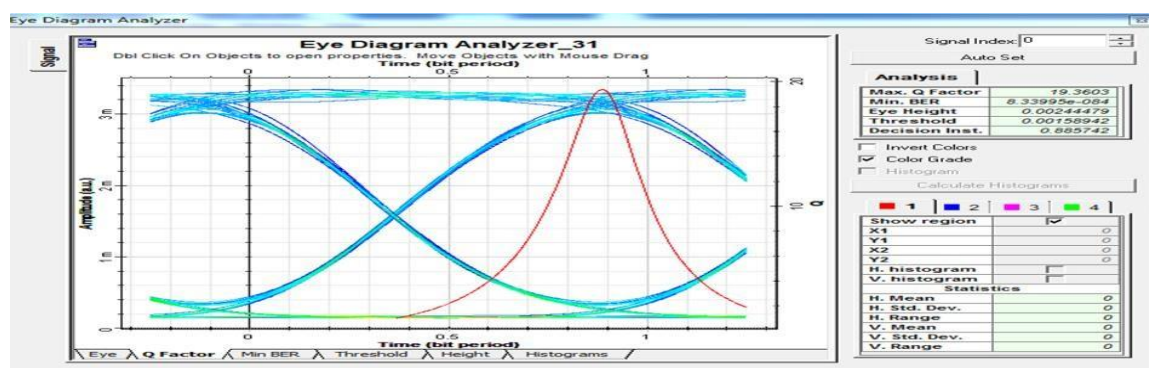


Figure III.24 : Diagramme de l'œil du 32ème utilisateur pour le système 32 x 5Gbps (160 Gbps).

Tableau III.15 : Facteurs de qualité des 32 utilisateurs pour un débit de 160 Gbps

User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité
1	20.52	9	17.26	17	18.57	25	20.71
2	16.89	10	17.70	18	18.32	26	19.03
3	19.31	11	20.68	19	19.056	27	17.98
4	18.96	12	19.49	20	18.00	28	21.41
5	17.91	13	18.63	21	19.05	29	18.80
6	18.85	14	18.77	22	20.87	30	18.89
7	18.59	15	17.56	23	19.70	31	18.57
8	19.64	16	18.42	24	21.53	32	19.36

Vu que le facteur de qualité pour tous les utilisateurs est suffisamment supérieur à 6 on peut dire que ce système peut fonctionner normalement avec un débit de 160 Gbps (32 x 5). On remarque aussi que les canaux qui fonctionnent à proximité de la longueur d'onde où l'atténuation de la fibre est minimale (0.2 dB/Km) ont une très bonne qualité de transmission. Ce qui traduit par une valeur assez grande est largement supérieur à 6.

III.7.4 Système 32 x 10 Gbps (320 Gbps) :

Dans cette partie, nous avons augmenté le débit par canal de 5 à 10 Gbps donnant un débit total du système de 320 Gbps (32 x 10 = 320 Gbps). Ce nouveau système montre lui-même une très bonne qualité de transmission traduit par des diagrammes d'œil et des facteurs de qualités Q suffisamment supérieur à la valeur critique ($Q=6$). Les figures III.25, III.26 et III.27 représentent trois diagrammes de l'œil des canaux 1, 16 et 32. Le tableau III.16 rassemble les valeurs de qualité des 32 utilisateurs.

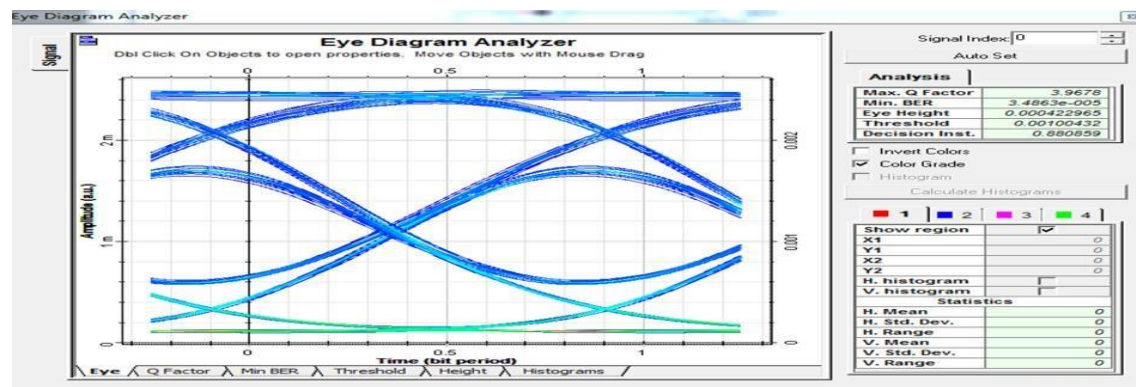


Figure III.25 : Diagramme de l'œil du 1er utilisateur pour le système 32 x 10 Gbps (320 Gbps).

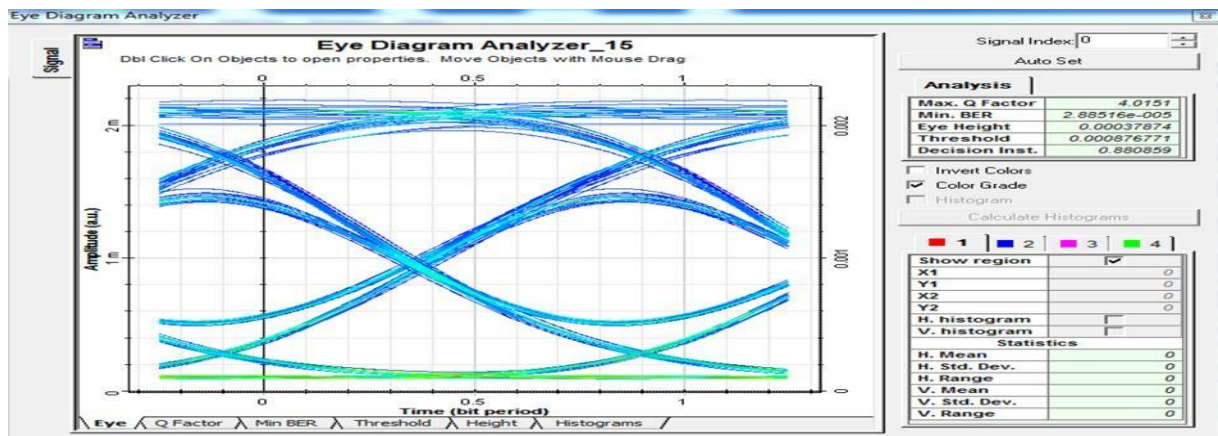


Figure III.26 : Diagramme de l'œil du 16ème utilisateur pour le système 32 x 10 Gbps (320 Gbps)

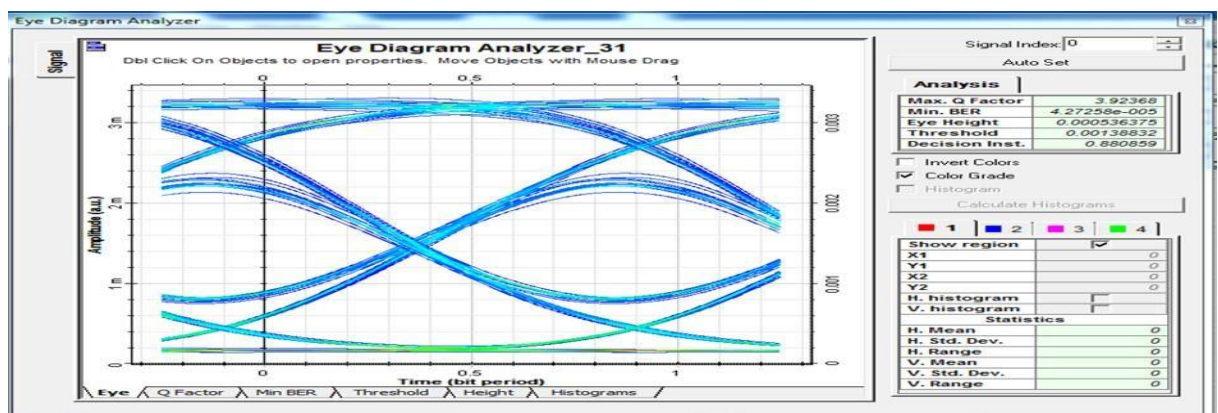


Figure III.27: Diagramme de l'œil du 32ème utilisateur pour le système

Tableau III.16 : Facteurs de qualité des 32 utilisateurs pour 320 Gbps.32 x 10 Gbps (320 Gbps).

User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité	User N	Facteur de qualité
1	3.96	9	3.89	17	3.98	25	4.05
2	3.97	10	3.88	18	4.10	26	3.83
3	3.98	11	3.87	19	3.81	27	3.94
4	4.06	12	4.02	20	3.89	28	3.93
5	3.94	13	3.96	21	3.90	29	3.97
6	3.96	14	3.89	22	3.83	30	4.06
7	3.91	15	3.88	23	3.90	31	3.91
8	3.99	16	4.01	24	3.91	32	3.92

Les résultats obtenus dans le tableau III.16 ci-dessus, on remarque que lorsqu'on a augmenté le débit par canal le facteur de qualité diminue. On peut déduire que le facteur de qualité est inversement proportionnel avec le débit.

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre une simulation des différentes liaisons optique ont été faite, on constate que la liaison longueur d'onde 1550nm présente de meilleurs performance en terme de distorsion et d'atténuation du signal qui est dû au courte distance parcourue par le signal optique.

Afin d'améliorer la qualité du signal pour la deuxième liaison longueur d'onde 1310nm, l'insertion d'un amplificateur a été réalisé et qui nous a donné une bonne amélioration de la qualité du signal en terme de réduire d'affaiblissement sans l'amélioration de la distorsion.

La meilleure solution pour l'amélioration de la qualité du signal est l'insertion d'un amplificateur en plus d'un câble de compensation alors, la simulation a montré une très bonne correction du signal récupéré avec un très bon facteur de qualité.

Finalement cette partie, nous a permis d'une part, de découvrir l'efficacité de OptiSystemet d'autre part de mener à bien un certain nombre de simulations élémentaires nous ouvrant de larges perspectives à l'avenir.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'évolution des télécommunications optiques, a permis aux réseaux de télécommunications d'atteindre un niveau de performances élevé et a ouvert les portes de vante l'apparition de nouvelles disciplines, qui visent l'amélioration de l'existant et la création de nouveaux dispositifs pour la transmission et le traitement du signal optique. Le développement de la fibre optique nécessite la maîtrise de ses aspects théoriques d'un côté et des méthodes de mesures d'un autre côté. En effet, les méthodes de mesure peuvent être utilisées à la conception, aux raccordements et même à l'installation.

Au début, nous avons présente les détails de l'ensemble des composants d'un système optique, tout en expliquant leurs rôles et leurs limites de fonctionnement. Après a été décrite d'une liaison par fibre optique avec tous ses éléments : émetteur, récepteur et canal de transmission.

Dans le second chapitre nous avons décrit une technique d'actualité, qui est le multiplexage en longueur d'onde, elle permet d'augmenter le débit d'une liaison. Il existe plusieurs sous-technique, différentes en espacement et en nombre de canaux, on peut les citer : WDM, TDM, FDM.

Dans le dernière chapitre A l'aide du logiciel Opti-system, l'envoi d'une longueur d'onde 1550nm sur une F.O, le résultat est meilleur en distorsions et d'atténuations sur une distance parcourue. Par contre l'envoi d'une longueur d'onde 1310nm nécessite le rajout d'équipements complémentaires (amplificateurs et une fibre de compensation) avec un résultat escompté âpre les concepts fondamentaux et les méthodes de multiplexage par multiplexage dense en longueur d'onde (DWDM) des liaisons de communication optiques ont été étudiés. Les limites de performances de ces systèmes de communication basés sur la lumière à haute capacité ont été étudiées.

La technique multiplexage en longueur d'onde WDM a été mise en place afin d'augmenter le débit optique. Dans la continuité de ce travail, d'autres perspectives sont à venir. La plus marquante est concevoir un générateur optique de source d'impulsions picosecondes à des taux de répétitions allant à 1 Tb/s.

Annexe

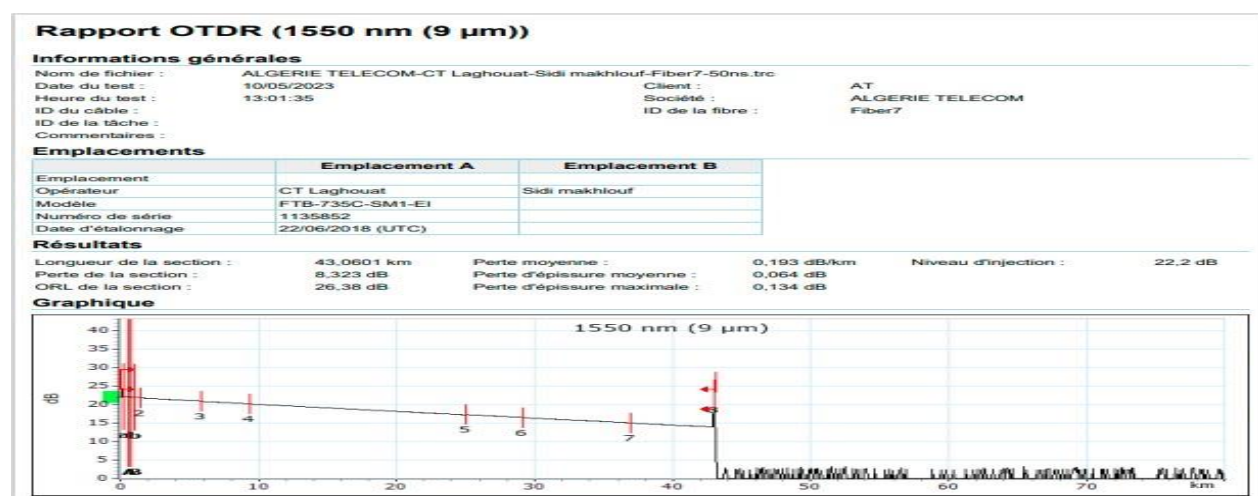
Annexe 1 :

Réflectomètre optique dans le domaine temporel

Un réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR) est un dispositif utilisé pour détecter avec précision les défauts dans une liaison à fibre optique d'un réseau de communication. Sa fonction comprend la génération et la transmission d'une série d'avantages optiques à grande vitesse dans la fibre.

Rapport du test OTDR des câbles a fibre optique :

Rapport du test OTDR des câbles a fibre optique ALGERIE TELECOM-CT
Laghouat (10/05/2023).



Rapport OTDR (1550 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	-28,9		0,000
Section		1,4515	0,323		0,223	0,323
Non réfléchissant	2	1,4515	0,134			0,457
Section		4,3719	0,817		0,187	1,274
Non réfléchissant	3	5,8234	0,090			1,364
Section		3,5539	0,647		0,182	2,011
Non réfléchissant	4	9,3773	0,057			2,068
Section		15,7047	2,976		0,189	5,044
Positif	5	25,0820	-0,077			4,967
Section		4,0337	0,745		0,185	5,712
Non réfléchissant	6	29,1157	0,087			5,799
Section		7,8256	1,377		0,176	7,176
Non réfléchissant	7	36,9413	0,092			7,268
Section		6,1188	1,055		0,172	8,323
Événements fusionnés	8	43,0601	---	-20,8		8,323

Tableau III. 1 : Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison LAGHOUAT-SIDI-MAKHLOUF longueur d'onde 1550nm.

Annexe

Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Informations générales

Nom de fichier :	1 AT CTIaghout Cable Fo Fibre4 1310 5ys.trc	Client :	
Date du test :	29/05/2023	Société :	AT
Heure du test :	11:31:47	ID de la fibre :	Fibre4
ID du câble :	Cable Fo		
ID de la tâche :	1		
Commentaires :	CT bellil		

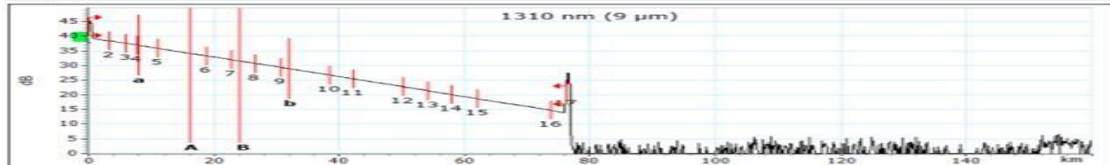
Emplacements

	Emplacement A	Emplacement B
Emplacement		
Opérateur	03602	CTIaghout
Modèle	FTB-735C-SM1-EI	
Numéro de série	1135838	
Date d'étalonnage	22/06/2018 (UTC)	

Résultats

Longueur de la section :	76,1941 km	Perte moyenne :	0,336 dB/km	Niveau d'injection :	39,5 dB
Perte de la section :	25,618 dB	Perte d'épissure moyenne :	0,050 dB		
ORL de la section :	31,71 dB	Perte d'épissure maximale :	0,145 dB		

Graphique



Rapport OTDR (1310 nm (9 µm))

Tableau des événements

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	—	-31,3		0,000
Section		3,2682	1,116		0,341	1,116
Postif	2	3,2682	-0,167			0,949
Section		2,6350	0,872		0,331	1,821
Postif	3	5,9031	-0,036			1,784
Section		1,8230	0,608		0,334	2,393
Non réfléchissant	4	7,7261	0,078			2,471
Section		3,2273	1,063		0,329	3,534
Non réfléchissant	5	10,9534	0,070			3,604
Section		7,8181	2,572		0,329	6,177
Postif	6	18,7715	-0,035			6,141
Section		3,9575	1,276		0,322	7,417
Non réfléchissant	7	22,7290	0,054			7,471
Section		3,8554	1,265		0,328	8,736
Postif	8	26,5844	-0,044			8,692
Section		4,0035	1,305		0,326	9,996
Non réfléchissant	9	30,5879	0,095			10,091
Section		7,7772	2,543		0,327	12,635
Non réfléchissant	10	38,3651	0,071			12,706
Section		3,8809	1,256		0,324	13,962
Non réfléchissant	11	42,2461	0,095			14,057
Section		7,8181	2,523		0,323	16,579
Non réfléchissant	12	50,0641	0,112			16,692
Section		3,9320	1,274		0,324	17,966
Non réfléchissant	13	53,9961	0,134			18,099
Section		3,8605	1,230		0,319	19,330
Non réfléchissant	14	57,8567	0,087			19,416
Section		4,0648	1,327		0,326	20,743
Non réfléchissant	15	61,9214	0,088			20,831
Section		11,7705	3,816		0,324	24,647
Non réfléchissant	16	73,6919	0,145			24,792
Section		2,5022	0,826		0,330	25,618
Réfléchissant	17	76,1941	—	-15,1		25,618

Tableau III. 2 : Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison LAGHOUAT- BELIL longueur d'onde 1310nm.

Le facteur de qualité

Facteur de qualité, ou le facteur Q, est un critère de qualité d'un signal optique. Il est obtenu à partir des statistiques du bruit des niveaux (1) et (0) du signal à détecter tel

$$\text{que : } Q = \frac{I_1 - I_0}{\delta_1 - \delta_2}$$

Où I1 et I2 sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile δ_1 et δ_2 sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0.

Annexe

-Taux d'erreurs binaires (BER)

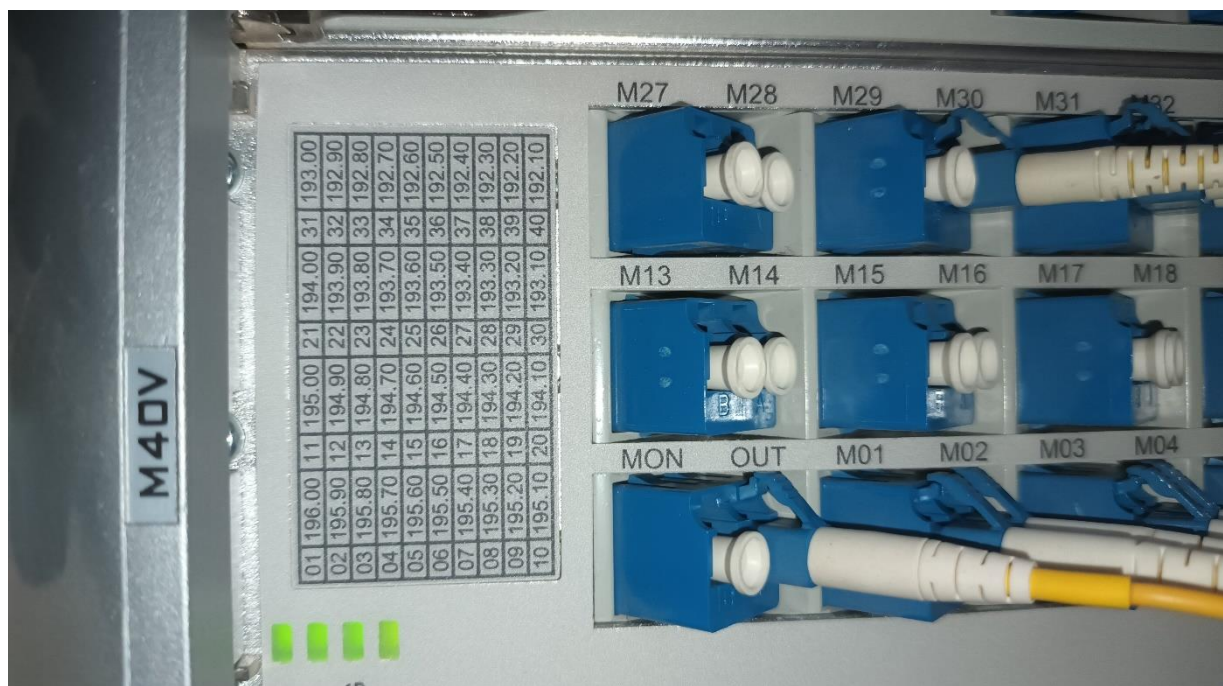
Le moyen quantitatif pour évaluer la qualité d'une transmission consiste à évaluer la probabilité d'erreur, qui correspond à la probabilité de prendre une décision erronée sur un bit. Le taux d'erreur binaire (TEB) est le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits émis. Le récepteur prend une décision sur la présence d'un symbole "1" ou "0" selon le niveau de signal reçu à un instant donné appelé instant de décision. Si les fluctuations d'amplitude et temporelles sont importantes, la tension d'un symbole "1" peut passer au-dessous du seuil et la tension d'un symbole "0" au-dessus du seuil, des erreurs sont alors commises. Un TEB acceptable à la réception est généralement inférieur à 10^{-9} .

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombres de bit erroné}}{\text{Nombres de bits transmis}}$$

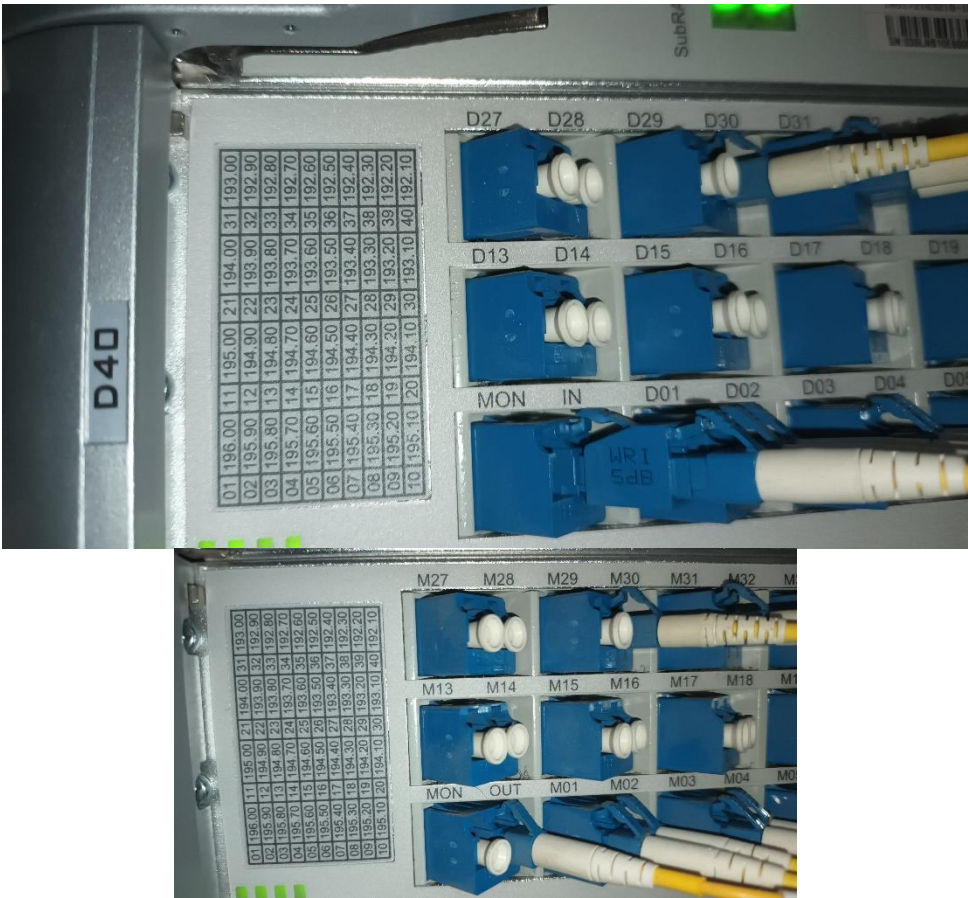
Diagramme de l'œil :

La meilleure façon de juger la qualité un signal est d'observer son diagramme de l'œil représentant la superposition synchrone de tout symbole binaire de la séquence transmise [5]. Plus le signal est de mauvaise qualité Q, plus le diagramme de l'œil est ferme, plus Q est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Ce diagramme est un moyen visuel efficace jugeant la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé.

Annexe 2



Annexe



Références Bibliographie

- [1] SERVIN, Claude. « Réseaux et télécoms-4ème édition ». Dunod, 2013.
- [2] DROMARD, Danièle et SERET, Dominique. « Architecture des réseaux ». Pearson Education France, 2013.
- [3] Nicolas baudru « Réseaux transmission des données » Année 2010-20113
- [4] : [http : //caractéristiques%20de%20supports%20de%20transmission.html](http://caractéristiques%20de%20supports%20de%20transmission.html), consulté le : 20/04/2017.
- [5] LAURENT, « Communication Optique à très haut débits. Examen Probatoire ». Département STIC. Centre de Paris, 2004.
- [6] COLOMBIER. F, PUGNOUD. C, « Réseaux et routage optique ». 2005.
- [7] Memoire Online - Etude sur l'impact de la transmission optique dans un réseau multiservices "cas de rnis" - Ronsard MBUMBA MAYEMBA
- [8] BENDRIHEM ABDELAZIZ «Etude des phénomènes lies a la propagation dans les fibres optiques»2010.
- [9] "Characteristics of a single -mode optical fiber cable", ITU-T Recommendations G.652, October 2000.
- [10] FRANCOIS P.L., BAYON J.F et ALARD F., "Design of quadruple -clad fibers'', Electronics Letters, 1984, Vol. 20, pp. 688-689.
- [11] AGRAWAL G.P., "Nonlinear fiber optics'', Academic Press, New York, 1989.
- [12] FRANCOIS P.L., BAYON J.F et ALARD F., "Characterization procedure of fiber packaging relative to micro bends'', Electronics Letters , 1985, Vol. 21, pp. 471-472.
- [13] M. PERETTI Romain « Saturation spectrale de gain dans les amplificateurs à fibres dopées erbium : largeurs homogène et inhomogène et approche des nanomatériaux» Mémoire pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT l'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD – LYON 1 le 7 octobre
- [14] BEDOUI Mohamed Amine, HORRI Omar, «Régénération tout-optique par similariton du signal OTDM à très haut débit», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université 8Mai 1945, Guelma, 2019, p10.
- [15] DJEHICHE Hanane, TABET Yasmine, « Etude et simulation d'un réseau optique de transmission DWDM d'un réseau dorsal », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Electronique option traitement de l'information et systèmes électroniques, université de BLIDA 1, 2015, p23.
- [17] Wassila BERROUANE, «Etude de conception d'une chaine de transmission optique à très haut débit à base desemi-conducteur du type III-Nitrides », thèse de doctorat en Réseaux Architecture et Multimédia, université SIDI BELABBES, 2018, p 64 , p 80.
- [22] Djellouli Mohamed, Hamouda Abdelmadjid, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux destélécommunications», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, 2016, Université Dr.Tahar Moulay- SAIDA, 2016, p7, p19, p22.
- [23] Medjdoub Fadila, « Optimisation par la Simulation Système d'une Chaîne de Transmission Numérique par FibreOptique Haut Débit », Mémoire de Magister en Télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen, 2010,p7, p 29, p38.
- [20] BENNAT Mohammed, « Effet de la dispersion et la modulation direct sur une liaison DWDM », Mémoire pourl'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, 2018, p9, p10, p15.
- [24] FARHAOUI Fatima Zohra, ZAIDI Fatima Zohra, «Etude et Simulation d'une Chaîne de Transmission Numériquesur Fibre Optique Haut Débit », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université Dr.Tahar Moulay- SAIDA, 2017, p3,p 17, p30.
- [19] Benzerdjeb Choukri ,Selka soufyane , « Encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA », Mémoire pourl'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen,2013, p4, p17, p27.
- [26] Matthieu LEFRANÇOIS. «Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmissionoptique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 gbit/s», thèse de doctorat de l'université paris-sud . Présentée le 6décembre 2007, p. 35, p.69
- [18] RAHIL Kamilia, TOUTOU Thinhinane, «Analyse des performances des codes SAC-OCDMA dans la liaison detélécommunications optiques», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, universitéBéjaia, 2019, p7, p9.
- [21] DJEHICHE Hanane, TABET Yasmine, « Etude et simulation d'un réseau optique de

transmission DWDM d'un réseau dorsal », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Electronique option traitement de l'information et systèmes électroniques, université de BLIDA 1, 2015, p23.

[25] Mohammed Amine MOKRETAR , Nabil NOURA, «Étude et Conception d'un Système de Transmission Optique en utilisant la Technologie WDM 4 x 20 Gbit/s», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, université de HASSIBA BENBOUALI de chlef, 2019, p7.

[27] BOULILA Rachid, HAOUCHE Salim, «Etude des différents multiplexeurs dans les liaisons par fibre optique», Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Electronique option Réseaux & Télécoms, Université SAADDAHLAB de BLIDA, 2012, p41.

[30] R. BOULILA , S.HAOUCHE , «Etude des différents multiplexages dans les liaisons par fibre optique», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de master en Electronique option Réseaux & Télécoms, Université Saad Dahlab de Blida, Année 2011/2012