

**République Algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université SAAD DAHLAB de BLIDA**  
**Faculté de Technologie**  
**Département d'Électronique**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du  
**DIPLOME DE MASTER**  
Spécialité : MICROELECTRONIQUE

***ETUDE D'UNE LIAISON OPTIQUE***  
***WDM***

**Présenté Par:**

**BOUHADDA SLIMANE**

**BESSAOUD OMAR**

**Encadré par:**

**M<sup>me</sup>. ZERROUK DJAMILA**

Année universitaire: 2021/2022



## *Remerciements*

*Tout d'abord, Nous tenant à remercier" DIEU " le miséricordieux de nos avoir donné la possibilité de réaliser notre projet, d'arriver à notre souhaits et d'atteindre notre objectifs.*

*Nous aimerons dans ces quelques lignes remercier toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de notre travail, tout au niveau humain qu'au niveau scientifique.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur MADAME ZERROUK, on a pu bénéficier à la fois de ses compétences scientifiques, et de sa grande disponibilité, tant pour résoudre les difficultés rencontrées lors de notre réalisation, de répondre à nos questions. Nous ajoutons en particulière sa patience et ses encouragements, nous a permis de travailler dans bonnes conditions.*

*Grand remerciement à tous les collègues de travail:*

*COURANT FORT*

*Madame Hadada et Mademoiselle Mousaoui*

*Nos remerciements s'adressent également à tous membres de Jury, qui ont accepté de nous honorer de leur présence et de juger notre travail.*

*Nous exprimons également notre gratitude a tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre études universitaires, merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à notre soutien moral.*



# *Dédicace*

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

*J'ai une pensée émue pour le soutien émotionnel sans fin manifesté par ma femme durant toutes mes études, je ne serie pas là aujourd'hui sans vous.*

*Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde la santé, la longue vie et le bonheur ...*

*je tien a remercier également toute ma famille pour leurs Soutiens moreaux.*

*Enfin je tien a remercier mes trois enfants( ritedj,loubna,anis ) pour les sances de thérapie les plus Efficacies contre le stress et les maux rencontrés pendant la réalisation de cette these.*

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

*OMAR BESSAOND*

# Dédicace

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

*J'ai une pensée émue pour le soutien émotionnel sans fin manifesté par ma femme durant toutes mes études, je ne serie pas là aujourd'hui sans vous.*

*Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde la santé, la longue vie et le bonheur ...  
je tien a remercier également toute ma famille pour leurs Soutiens moreaux.*

*Efin je tien a remercier mes trois enfants( meriem,riadh,Hamza ) pour les sances de thérapie les plus Efficacies contre le stress et les maux rencontrés pendant la réalisation de cette these.*

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

**SLIMANE BOUHADDA**

ملخص:

تتكون تقنية WDM (مضاعفة التقسيم الموجي) من خلط عدة إشارات على ليف واحد. يتم نقل الإشارات بأطوال موجية مختلفة حتى لا تتداخل مع بعضها البعض.

سنقوم بدراسة وتقييم أداء الارتباط البصري لإدارة WDM. معلمات الارتباط البصري مثل معدل خطأ البت (BER). يتم تحليل عامل الجودة Q ومخطط العين كدالة لمسافة الارتباط البصري ومعدل الإرسال بواسطة كل قناة في وجود ظروف التوهين والتشتت اللوني للإشارة الضوئية المرسله.

يتم العمل باستخدام برنامج COMSIS.

كلمات المفاتيح: تعدد الإرسال; WDM; طول الألياف

### Résumé :

La technique WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à mélanger plusieurs signaux sur une seule et même fibre.

Les signaux sont portés par des longueurs d'onde différentes afin de ne pas interférer les uns sur les autres.

Nous allons étudier et évaluer les performances d'une liaison optique WDM.

Les paramètres de liaison optique telle que le taux d'erreur binaire (BER). Le facteur de qualité Q et le diagramme de l'œil sont analysés en fonction de distance de la liaison optique et le débit de transmission par chaque canal en présence des conditions d'atténuation et de dispersion chromatique du signal optique transmis.

Le travail se fait à l'aide du logiciel COMSIS.

Mots clefs : multiplixage; WDM; longueur de fibre

### Abstract:

The WDM (Wavelength Division Multiplexing) technique consists of mixing several signals on a single fiber.

The signals are carried by different wavelengths so as not to interfere with each other.

We will study and evaluate the performance of a WDM optical link.

Optical link parameters such as bit error rate (BER). The quality factor Q and the eye diagram are analyzed as a function of the distance of the optical link and the transmission rate by each channel in the presence of the conditions of attenuation and chromatic dispersion of the transmitted optical signal.

The work is done using the COMSIS software.

Keywords: multiplexing; wdm; fiber length

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Listes des figures et des tableaux	
Introduction générale	

## **Chapitre I : Généralité sur la fibre optique**

I-1. Historique des fibres optiques .....	1
I-2. Généralités sur la fibre optique.....	2
I-2.1. Fibre optique .....	2
I-2.2. Structure de la fibre optique .....	2
I-3. Les Réseaux optiques .....	3
I-3.1. Introduction .....	4
I-3.2. Les systèmes optiques .....	4
I-3.3. Le réseau longue distance(WAN).....	5
I-3.4. Le réseau métropolitain (MAN) .....	5
I-3.5. Le réseau local (LAN).....	7
I-4.Types de fibres optiques.....	7
I-4.1. Fibre multimode .....	8
I-4.2. Fibres optiques multimodes à gradient d'indice (graded-index fibre) .....	9
I-4.3. Fibre monomode .....	10
I-5. Principe de guidage dans les fibres .....	10
I-6. Avantages et inconvénients du fibre optique .....	11
I-6.1. Avantages .....	11
I-6.2. Inconvénients .....	12
Conclusion.....	12

## Chapitre II: Description d'une liaison optique

II.2. description d'une liaison optique.....	13
II.2.1. Le module d'émission .....	14
II.2.2. Description générale .....	14
II.2.3. Les sources optiques .....	14
II.2.4 Les différents types des lasers.....	15
II.2.5. Les caractéristiques de différents types du laser .....	16
II.3. Les effets linéaires .....	16
II.3.1 L'Atténuation .....	16
II.3.2 l'origine de l'atténuation.....	17
II.3.2.1. La dispersion modale.....	19
II.3.2.2. La dispersion chromatique .....	19
II.4. Module de réception.....	19
II.4.1 Comparaison entre les deux types des photodiodes.....	20
II.4.2 Caractéristiques statiques des diodes laser.....	20
II.4.3 Les photodiodes PIN:.....	21
II.4.4. Les photodiodes à avalanche .....	22
II.5 Multiplexage des signaux optiques.....	24
II.5.1 Multiplexage TDM.....	24
II.5.2 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM).....	25
II.5.3 Introduction .....	25
II.5.4. Principe.....	25
II.5.5 Description.....	26
II.6. Application .....	27
Conclusion.....	28

## Chapitre III : Simulation d'une Liaison Optique

III.1 Principe.....	30
III.2. Présentation du logiciel COMSIS .....	30
III.2.1. Introduction au logiciel COMSIS .....	30
III.2.2. Interface COMSIS.....	30
III.2.3 Les différents types d'analyse.....	32
III.2.4 La visualisation et le traitement des résultats.....	34
III.2.5. Critères de qualité d'une transmission.....	36
III.3. La première simulation.....	38
III.3.1.Description du bloc utilisé dans la simulation.....	39
III.4. les resultats de la simulation et interpretations.....	49
III.4.1. La première simulation.....	49
III.4.2. La deuxieme simulation.....	52
III.4.3. l'influence de la longueur du fibre sur la qualite et du debit binaire du signal.....	52

### *Conclusion*

#### *Conclusion générale*

#### *Liste des acronymes*

#### *Bibliographie*



## Liste de figures

- Fig.1.1** Structure d'une fibre optique
- Fig. 1.2** Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multimode à saut d'indice
- Fig.1.3** Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Multimode à gradient d'indice.
- Fig.1.4** Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Monomode
- Fig.1.5** Guidage de la lumière dans la fibre optique
- Fig.2.1** un schéma montre la composition de la liaison par fibre optique
- Fig.2.2** Bloc-diagramme de l'émetteur optique
- Fig.2.3** Pertes optiques dans une fibre
- Fig.2.4** Les causes d'atténuation
- Fig.2.5** Dispersion chromatique dans une fibre optique
- Fig.2.6** Dispersion du signal à la sortie de la fibre optique
- Fig.2.7** Dispersion chromatique dans une fibre optique
- Fig.2.8** Exemples de diodes laser en boîtier
- Fig.2.9** photo diode PIN
- Fig.2.10** photo diode a avalanche en silicium
- Fig.2.11** de l'utilisation du démultiplexage temporel (TDM Schéma de principe) dans les communications par fibre optique.
- Fig.3.1** Editeur de schéma bloc
- Fig.3.2** Interface alphanumérique
- Fig.3.3** La bibliothèque de modèle COMSIS
- Fig.3.4** Le menu d'analyse de COMSIS
- Fig.3.5** Fenêtre d'évaluation de performances
- Fig.3.6** Fenêtre variable et prétraitement à visualiser
- Fig.3.7** Mesures typiques du diagramme de l'oeil.
- Fig.3.8** Effet de bruit d'amplitude sur de diagramme de l'oeil
- Fig.3.9** Synoptique d'une chaine optique multiplexés faite par logiciel COMSIS.
- Fig.3.10** Paramètres caractéristiques du courant laser 1
- Fig.3.11** Paramètres caractéristiques du courant laser 2
- Fig.3.12** Paramètres caractéristiques du courant laser 3.
- Fig.3.13** Paramètres caractéristiques du courant laser 4
- Fig.3.14** Paramètres caractéristiques du laser 1
- Fig.3.15** Paramètres caractéristiques du laser 2
- Fig.3.16** Paramètres caractéristiques du laser 3
- Fig.3.17** Paramètres caractéristiques du laser 4

- Fig.3.18** Paramètres caractéristiques du multiplexeur
- Fig.3.19** Paramètres caractéristiques de la fibre optique
- Fig.3.20** Paramètres caractéristiques du démultiplexeur
- Fig. 3. 21** Paramètres caractéristiques de la PIN
- Fig 3. 22** Comparaison entre le signal de sortie pour multiplexeur smux et démultiplexeur mux1,2,3
- Fig 3. 23** Comparaison entre le signal de sortie pour démultiplexeur mux4
- Fig 3. 24** Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb1 pour laser 1
- Fig 3. 25** Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb2 pour laser 2.
- Fig 3. 26** Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb3 pour laser 3
- Fig 3. 27** Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb4 pour laser 4
- Fig 3.28** Diagramme de l'œil de la sortie S1 avec L=10km et D=1000 Mbits/s
- Fig 3. 29** Diagramme de l'œil de la sortie S2 avec L=10km et D=2000 Mbits/s
- Fig 3. 30** Diagramme de l'œil de la sortie S3 avec L=10km et D=3000 Mbits/s
- Fig 3. 31** Diagramme de l'œil de la sortie S4 avec L=10km et D=4000 Mbits/s
- Fig 3. 32** Diagramme de l'œil de la sortie S1 avec L=50km et D=1000 Mbits/s
- Fig 3. 33** Diagramme de l'œil de la sortie S2 avec L=50km et D=2000 Mbits/s
- Fig 3. 34** Diagramme de l'œil de la sortie S3 avec L=50km et D=3000 Mbits/s
- Fig 3. 35** Diagramme de l'œil de la sortie S4 avec L=50km et D=4000 Mbits/s

### Liste des Tableaux

- Tableau.1** *exemple de spécifications d'une diode laser à semi-conducteur de type DFB.*
- Tableau 2** *Comparaison des caractéristiques de différents types du laser .*
- Tableau.3** *Les différentes causes d'atténuation*
- Tableau .4** *Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et à avalanche*

## Introduction générale

L'utilisation des technologies couplant l'électronique et l'optique a permis de décupler les débits exigés pour les nouvelles applications telles que l'internet à haut débit, la téléphonie mobile ou encore la télévision numérique à haute définition. Malheureusement, leur double conversion (optique/électrique/optique) constitue un grand problème pour les transmissions haut et très haut débit due à la bande passante permise par les composants électroniques.

De ce fait, les recherches se sont concentrées sur la mise en œuvre de nouvelles fonctions tout-optique de traitement du signal dont l'intérêt pour les opérateurs est d'avoir une harmonisation des réseaux basée sur une transparence au format et au débit pouvant ainsi dépasser les limites imposées par l'électrique. On arrive désormais à des systèmes de transmission de plus en plus simples, flexibles et performants atteignant plusieurs T bit/s sur plusieurs milliers de kilomètres.

Avec l'introduction, en complément, du multiplexage en longueur d'onde (WDM), les capacités de transmission devront être augmentées en utilisant le plus fort débit par canal de longueur d'onde possible. Actuellement, ce débit est limité à 20 Gb/s, principalement par les technologies semi-conductrices de la partie électronique. Les premiers systèmes fonctionnant à haut et très haut débit sont actuellement introduits, mais cette technologie connaît néanmoins des débuts très difficiles. En effet, si le fait d'augmenter le débit par canal permet d'avoir plus de services avec moins d'équipement, les critiques formulées envers la technologie haute débit sont nombreuses : les composants optiques et électroniques sont encore trop chers, la technologie manque de maturité, et de plus elle n'est pas prête pour une production de masse et un déploiement à grande échelle. Or c'est bien la viabilité économique qui permet l'émergence réelle d'une technologie

Le projet de ce mémoire consiste à comprendre le principe de fonctionnement d'une liaison optique à haut débit par WDM en se basant sur la simulation système de cette dernière à l'aide du logiciel COMSIS qui simplifie la tâche en donnant des critères permettant de quantifier la qualité de transmission d'une telle chaîne.

Le premier chapitre de ce projet consiste à faire une étude générale sur la fibre optique.

Le deuxième chapitre présentera une étude des différents composants constituant la liaison optique tout en expliquant leur rôle et leurs limites de fonctionnement. Le troisième et le dernier chapitre sera consacré à la présentation du simulateur COMSIS suivi par une simulation d'une liaison optique à haut débit avec représentation des résultats de simulation qui permettent de visualiser les performances atteintes

**Chapitre I:**  
**Generalité sur la fibre optique**

## 1-1 Historique des fibres optiques :

En 1854, le physicien irlandais Tyndall a fait une première démonstration scientifique de ce phénomène dont l'expérience consistait à guider la lumière du soleil dans un jet d'eau. Et en 1950, La première application fructueuse de la fibre optique a eu lieu avec le fibroscope flexible, permettant de transmettre une image le long d'une fibre de verre. Il fut particulièrement utilisé en endoscopie pour observer le corps humain. Cependant, la mauvaise qualité des fibres ne permettait pas de transmettre la lumière sur une longue distance.

A partir de 1970 les télécommunications par fibre optique ne furent

Possibles qu'après l'invention du laser et les fibres commencèrent à Remplacer les fils de cuivre jusque-là utilisés, grâce à la fabrication par trois scientifiques de la société Corning Glass Works de la première fibre avec des pertes acceptables (20 dB/km). Cette fibre était en mesure de

transporter 65 000 fois plus d'information que le simple fil de cuivre traditionnel. L'avantage des fibres optiques sur les fils de cuivre est énorme. Tout d'abord, les fibres permettent de transporter une grande quantité d'information en même temps, grâce à une grande largeur de bande. De plus, le signal est beaucoup moins atténué (~100 fois moins), ce qui permet de limiter le nombre de répéteurs.

Et depuis les années 1980, la structure de ces fibres est très simple : un cylindre en silice dont le cœur est dopé avec un oxyde de germanium. Les dimensions d'une fibre sont comparables à celles d'un cheveu.

Enfin, les fibres optiques ne demandent pas d'entretien particulier et ont une très bonne durabilité chimique, alors que les fils de cuivre se dégradent vite à cause de la corrosion. Aujourd'hui, 80% des communications à longue distance se font par le réseau de fibres optiques.

Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. On estime qu'aujourd'hui plus de 80 % des communications à longue

distance sont transportées par plus de 25 millions de kilomètres de câbles à fibres optiques partout dans le monde.

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

## 1-2 Généralités sur la fibre optique:

### 1-2-1 Fibre optique :

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

### 1-2-2 Structure de la fibre optique:

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

› **Le cœur** : C'est la région centrale de la fibre qui permet le guidage des ondes lumineuses, d'indice de réfraction  $n_1$ .

› **La gaine** : sa fonction est la de miroir, évite que le signal optique sorte du cœur en gardant les caractéristiques optiques, comme la cohérence et la puissance. Pour réaliser cette fonction, il doit avoir un indice  $n_2$  constant et un peu inférieur à l'indice du cœur et la séparation entre cœur et gaine (dioptré) doit être très bien définie ; mais ces composantes ne sont pas parfaites il y a une petite partie du signal optique du cœur qui sort par la gaine. Il n'y a un phénomène de réflexion pure, on a alors réflexion + réfraction qui entraînent des pertes dans la gaine.

› **Le revêtement** : est une couche de plastique qui entoure la fibre optique pour la renforcer. Elle aide à absorber les chocs et permet une protection complémentaire contre des courbures excessives ,voir figure suivante :

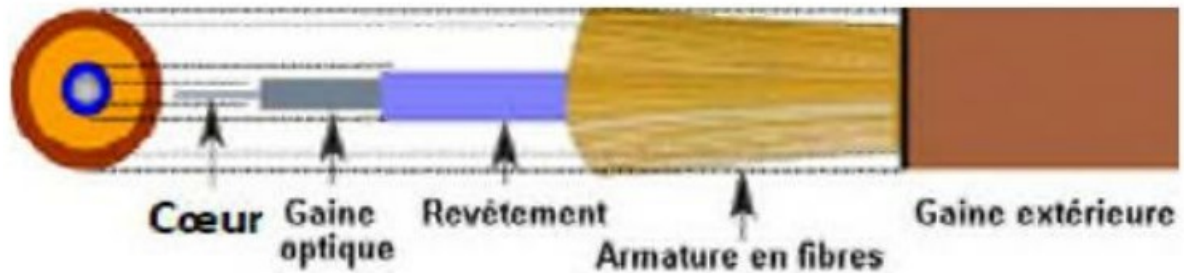


Figure 1-1: Structure d'une fibre optique.

### 1-3. Les Réseaux optiques :

L'apparition de la fibre optique a totalement révolutionné le monde des télécommunications. La conception de systèmes de transmission à très grande capacité était désormais possible. De plus, les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée.

Il en résulte un bouleversement des réseaux de télécommunications précédents et un besoin de mettre en place de nouvelles structures. Ce chapitre sera une description synthétique de la déclinaison des structures des réseaux de télécommunications jusqu'aux méthodes d'inscription des données sur le signal optique en passant par les diverses techniques de "codage" utilisées. La présentation de ces généralités a pour but d'apporter les éléments de base, essentiels pour faciliter la lecture de ce mémoire.

La première partie évoquera la hiérarchie établie parmi les différentes couches des réseaux de télécommunications optiques actuels. Bien que la large bande passante de la fibre optique permette de transporter une très grande quantité d'informations, son utilisation optimale se heurte à divers problèmes, dont le traitement électronique avant modulation et après détection pour les très hauts débits. C'est pourquoi différentes techniques de multiplexage ou de codage ont été imaginées pour augmenter le nombre de canaux dans la fibre. Elles seront présentées dans une seconde partie.



La transmission par fibre optique des données nécessite des conversions électrique -optique ou optique - électrique du signal. Ce chapitre se terminera donc par la description des différentes méthodes utilisées pour la modulation du signal en émission et celle des diverses techniques de détection envisageables.

### **1-3.1. Les systèmes optiques**

L'aboutissement de nombreuses années de recherche de base pour obtenir d'une part des fibres présentant une atténuation compatible avec les exigences d'un réseau de télécommunications, d'autre part des composants et dispositifs suffisamment performants et fiables a permis l'apparition des premiers systèmes de transmission optique dès les années 90.

Ils sillonnent désormais le monde entier, aussi bien sur terre que dans le domaine sous-marin. Le réseau déployé en France est segmenté en fonction des différents besoins en débit, en bande passante, en distance de transmission, ... On distingue trois grandes catégories :

- Les réseaux longues distances (ou les WAN, Wide Area Network). Ce sont les réseaux déployés à l'échelle d'un pays ou d'un continent et dont les nœuds sont de très grands centres urbains.

- Les réseaux métropolitains (Métropolitain Area Network = MAN) qui correspondent aux réseaux mis en œuvre dans une grande ville ou une agglomération et qui permettent de relier entre eux par exemple différents arrondissements.

- Les réseaux locaux (Local Area Network = LAN) encore appelés réseaux de distribution ou réseaux d'accès. Ils représentent le dernier maillon et finissent d'acheminer les informations à l'abonné. Ils sont donc plus courts et moins gourmands en capacité. Selon la nature du réseau dans lequel il se situe, le système optique peut légèrement différer. Nous allons donc présenter succinctement les caractéristiques de ces trois niveaux du réseau dans les paragraphes suivants.

### 1-3.2. Le réseau long distance (WAN)

Cette partie du réseau, parfois également appelée réseau structurant, représente la couche supérieure du réseau de télécommunications. Elle est comprise entre deux autocommutateurs à autonomie d'acheminement, qui ont pour rôle d'aiguiller les informations d'une région à une autre, de la zone de l'expéditeur vers celle du destinataire. La transmission de ces informations se fait désormais sur fibre optique à une longueur d'onde de  $1,55\mu\text{m}$  et à un débit élevé qui ne cesse de s'accroître (les débits 2,5 Gbits/s et 10 Gbits/s sont déjà installés et le 40 Gbits/s le sera très prochainement).

Cette capacité ne pourrait être atteinte sans l'introduction des fibres optiques dans la chaîne. Elles ont permis de gagner en débit et en espacement entre répéteurs par rapport aux systèmes existants, à savoir le câble coaxial (la distance passe typiquement de 2 à 100 km).

De plus, l'abandon des régénérateurs électro-optiques (photo détection, amplification électrique, reconversion optique) au profit des amplificateurs optiques, déployés environ tous les cent kilomètres, a permis de faire un bond en terme de capacité des liaisons. Dès le début des années 1990, l'amplification optique a permis de démontrer la possibilité de transmettre, sans répéteur, des signaux à 5 et 10 Gbits/s sur des distances transocéaniques. La liaison du réseau longue distance est désormais tout optique.

### 1-3.3. Le réseau métropolitain (MAN)

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain connaît en ce moment un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville), il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès .

Les réseaux métropolitains structurants sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit nœuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants. Suivant les réseaux ou les pays, ces chiffres peuvent varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les

zones très peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront inférieures, et les Etats-Unis où les applications métropolitaines s'apparentent à de véritables réseaux régionaux.

Les topologies logiques (profils de trafic) des réseaux métropolitains diffèrent radicalement de celles des réseaux longue distance. Ces derniers correspondent pour l'essentiel à des lignes interurbaines point à point avec tout au plus un ou deux multiplexeurs d'insertion-extraction optiques (OADM) pour insérer et extraire le trafic en des points intermédiaires. Les réseaux métropolitains introduisent une infrastructure optique à haut degré de connectivité. Les anneaux métropolitains se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance.

Les anneaux d'accès, à la différence, collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant. La complexité de ce réseau ne se traduit pas uniquement par le haut degré de connectivité. A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou du réseau optique synchrone (SONET) ou autres encore. Pour supporter cette diversité, ces réseaux sont souvent équipés d'écartés transpondeurs multi débits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mbits à 2,5 Gbits/s, pouvant assurer ultérieurement le trafic à 10 Gbits/s sans modification (exemple du récent réseau Alcatel 1696 Metro Span), et dans une transparence totale vis-à-vis de tous les formats et protocoles. Dans ces réseaux intrinsèquement ouverts à n'importe quel type de signal, le multiplexage en longueur d'onde (WDM), dont une description ultérieure sera faite, trouve une application importante en luttant contre l'encombrement que cela peut procurer tout en réduisant le coût par service apporté. De la même manière, les amplificateurs optiques sont essentiels pour les applications de réseaux métropolitains structurants. Les pertes élevées dans la fibre (dues à l'interconnexion de courts tronçons de fibre) et le cumul des pertes associées aux transits tout optiques dans des nœuds successifs peuvent imposer en effet d'amplifier le signal optique. L'amplificateur optique peut représenter dans bien des cas une solution à moindre coût comparée à la régénération optique-électrique-optique.

### 1-3.4. Le réseau local (LAN)

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain. Il est toujours constitué par une partie en fibre optique entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la contribution de l'électrique pour aller vers le tout optique dans le but d'augmenter le débit disponible chez l'abonné. Selon la localisation de la terminaison optique, différentes configurations sont envisageables :

- FTTH/FTTO (Fiber To The Home / Fiber To The Office) : la terminaison de réseau optique, qui est propre à un abonné donné, est implantée dans ses locaux. La fibre va donc jusqu'à son domicile ou son bureau, et la partie terminale en cuivre est très courte.
- FTTB (Fiber To The Building) : la terminaison de réseau optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique généralement situé en sous-sol, soit dans une armoire ou un conduit de palier. Elle est partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.
- FTTC/FTTCab (Fiber To The Curb / Fiber To The Cabinet) : la terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique.

### 1-4. Types de fibres optiques :

Les fibres optiques se séparent fondamentalement en deux catégories en fonction de leur géométrie interne: à saut d'indice, si le changement d'indice à l'interface entre coeur et gaine est brusque, ou à indice graduel si l'indice de réfraction décroît graduellement à l'intérieur du coeur. Et en fonction de nombre du mode propageant elles se séparent en fibre multimode (ou MMF pour MultimodeFiber) et monomode (ou SMF pour Single Mode Fiber).

On compare les caractéristiques de ces deux familles de fibres optiques :

**Fibre Monomode :**

- 
- Ouverture numérique faible (connexion délicate)
- Très faible atténuation (qqd dixième de dB/Km)
- Faible dispersion
- Haut débit longues distances

**Fibre Multimode :**

- 
- Ouverture numérique forte (connexion facile)
- Faible atténuation
- Forte dispersion
- Réseaux locaux

**1.4.1. Fibre multimode :**

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multimode si le cœur a un grand diamètre devant la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 50 à 200  $\mu\text{m}$  pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1 mm pour les fibres plastiques. Dans une fibre multimode, les différents rayons se propagent longitudinalement grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le cœur et la gaine en empruntant des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont différents, ce qui résulte une dispersion dite multimodale. Ces fibres sont en général employées pour les réseaux locaux (ne s'étendant pas sur plus de deux kilomètres), les bas débits ou encore pour des longueurs d'onde proches de 850 nm. Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (débit limité à 50 Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1Gb/s).

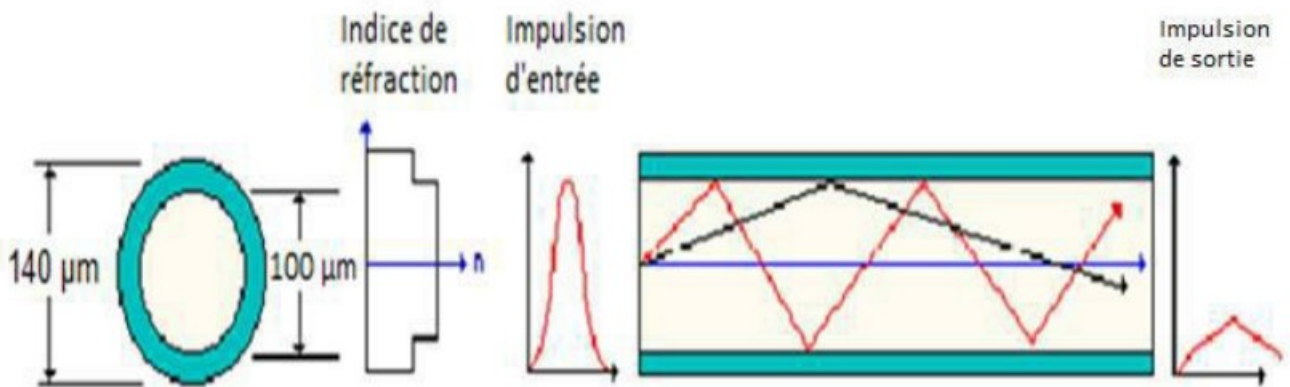


Figure 1.2 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique multimode à saut d'indice.

#### 1.4.2. Fibres optiques multimodes à gradient d'indice (graded-index fibre) :

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

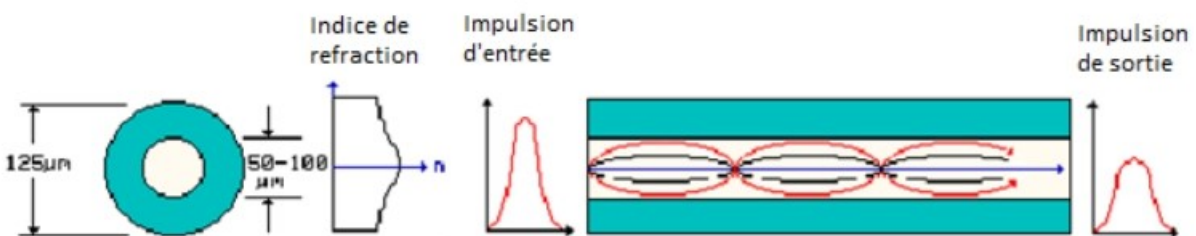


Figure 1.3 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Multimode à gradient d'indice.

### 1.4.3. Fibre monomode :

Pour qu'un guide ou une fibre optique puisse être monomode, ses dimensions transverses ne doivent pas être très grandes devant la longueur d'onde. Les fibres monomodes utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10  $\mu\text{m}$  en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. L'onde se propage alors suivant un seul chemin optique sans réflexion, et par conséquent une dispersion modale quasiment nulle.

Leur petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission ; de plus, la bande de fréquences peut atteindre plusieurs dizaines de GHz comme la montre la figure ci-dessous.

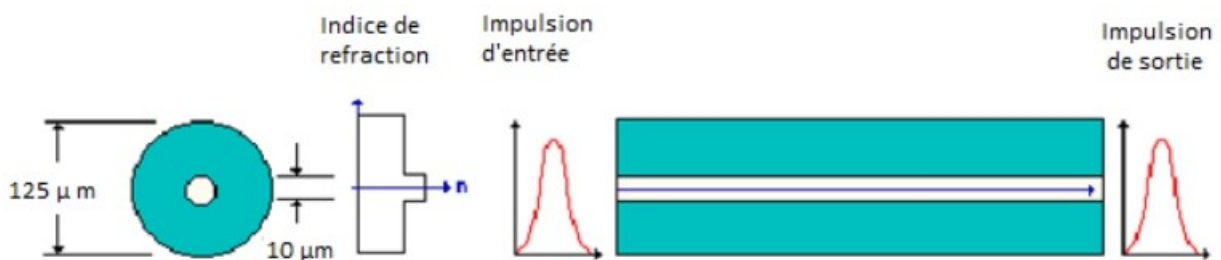


Figure 1.4 : Profil d'indice de réfraction et vue en coupe d'une fibre optique Monomode.

#### 1.4.3.1 Principe de guidage dans les fibres :

Le guidage du signal optique est basé sur la loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par réflexions successives entre le cœur et la gaine. Cela n'est possible que si le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur (une différence de quelques % est suffisante).

La seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique. L'ouverture numérique (O.N.) représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptré cœur-gaine de la fibre et qui est donnée, dans le cas où le milieu d'indice  $n_m$  est l'air, par la relation :

$$ON = \sqrt{n_2 \text{ coeur} - n_2 \text{ gaine}}$$

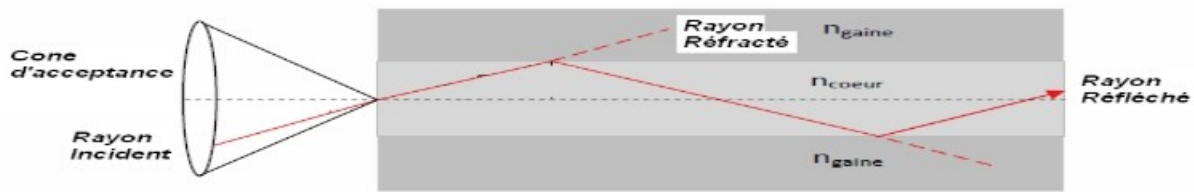


Figure 1.5 : Guidage de la lumière dans la fibre optique.

La plupart des fibres sont fabriquées à base de silice, matériau abondant et peu cher. Pour façonner les profils d'indice :

- La silice est dopée avec du dioxyde de germanium ou du pentoxyde de phosphore pour augmenter l'indice (donc plutôt pour le cœur de la fibre).
- Avec du fluor ou du trioxyde de bore pour le diminuer (plutôt réservé à la gaine optique).

## 1.5. Avantages et inconvénients du fibre optique :

### 1.5.1. Avantages :

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

- Ces avantages sont, tout d'abord, des avantages en termes de performances de transmission, multiplexage (en longueur d'onde) possible avec une bande passante optique très grande, et donc une grande capacité (débit de plusieurs T bit/s) n'ayant aucune commune mesure avec les bandes passantes des supports électriques ou radio classiques. De plus, l'atténuation due au support de communication s'avère très faible, ce qui permet de couvrir des distances plus grandes sans nécessité d'installer des répéteurs.
- La fibre optique présente également des avantages de sécurité électrique (isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive et sous forte tension) et électromagnétique. Elle est donc insensible aux parasites électromagnétiques, et n'en créant pas elle-même, elle assure ainsi une inviolabilité presque totale, ce qui permet son utilisation dans les applications militaires, bancaires et en transmission de données.
- Enfin, les facilités de mise en œuvre qu'elle présente, à la fois par sa petite taille, sa grande souplesse et son faible poids, combinés à un coût raisonnable, lui confère un avantage économique sur les autres supports de transmission.



**1.5.2. Inconvénients :**

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

- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.
- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement)

**Conclusion :**

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

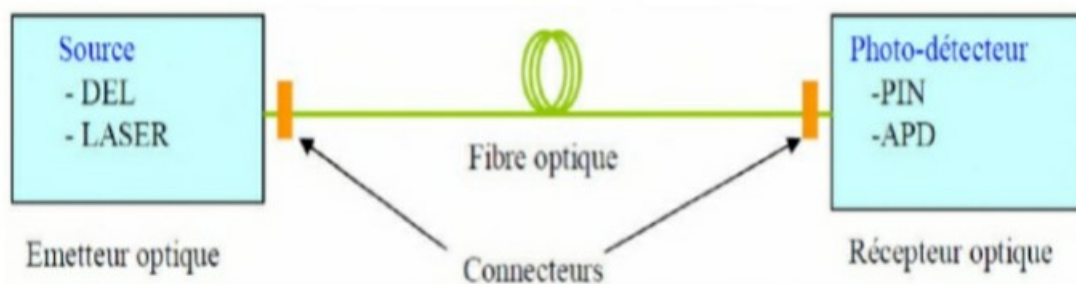
**Chapitre II:  
Description d'une liaison optique**

## 2.1. Introduction

Généralement, une liaison optique est constituée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique. L'information que l'on veut transmettre à distance est convertie en un signal électrique,

L'information que l'on veut transmettre à distance est convertie en un signal électrique,

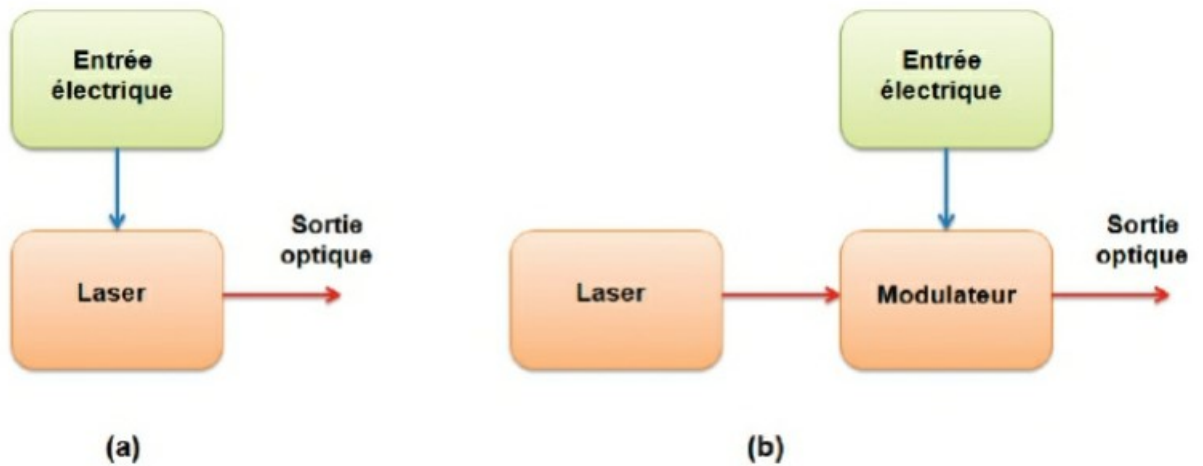
Module analogiquement ou numériquement par un émetteur (laser ou diode électroluminescente) est convertie en un signal optique



**Figure.2.1:** un schéma montre la composition de la liaison par fibre optique.

## 2.2. Description d'une liaison optique

L'architecture d'une liaison optique, quelque soit le niveau du réseau auquel elle est destinée, est composée des mêmes éléments, à savoir un émetteur, une fibre optique et un récepteur. Pour chacun de ces éléments constitutifs d'une liaison par fibre optique, nous tenterons de décrire leur rôle et leur fonctionnement. Nous débuterons par l'émetteur (laser, driver, modulateur, ...), puis nous poursuivrons par la description de la fibre optique. Enfin, nous terminerons par les blocs constituant le récepteur (photodiode, filtre électrique, circuit de remise en forme, ..... etc.).



**Figure.2.2:** Bloc-diagramme de l'émetteur optique avec  
a) une modulation directe b) une modulation externe.

## 2.2.1 Le module d'émission

### 2.2.1.1. Description générale

Le rôle d'un émetteur optique est de convertir un signal électrique en un signal optique. Il existe deux méthodes distinctes pour moduler les ondes optiques : la modulation directe d'un laser et la modulation externe. La figure suivante montre le schéma synoptique de ces deux types d'émetteurs optiques. Nous allons dans la suite de cette section passer en revue les différents types d'émetteurs et leurs principales caractéristiques du point de vue des systèmes de transmission.

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

### 2.2.1.2. Les sources optiques

Les sources optiques que l'on peut utiliser dans le domaine des télécommunications optiques peuvent être classées en deux catégories:

- Les diodes électroluminescentes (DEL).
- Les sources cohérentes (diodes laser).

Ces deux types de sources sont réalisés à partir de la jonction PN polarisée en direct. Le principe de l'émission est dû à la recombinaison des paires (électron – trou).

La DEL est une source incohérente. Elle présente un spectre d'émission assez large, ainsi qu'un diagramme de rayonnement moins directif. Elle est utilisée essentiellement dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes.

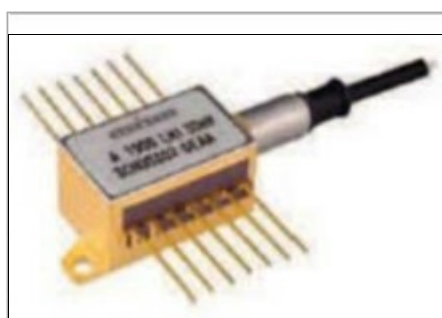
La diode laser (DL) quant à elle est une source cohérente. Elle est surtout utilisée dans les systèmes de transmission à très grandes distances (faible largeur spectrale  $\Rightarrow$  Bande passante importante).

### 2.2.1.3. Les différents types des lasers:

Dans les systèmes de transmission par fibre optique, les lasers FP (Fabry-Perot), DFB (distributed-feedback) et VCSEL (vertical-cavity surface-emitting laser) sont les lasers les plus couramment utilisés.

Les lasers FP, DFB et VCSEL sont des diodes lasers (DL) à semi-conducteurs. Ils ont généralement une petite taille, une bonne qualité spectrale, une faible consommation énergétique et une longueur d'onde ajustable compatible avec les fenêtres de transmission des fibres optiques (autour de 850 nm, 1310 nm et 1550 nm).

Les lasers DFB sont des sources fiables, considérées comme monochromatiques, qui sont utilisées dans les systèmes WDM d'aujourd'hui pour contrôler précisément la longueur d'onde des signaux optiques. Certaines caractéristiques d'un laser DFB commercialement disponibles sont données dans tableau 1.



<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>valeur</i>
<i>Puissanceoptiquemaximale</i>	<i>mW</i>	<i>&lt;30</i>
<i>Débitmaximal</i>	<i>Gb/s</i>	<i>&gt;10</i>
<i>Largeurderaieminimale</i>	<i>MHz</i>	<i>&lt;2</i>
<i>Bruitded'intensitérelatif(RIN)</i>	<i>dB/Hz</i>	<i>&lt;-140</i>

**Tableau 1:**Exemple de spécifications d'une diode laser à semi-conducteur de type DFB.

### 2.2.1.4. Les caractéristiques de différents types de laser

Composant	<i>VCSEL</i>	<i>Fabry-Pérot</i>	<i>DFB</i>
<b>Puissance optique (mW)</b>	<i>Quelques</i>	<i>Quelques</i>	<i>Quelques</i>
<b>Couplage dans une Fibre optique</b>	<i>&gt;50%(fibre multimode)</i>	<i>&gt;50%(fibre monomode)</i>	<i>&gt;50%(fibre monomode)</i>
<b>Diagramme d'émission spectrale(nm)</b>	<i>Par la surface, peu divergent</i>	<i>Par la tranche, assez divergent</i>	<i>Par la tranche, assez divergent</i>
<b>Courant de seuil (mA)</b>	<i>5 à 10</i>	<i>10 à 30</i>	<i>10 à 30</i>
<b>Fréquence max de modulation (GHz)</b>	<i>10</i>	<i>Plusieurs</i>	<i>Plusieurs</i>
<b>Bruit</b>	<i>Très faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>
<b>Principales longueurs d'onde (µm)</b>	<i>0.78 à 0.9</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3 et 1.5 à 1.6</i>
<b>Coût</b>	<i>Assez</i>	<i>faible Moyen</i>	<i>Elevé</i>

**Tableau 2:** Comparaison des caractéristiques de différents types de laser.

## 2.3. Les effets linéaires

### 2.3.1. L'Atténuation :

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime très souvent en décibels (dB). On définit un coefficient d'atténuation  $\alpha$  pour une ligne de transmission de longueur  $L$  qui s'exprime en dB/Km .

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

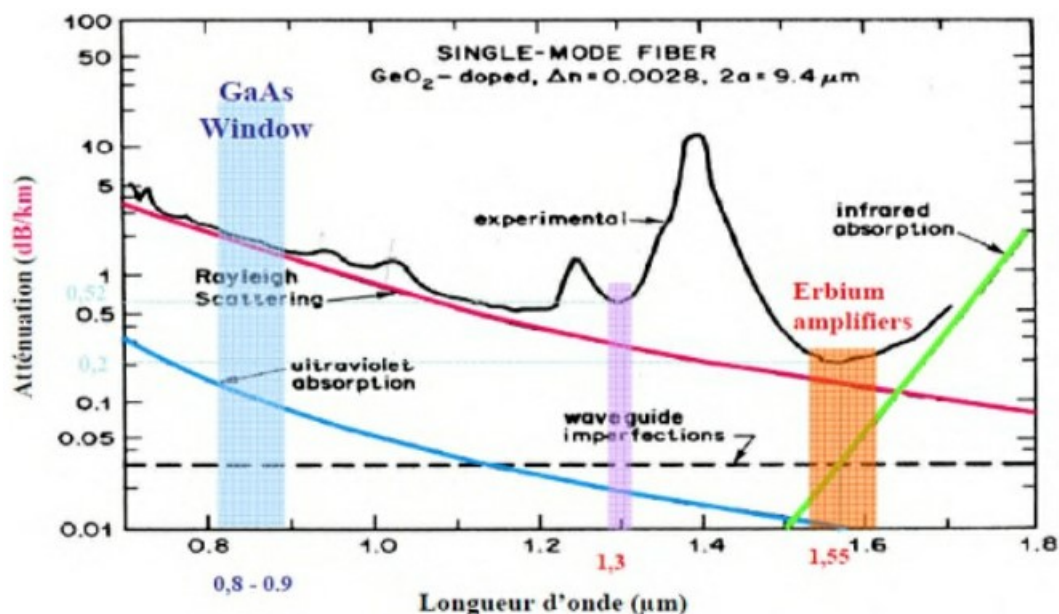


Figure .2.3: Pertes optiques dans une fibre

Selon l'atténuation, les fibres peuvent être utilisées pour la transmission essentiellement dans deux « fenêtres en longueur d'onde » : les fenêtres 1300 nm et 1500 nm. La fenêtre 800 nm étant pratiquement complètement abandonnée.

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

La fenêtre à 1550 nm a une largeur de bande de 100 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,2 dB/km. Elle est utilisée généralement pour les télécommunications longues distances et à haut débit car la faible atténuation dans cette fenêtre permet d'espacer bien davantage les coûteux régénérateurs et/ou amplificateurs nécessaires pour la compensation de l'atténuation dans la fibre de ligne.

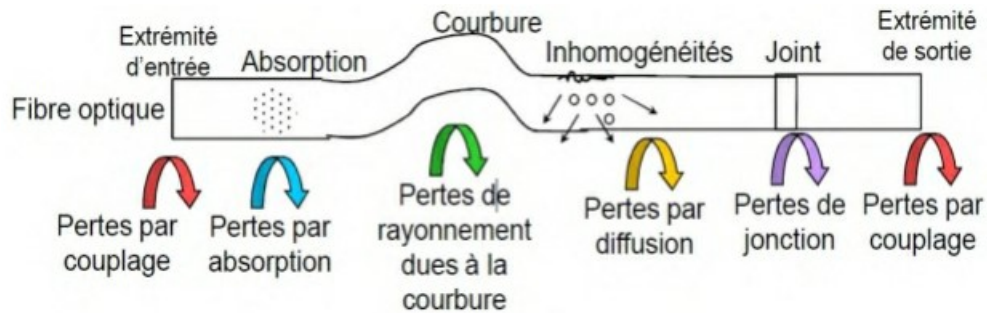
### 2.3.2. L'origine de l'atténuation

L'atténuation dans une fibre optique a des origines intrinsèques (absorption du matériau et diffusion Rayleigh) et externes (pertes liées à la courbure et épissures).

L'atténuation provient principalement de phénomènes résumés dans le tableau et la figure suivantes :

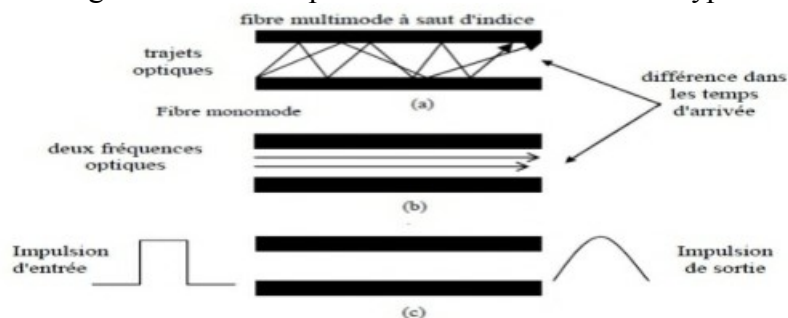
Type de pertes	Explications
<b>Absorption</b>	Perturbation du photon de lumière par un électron d'un atome d'impureté
<b>Diffusion</b>	Variation locale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. Changements de densité ou de composition dans la
<b>Courbures</b>	Torsion dans la fibre. Non-respect du principe de réflexion totale interne.
<b>Pertes deconnexions</b>	Séparation longitudinale Désalignement radial/angularaire Excentricité/ellipticité des cœurs

**Tableau 3** : Les différentes causes d'atténuation.



**Figure.2.4** : Les causes d'atténuation.

Est un phénomène qui provoque la déformation du signal durant sa propagation dans la fibre, elle se traduit par l'élargissement des impulsions et se divise en deux types:



**Figure.2.5**: Différentes représentations des dispersions dans la fibre



### 2.3.2.1. La dispersion modale

Elle existe dans les fibres multimodes à saut d'indice. En effet dans une fibre multimode, plusieurs chemins sont possibles pour la lumière, ces chemins ont des longueurs différentes donc les temps de parcours sont différents aussi. La dispersion modale provient de la différence de

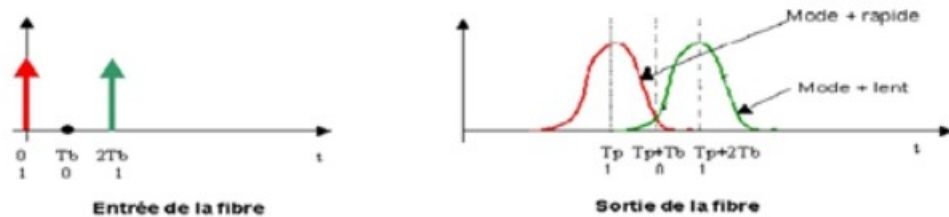


Figure 2.6. Dispersion du signal à la sortie de la fibre optique.

### 2.3.2.2. La dispersion chromatique :

La dispersion chromatique exprimée en ps / (nm.km), caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale de l'émetteur (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse) Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée.



Figure 2.7. Dispersion chromatique dans une fibre optique.

## 2.4. Module de réception

Le rôle de récepteur est de récupérer la séquence binaire sous forme électrique. Le récepteur est équipé notamment d'un détecteur constitué d'une ou plusieurs

Photo diodes. Les photodiodes peuvent être précédées d'un démodulateur servant à récupérer l'information de la phase du signal optique.

Dans ce paragraphe, nous rappellerons brièvement le principe de la photo-détection puis nous porterons notre attention sur deux types de photodiodes utilisables: la photodiode PIN et la photodiode avalanche (APD).

Dans les liaisons de télécommunications par fibre optique, le récepteur est un composant aussi essentiel que l'émetteur.

#### 2.4.1 Comparaison entre les deux types des photodiodes

Types de photodiode	Photodiodes	
	PIN	Avalanche
Caractéristiques		
Tension de commande (V)	Faible	Elevé
Fréquence de coupure (GHz)	>60	Quelque
Rendement quantique (%)	Faible	Elevé
Bande passante (GHz)	Large	Faible
Longueur d'onde (nm)	1300 et 1550	1300 et 1550

**Tableau 4:** Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et à avalanche

#### 2.4.2 Caractéristiques statiques des diodes laser

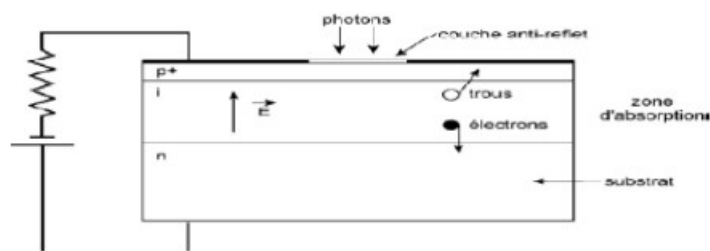


**Figure 2.8.** Exemples de diodes laser en boîtier

Une diode laser (DL) est un oscillateur dans le domaine optique. L'obtention d'un effet laser est obtenue par l'action combinée d'un mécanisme de gain optique et la sélection de certaines fréquences ou longueurs d'onde par le biais d'une cavité optique (par exemple de type Fabry-Perot). Le gain optique est obtenu, au sein de matériaux semi conducteurs à bande interdite directe (alliages III/V), par la possibilité de favoriser l'émission stimulée de photons par rapport au mécanisme d'absorption dès lors que la population en électrons de la bande de conduction est plus importante que celle de la bande de valence. On parle alors d'inversion des populations électroniques. Cette situation, au demeurant fort inhabituelle (!), est rendue possible par l'injection d'un niveau de courant de dépassant un certain seuil, dont la valeur dépend de la structure de la DL : c'est le courant de seuil  $I_S$  de la DL. En-dessous de ce seuil, l'émission de lumière est obtenue par émission spontanée de photons, comme dans les diodes électroluminescentes (DEL). Au-delà, l'émission stimulée domine et la puissance optique délivrée par la DL augmente à peu près linéairement avec l'écart de courant injecté par rapport au seuil, avec une pente de conversion de quelques 0,1 W/A.

### 2.4.3 Les photodiodes PIN:

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



**Figure.2.9:** photo diode PIN

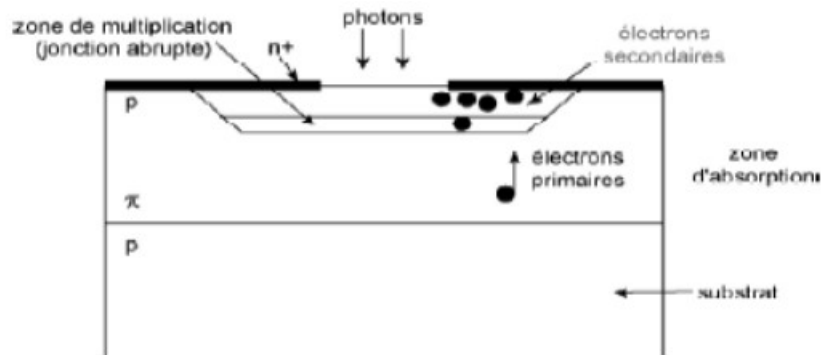
Les paramètres importants, dépendants du matériau et de la structure, qui caractérisent une Photo diode PIN, sont principalement sa sensibilité, son courant d'obscurité et son temps de réponse. La sensibilité, qui relie la puissance lumineuse incidente au photo courant généré, varie suivant le coefficient d'absorption du matériau, et selon la largeur de la zone intrinsèque. Dans la photodiode, en l'absence d'éclairement, circule un courant, appelé courant d'obscurité. Ce courant peut avoir des origines multiples : génération thermique dans la zone intrinsèque, courants de surface, courants de fuite... Une autre caractéristique de la photodiode, est son temps de réponse, qui doit être très bref, lorsque la structure est verticale, c'est-à-dire que l'éclairement se fait par le haut, le temps de réponse limite l'utilisation de la photodiode aux systèmes à 10Gbit/s. Pour augmenter la fréquence de coupure, il est nécessaire de travailler avec des photos détectrices éclairées par la tranche.

#### **2.4.4. Les photodiodes à avalanche:**

Afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment important, une idée est d'utiliser le phénomène d'ionisation par impact des porteurs. L'objectif est d'augmenter la puissance du signal électrique, correspondant à une puissance optique incidente donnée, par multiplication interne du nombre de porteurs. En faisant croître le champ électrique dans la jonction PN, l'énergie des porteurs s'élève, jusqu'au point d'ioniser un atome en cas d'impact avec celui-ci. Des ionisations en chaîne se produisent alors, et les porteurs se multiplient. Ce photo détecteur à gain interne est appelé photodiode à avalanche (ou PDA).

Ce phénomène, aussi connu sous le nom d'avalanche, entraîne s'il n'est pas contrôlé,

Le claquage de la jonction et la destruction du matériau. La Figure 2-10 montre une structure P $\pi$ PN en silicium, qui résulte d'un compromis entre une zone d'absorption large, et une jonction très abrupte pour obtenir un très fort champ électrique.



**Figure.2.10** : photo diode a avalanche en silicium

L'absorption a lieu dans une zone large et peu dopée, dite  $\pi$  et la multiplication a eu lieu dans la jonction abrupte PN+. En outre, pour une tension inverse élevée, la zone de charge d'espace s'étend dans la zone  $\pi$ , dont la résistivité va augmenter avec la tension. Ce phénomène introduit un effet stabilisateur : le champ électrique et le gain augmentent lentement, ce dernier pouvant atteindre de fortes valeurs tout en étant contrôlé avec précision. Concernant le courant d'obscurité, il est plus important dans une photodiode à avalanche, mais n'est pas autant multiplié que le signal, car toutes les composantes de ce courant ne subissent pas le phénomène d'avalanche. Le bruit quantique quant à lui est bien multiplié par le gain interne de la photodiode.

Le temps de réponse de ces photodiodes est affecté par le phénomène d'avalanche, et ces Photo diodes sont donc un peu moins rapides que les photodiodes PIN.

## 2.5 Multiplexage des signaux optiques

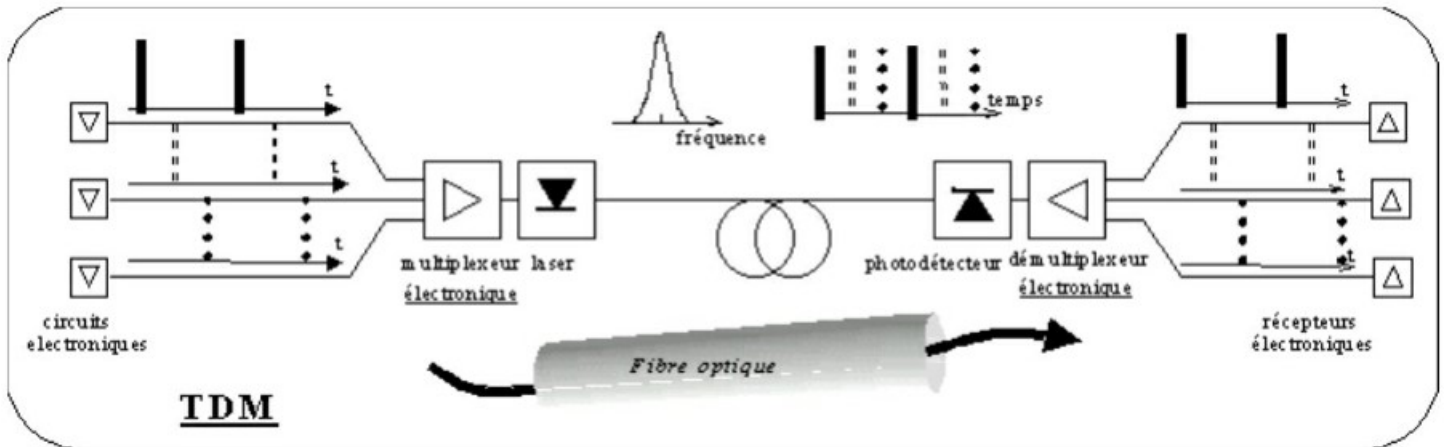
Les signaux véhiculés par les fibres optiques sont très souvent multiplexés temporellement (TDM) et en longueur d'onde (WDM). Néanmoins, ceci n'a rien d'obligatoire et ces deux formes de multiplexage peuvent exister à l'exclusion l'une de l'autre.

Pour comprendre la nature de ces formes de multiplexage et leurs différences, il est utile d'adopter une double représentation temporelle et fréquentielle (fréquence ou longueur d'onde) des signaux. Les deux figures ci-contre illustrent le principe du TDM et celui du WDM.

### 2.5.1 Multiplexage TDM

Dans le cas du multiplexage temporel, l'information est constituée de différents signaux électroniques codés sous forme numérique qui sont combinés dans le domaine temporel par un multiplexeur électronique (circuit rapide dédié) pour obtenir un signal électronique de plus haut débit binaire. Par exemple, 16 signaux de débits binaires  $155,52 \text{ Mbits.s}^{-1}$  (débit normalisé STM 1) peuvent être multiplexés dans le temps pour obtenir un signal numérique de débit binaire  $2,48832 \text{ Gbits.s}^{-1}$  (débit normalisé STM-16). Sur la figure 2-11 (TDM), cette étape est schématisée par la présence de trois circuits électroniques et d'un multiplexeur électronique.

Ce signal « haut débit » est utilisé pour la modulation du courant d'une diode laser. Le signal optique injecté dans la fibre ne présente donc qu'une unique fréquence (ou longueur d'onde), comme le montre la figure 2.11 (et donc une unique couleur : le noir ici). Après propagation de ce signal dans une section de fibre de fibre, l'information « haut débit » est récupérée au moyen d'un photo détecteur. Un circuit électronique de démultiplexage temporel permet finalement la récupération des différents signaux « bas débit ».



**Figure.2.11** : de l'utilisation du démultiplexage temporel (TDM Schéma de principe) dans les communications par fibre optique.

## 2.5.2 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)

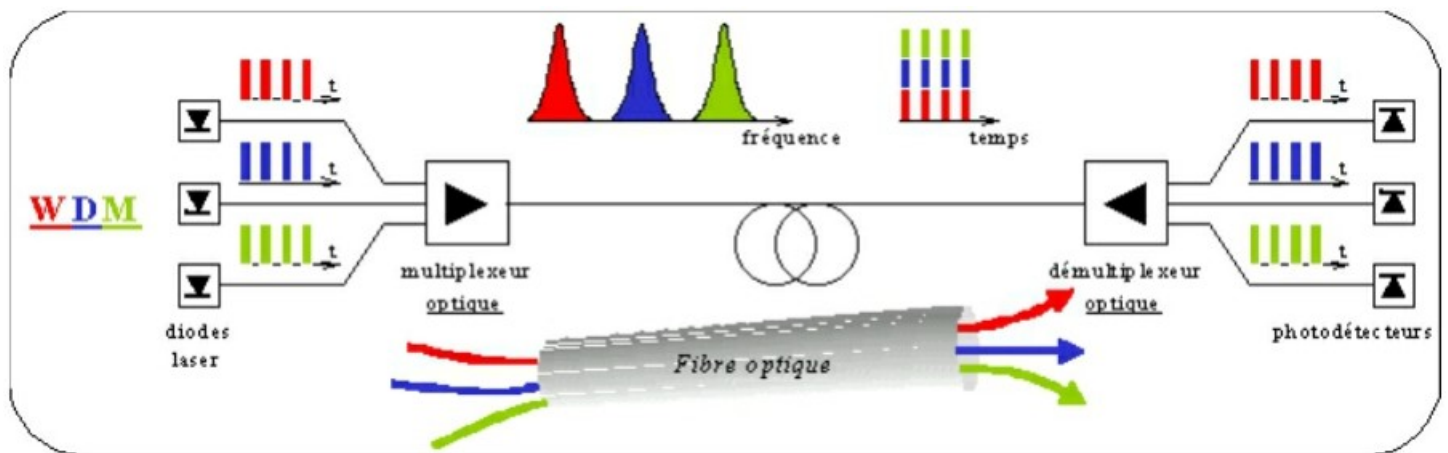
### 2.5.2.1 Introduction:

depuis la deuxième moitié des années 1990, de la technologie du multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing ou WDM) a conduit à un accroissement exponentiel de la capacité de transmission des fibres optiques, qui atteint d'ores et déjà 10 Tbits.s<sup>-1</sup>, soit environ trois ordres de grandeur de plus que les systèmes électroniques les plus rapides. Les données, essentiellement traitées sous forme numérique, sont tout d'abord multiplexées temporellement (TDM : Time Division Multiplexing), à des débits normalisés par l'Union Internationale des Télécommunications (environ 2,5 Gbits.s<sup>-1</sup>, 10 Gbits.s<sup>-1</sup>, 40 Gbits.s<sup>-1</sup>), puis multiplexées en longueur d'onde (WDM). En 2000, environ 80 millions de kilomètres de fibre optique monomode ont été installés dans le monde.

### 2.5.2.2. Principe

Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, WDM), consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant

chacune un débit  $D_b$ . Ce n'est plus l'axe du temps qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur mais la bande passante. Et chaque sous-bande est affectée à une voie. Ainsi plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières. Ce procédé est encore appelé multiplexage en fréquence (Frequency Division Multiplexing, FDM). Ces deux termes recouvrent la même notion, mais par habitude, on parle de multiplexage en longueur d'onde lorsque la séparation entre deux canaux est relativement grande (typiquement plus de 1 nm), tandis que l'on parle de multiplexage en fréquence lorsque cet écart est relativement petit.



**Figure.2-12** : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique

### 2.5.2.3 Description

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des 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. Dans le cas du multiplexage en longueur d'onde, on utilise un ensemble de diodes laser émettant à des fréquences (ou longueurs d'onde) très proches les unes des autres (quelques 0,1 nm au voisinage de 1550 nm). Sur la figure 2-12, ce point est illustré par l'utilisation de trois couleurs distinctes. Chaque diode laser est modulée en courant par un signal temporel de débit binaire et de format donné.



Un multiplexeur optique est utilisé pour combiner ces signaux dans le domaine optique, et ce indépendamment de la forme temporelle des signaux de modulation des diodes laser. Il s'agit d'un composant passif purement optique (par exemple un AWG). La fibre, placée en aval comme support de propagation, véhicule un signal dont le spectre est riche de plusieurs canaux en longueurs d'onde (canaux WDM), comme illustré sur la figure 2-12. Dans la limite où les effets non-linéaires de la fibre peuvent être négligés, les différentes « couleurs » n'interagissent pas du tout entre elles, ce qui permet le transport de signaux de modulation aux formats et aux débits binaires quelconques les uns par rapport aux autres.

En sortie de fibre, un démultiplexeur optique permet de séparer les différentes « couleurs ». Un ensemble de photo détecteurs, en même nombre que les diodes laser, permet de restituer au niveau de chaque canal l'information sous forme électrique.

Il est à noter que rien n'empêche que chacun des signaux de modulation des diodes laser soit lui-même issu d'une étape de multiplexage temporel dans le domaine électronique. C'est même la situation la plus fréquente. Dans ce cas, après démultiplexage optique et photo détection, une étape de démultiplexage temporel permet la restitution des signaux temporels « bas débit ».

#### 2.5.2.4. Application

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. On trouve aujourd'hui des systèmes à  $4 * 10$  Gbits/s,  $16 * 10$  Gbits/s. Dans un futur proche, des systèmes à 40 Gbits/s par longueur d'onde seront installés. Mais le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique. En effet, 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 (Dense DWM) 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 0,4 nm.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord décrit les réseaux et les liaisons optiques et énuméré les principaux composants constituant ces liaisons, ainsi que les problèmes rencontrés lors de la propagation d'un signal optique dans une fibre.

**Chapitre III:**  
**Simulation des liaisons fibre optique**

**Principe:**

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats des différentes simulations en utilisant le logiciel COMSIS lors de la transmission des données à travers la fibre optique.

Pour cela on va tenir compte de la longueur de la fibre, le débit et le bruit.

a) La première simulation sera consacrée pour le cas d'une chaîne multiplexée de quatre signaux de débit différent.

b) Pour la deuxième simulation on va varier la longueur de la fibre optique  $L$  à travers le diagramme de l'oeil on déduit le facteur de qualité  $Q$  et le TEB.

c) La troisième simulation sera consacré sur le bruit, pour cela on calcule le rapport du signal bruit et faire la comparaison.

**3.2 Présentation du logiciel COMSIS****3.2.1 Introduction au logiciel COMSIS :**

**COMSIS**( **COM**munication **S**ystem **I**nteractive **S**oftware) est un logiciel de simulation de n'importe quelle chaîne de télécommunications avec ses différents modules des plus élémentaires au plus complet en se basant sur des schémas blocs des systèmes analogiques ou numériques. Ce simulateur est développé par une société française, **IPSIS** (Ingénierie Pour Signaux et Systèmes), basé sur la technopole de Renne. COMSIS offre la possibilité de constituer des bibliothèques à partir de programmes externes ou par association de modèles standard. Il représente une solution complète au problème de la modélisation et de la simulation. Ce simulateur fonctionne en interactif pour la mise au point de nouvelles applications ou en batch lorsqu'il s'agit de réaliser des études paramétriques : bruits, non linéarité, stabilité... c'est un environnement interactif qui rassemble des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale. Son principe repose sur les schémas-bloc

**3.2.2. Interface COMSIS :**

L'interface COMSIS comporte une fenêtre principale et une fenêtre alphanumérique.

**a) La fenêtre principale :**

Rassemble les deux types de fonctions de COMSIS, les fonctions d'édition des schémas-blocs et les fonctions de traitement.

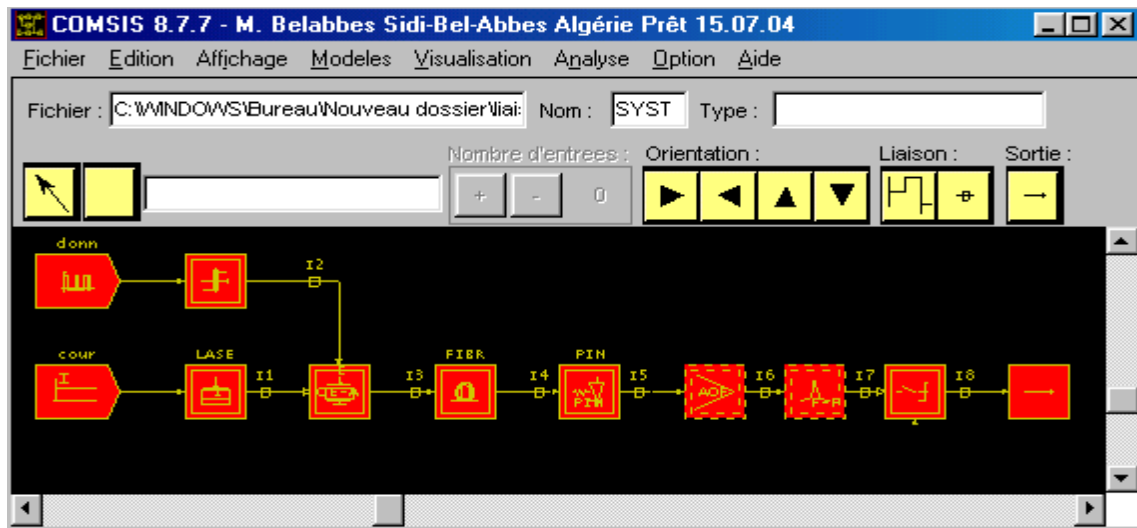


Figure 3. 1: Editeur de schéma bloc.

La conception d'un schéma-bloc est assez simple ils suffit de sélectionner les Composants disponibles dans la bibliothèque à l'aide de la souris et les déposer sur la feuille Du dessin (qui correspond à la partie visible de la feuille de dessin elle délimite la surface de tracé du système en cours de description. L'agrandissement, la réduction ainsi que la position de la zone de dessin sur la feuille de dessin sont respectivement contrôlés par les commandes de zoom et les barres de défilement), Ces modèles doivent être nommés et interconnectés entre eux. Une fois terminé on passe au paramétrage de ces derniers qui peut-être numérique ou formel. La chaîne est maintenant complète et peut être analysée.

#### b) La fenêtre alphanumérique :

Elle est utilisée au lancement d'une analyse pour insérer des paramètres de simulation ou pour afficher l'ensemble des messages ou informations édités, spontanément ou sur requêtes, par le logiciel au cours de son exécution.

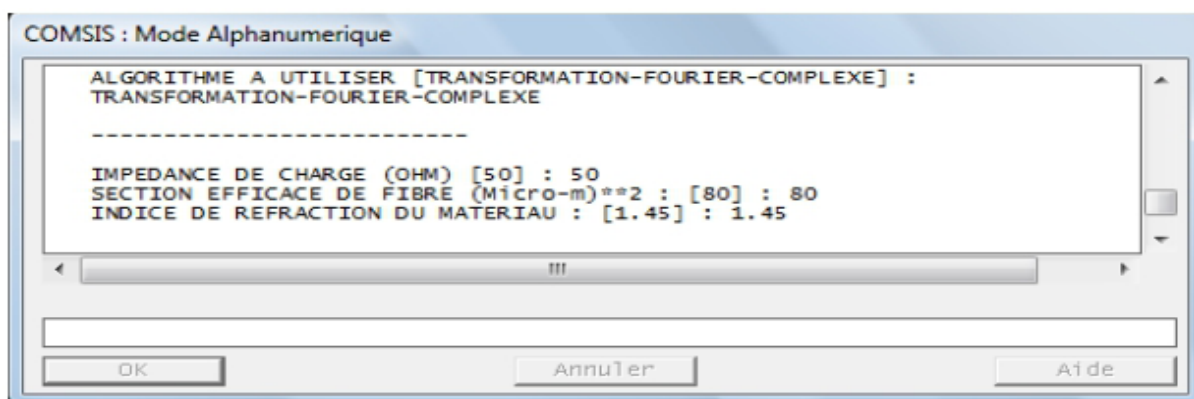


Figure 3. 2: Interface alphanumérique.

**c) La bibliothèque :**

Elle contient tous types de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs: entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres...

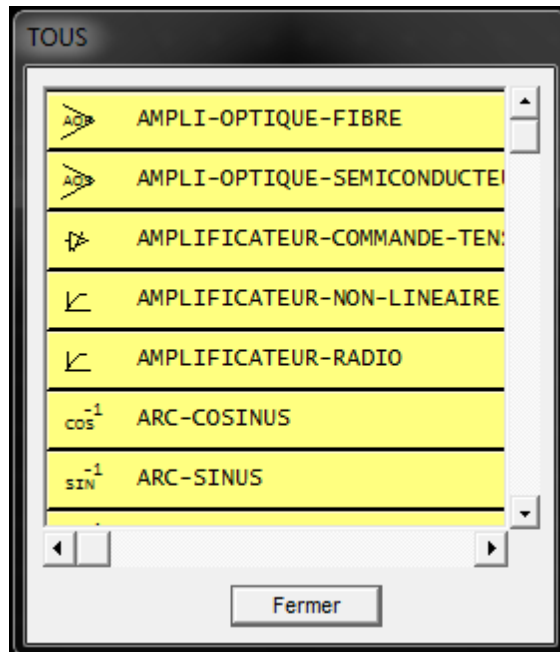


Figure 3. 3: La bibliothèque de modèle COMSIS.

**3.2.3 Les différents types d'analyse :**

Une fois la conception du schéma-bloc est terminée, COMSIS peut effectuer plusieurs Types d'analyse (statique, stabilité, transfert de boucle,...) d'un composants, d'un opérateur fonctionnel, de la liaison entière ou partielle permettant de visualiser leurs performances ou leurs caractéristiques.

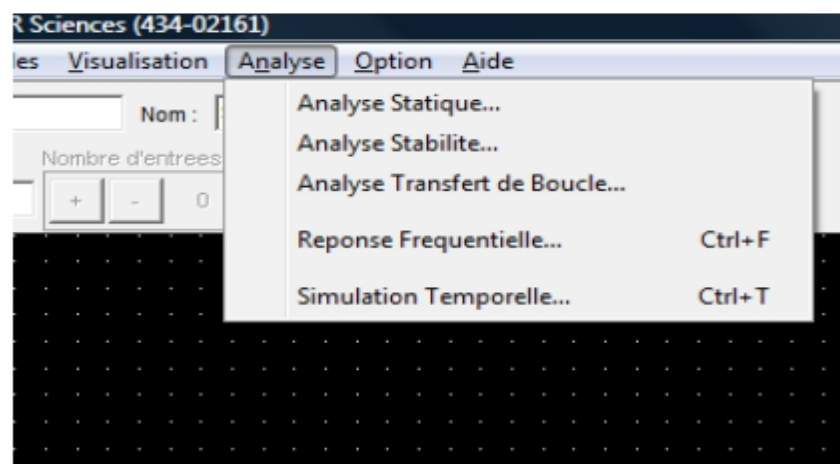


Figure 3. 4: Le menu d'analyse de COMSIS.

**a) L'analyse statique :**

La commande analyse statique de menu analyse est utilisée pour visualiser les courbes Caractéristiques d'un certain modèle. En activant cette commande la cohérence de schéma Sera vérifiée, les calculs effectués et les courbes seront affichés dans la fenêtre graphique.

**b) L'analyse de stabilité :**

L'activation de cette commande permet de calculer la réponse en fréquence et les marges de stabilité (phase, retard, module, module complémentaire) d'un sous-système linéaire. La visualisation graphique peut être présentée sous trois formes : diagramme de Bode, de Blacket de Nyquist.

**c) L'analyse de transfert de boucle :**

La commande analyse Transfert de Boucle provoque le calcul de la réponse en fréquence et des marges de stabilité des boucles. COMSIS édite les résultats sous la même forme que pour l'analyse de stabilité.

**d) La réponse fréquentielle :**

Cette commande permet de calculer la réponse fréquentielle d'un opérateur de filtrage rationnel ou d'un sous-système rationnel. Le logiciel vérifie toujours la cohérence du schéma. Lorsque le calcul est terminé, COMSIS affiche la réponse fréquentielle en amplitude, en phase et en temps de propagation de groupe.

**e) La simulation temporelle:**

La commande Simulation Temporelle du menu Analyse permet de déterminer la réponse d'un Système à des signaux dans le domaine temporel. Cette analyse est légèrement différente car

elle ne concerne plus l'analyse d'un opérateur mais plutôt l'analyse du signal envoyé pendant sa transmission. A l'issue de la simulation, la fenêtre d'évaluation des Performances propose différents traitements sur les variables simulées.

### 3.2.4 La visualisation et le traitement des résultats :

La simulation temporelle est l'analyse permettant le plus grand nombre de possibilités dans l'exploitation des résultats. Les autres analyses affichent directement le résultat demandé dans la fenêtre graphique.

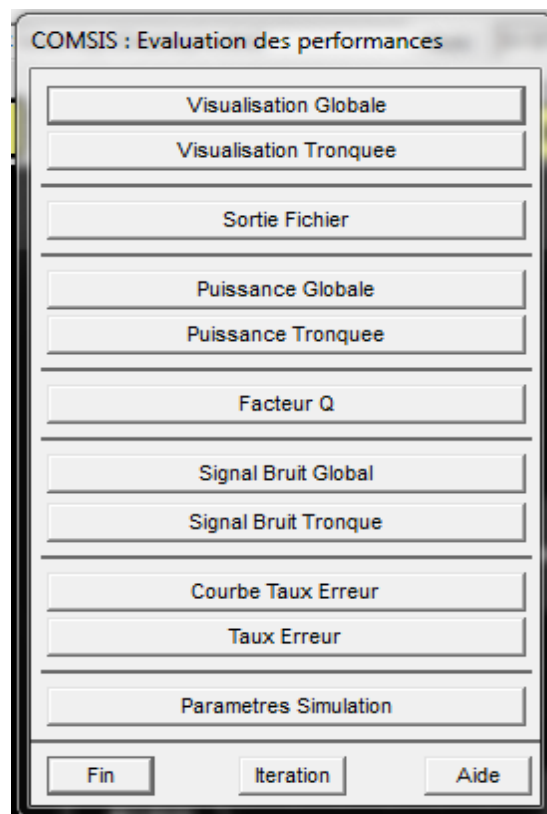


Figure 3. 5: Fenêtre d'évaluation de performances.

Durant la simulation, un écran de contrôle permet de suivre l'état d'avancement des calculs. A la fin de la simulation, la fenêtre d'évaluation des Performances propose plusieurs possibilités. La commande Visualisation affiche les variables calculées, soit directement dans le domaine temporel, soit après qu'elle soient subies un prétraitement. Lors que cette commande est activée, la fenêtre Variables et Prétraitement s'apparait et donne accès aux choix de ces traitements à effectuer et des variables simulées sur les quels on a effectuer.



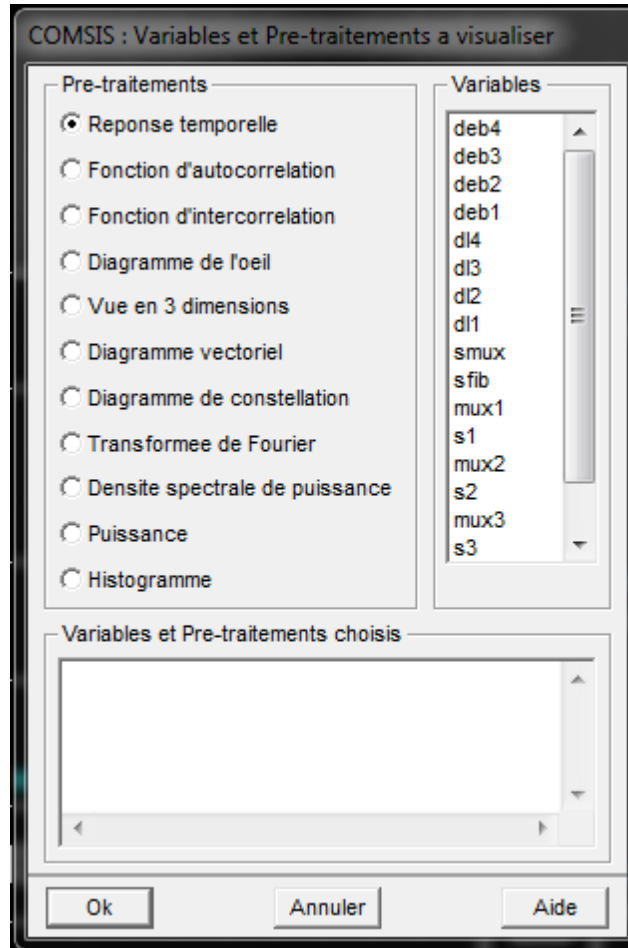


Figure 3. 6: Fenêtre variable et prétraitement à visualiser.

Par la suite nous allons essayer de détailler quelques-unes de ces variables.

**a) La réponse temporelle :**

Cette commande permet d'observer directement les variables simulées, sans prétraitement. L'abscisse des courbes est constituée d'une base de temps.

**b) Le diagramme de l'oeil :**

Expérimentalement, on obtient le diagramme de l'oeil en observant, sur un oscilloscope, le Signal reçu, en fonction d'une base de temps synchronisée sur l'horloge des données. En simulation, on utilise une technique identique qui repose sur la connaissance d'une variable d'horloge de synchronisation, utilisée pour générer la base de temps appropriée.

COMSIS offre la possibilité de faire des mesures quantitatives sur les diagrammes de l'oeil: ouverture horizontale, ouverture verticale, taux d'erreur binaire, hauteur de l'oeil, facteur Q, largeur de l'oeil...

**c) La densité spectrale de puissance :**

La densité spectrale de puissance d'un signal donne une idée de la largeur de bande nécessaire pour la transmettre. Elle permet également d'apprécier l'efficacité de certaines fonctions et d'évaluer différents types de brouillage.

**d) Détermination du facteur Q :**

La simulation a permis de calculer le signal bruité dont on veut évaluer le facteur Q. COMSIS calcule alors les niveaux moyens du signal bruité et les écarts-types sur la transmission des niveaux hauts et des niveaux bas pour donner le facteur Q.

**e) Taux d'erreur sur les bits :**

COMSIS propose trois méthodes de mesure du taux d'erreurs binaire (TEB) et le tracé des courbes de taux d'erreur (La méthode de Monte-Carlo, L'estimation basée sur la théorie de la valeur extrême, L'extrapolation de la queue de la distribution)

**3.2.5 Critères de qualité d'une transmission :**

Lors du transport d'un signal par la fibre optique ils exposent à des dégradations et pour Le juger il faut étudier les paramètres suivants :

**a) Le diagramme de l'oeil :**

Le diagramme de l'oeil est une méthode pour représenter et analyser un signal numérique haut débit. Il permet de visualiser et de déterminer rapidement les principaux facteurs de qualité électrique du signal. Le diagramme de l'oeil est construit à partir d'une forme d'onde numérique en superposant les courbes correspondant à chaque bit sur un même graphe avec l'amplitude du signal en Y (axe vertical) et le temps en X (axe horizontal). En répétant l'opération sur un grand nombre d'échantillons de signal, le graphe obtenu fournit les statistiques moyennes du signal et présente l'aspect d'un oeil.

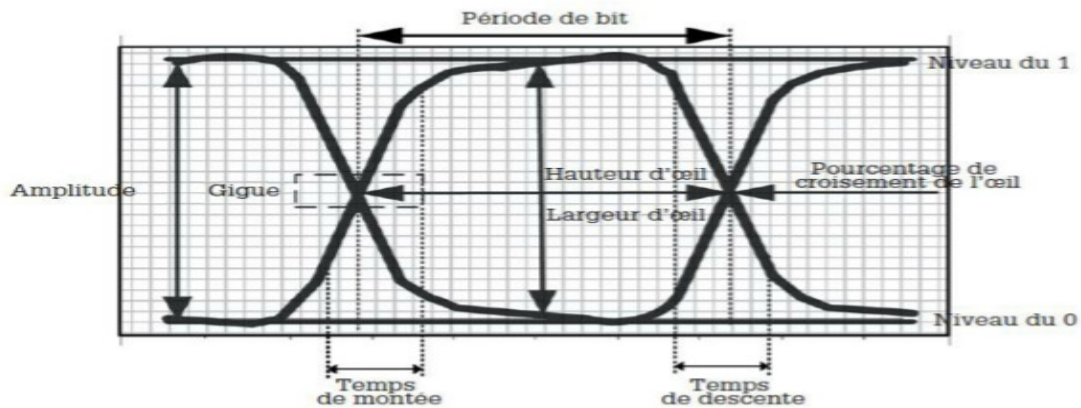


Figure 3. 7: Mesures typiques du diagramme de l'oeil.

Les expériences sont montrées que plus le bruit d'amplitude ou la gigue temporelle sont élevés, plus les « bords » du diagramme de l'oeil « s'épaississent » et plus la qualité du signal transmis est mauvaise.

#### b) Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q :

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

Le facteur Q est définie par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (3.1)$$

D'où :

$\mu_1, \mu_0$  : désignent les valeurs moyennes des niveaux « 1 » et « 0 » du signal.

$\sigma_0, \sigma_1$  : désignent les écarts-types respectifs  $\mu_1, \mu_0$

Plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'oeil est fermé, plus les facteurs de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le diagramme de l'oeil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photo diode et de l'oscilloscope utilisé.

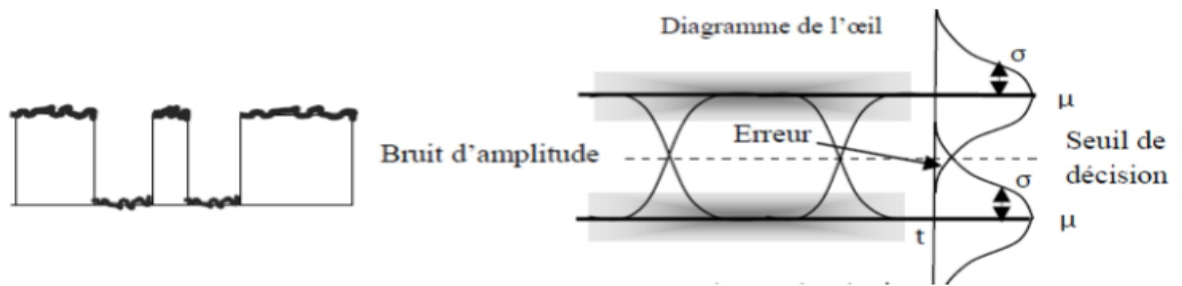


Figure 3. 8: Effet de bruit d'amplitude sur le diagramme de l'œil.

### c) Le taux d'erreurs binaire :

Le taux d'erreur binaire ou B.E.R., abréviation de l'expression anglaise *Bit Error Rate*, désigne une valeur, relative au taux d'erreur, mesurée à la réception d'une transmission numérique, relative au niveau d'atténuation et/ou de perturbation d'un signal transmis

Il se définit comme suite :

**TEB = -nombre de bit erroné / nombre de bit transmis**

Donc l'augmentation du TEB signifie la mauvaise qualité de signal étant que TEB

Faible notre signal est bon.

### d) Le rapport signal sur bruit :

Le bruit le plus gênant évidemment le bruit aléatoire. Il peut modifier notablement le signal à certains moments et produire des confusions entre "0" et "1". Pour cette raison, il faut veiller à ce que la puissance du signal soit supérieure à celle du bruit. Le paramètre correspondant est

**le rapport "signal sur bruit" S/B défini en décibels par :**

$$S/B(\text{en décibels}) = 10 \log_{10} (PS(\text{Watt})/PB(\text{Watt})) \quad (3.2)$$

Où PS et PB désignent respectivement les puissances du signal et du bruit.

### 3.3 La première simulation : l'influence des multiplexages les signaux de sortie.

La première simulation sera consacrée pour le cas d'une chaîne multiplexée de quatre signaux de débit différent comme le montre la figure 3.9 puis On fera une comparaison entre les signaux.

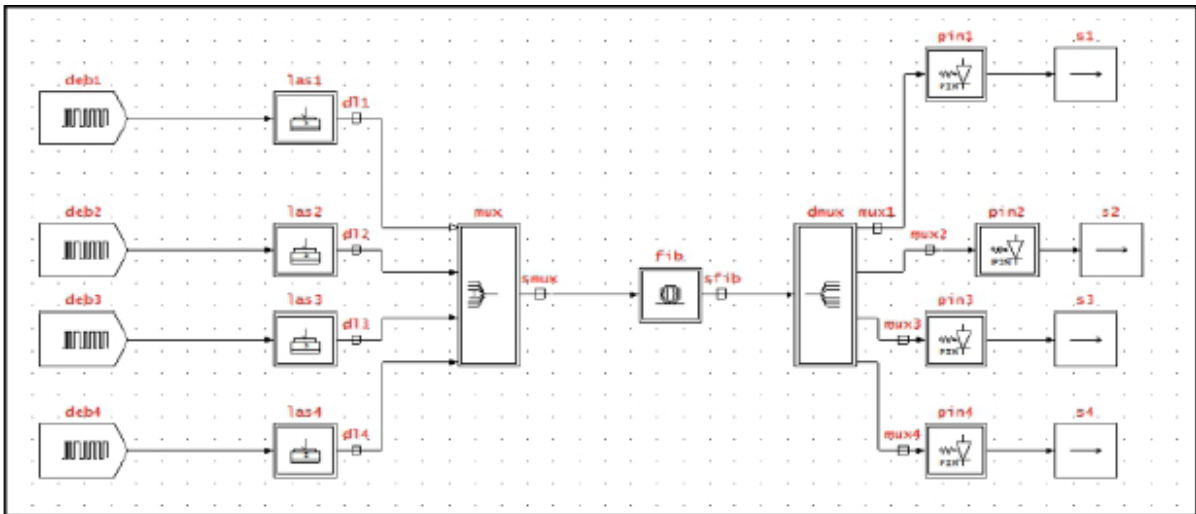


Figure 3. 9: Synoptique d'une chaine optique multiplexés faite par logiciel COMSIS.

### 3.3.1 Description du bloc utilisé dans la simulation :

Les blocs les plus importants utilisés par COMSIS pour notre simulation sont :

- ✓ Générateur du courant laser.
- ✓ Laser, photo détecteur.
- ✓ Multiplexeur, démultiplexeur.
- ✓ La fibre optique.

#### a) Le courant-laser :

Le courant-laser responsable de la génération du courant d'entrée de laser il est formé uniquement de deux valeurs :  $I_{min}$  et  $I_{max}$  qui représentent le courant qui entre dans le laser quand l'information à transmettre est un 0 ou un 1 respectivement.

On augmente le débit de chaque émetteur par 500Mbits/s :

**Emetteur (deb1) :**

The screenshot shows a dialog box titled "COMSIS : Definition des parametres". It has two main sections: "Generalites" and "Caracteristiques".

**Generalites:**

- Nom : deb1
- Nature : COURANT-LASER
- Groupe : Composants Optiques
- Type (en sortie) : CONTINU

**Caracteristiques:**

DEBIT BINAIRE (Mbits/s) :	500
LONGUEUR DU REGISTRE :	8
COURANT MINIMUM (mA) :	25
COURANT MAXIMUM (mA) :	40

At the bottom, there are three buttons: "OK", "Annuler", and "Aide".

Figure 3. 10: Paramètres caractéristiques du courant laser 1.

**Emetteur (deb2) :**

The screenshot shows a dialog box titled "COMSIS : Definition des parametres". It has two main sections: "Generalites" and "Caracteristiques".

**Generalites:**

- Nom : deb2
- Nature : COURANT-LASER
- Groupe : Composants Optiques
- Type (en sortie) : CONTINU

**Caracteristiques:**

DEBIT BINAIRE (Mbits/s) :	1000
LONGUEUR DU REGISTRE :	8
COURANT MINIMUM (mA) :	25
COURANT MAXIMUM (mA) :	40

At the bottom, there are three buttons: "OK", "Annuler", and "Aide".

Figure 3. 11: Paramètres caractéristiques du courant laser 2.

**Emetteur (deb3) :**

COMSIS : Definition des parametres

Generalites

Nom : deb3  
Nature : COURANT-LASER  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : CONTINU

Caracteristiques

DEBIT BINAIRE (Mbits/s) : 1500  
LONGUEUR DU REGISTRE : 8  
COURANT MINIMUM (mA) : 25  
COURANT MAXIMUM (mA) : 40

OK Annuler Aide

Figure 3. 12: Paramètres caractéristiques du courant laser 3.

**Emetteur (deb4) :**

COMSIS : Definition des parametres

Generalites

Nom : deb4  
Nature : COURANT-LASER  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : CONTINU

Caracteristiques

DEBIT BINAIRE (Mbits/s) : 2000  
LONGUEUR DU REGISTRE : 8  
COURANT MINIMUM (mA) : 25  
COURANT MAXIMUM (mA) : 40

OK Annuler Aide

Figure 3. 13: Paramètres caractéristiques du courant laser 4.

**b) Le laser :**

Le laser permet de moduler directement le courant électrique représentant la séquence de données en le transformant en une puissance optique.

**Laser1 :**

La figure 3.14 présente le composant optique qui permet de convertir le signal électrique en un signal lumineux optique ainsi que les paramètres de fonctionnement.

The image shows a software dialog box titled "COMSIS : Definition des paramètres". It is divided into several sections:

- Generalites:** Nom : las1, Nature : LASER-SYSTEME, Groupe : Composants Optiques, Type (en sortie) : INDEFINI.
- Caracteristiques:** Type de definition :  Systeme  Physiques.
- Parameters:** Longueur d'onde (nm) : 1550, Courant de seuil (mA) : 10, Rendement Puissance/Courant (W/A) : 0.2, Largeur de raie (MHz) : 5, Taux d'amortissement (MHz) : 4000, Bande a -3 dB (MHz) : 8000. There are also input fields for "pour le courant (mA)" with a value of 50.
- Donnees physiques modifiables:** A button labeled "Donnees...".
- Parametres Facultatifs:**  Espacement entre modes (nm) : [input],  Chirp (MHz/mA) : [input],  Bruit RIN (dB/Hz) : [input] pour le courant (mA) : [input].
- Buttons:** "Parametres physiques...", "OK", "Annuler", "Aide".

Figure 3. 14: Paramètres caractéristiques du laser 1.



## Laser 2 :

COMSIS : Definition des parametres

Generalites

Nom : las2  
Nature : LASER-SYSTEME  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : CONTINU

Caracteristiques

Type de definition :  Systeme  Physiques

Longueur d'onde (nm) :

Courant de seuil (mA) :

Rendement Puissance/Courant (W/A) :

Largeur de raie (MHz) :  pour le courant (mA) :

Taux d'amortissement (MHz) :  pour le courant (mA) :

Bande a -3 dB (MHz) :

Donnees physiques modifiables :

Parametres Facultatifs

Espacement entre modes (nm) :

Chirp (MHz/mA) :

Bruit RIN (dB/Hz) :  pour le courant (mA) :

Figure 3. 15: Paramètres caractéristiques du laser 2.

## Laser 3 :

COMSIS : Definition des parametres

Generalites

Nom : las3  
Nature : LASER-SYSTEME  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : CONTINU

Caracteristiques

Type de definition :  Systeme  Physiques

Longueur d'onde (nm) :

Courant de seuil (mA) :

Rendement Puissance/Courant (W/A) :

Largeur de raie (MHz) :  pour le courant (mA) :

Taux d'amortissement (MHz) :  pour le courant (mA) :

Bande a -3 dB (MHz) :

Donnees physiques modifiables :

Parametres Facultatifs

Espacement entre modes (nm) :

Chirp (MHz/mA) :

Bruit RIN (dB/Hz) :  pour le courant (mA) :

Figure 3. 16: Paramètres caractéristiques du laser 3

## Laser 4 :

COMSIS : Definition des parametres

Generalites

Nom : las4  
Nature : LASER-SYSTEME  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : CONTINU

Caracteristiques

Type de definition :  Systeme  Physiques

Longueur d'onde (nm) : 1552.4  
Courant de seuil (mA) : 10  
Rendement Puissance/Courant (W/A) : 0.2  
Largeur de raie (MHz) : 5 pour le courant (mA) : 50  
Taux d'amortissement (MHz) : 4000 pour le courant (mA) : 50  
Bande a -3 dB (MHz) : 8000

Donnees physiques modifiables : Donnees...

Parametres Facultatifs

Espaceur entre modes (nm) :  
 Chirp (MHz/mA) :  
 Bruit RIN (dB/Hz) : pour le courant (mA) :

Parametres physiques...

OK Annuler Aide

Figure 3. 17: Paramètres caractéristiques du laser 4.

**c) Le multiplexeur :**

C'est un multiplexeur WDM, ce dispositif sert à multiplexé les quatre signaux en un seul signal et l'envoyé dans la fibre. La figure 3.18 indique les paramètres de fonctionnement à introduire.

COMSIS : Definition des parametres	
<b>Generalites</b>	
Nom :	mux
Nature :	MUX-NONPOLARISE
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	INDEFINI
<b>Caracteristiques</b>	
LONGUEUR D'ONDE CENTRALE (nm) :	1551.2
ESPACEMENT ENTRE CANAUX (GHz) :	100
BANDE PASSANTE A -3 DB (GHz) :	10
REFLECTIVITE :	0.95
ISOLATION DU CANAL ADJACENT (dB) :	60
ISOLATION DES AUTRES CANAUX (dB) :	60
PERTES D'INSERTION TOTALES (dB) :	0

Figure 3. 18: Paramètres caractéristiques du multiplexeur.

**d) La fibre optique:**

On utilise une fibre optique monomode avec une longueur variable  $L$ , une atténuation de 0.2db/km et avec une dispersion chromatique constante qui égale à 17ps/nm/km, comme le montre la figure 3.19

COMSIS : Definition des parametres

**Generalites**

Nom : fib  
Nature : FIBRE-OPTIQUE-MONOMODE  
Groupe : Composants Optiques  
Type (en sortie) : INDEFINI

**Caracteristiques**

Longueur de la fibre (km) : L

Coefficient d'attenuation (dB/km) : 0.2

Dispersion chromatique (ps/nm/km) : Constante 17

Effet Kerr :  Oui  Non

Effet Raman :  Oui  Non

Coefficient de non linearite de la fibre (m<sup>2</sup>/W) : 3.2e-20

Gain Raman (m<sup>2</sup>/W) : 7.48e-21

Frequence de resonance (THz) : 12

Demi-largeur de raie Raman (THz) : 6.432

Aire effective de la section de la fibre (micro m<sup>2</sup>) : 80

Type de discretisation de la longueur :  Fixe  Variable

Valeur du pas (km) :

Valeur initiale du pas (km) :

Dispersion Modale de Polarisation :  Oui  Non

Birefringence lineique (ps/km) :

Longueur de couplage (km) :

Etat de la fibre

Retard introduit par la fibre (ns) : 0

OK Annuler Aide

Figure 3. 19: Paramètres caractéristiques de la fibre optique.

**e) Le démultiplexeur :**

La figure 3.20 présente les paramètres de démultiplexeur utilisé dans notre simulation.

COMSIS : Definition des parametres	
<b>Generalites</b>	
Nom :	dem
Nature :	DEMUX-NONPOLARISE
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	INDEFINI
<b>Caracteristiques</b>	
LONGUEUR D'ONDE CENTRALE (nm) :	1551.2
ESPACEMENT ENTRE CANAUX (GHz) :	100
BANDE PASSANTE A -3 DB (GHz) :	10
REFLECTIVITE :	0.95
ISOLATION DU CANAL ADJACENT (dB) :	60
ISOLATION DES AUTRES CANAUX (dB) :	60
PERTES D'INSERTION TOTALES (dB) :	0

Figure 3. 20: Paramètres caractéristiques du démultiplexeur.

**f) La photodiode :**

Le type utilisé c'est la PIN avec une sensibilité de 0.5A/W.

COMSIS : Definition des parametres	
<b>Generalites</b>	
Nom :	pin1
Nature :	PHOTODIODE-PIN
Groupe :	Composants Optiques
Type (en sortie) :	INDEFINI
<b>Caracteristiques</b>	
SENSIBILITE (A/W) :	0.5
COURANT D'OBSCURITE (nA) :	0

Figure 3. 21: Paramètres caractéristiques de la PIN.

### 3. Les résultats de la simulation et interprétations

#### 3.1. La première simulation :

On utilisant la simulation de la figure 3.9, elle nous donne les puissances d'entrée et de sortie démultiplexeur.

##### a) La densité spectrale de puissance :

La simulation de la sortie du multiplexeur et le démultiplexeur

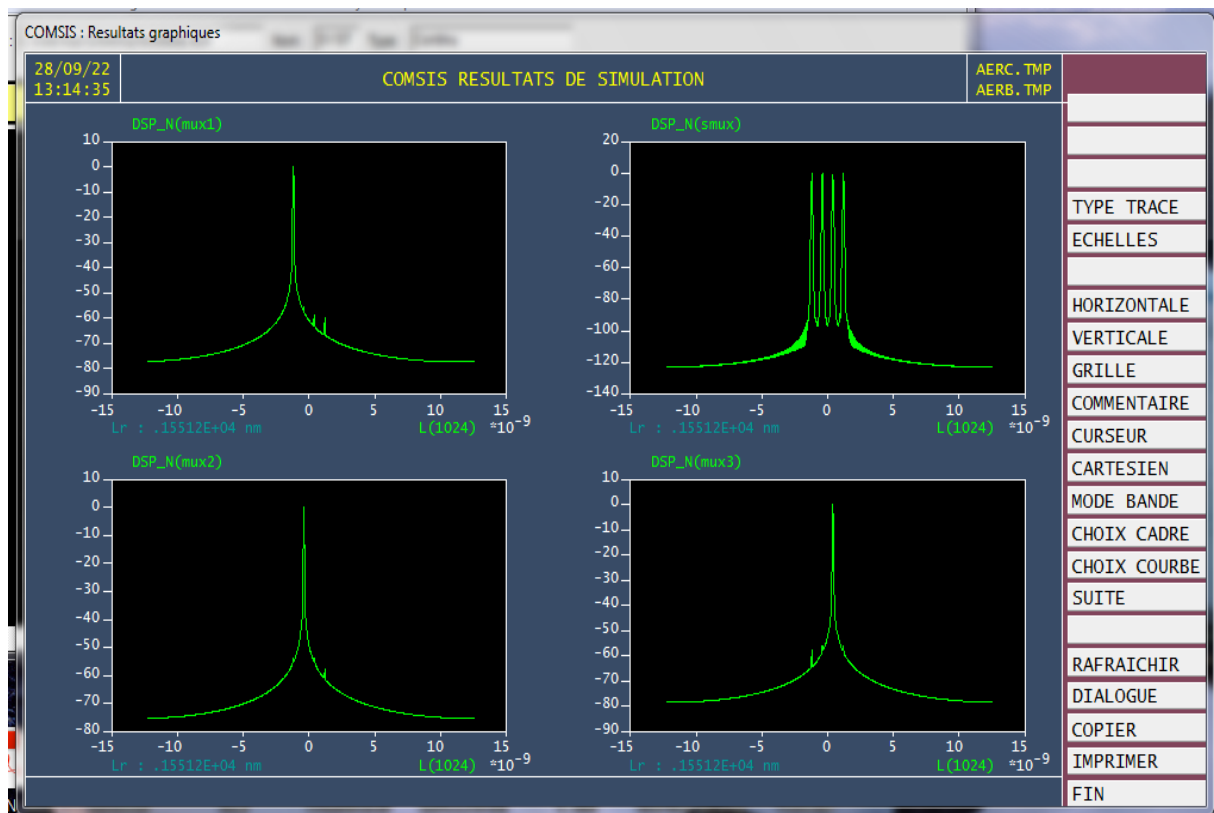


Figure 3. 22 Comparaison entre le signal de sortie pour multiplexeur smux et démultiplexeur mux1,2,3

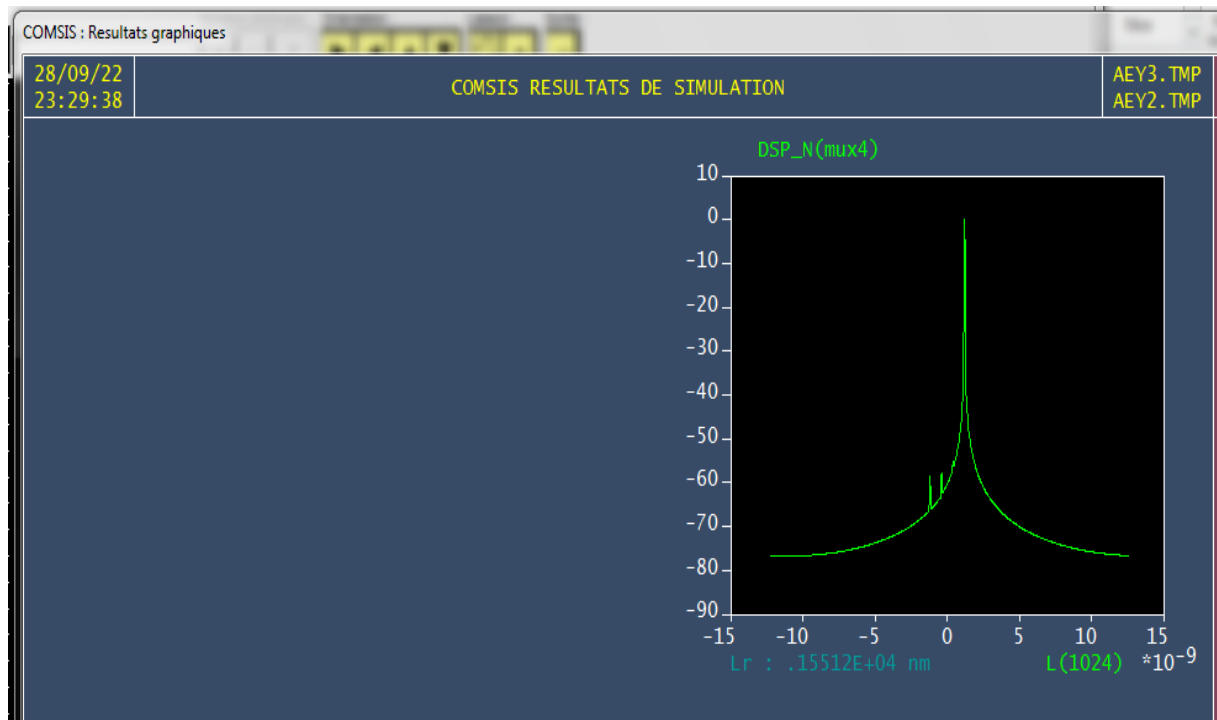


Figure 3. 23 Comparaison entre le signal de sortie pour démultiplexeur mux4

### b) L'analyse temporelle

On utilisant la simulation de la figure 3.9, elle nous donne les signaux d'entrée des lasers et les sorties du multiplexeur.

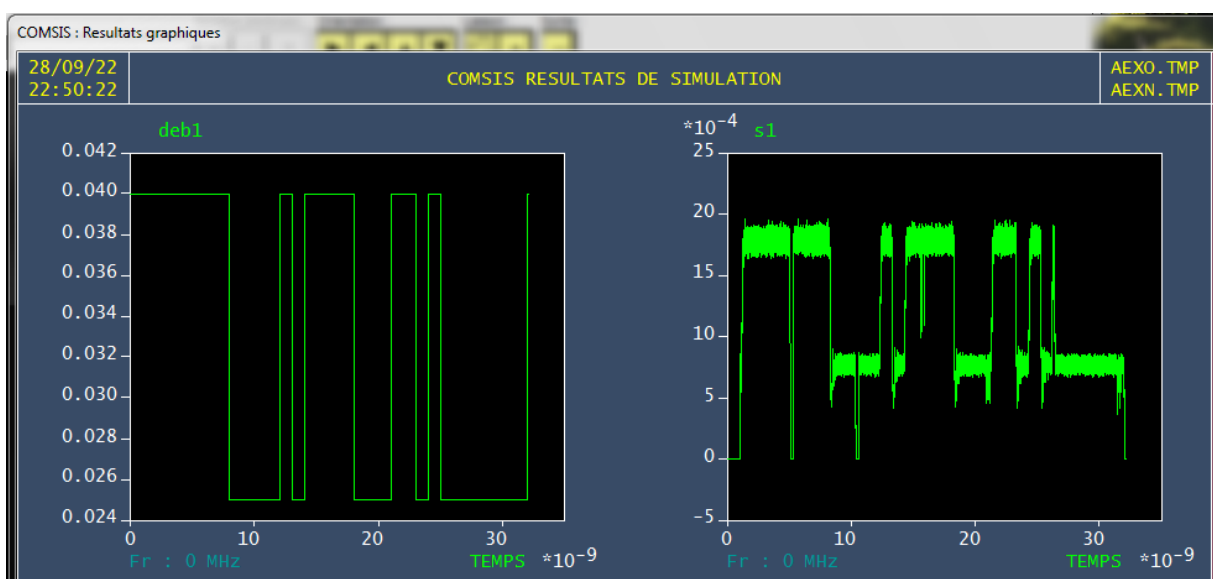


Figure 3. 24: Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb1 pour laser 1.



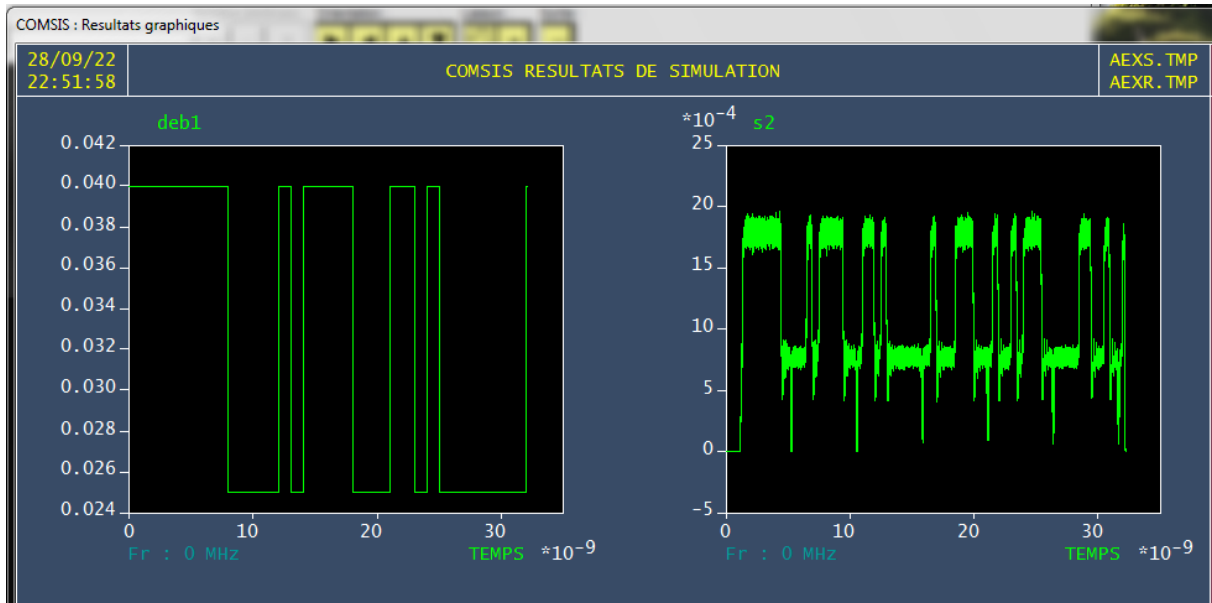


Figure 3. 25: Comparaison entre le signal d'entré et de sortie deb2 pour laser 2.

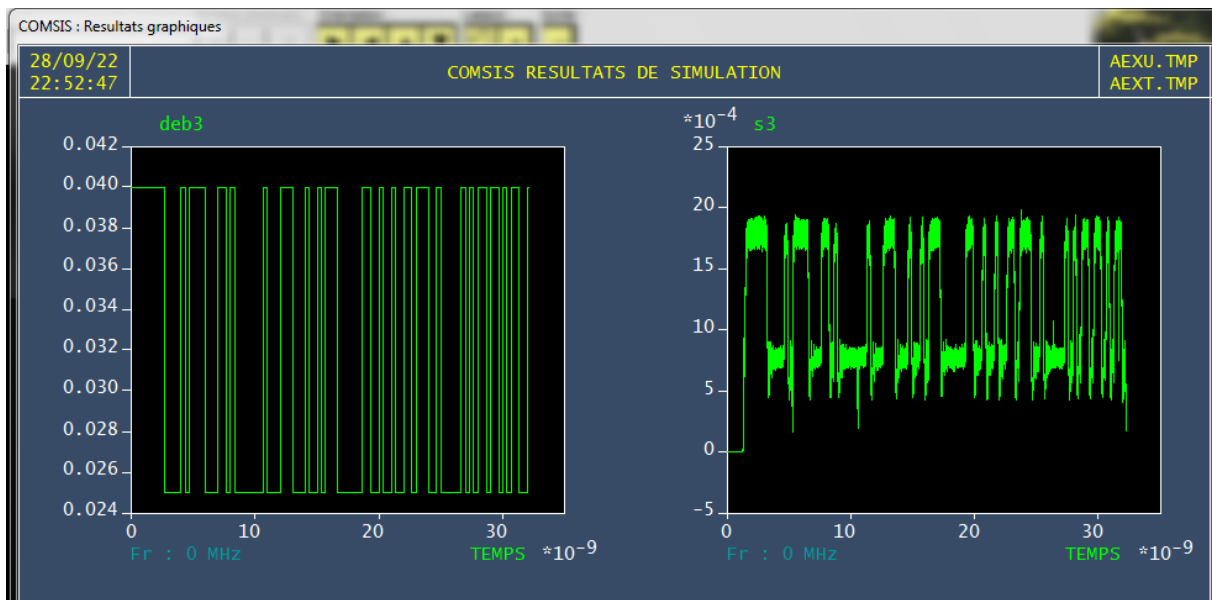


Figure 3. 26: Comparaison entre le signal d'entré et de sortie deb3 pour laser 3.

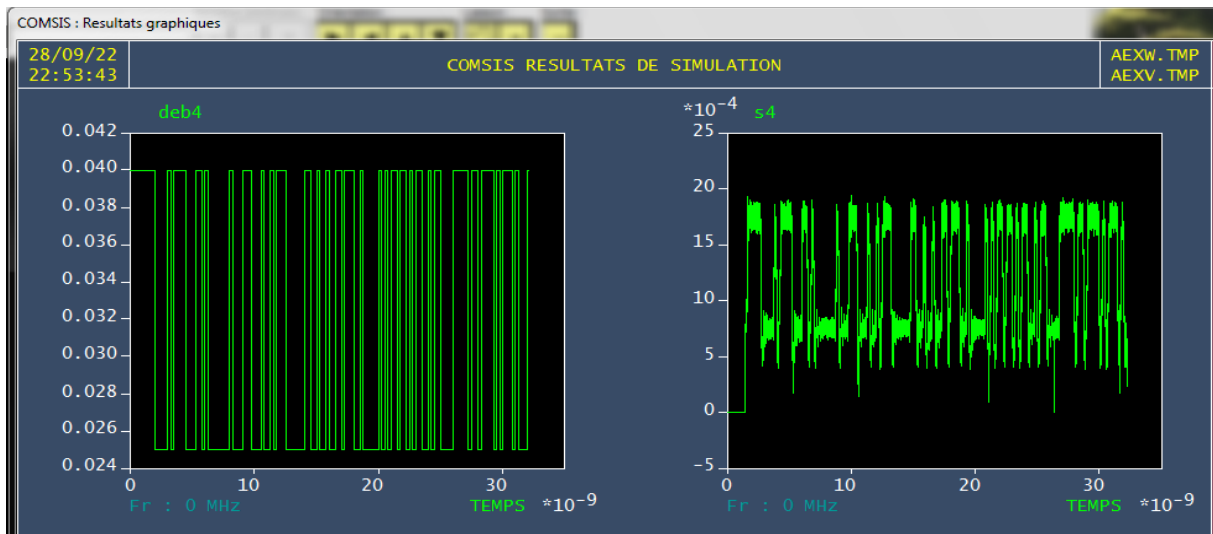


Figure 3. 27: Comparaison entre le signal d'entrée et de sortie deb4 pour laser 4.

D'après les figures 3.24 ,3.25, 3.26, 3.27 on remarque que les signaux d'entrées et de sorties sont presque identique car le signal de sortie présente un bruit résiduelle très faible, Ce signifie que le passage du signal à travers le multiplexeur est acceptable.

**3.2.La deuxième simulation**

**3.3. L'influence de la longueur de la fibre sur la qualité et du débit binaire du signal:**

**a) Le diagramme de l'œil pour L=10km :**

On utilisant la figure 3.19, on change la longueur de la fibre à L=10Km. D'après des options de COMSIS on visualise le diagramme de l'œil et il nous donne aussi deux paramètres : le facteur Q et le TEB.

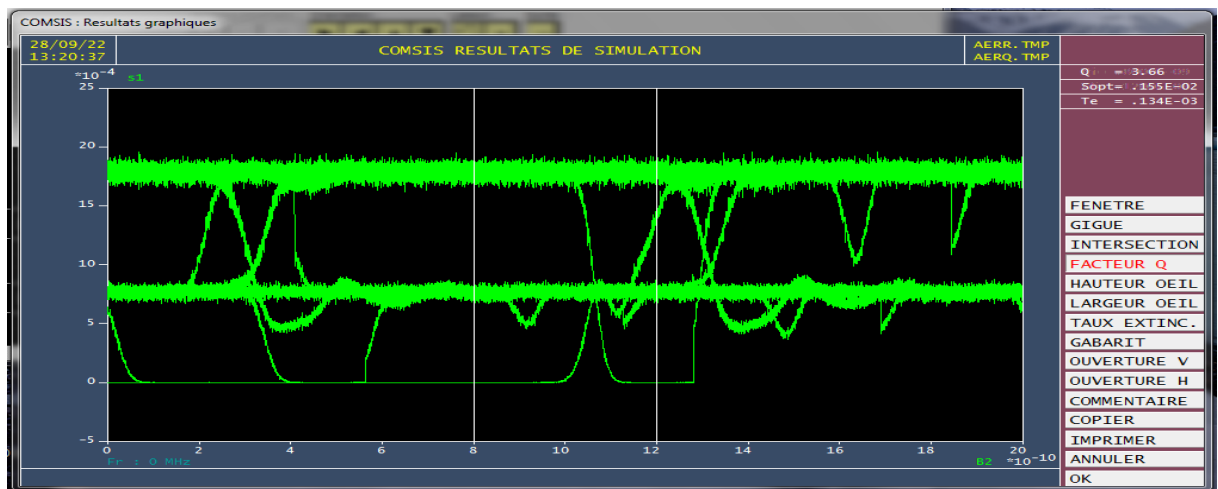


Figure3.28: Diagramme de l'œil de la sortie S1 avec L=10km et D=1000Mbits/s

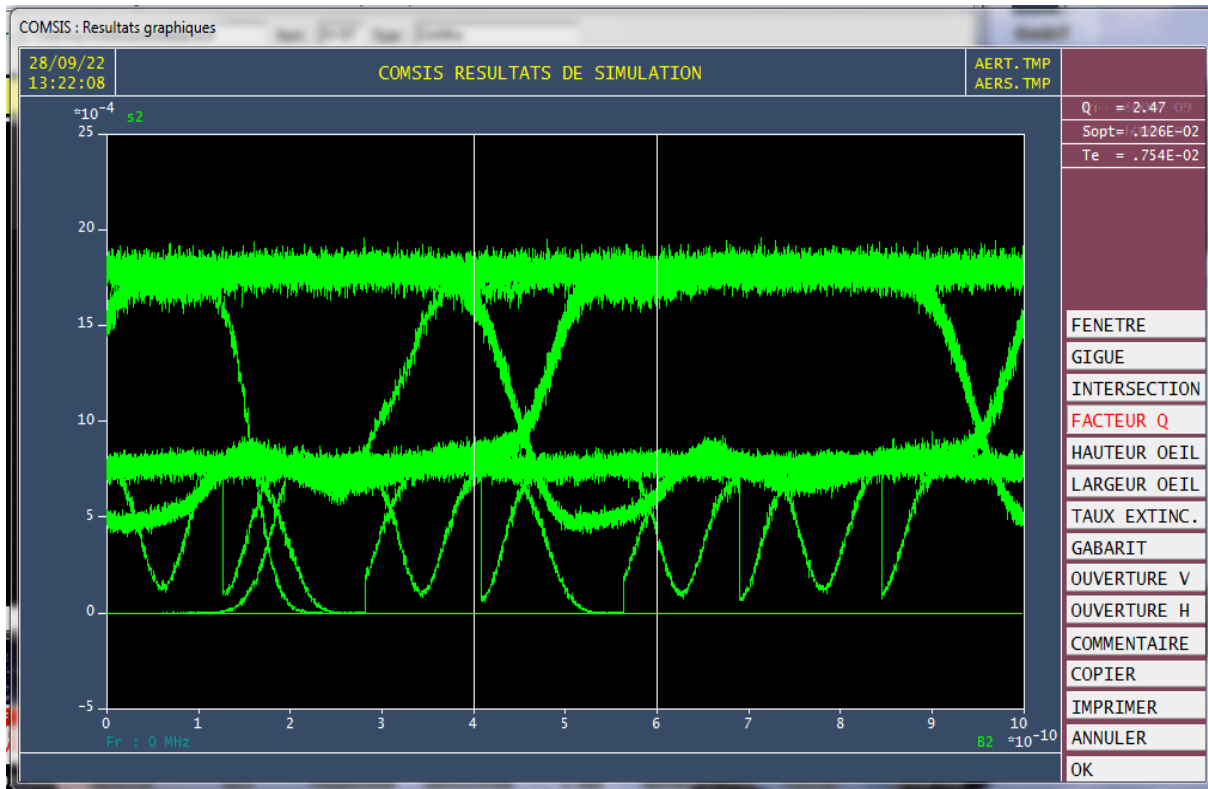


Figure 3. 29: Diagramme de l'œil de la sortie S2 avec L=10km et D=2000 Mbits/s.

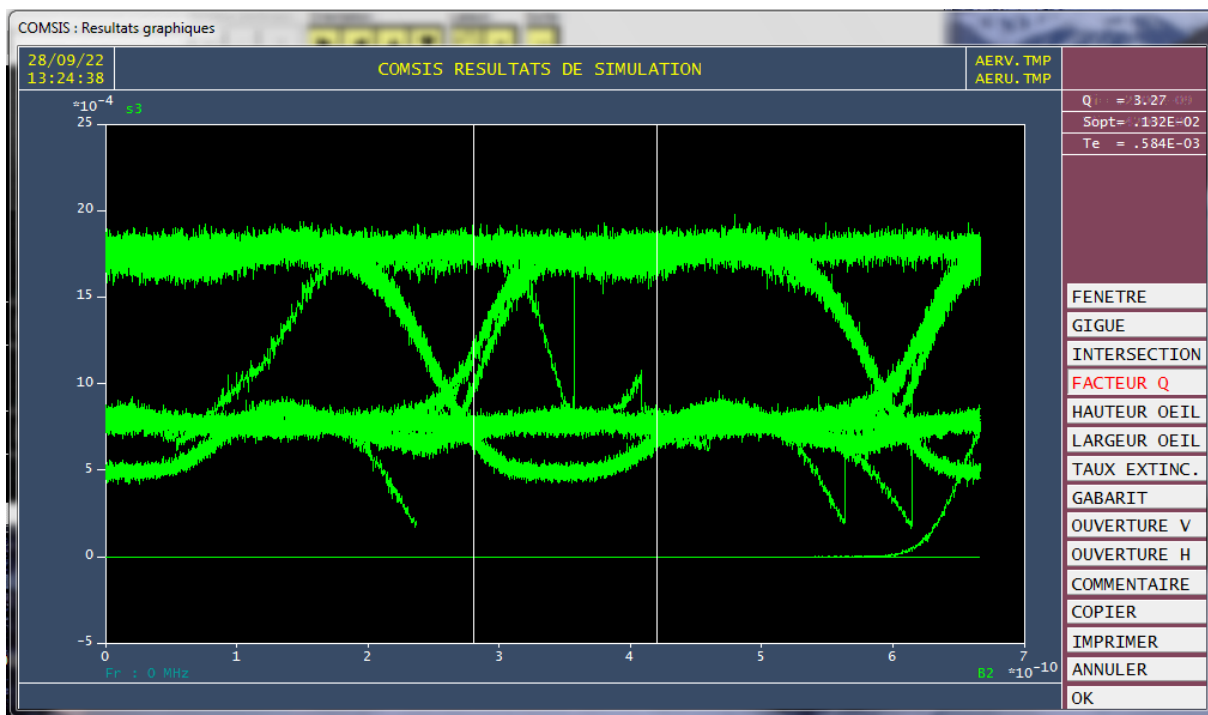


Figure 3. 30: Diagramme de l'œil de la sortie S3 avec L=10km et D=3000 Mbits/s.

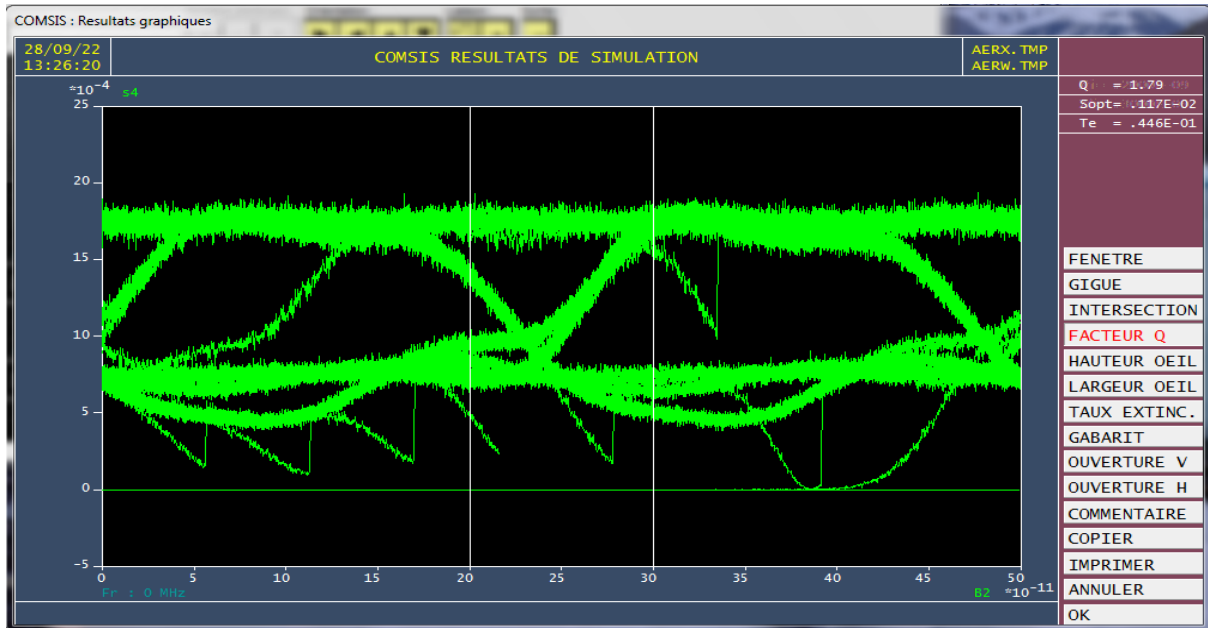


Figure 3. 31: Diagramme de l'œil de la sortie S4 avec  $L=10\text{km}$  et  $D=4000\text{ Mbits/s}$ .

**b) Le diagramme de l'œil pour  $L=50\text{km}$  :**

Cette fois on choisit  $L=50\text{km}$  et on répète la simulation.

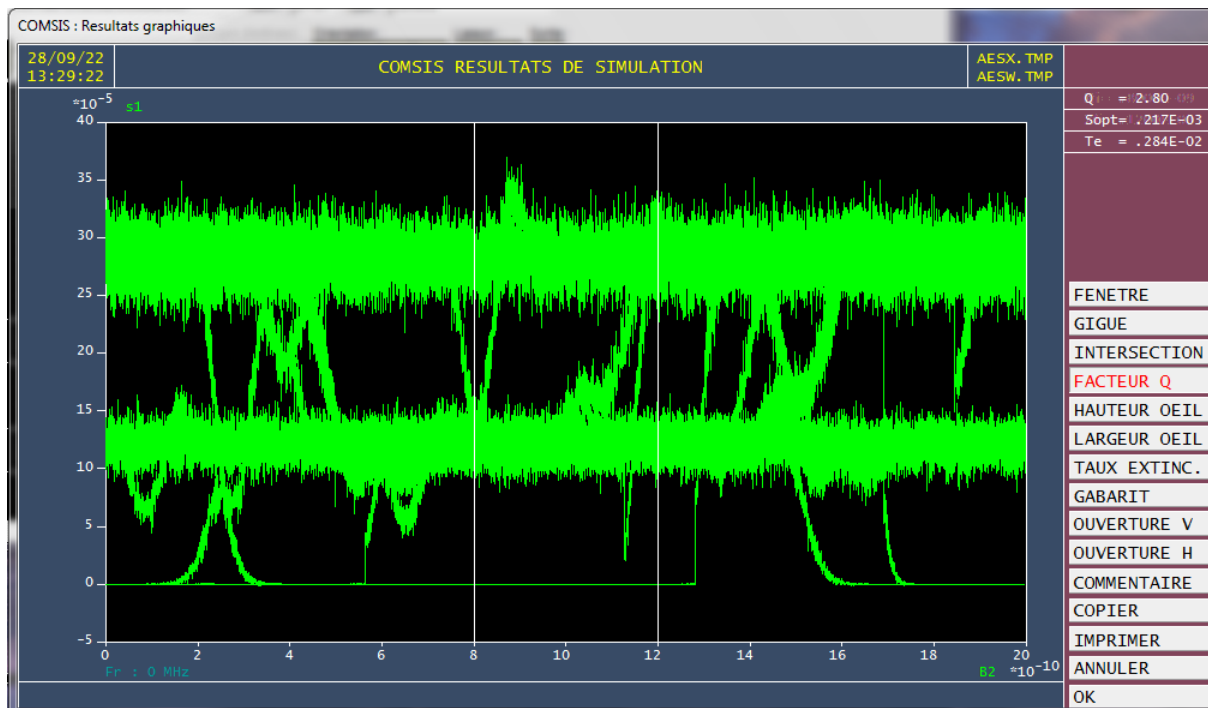


Figure 3. 32: Diagramme de l'œil de la sortie S1 avec  $L=50\text{km}$  et  $D=1000\text{ Mbits/s}$ .

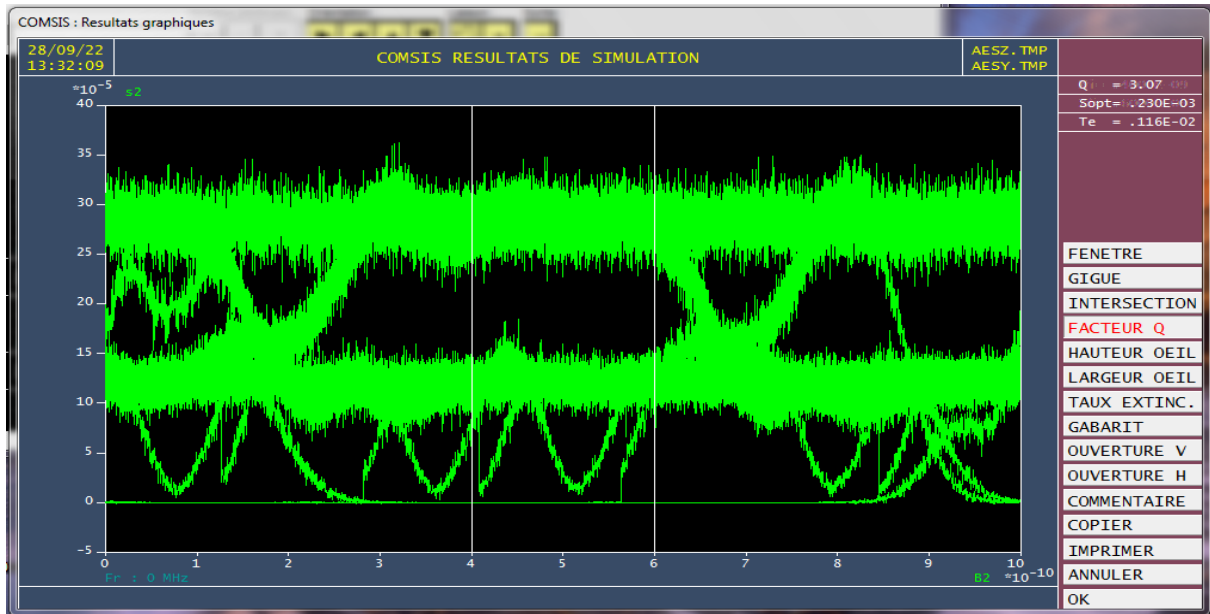


Figure 3. 33: Diagramme de l'œil de la sortie S2 avec L=50km et D=2000 Mbits/s.

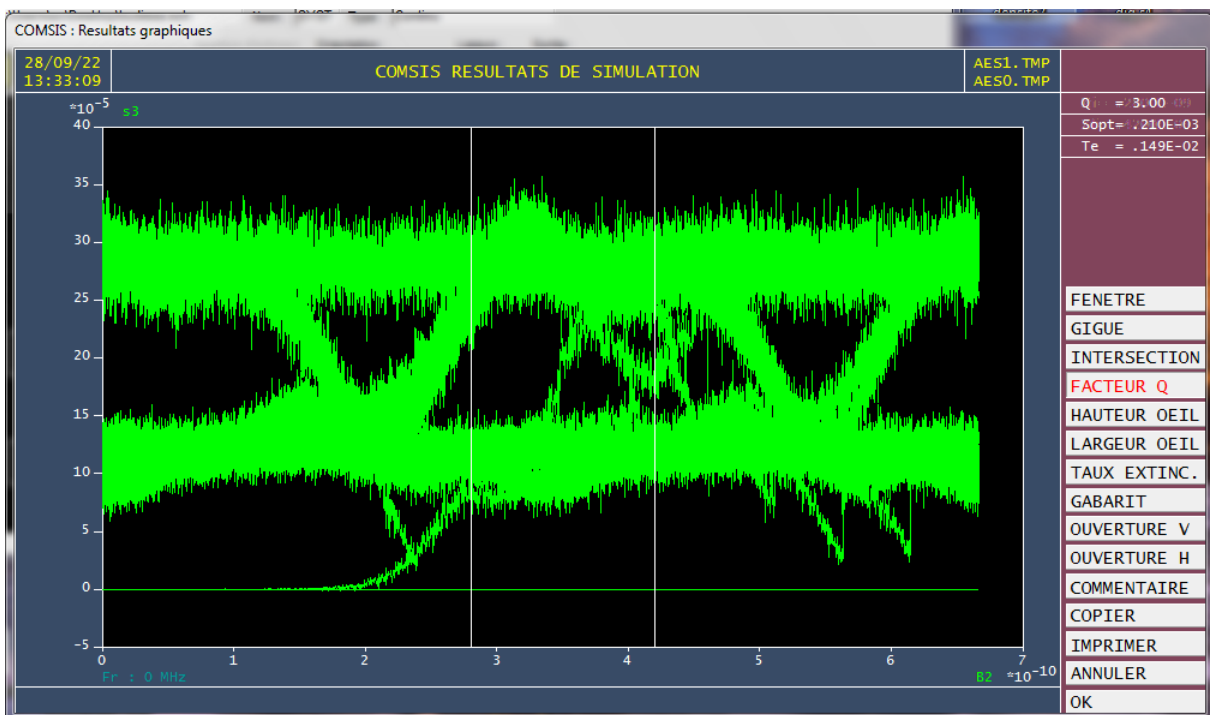


Figure 3. 34: Diagramme de l'œil de la sortie S3 avec L=50km et D=3000 Mbits/s.

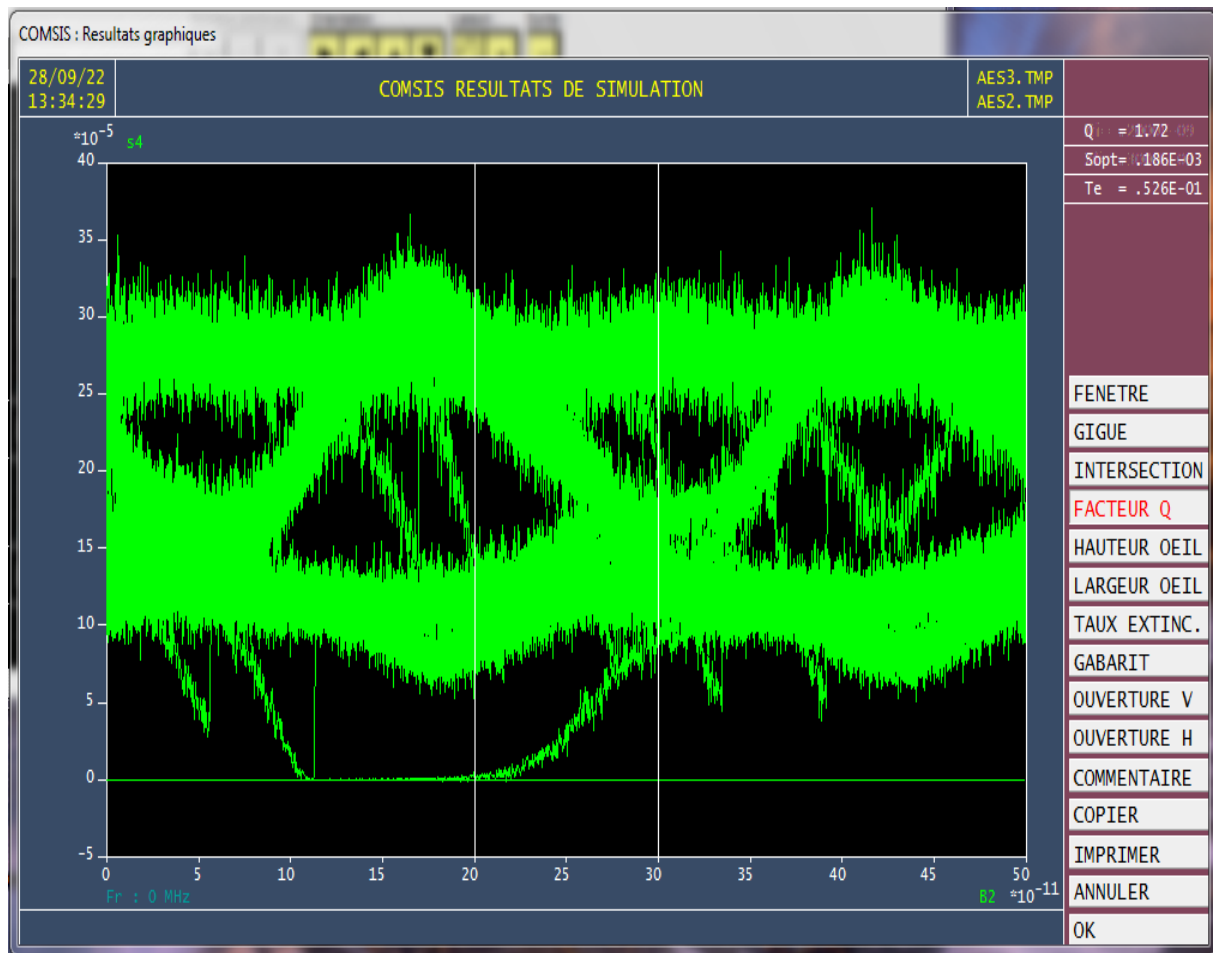


Figure 3. 35: Diagramme de l'œil de la sortie S4 avec L=50km et D=4000 Mbits/s.

### Commentaire :

L'augmentation du débit influe en sens inverse sur la qualité du signal à la sortie. En comparant les trois figures de cette liaison, on observe que l'ouverture verticale a été diminuée à cause de l'interférence inter-symbole, et les grandeurs facteur Q et TEB confirment cet affaiblissement de qualité du signal.

### Les graphes des Résultats de simulation:

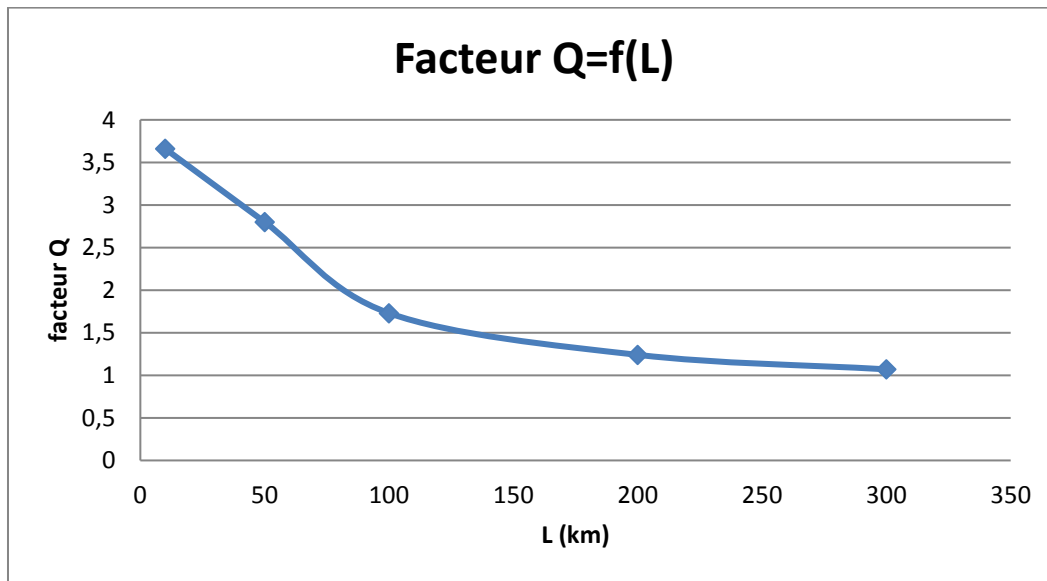
Après avoir fait la simulation de la liaison, on passe à l'étape de calcul du facteur de qualité Q et du taux d'erreur TEB. Les graphes obtenus sont présentés dans les figures ci-dessous.

La sortie s1 :

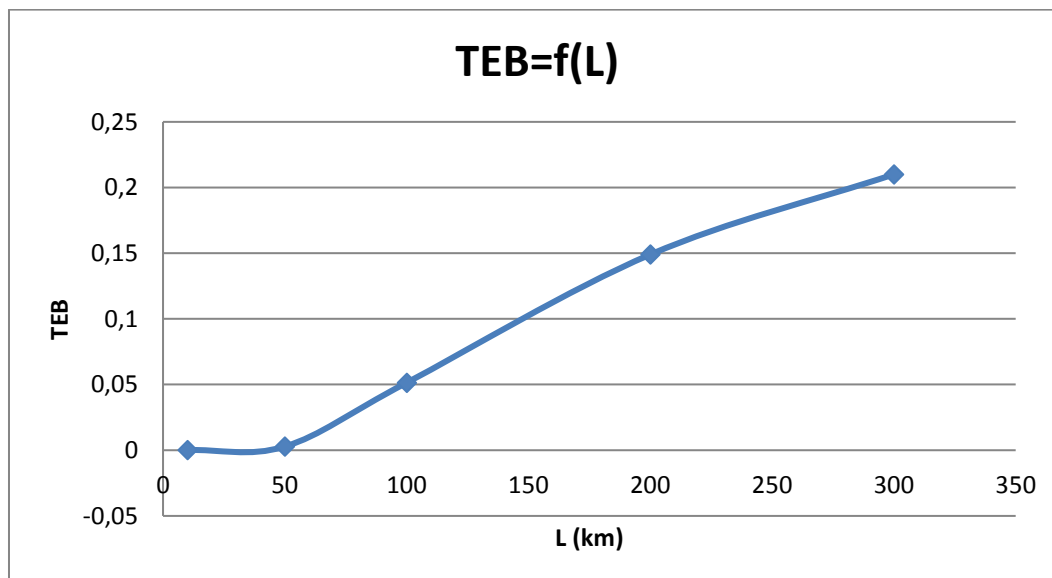
Longueur de fibre L (km)	10	50	100	200	300
TEB	0,000134	0,00284	0,0514	0,149	0,21
Facteur Q	3,66	2,8	1,73	1,24	1,07

**Tableau 3**

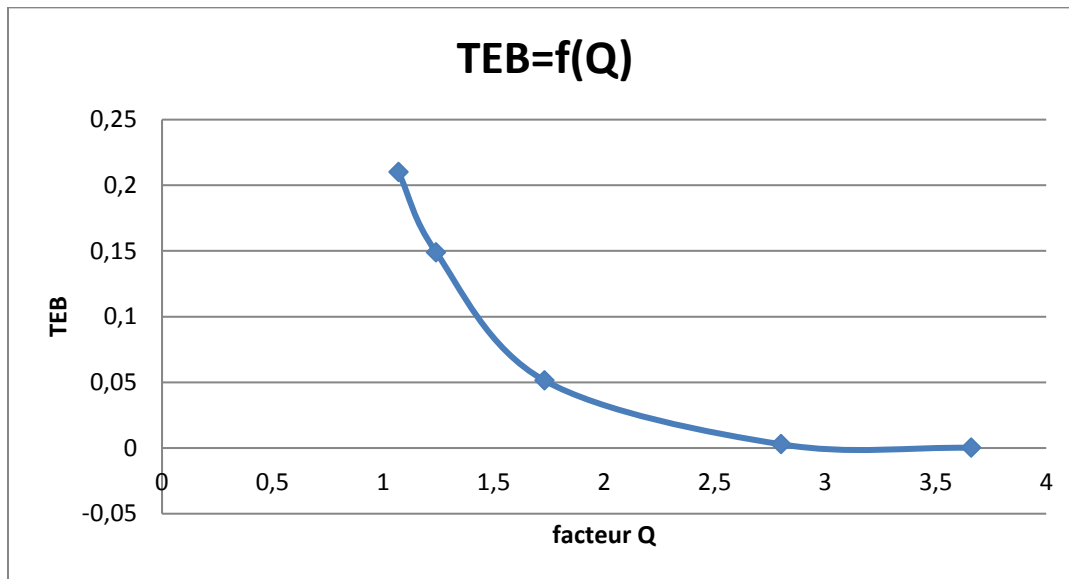
Facteur Q en fonction de la longueur L pour S1



Taux d'erreur en fonction de la longueur L pour S1



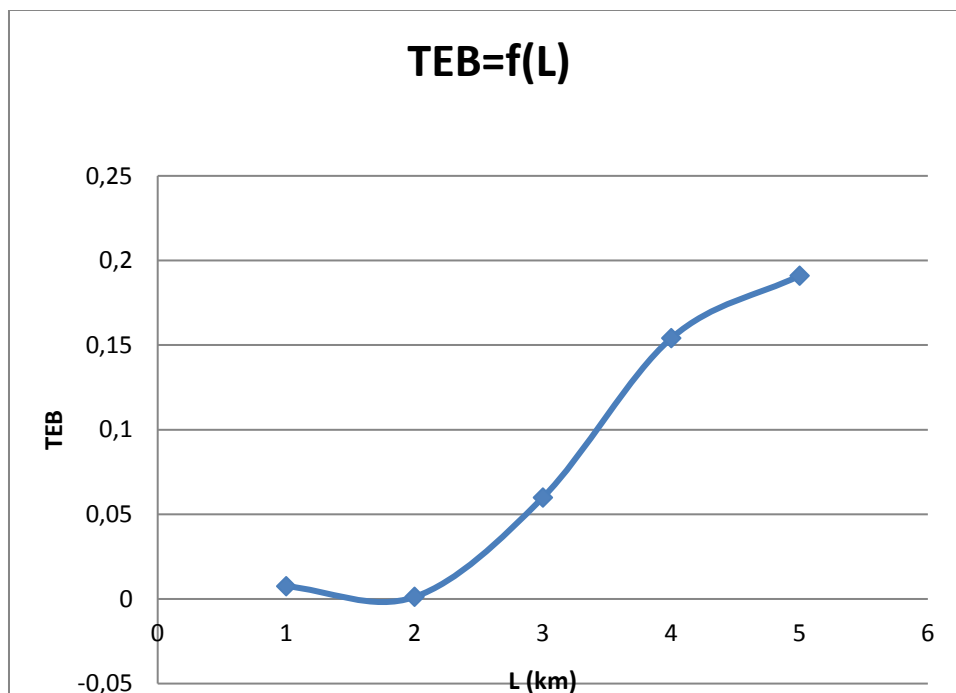
Taux d'erreur en fonction de Facteur Q pour S1



La sortie s2 :

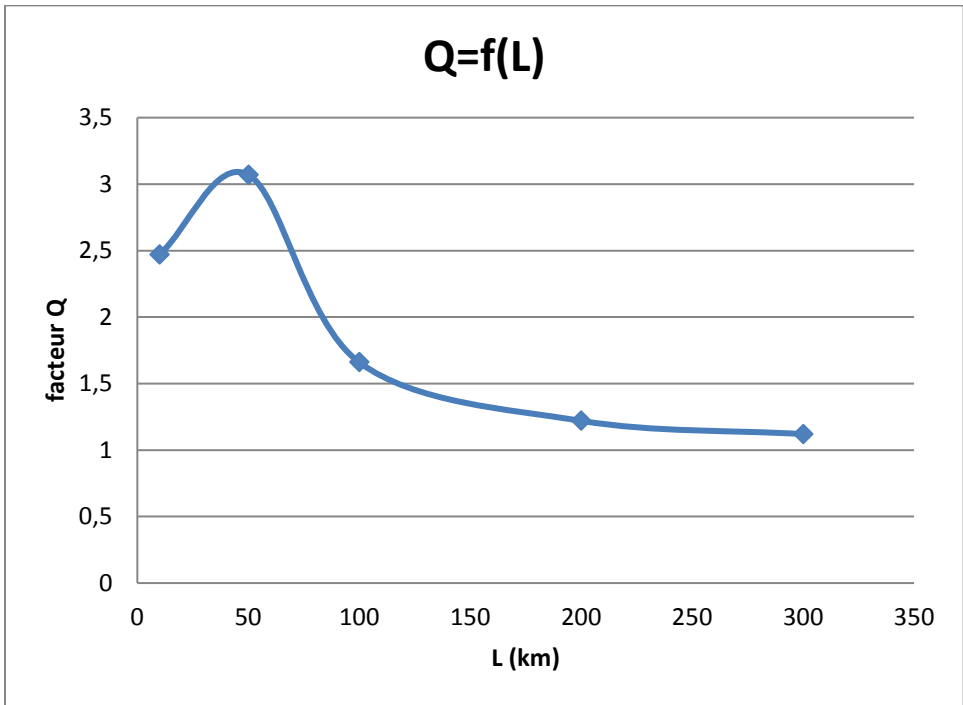
Longueur de fibre L (km)	10	50	100	200	300
Facteur Q	2,47	3,07	1,66	1,22	1,12
TEB	0,0075	0,00116	0,0599	0,154	0,191

Taux d'erreur en fonction de la longueur L pour S2

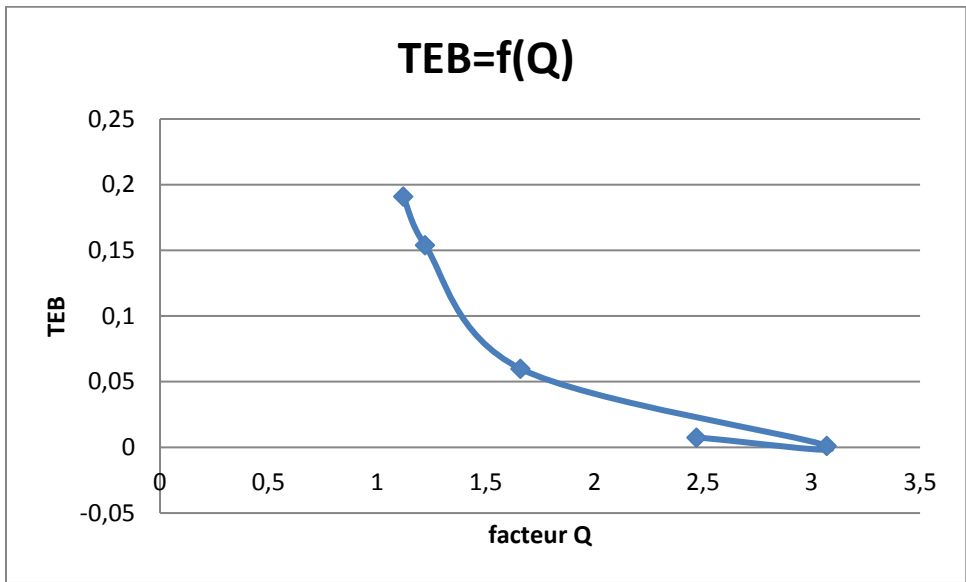




Facteur Q en fonction de la longueur L pour S2



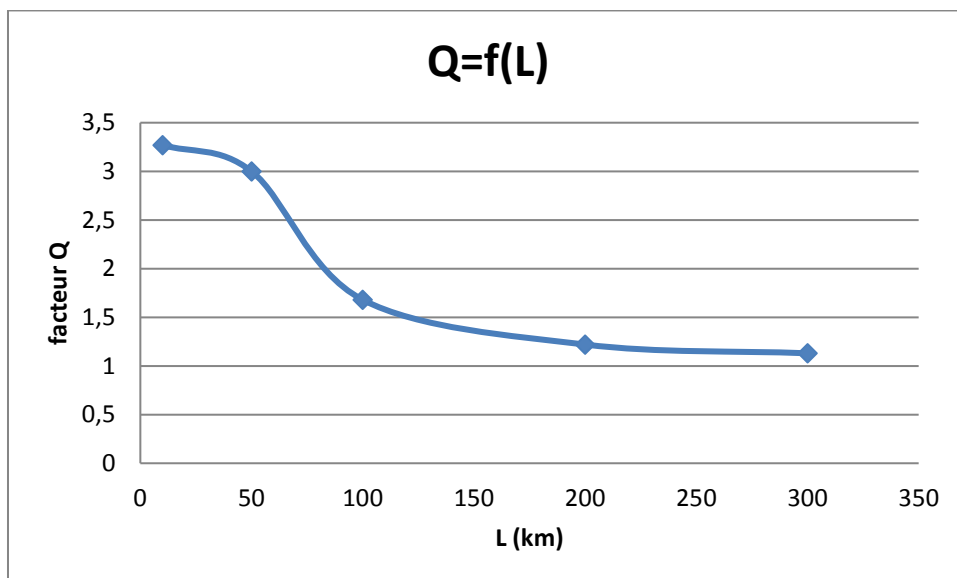
Taux d'erreur en fonction de Facteur Q pour S2



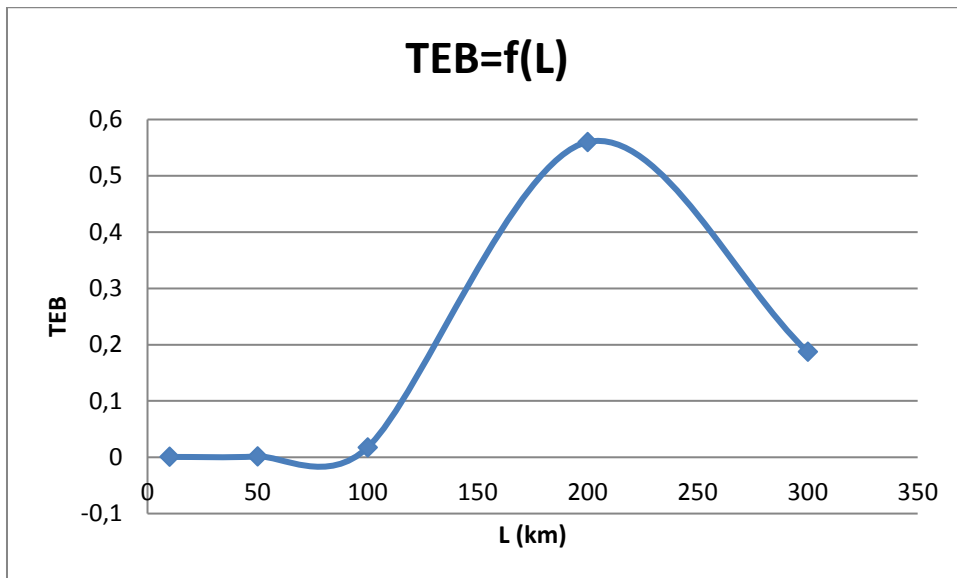
La sortie s3 :

Longueur de fibre L (km)	10	50	100	200	300
Q	3,27	3	1,68	1,22	1,13
TEB	0,000584	0,00149	0,0174	0,56	0,187

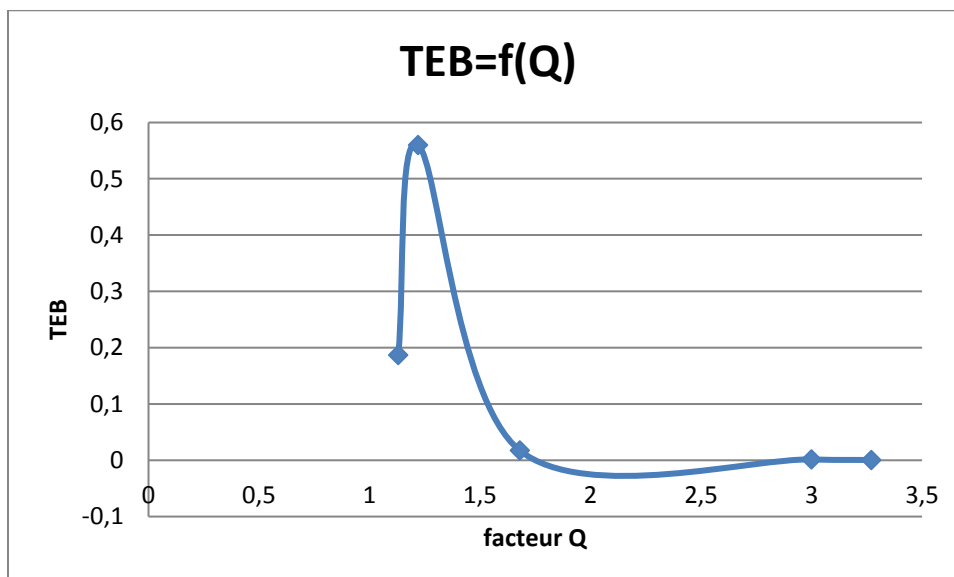
Facteur Q en fonction de la longueur L pour S3



## Taux d'erreur en fonction de la longueur L pour S3



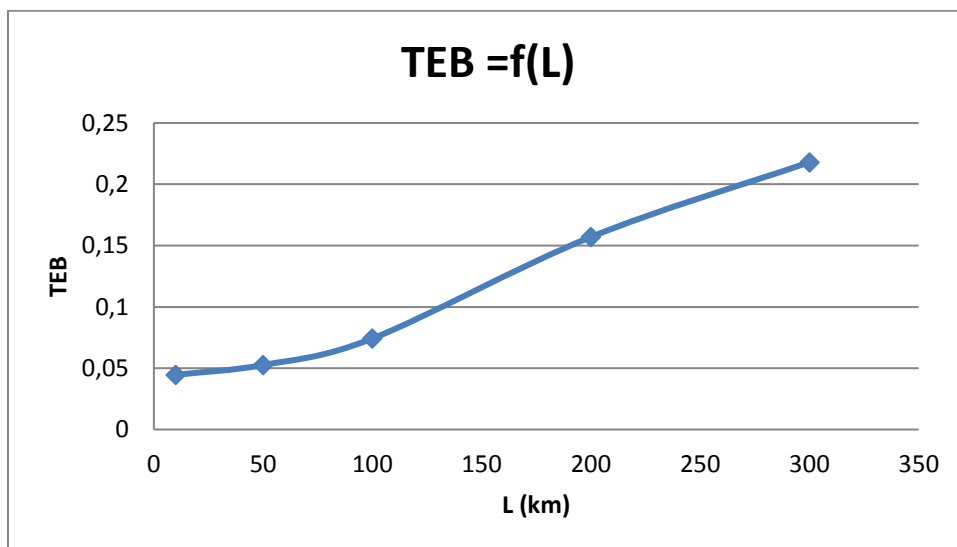
## Taux d'erreur en fonction de Facteur Q pour S3



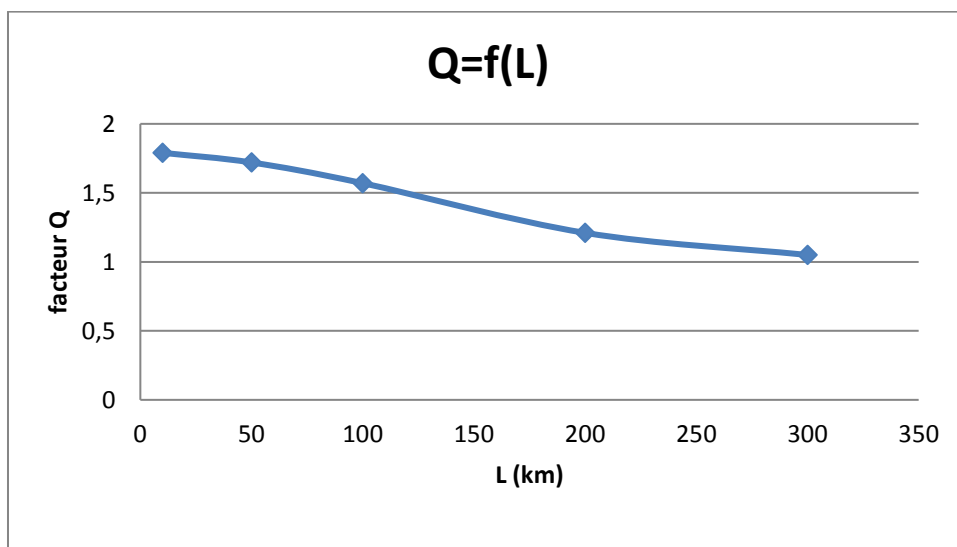
La sortie s4 :

Longueur de fibre L (km)	10	50	100	200	300
TEB	0,0446	0,0526	0,0742	0,157	0,218
Q	1,79	1,72	1,57	1,21	1,05

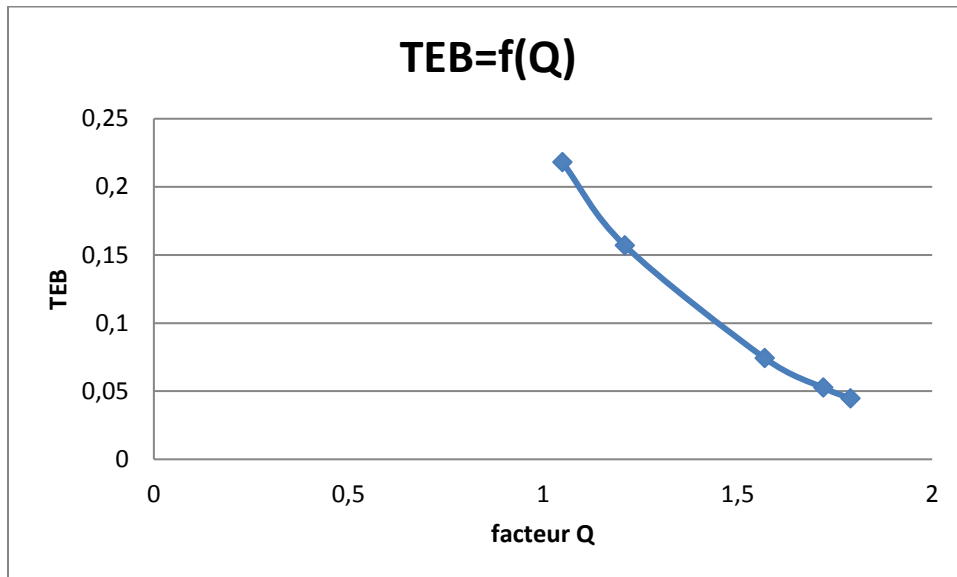
Taux d'erreur en fonction de la longueur L pour S4



Facteur Q en fonction de la longueur L pour S4



## Taux d'erreur en fonction de la longueur L pour S4

**Commentaire :**

On remarque qu'avec l'augmentation du débit le facteur Q diminue et le TEB augmente. Donc la qualité de transmission s'affaiblit tout en restant dans le domaine de l'acceptable.

**Conclusion**

D'après les résultats de cette simulation on conclut que malgré on ajout un bruit extérieur l'intégration d'un amplificateur optique et un filtre BF au chaîne de transmission améliore la qualité du signal.

La fibre optique contient un bruit interne mais sa valeur est petite.

- Dans le cas où le bruit est externe on peut l'éliminer avec un amplificateur et un filtre BF
- Le multiplexage optique est une technique la plus pratique pour augmenter la Capacité de transmission par fibres tout en évitant de poser de nouveaux câbles.

## Conclusion générale

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

Les transmissions optiques relient les grands nœuds des réseaux, qui sont électroniques.

Il y a donc une limitation due à la vitesse d'exécution de ces composants et l'influence de leur bande passante qui freine la capacité de la fibre optique. L'utilisation des technologies de multiplexage dans le domaine optique, permet d'exploiter complètement la très large bande passante de la fibre optique, donc on peut atteindre des très hauts débits (quelques Tbit/s). Pour cela on retrouve les deux axes déjà mentionnés, l'augmentation du nombre de canaux et l'augmentation du débit par canal. Cependant, la conception de nouveaux systèmes toujours plus performants, est un problème de plus en plus complexe, tant le nombre de paramètres influant sur les performances d'une liaison est important. Aussi, les outils de simulation sont de plus en plus utilisés, dans notre cas nous avons utilisé le logiciel COMSIS. Il permet des gains de temps et d'argent en évitant les expérimentations itératives sur des démonstrateurs de systèmes.

Dans ce travail, nous avons tout d'abord décrit les différents composants d'une liaison par fibre optique, les différents multiplexages utilisés ont été présentés. Le logiciel COMSIS que nous avons utilisé a été décrit. Comme application, nous avons simulé deux types de multiplexages WDM et ETDM. L'influence du débit et de la longueur sur les caractéristiques de la liaison a été étudiée. Les résultats obtenus montrent que la qualité de la liaison dépend de ces deux paramètres.

Ce travail nous a permis d'une part, de nous familiariser avec le logiciel COMSIS et d'autre part de mener un certain nombre de simulations.

Faute de temps, notre travail a porté uniquement sur deux types de multiplexages, la suite de ce travail peut être envisagée par la simulation d'autres types de multiplexages plus complexes tels qu'OTDM et CDM.

Liste des acronymes

**LAN:** Local Area Network.

**MAN:** Metropolitan Area Network.

**WAN:** Wide Area Network.

**LASER:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

**WDM:** Wavelength Division Multiplexing.

**D-WDM:** Dense Wavelength Division Multiplexing.

**U-WDM:** Ultra Wavelength Division Multiplexing.

**C-WDM:** Coarse Wavelength Division Multiplexing.

**COMSIS:** COMmunication System Interactive Software.

**IPSIS:** Ingénierie Pour Signaux et Systèmes.

**TEB:** Taux d'Erreur Binaire.

**SNR:** Rapport Signal Bruit.

**BF :** Basse Fréquence.

**EDFA :** Erbium Dope Fiber Amplifier.

## Bibliographie

- [1] **"Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s**  
"Thèse de Doctorat, Présentée et soutenue publiquement par Jean-Louis VERNEUIL, Le vendredi 21 novembre 2003, université de Limoges.
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_optique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique)
- [3] **« Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s »** S.KIMBIRI et P.KPEMISSI EYANA Master en Télécommunications Univ. ABB.Tlemcen. Algérie2012  
office de publication universitaire , Ben Aknoun –Alger.
- [4] **« Optimisation par la simulation système d'une chaîne de transmission numérique par fibre optique haut débit »** mémoire Pour l'obtention du diplôme de magister en télécommunications, université AbuBekr Belkaid, Tlemcen  
Présenté par: MEDJDOUB FADHILA, Soutenu en 2010.
- [5] **" optimisation des paramètres d'une liaison à fibre optique"** Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en électronique , option: automatique, université Béjaia, présenté par :Itégarets Halim et Rezkellah Nadir.
- [6] **"Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD"** thèse Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paul Verlaine – Metz par: Nassima BOUDRIOUA Soutenance prévue le 25 octobre 2007
- [7] [http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/pertes.html](http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/pertes.html)  
Université Paris Est-Marne la vallée
- [8] **"Agilent Technologies OTDR"**Guide de poche, Imprimé en Allemagne, Avril 2001
- [9] **"Implantation de la fibre optique dans les réseaux mobiles GSM & UMTS"**. En vue de l'obtention du Diplôme MASTER en TELECOMMUNICATION Présenté par :Mr SALHI Sofiane Soutenu le : 21/06/2015 UNIVERSITÉ DE BEJAIA
- [10] , **«Etude et simulation d'une chaîne de transmission optique avec le multiplexage en longueur d'onde WDM pour un débit de 40 Gbps »** Présenté par :BENSADEK Yasmin, OULD KADA Ikram, Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication,
- [11] REDJDAL Kaci, **«Etude d'une chaîne de télécommunication optique »** Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, université Béjaia, 2013.p3-6,
- [12] **« Etude d'une liaison optique WDM Radio sur Fibre »** A. Benammar et W. Miloudi ;MASTER Télécommunications Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen 2017,
- 
-