

Université ABBES LAGHROUR Khenchela



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Industriel  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

## **Mémoire de fin d'étude**

*présenté pour l'obtention du diplôme de Master*

**Filière : Télécommunications**

**Spécialité : Systèmes des Télécommunications**

### **THEME**

**Les fibres optiques et leurs  
application dans les systèmes de  
télécommunication**

*Réalisées par : - Lakhdari Zakaria*

*Encadreur:*

*Mr. khelfaoui Fatima*

*Promotion 2020/2021*



## Remerciements

*Nos remerciements s'adressent d'abord à « Allah » le tout puissant qui nous a donné la vie, la santé, la force, et le courage*

*Nous adresse tout particulièrement à **KHELFAOUI FATIMA** professeur à Université Abbes Laghrour Khenchela, notre sincères reconnaissances et notre remerciements les plus vifs, de avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail. Ses critiques constructives, remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser nos recherches.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail*

*Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation tout au long de notre cycle.*

*Nos remerciements nos parents, nos familles et nos amis trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements de, tous les instants. On vous en remercie chaleureusement.*

*Enfin, au seuil de notre travail de recherche, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont guidé notre travail par leurs conseils, à tous ceux qui, de près ou de ce travail et qui, à travers un encouragement particulier sur donner chaque fois un regain d'ardeur à nos efforts. Qu'ils soient assurés de notre gratitude*

## Résumé

Dans ces dernière années le domaine système de télécommunication par fibre optique est vu une accélération de l'augmentation de la capacité de la transmission. Cependant ce système pouvant être détériorées a la cause de l'atténuation et la dispersion chromatique.

Actuellement le multiplexage par longueur d'onde WDM doivent nécessaire pour réduire cette détérioration et pour augmenté le débit de la transmission de service.

Le but de ce mémoire est consacré à l'étude et simulation d'un système de télécommunication à très haut débit. une simulation à été réalisé à l'aide de logiciel OptiSystem. Cette étude est axée sur deux scénarios :

- Liaison simple.
- Système de télécommunication UDWDM avec 32 canaux.

Les critères de qualité de la liaison sont : le taux d'erreur binaire (BER), facteur de qualité, digramme de l'œil et OSNR.

Mots clés : Système de télécommunication, fibre optique, WDM, logiciel OptiSystem, UDWDM, BER, facteur de qualité, digramme de l'œil, OSNR.

### ملخص

في السنوات الماضية شهد نظام الاتصالات السلكية و اللاسلكية و الألياف البصرية تسارعا في الزيادة من حيث القدرة على النقل. إلا أن هذا النظام يمكن أن يتدهور بسبب التوهين و التثبيت اللوني. حاليا تقنية تجميع الأطوال الموجية أصبحت ضرورية من اجل التقليل من هذا التدهور و زيادة معدل نقل الخدمات.

الهدف من هذه المذكورة هي دراسة و محاكاة نظام اتصالات سلكية و لاسلكية عالي التدفق وقد قمنا بالمحاكاة في هذا عن طريق برنامج OptiSystem. تستند هذه الدراسة إلى سيناريوهين المجال

### 1- ربط بسيط

### 2- نظام اتصالات سلكية و لا سلكية UDWDM مع 32 قناة

معايير جودة الارتباط هو : معدل أخطاء البث (BER), معامل الجودة, مخطط العين و OSNR

معامل معدل أخطاء البث OptiSystem , برنامج نظام اتصالات سلكية و اللاسلكية, ألياف بصرية: كلمات مفتاحيه OSNR و مخطط العين, الجودة

## ***Abstract***

*In this last year the field of telecommunication systems by optical fibre show acceleration by increase the transmission capacity. However this system can be destroyed because of attenuation and chromatic dispersion.*

*Currently the wave length division multiplexing WDM is necessary to reduce the deterioration and to increase the transmission rate of service.*

*The propose of this work is to study and simulation of a telecommunication system with high rate, a simulation was performed using the software of Optisystem. This study focuses on two scenarios:*

- *Simple Link.*
- *UDWDM telecommunication system with 32 canals.*

*The quality criteria of the link are: the bit error rate (BER), quality factor, eye diagram and OSNR.*

***Key words:*** *telecommunication system, optical fibre, WDM, software of OptiSystem, UDWDM, BER, quality factor, eye diagram and OSNR.*

<b>Remerciements</b> .....	i
<b>Résumé</b> .....	ii
<b>Table de matières</b> .....	iv
<b>Sigles et Abréviation</b> .....	vii
<b>Liste des symboles et unité de mesures</b> .....	xii
<b>Liste de figures</b> .....	xiii
<b>Liste de tableaux</b> .....	xv
<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre 1 : Généralité sur les fibres optiques</b>	
<b>1.1 Introduction</b> .....	03
<b>1.2 La fibre optique</b> .....	03
<b>1.2.1 Présentation de la fibre optique</b> .....	03
<b>1.2.2 Paramétré déterminant le type de fibre</b> .....	04
<b>1.2.2.1 La longueur d’onde de coupure <math>\lambda_c</math></b> .....	04
<b>1.2.2.2 La Fréquence Normalisé V</b> .....	04
<b>1.2.3 Les types de fibre optique</b> .....	04
<b>1.2.3.1 Fibre optique multimode</b> .....	04
<b>1.2.3.2 Fibre optique monomode</b> .....	05
<b>1.2.4 Les avantages et les inconvénients de fibre optique</b> .....	05
<b>1.2.4.1 Les avantages de fibre optique</b> .....	05
<b>1.2.4.2 Les inconvénients de fibre optique</b> .....	06
<b>1.2.5 Quelques applications de la fibre optique</b> .....	06
<b>1.2.6 Etude de propagation dans la fibre optique</b> .....	06
<b>1.2.6.1 Approche géométrique</b> .....	06
<b>1.2.6.2 L’approche ondulatoire</b> .....	08
<b>1.2.7 Les caractéristique d’une fibre optique</b> .....	09
<b>1.2.7.1 Effets linières</b> .....	09
<b>1.2.7.1.1 Atténuation</b> .....	09
<b>1.2.7.1.2 La dispersion</b> .....	10
<b>1.2.7.2 Effets non linières</b> .....	11
<b>1.3 La transmission sur fibre optique</b> .....	12
<b>1.3.1 Le schéma synoptique d’une chaine de transmission optique</b> . 12	
<b>1.3.2 Eléments du bloc de transmission</b> .....	12

1.3.2.1 Les coupleurs optiques .....	12
1.3.2.2 Les connecteurs optiques.....	13
1.3.2.3 Les isolateurs.....	13
1.3.2.4 Les atténuateurs.....	13
1.3.2.5 Les filtres optique.....	13
1.3.2.6 Les multiplexeurs et démultiplexeurs optique.....	13
1.3.2.7. Amplification optique.....	14
1.3.3. Emetteur optique .....	15
1.3.3.1 Source optique.....	15
1.3.3.1.1 LED.....	15
1.3.3.1.2 Diodes lasers .....	16
1.3.3.2 Les techniques de modulation.....	16
1.3.3.2.1 Modulation directe.....	16
1.3.3.2.2 Modulation externe.....	17
1.3.3.3 La modulation par la technique du ‘OOK’.....	18
1.3.4 Récepteur optique .....	19
1.3.4.1 Photodiode PIN.....	19
1.3.4.2 Photodiode a Avalanche (PDA).....	19
1.4. Conclusion.....	20
<b>Chapitre 2 : Réseaux des télécommunications à base des fibres optiques</b>	
2.1 : Introduction .....	21
2.2 : Définition des réseaux .....	21
2.3 : La topologie d’un réseau .....	21
2.3.1 : La topologie en bus .....	21
2.3.2 : La topologie en anneau .....	22
2.3.3 : La topologie en étoile .....	22
2.4 : Les réseaux optiques .....	23
2.4.1 : Réseau MAN (Metropolitan Area Network).....	23
2.4.2 : Réseau WAN .....	23
2.4.3 : Réseau PAN .....	23
2.4.4 : Réseau personnel LAN ou (réseau d’accès).....	24
2.4.4.1 FTTC (Fiber to the curb).....	24

2.4.4.2 FTTB (Fiber to the building).....	24
2.4.4.3 FTTH (Fiber to the home, Fibre jusqu'au domicile).....	25
2.5 : Architecture du réseau d'accès optique .....	25
2.5.1 Architecture point à point.....	25
2.5.2 Architecture point a multipoint (Les réseaux optiques passifs).....	26
2.6 : Les techniques de multiplexages .....	27
2.6.1 Le multiplexage temporel TDM .....	27
2.6.2 Spatial ou fréquentiel (FDM).....	28
2.6.3 Le multiplexage en longueur d'onde WDM .....	28
2.6.3.1 Les types de multiplexage en longueur d'onde WDM ....	29
2.6.3.1.1 Multiplexage DWDM (Dense WDM).....	29
2.6.3.1.2 Multiplexage U-DWDM (DWDM).....	30
2.6.3.1.3 Multiplexage CWDM (Coarse WDM).....	31
2.6.3.1.4 Comparaison entre les techniques de multiplexage.....	32
2.7 Conclusion.....	32
<b>Chapitre 3 : Simulation d'un système de télécommunication UDWM a 32</b>	
<b>3.1: Introduction .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 : Présentation de logiciel optisystem .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 : Interface de logiciel optisystem .....</b>	<b>33</b>
3.3.1 La bibliothèque .....	34
3.3.2 Éditeur de Layout .....	34
<b>3.4: Paramètre et caractéristique de composant de la bibliothèque .....</b>	<b>34</b>
3.4.1 Paramètre d'affichage dans la mise en page .....	34
3.4.2 Unîtes de paramètre .....	34
<b>3.5: Application de logiciel optisystem .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6: Avantages de logiciel optisystem .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7: Performance de liaison optique .....</b>	<b>35</b>
3.7.1 Diagramme de L'oille .....	35
3.7.2 Taux d'erreurs binaires .....	35
3.7.3 Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q .....	36
3.7.4 Le rapport signal sur bruit optique (OSNR).....	36

<b>3.8: Résultats de simulation et interprétation .....</b>	<b>36</b>
<b>3.8.1 Le premier scénario : Résoudre le problème de la dispersion chromatique par des différentes configurations (une liaison simple).....</b>	<b>36</b>
<b>3.8.2 Le deuxième scénario : Application d'une configuration adoptée sur une liaison optique UDWDM à 32 canaux.....</b>	<b>42</b>
<b>3.8.2.1 Résultats obtenus .....</b>	<b>45</b>
<b>3.7: Conclusion .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>48</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>50</b>





## *M*

MAN	<b>Metropolitan Area Network</b>
MEA	<b>Modulateur à Électro-Absorption</b>
MZM	<i>Mach-Zehnder Modulator</i>

## *N*

NF	Noise Figure.
NRZ	<b>Non Return to Zero.</b>

## *O*

ON	<b>Ouverture Numérique.</b>
OOK	<b>On Off Keying.</b>
<b>OptiSystem</b>	<b>Optical Communication System Design</b>
OSNR	<b>Optical Signal-to-Noise Ratio.</b>

## *P*

PAN	<b>Personal Area Network.</b>
PDA	<b>Photo Diode à Avalanche.</b>
PIN	<b>Positive Intrinsic Negative Photodiodes.</b>
PON	<b>Passive Optical Network.</b>
PRBS	<b>Pseudo-Random Binary Sequence</b>
P2P	<b>Point -To-Point.</b>

## *R*

RZ	<b>Return to Zero.</b>
----	------------------------

## *S*

SMF	<b>Single Mode Fiber.</b>
-----	---------------------------



## Liste des symboles et unité de mesures

$\lambda$	Longueur d'onde
$\lambda_c$	Longueur d'onde de coupure
V	La Fréquence Normalisé
$\alpha$	Le coefficient d'atténuation linéique.

### Unité de longueurs

<b>Km</b>	Kilomètre (=10 <sup>3</sup> m)
<b>m</b>	mètre
<b>nm</b>	nanomètre (=10 <sup>-9</sup> m)

### Unité de temps

<b>s</b>	seconde
----------	---------

### Unité de puissance optique

<b>dB</b>	décibel
<b>dBm</b>	décibel avec 1 mw comme référence
<b>w</b>	watt
<b>mw</b>	milliwatt

## ***Chapitre 01***

Figure1. 1 : La structure de fibre optique.....	3
Figure1. 2 : Fibre optique multimode a saut d'indice.....	4
Figure1. 3 : Fibre optique multimode a gradient d'indice.....	5
Figure1. 4 : Fibre optique monomode.....	5
Figure1. 5 ; Le principe de guidage de la lumière avec les de la réfraction et de la réflexion de Snell-Descartes.....	7
Figure1. 6 : Phénomène d'atténuation.....	10
Figure1. 7 : la dispersion chromatique.....	10
Figure1. 8 : La dispersion modale.....	11
Figure1. 9 : schéma d'une chaine de transmission optique.....	12
Figure1. 10 : Amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA).....	14
Figure1. 11 : La structure d'un émetteur optique.....	15
Figure1. 12 : La diode LED.....	15
Figure1. 13 : La diode LASER.....	16
Figure1. 14 : Modulation directe.....	16
Figure1. 15 : Modulation externe.....	17
Figure1. 16 : Le modulateur Mach-Zehnder (MZM).....	18
Figure1. 17 : Photodiode PIN.....	19
Figure1. 18 : Photodiode à avalanche.....	19

## ***Chapitre 02***

Figure 2. 1: La topologie en bus.....	22
Figure 2. 2: La topologie en anneau.....	22
Figure 2. 3: La topologie en étoile.....	23
Figure 2. 4 : La structure d'un réseau FTTC.....	24
Figure 2. 5 : La structure d'un réseau FTTB.....	25
Figure 2. 6: La structure d'un réseau FTTH.....	25
Figure 2. 7: Architecture point à point.....	26
Figure 2. 8: Architecture point a multipoint.....	27
Figure 2. 9: La technique de multiplexage TDM.....	28
Figure 2. 10: Principe du multiplexage fréquentiel.....	27

Figure 2. 11: La technique de multiplexage WDW. ....	29
Figure 2. 12: Technique de multiplexage DWDM.....	29
Figure 2. 13: Technique de multiplexage Ultra DWDM. ....	31
Figure 2. 14: Technique de multiplexage CWDM.....	30

## *Chapitre 03*

Figure 3. 1: L'interface graphique de logiciel OptiSystem. ....	333
Figure 3. 2: Paramètre unité. ....	344
Figure 3. 3: Schéma de base d'une liaison optique.....	376
Figure 3. 4: Le taux d'erreur (BER) en fonction de la distance de SMF. ....	377
Figure 3. 5: Facteur de qualité Q (dB) en fonction de la distance de SMF.....	387
Figure 3. 6: Les diagrammes de l'œil en fonction de la distance de SMF.....	388
Figure 3. 7: La solution proposée pour la liaison optique simple par la configuration Poc. ....	399
Figure 3. 8: La solution proposée pour la liaison optique simple par la configuration Prc.....	399
Figure 3. 9: Facteur de qualité (Q) dB en fonction du débit de la transmission (Poc).....	40
Figure 3. 10 : Le taux d'erreur binaire en fonction du débit de la transmission (Poc). ....	41
Figure 3. 11: Facteur de qualité (Q) dB en fonction du débit de la transmission (Prc). ....	42
Figure 3. 12: Le taux d'erreur binaire en fonction du débit de la transmission (Prc).....	42
Figure 3. 13: Diagramme d'œil en sortie du récepteur pour les deux configurations : .....	43
Figure 3. 14: Liaison UDWDM à 32 canaux. ....	44
Figure 3. 15: Signal de sortie du multiplexeur. ....	44

## ***Chapitre 02***

Tableau 2. 1: La différence entre les systèmes de multiplexage.....	321
---	-----

## ***Chapitre 03***

Tableau 3. 1 : Taux d'erreur binaire (BER) et facteur de qualité (Q) et OSNR vs de la distance de SMF.....	377
Tableau 3. 2: les performances avant et après la compensation vs débit de transmission.	40
Tableau 3. 3:Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q pour les deux canaux.....	443
Tableau 3. 5 : Diagramme de l'œil pour les deux canaux pour différentes débit. ....	46





***Introduction générale***



Après que les câbles coaxiaux ont été remplacés par la fibre optique cette dernière est devenue l'un des meilleurs moyens de transférer n'importe quel type de données, qu'il s'agisse de l'audio, vidéo ou de l'Internet à haut débit en raison des nombreux avantages qu'elle possède, par exemple en termes de performances de transmission en raison de la productivité élevée et de la bande passante, car nous constatons qu'il bénéficie de la sécurité électrique Et électromagnétique

L'utilisation accrue de l'utilisation efficace de la bande passante sur une fibre optique dans le domaine des télécommunications sans fil optiques à grande capacité, nous explique la raison des efforts intensifs pour fournir une transmission de données de haute qualité à longue distance à travers :

- L'ajustement de la source optique à haute fréquence (longueur d'onde).

Ce qui a entraîné une augmentation extraordinaire de l'utilisation du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) dans liaisons des systèmes de télécommunication.

Cette technique est consiste à mélanger plusieurs signaux optiques sur une même fibre optique afin de multiplier la bande passante de celle-ci. Les signaux sont portés par des longueurs d'ondes différentes, et espacées assez largement afin de ne pas interférer les unes avec les autres. La perte et la dispersion chromatique sont des éléments qui affectant négativement à liaisons WDM.

L'objectif de ce travail est l'étude et l'évaluation des performances d'une liaison optique UDWDM à 32 canaux qui applique par une configuration adopté qui notamment post-compensation, en utilisant le logiciel OptiSystem.les trois critères de qualité pour savoir Les performances d'une liaison optique UDWDM sont: le facteur de qualité Q, le BER et l'OSNR.

Cette étude est organisée dans ce mémoire qui subdivisée en trois chapitres :

**Le premier chapitre :** on divisé ce chapitre on deux parti :

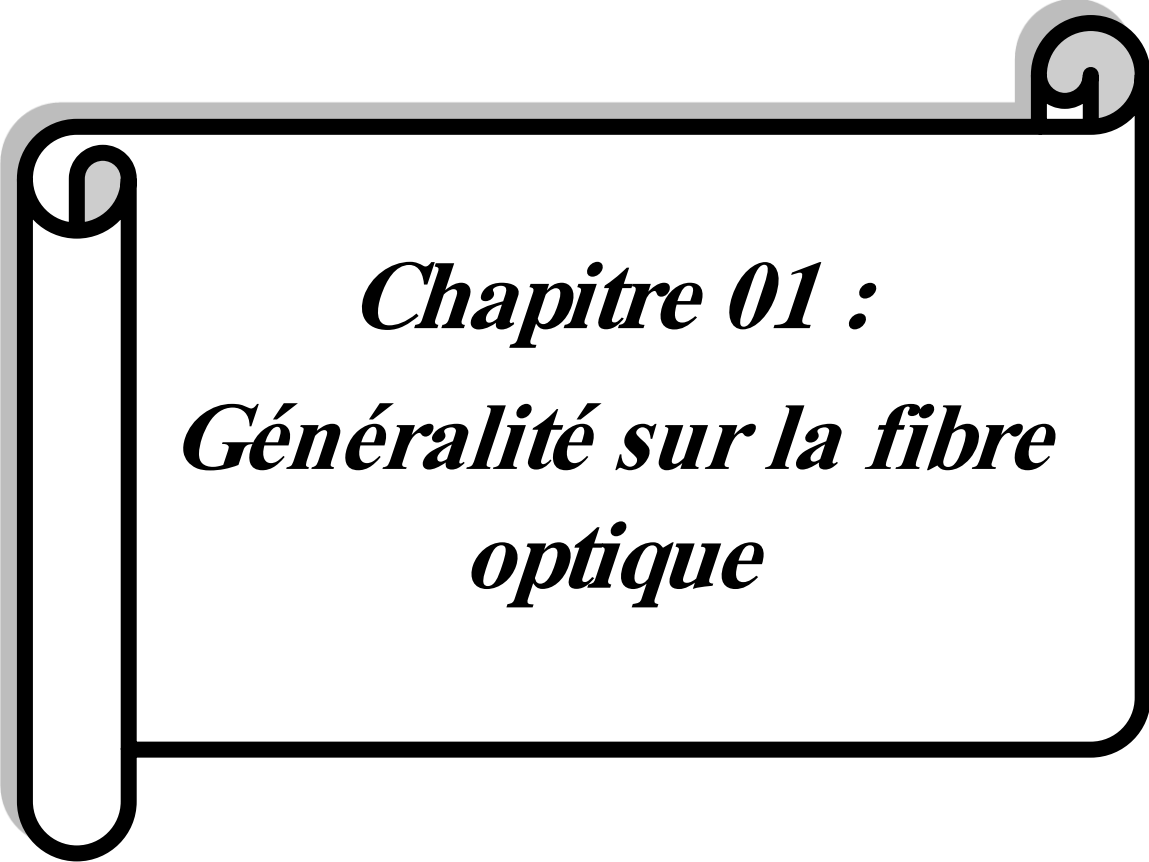
Parti I : Nous commencerons ce parti par la les fibres optiques ainsi qu'en mentionnant les différents types de fibres, et nous discuterons également des avantages des fibres optiques, et nous parlerons du phénomène d'atténuation et de dispersion des deux types (chromatique, modale) et des différentes pertes causées par les fibres.

Parti II: Il discutée de la transmission sur fibre optique, la première partie de ce chapitre consiste de la connaissance des fonctions fondamentales qui sont respectivement: la génération de signaux (émetteur), la propagation (transmission de données, amplification) et la découverte de la réception, qui fait la liaison de communication par fibre optique.

**Le second chapitre** : Sera consacré aux réseaux de télécommunications basées de fibres optiques. Nous avons voire les différents réseaux de télécommunication. Dans le dernier nous parlerons sur les différentes techniques de multiplexage dans les domaines radio et optique.

**Le troisième chapitre** : Décrit les résultats de la simulation et la conception d'une système de télécommunication UDWDM à très hauts débits à l'aide de logiciel OPTISYSTEM.les résultats obtenus qui sont illustrés et interprétés sont discutons à l'évaluation des performances de ce système par les critères de qualité d'une liaison WDM qui sont cités auparavant,

**En fin**, nous terminerons par une conclusion générale qui permettra de tirer le bilan des travaux effectués avec une synthèse des résultats des choix effectués pour la conception d'un système WDM à très hauts débits avec des perspectives pour des travaux futurs.



***Chapitre 01 :***  
***Généralité sur la fibre***  
***optique***



## 1.1 Introduction

La fibre optique est largement utilisée dans les communications optiques, ce qui permet de transmettre des données sous forme de lumière d'un point à un autre sur une plus longue distance et une bande passante plus élevée (débit de données). Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu des fibres optiques, des principes de propagation de la lumière dans les fibres optiques et des différents types de fibres optiques. Nous décrirons les chaînes de transmission optique et les différentes technologies de transmission de compensation. Mauvais fonctionnement.

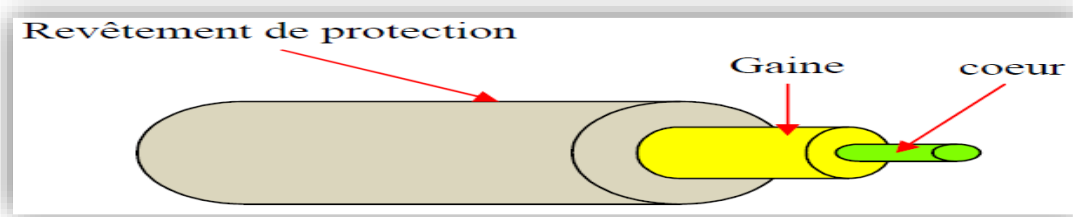
Ce chapitre est divisé en deux parties:

- Parti I : Les fibres optique.
- Parti II : La transmission sur la fibre optique.

## 1.2 Les fibres optiques

### 1.2.1 Présentation de la fibre optique

Les fibres optiques sont des lignes de transmission fabriquées en verre pur sous forme de guides d'ondes cylindriques disposés dans des packs appelés les câbles optiques. Ces fibres sont utilisées pour transférer les informations d'un point à un autre sous forme de lumière sur de longues distances. La figure 1.1 montré les composants des fibres optiques, où ces dernières sont constituées de :



**Figure1.1** : La structure de fibre optique.

- **Le cœur** : Est la région centrale où la lumière est diffusée. Dans ce milieu, l'indice de réfraction  $n_1$  est très haut.
- **La gaine** : Sa fonction principale est d'empêcher les signaux lumineux de s'échapper des fibres, pour cela, l'indice de réfraction  $n_2$  dans ce milieu doit être inférieur à l'indice de réfraction du cœur.
- **Le revêtement de protection** : La fibre optique doit être protégée car elle est très fragile, de sorte que les cylindres du cœur et de la gaine sont enduits afin d'assurer une protection mécanique et chimique.

## 1.2.2 Paramètres déterminant le type de fibre (1)

Il existe 2 paramètres pour pouvoir déterminer le type de fibre :

### 1.2.2.1 La longueur d'onde de coupure $\lambda_c$

La longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  est la longueur d'onde de référence nous permettant de déterminer si la fibre est monomode ou multi mode. Pour une longueur d'onde inférieure à  $\lambda_c$ , la fibre est multi mode, elle est dite monomode si la longueur d'onde du mode est supérieure à  $\lambda_c$ .

### 1.2.2.2 La Fréquence Normalisé $V$

On peut également déterminer le mode pouvant se propager dans la fibre grâce à la fréquence normalisée  $V$  qui dépend de l'ouverture numérique. Elle a pour expression:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} * \alpha * ON \quad (1.1)$$

Avec  $\alpha$  représentant le rayon du cœur de la fibre.

Pour avoir seulement le mode fondamentale LP01 (fibre monomode) qui se propage au sein de la fibre, il faut satisfaire la condition:  $V < 2,405$

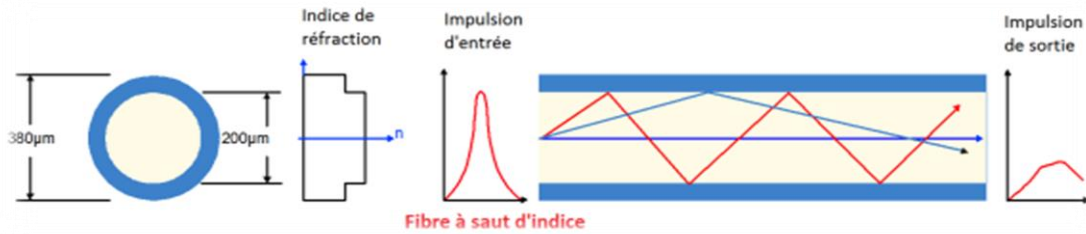
## 1.2.3 Les types de fibre optique

### 1.2.3.1 Fibre optique multi-modes

Il existe deux principaux types de cette fibre : Fibre optique multimode a saut d'indice et Fibre optique a gradient d'indice

#### a) Fibre optique multimode a saut d'indice (2)

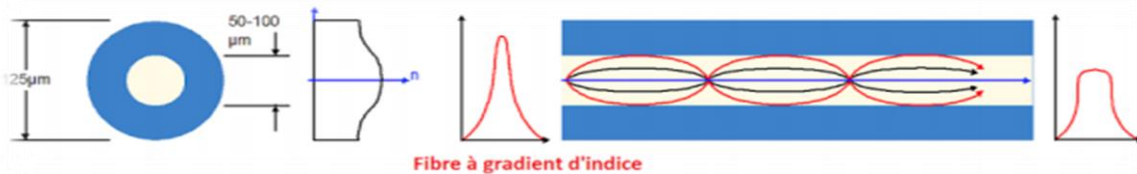
Le cœur et la gaine présentent des indices de réfraction différents et constants. Le passage d'un milieu vers l'autre est caractérisé par un saut d'indice. Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des chemins différents, ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis. Ce phénomène est appelé dispersion modale. Dans la figure 1.2 va expliquer le chemine de transmission des rayons:



**Figure1. 2** : Fibre optique multimode a saut d'indice

### b) Fibre optique a gradient d'indice

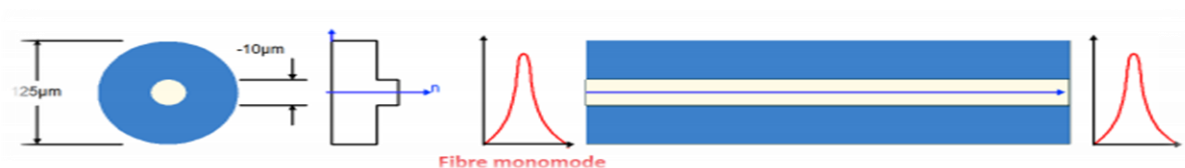
Ce type est spécialement conçu pour les télécommunications afin de minimiser l'impact de la dispersion multimédia. Pour ce faire, deux améliorations ont été apportées: Le diamètre du cœur est 2 à 4 fois plus petit et augmentation de l'indice de réfraction. La structure de ce type est présentée dans la figure 1.3:



**Figure1. 3** : Fibre optique multimode a gradient d'indice.

### 1.2.3.2 Fibre optique monomode

Elle est appelée la fibre mono mode (SMF). Elle est utilisée dans les communications opérateur à longue distance. la diamètre de son cœur est très faible. Ce type de fibre a un seul mode de propagation. Ce type garantit également d'éliminer la dispersion multimodale. La figure 1.4 montre comment ce type de FO est fonctionné:



**Figure1. 4** : Fiber optique monomode.

## 1.2.4 Avantages et les inconvénients de fibre optique

### 1.2.4.1 Les avantages de fibre optique

La fibre optique est très bien adaptée aux transmissions numériques en haut débit. Les avantages principaux de la fibre optique sont :

- Grande capacité d'information
- Petite taille et faible poids.
- Immunité aux interférences électriques.
- Sécurité renforcée.
- Sécurité accrue du signal.
- Longue distance de transmission

#### **1.2.4.2 Les inconvénients de fibre optique**

Malgré les points fortes de la fibre optique mais elle contient quelle que désavantages, on peut citer en suite :

- Coût élevé de l'investissement
- Besoin d'optiques plus coûteuses émettrices et réceptrices
- Prix.
- La fragilité.
- Affecté par les produits chimiques.

#### **1.2.5 Quelques application de la fibre optique**

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

#### **1.2.6 Etude de propagation dans la fibre optique**

##### **1.2.6.1 Approche géométrique (3)**

Appelée aussi optique des rayons, elle a été développée entre le 11e et le 18e siècle, étudie les propriétés des guides d'ondes en considérant la lumière comme un faisceau et non comme une onde électromagnétique. Les lois de l'optique géométrique permettent de prédire le comportement des faisceaux incidents.

L'optique géométrique base ses arguments sur le rayon lumineux, ce dernier représente la ligne suivant laquelle l'énergie lumineuse se propage. Les expériences montrent que dans les milieux homogènes la lumière se propage en lignes droites à partir de la source jusqu'au récepteur. Un milieu homogène est un milieu qui a les mêmes propriétés physiques en tout point. Par contre,

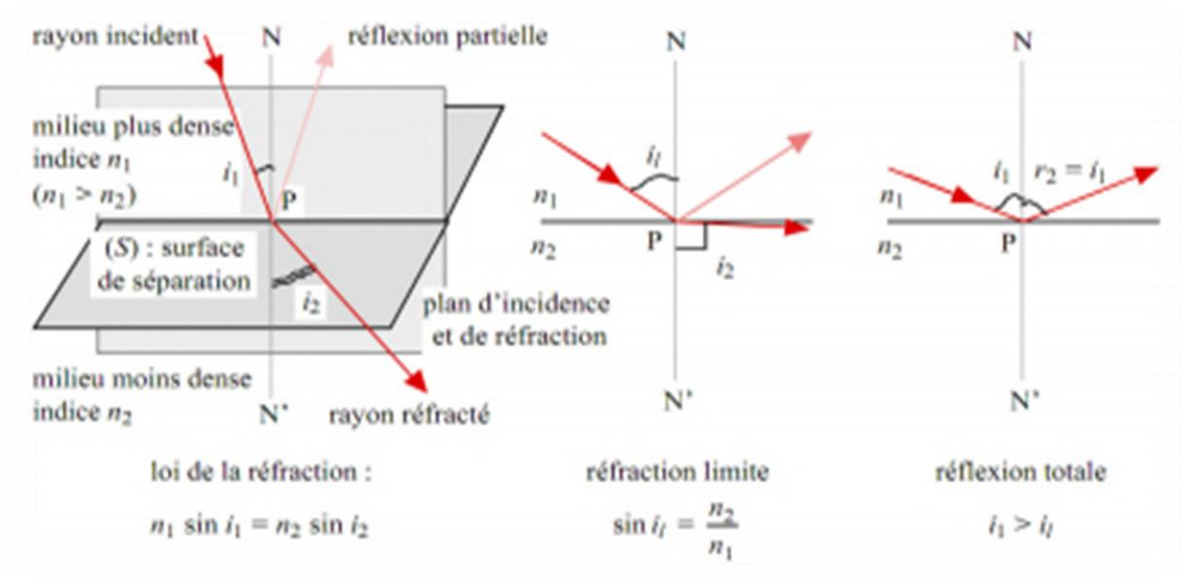
en se propageant dans un milieu inhomogène ou en passant d'un milieu transparent à un autre, la lumière subit en général trois effets :

- La transmission, par laquelle la lumière traverse un milieu donné.
- La réflexion.
- La réfraction.

### a Loi snell-descartes

La loi Snell-Descartes est l'une des lois fondamentales de l'optique, qui donne la relation entre le faisceau tombé et le faisceau brisé et les angles d'accompagnement de sorte qu'il apparaît.

La figure 1.5 ci-dessous est l'idée de la Loi Snell- Descartes :



**Figure1. 5 :** Le principe de guidage de la lumière avec les de la réfraction et de la réflexion de Snell-Descartes.

On observe que le figure 1.5 est montre Le rayon réfléchi et Le rayon réfracté et le rayon incident.

- La lumière se propage le long de la fibre par des réflexions successives entre le cœur et la gaine donc :

$$n_1 > n_2 \quad (1. 2)$$

Et

$$\theta_1 < \theta_2 \quad (1. 3)$$

Où  $n_1$  : Désigne l'indice de réfraction du cœur.

$n_2$  : Désigne l'indice de réfraction du gain.

$\theta_1$  : Est l'angle d'incidence entre le faisceau lumineux et la normale (la normale est à  $90^\circ$  de l'interface entre deux matériaux).

$\theta_2$  : Est l'angle de réfraction entre le rayon lumineux et le normal.

Nous pouvons écrire la loi de Snell comme suit :  $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$  (1. 4)

### ***b* Angle critique**

L'angle critique peut être calculé à partir de la loi de Snell, mettre dans un angle de  $90^\circ$  pour l'angle du réfracté rayon  $\theta_2$ . Cela donne  $\theta_1$  :

Puisque :  $\theta_1 = 90^\circ$

Donc :  $\sin(\theta_2) = 1$

Alors :  $\theta_c = \theta_1 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$  (1. 5)

### ***c* L'ouverture numérique**

Il y a une valeur numérique plus complète du point de vue de l'acceptation (a qui représente ou exprime la relation entre l'introduction correcte de la lumière et le coefficient réfractif de la teinte 2 n et de son environnement de 2 n appelé cette valeur ou la relation de l'ouverture Numérique (ON).

Ce qui peut être trouvé à partir de la relation suivante :

$$ON = \sin(\theta_{imax}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1. 6)$$

## **1.2.6.2 L'approche ondulatoire (3)**

*Cette approche a été développée au cours du 19e siècle, elle étudie la propagation de la lumière comme une onde, elle est basée sur les équations de Maxwell qui permettent de définir un ensemble de modes de propagation. La résolution de ces équations ramène à l'équation de dispersion (donnée dans la section suivante) qui admet pour solution une suite discrète de modes pouvant se propager dans le guide.*

### **a. Equation de maxwell**

Les équations de Maxwell sont des relations de types vectoriels liants le champ électrique au champ magnétique par des paramètres traduisant la matière ( $\mu, \epsilon, \sigma$ ) dans la quelle se propage l'onde électromagnétique. (4)

Dans un milieu isotrope, homogène, non chargé et non magnétique, les équations de Maxwell s'écrivent :

$$\text{Rot } \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1.7)$$

$$\text{Rot } \vec{H} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.8)$$

$$\text{Div } \vec{H} = 0 \quad (1.9)$$

$$\text{Div } \vec{E} = 0 \quad (1.10)$$

Avec :  $\mu$  perméabilité du vide et  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  permittivité du milieu considéré.

On suppose que le guide d'onde est un guide plan à saut d'indice et qu'il est invariant selon y et z ; donc l'expression du champ électrique et magnétique se propageant suivant z est comme suit :

$$\vec{E}(x, y, z) = \vec{E}(x, y) e^{j\beta z} \quad \vec{H}(x, y, z) = \vec{H}(x, y) e^{j\beta z} \quad (1.11)$$

$\beta$ : représente la constante de propagation du mode considéré.

C'est donc le développement des équations de Maxwell qui aboutit aux diverses équations qui régissent la propagation dans le guide d'onde optique, suivant le type de milieu considéré.

A partir de ces équations, il est possible d'établir l'équation de propagation générale de l'onde dans le milieu.

## 1.2.7 Les caractéristiques d'une fibre optique

### 1.2.7.1 Effets linéaires

#### 1.2.7.1.1 Atténuation

L'atténuation est une grandeur physique, qui correspond à une diminution de la force du signal transmis, car le niveau de force du signal propagé dans la fibre optique sera considérablement réduit, ce qui dépend de la distance de propagation. L'atténuation est généralement exprimée en décibels par kilomètre et est donnée par l'expression suivante :

$$\alpha_{dB/m} = \frac{10}{L} \log \frac{P}{P_0} \quad (1.12)$$

Tel que

$\alpha$ : Le coefficient d'atténuation linéaire.

$P_0$  : est la puissance de l'entrée (puissances d'émission).

$P$  : la puissance mesurée en sortie (puissances de réception).

$L$  : la longueur de la fibre optique.

L'atténuation provient principalement de deux phénomènes : l'absorption et la diffusion de la lumière.

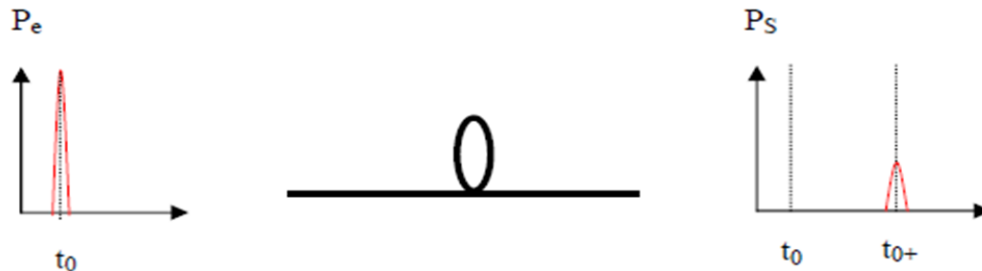


Figure1. 6 : Phénomène d'atténuation.

### 1.2.7.1.2 La dispersion

La dispersion dans une fibre est répartie en deux types : chromatique et modale.

#### *a La dispersion chromatique (5)*

La dispersion chromatique (Figure 1.7) caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion due au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil.

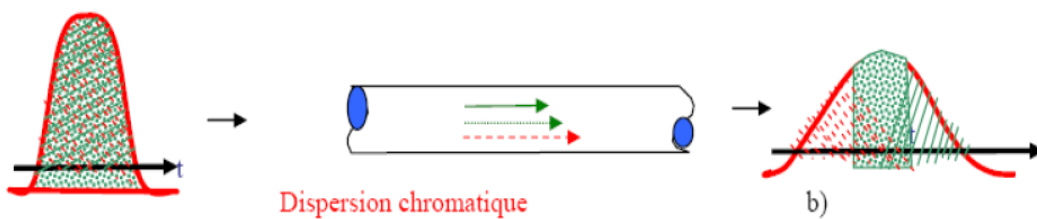
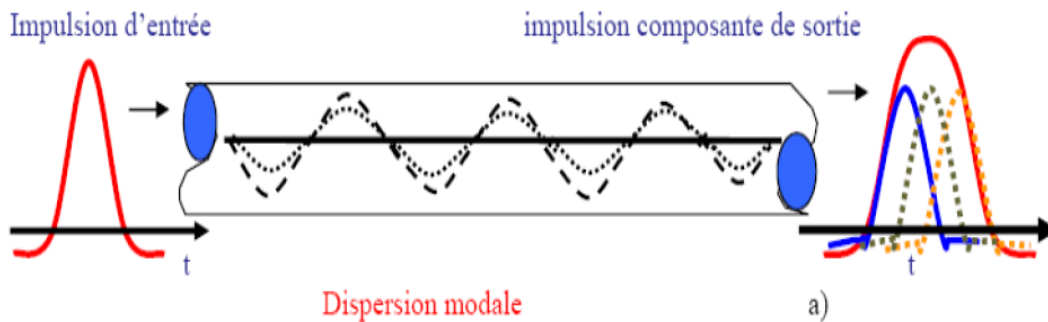


Figure1. 7 : la dispersion chromatique

#### *b Dispersion modale (ou intermodale)*

Dans une fibre optique multimode, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs

modes, chacun suivant une trajectoire différente. L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons, composant le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique - électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale.



**Figure1. 8** : La dispersion modale.

### 1.7.2 Effet non linéaires (3 p. 54)

Les systèmes de transmission optique sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire. Les effets non linéaires présentent un des mécanismes fondamentaux qui limitent la quantité de données qui peuvent être transmises sur une fibre optique.

Un effet est dit non linéaire, si la réponse à la contrainte d'un système n'est pas proportionnelle (pas linéaire) à la contrainte appliquée. Dans le cas de l'optique non linéaire ; la contrainte correspond à un champ électromagnétique et la réponse varie selon le milieu traversé : émission de longueurs d'ondes, amplification du signal,...etc.

Les effets nos linéaires plus connu sont :

- Effet de Kerr.
- Effet d Brillouin et de Roman.

## 1.3 La transmission sur fibre optique

### 1.3.1 Le schéma synoptique d'une chaîne de transmission optique

Un système de transmission optique est composé des blocs suivants :

- Bloc d'émission (Émetteur optique)
- Bloc de transmission (fibre optique, les coupleurs, les connecteurs...)
- Bloc de réception (Récepteur optique)

Le schéma d'une chaîne de transmission optique est illustré sur la figure 1.9 suivante :

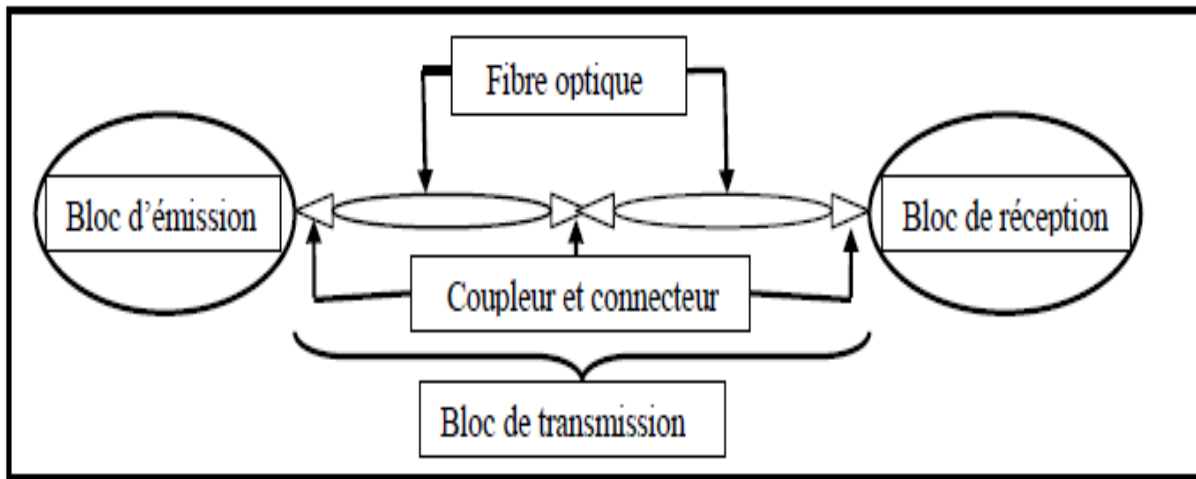


Figure 1.9 : schéma d'une chaîne de transmission optique.

### 1.3.2.Éléments du bloc de transmission

#### 1.3.2.1 Les coupleurs optiques

Dans les réseaux de fibres optiques, les coupleurs permettent de distribuer le signal optique vers plusieurs fibres ou inversement, acheminer le signal venant de plusieurs fibres vers une seule. Le principe de base est celui du couplage par onde évanescente entre deux fibres dont les cœurs sont très proches. Le champ électromagnétique s'étend au delà des cœurs. De ce fait, la lumière qui se propage dans un guide sent la présence de l'autre guide et se transfère progressivement dans l'autre guide. Si les guides sont identiques, la totalité de la lumière passe dans le second guide après une longueur d'interaction  $L_{inter}$ . Si cette région d'interaction est supérieure à  $L_{inter}$ , la lumière repasse dans le premier guide.

### **1.3.2.2 Les connecteurs optique (6)**

Les connecteurs fibre optique sont des dispositifs normalisés terminant une fibre optique et permettant de les raccorder aux équipements terminaux comme les Switch, les contrôleurs disques ou divers équipements utilisant la fibre optique.

Le domaine des connecteurs de la fibre comporte de très nombreux connecteurs différents, plus de 100 connecteurs différents existent ou ont existé sur le marché mais seul un petit nombre d'entre eux est utilisé de façon significative.

### **1.3.2.3 Les isolateurs**

Dans les systèmes de télécommunications par fibre optique, les isolateurs sont le plus souvent employés pour atténuer la lumière issue des réflexions parasites.

### **1.3.2.4 Les atténuateurs (7)**

Atténuateurs optiques sont utilisés dans les liaisons à fibre optique pour réduire la puissance optique à un certain niveau.

Les caractéristiques des atténuateurs optiques de la fibre sont :

- Perte d'insertion basse.
- Atténuation de 1dB à 30 dB.

### **1.3.2.5 Les filtres optiques**

Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. La séparation spectrale est réalisée en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. On caractérise donc le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de fréquences (ou de longueurs d'onde) pour lequel il laisse passer la lumière et par sa bande atténuée, c'est-à-dire le domaine de fréquences (ou de longueurs d'onde) pour Les quelles il réfléchit la lumière incidente. Ces deux domaines spectraux peuvent être très larges notamment pour les filtres passe-haut et passe-bas.

### **1.3.6.2 Les multiplexeurs et démultiplexeurs optiques**

Une application de ces filtres est la réalisation de la fonction de multiplexage optique. La solution adoptée sur certains dispositifs est le dépôt du filtre sur l'extrémité d'une fibre optique.

Les multiplexeurs et démultiplexeurs peuvent également être composés à base de réseaux de diffraction

### 1.3.2.7 Amplification optique

En optique, on appelle amplificateur optique un dispositif qui amplifie un signal lumineux sans avoir besoin de le convertir d'abord en signal électrique avant de l'amplifier avec les techniques classiques de l'électronique.

#### a Amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA)

L'amplificateur à fibre dopée à l'erbium est une technologie clef sur laquelle reposent les stations intermédiaires dans les systèmes de transport longue distance. Les EDFA permettent d'amplifier simultanément toutes les longueurs d'onde, sans conversion des signaux optiques en signaux électriques. Les éléments de base d'un amplificateur optique dopé à l'erbium sont :

- La fibre monomode dont les cœurs contiennent des ions de terre rare (l'erbium pour l'amplification autour de  $1.55 \mu\text{m}$ ).
- Laser de pompage de forte puissance.
- Le multiplexeur pour coupler la pompe (Laser) et le signal à l'intérieur de la fibre.
- L'isolateur (Des filtres) peut également être utilisé pour égaliser le gain dans la plage d'amplification.

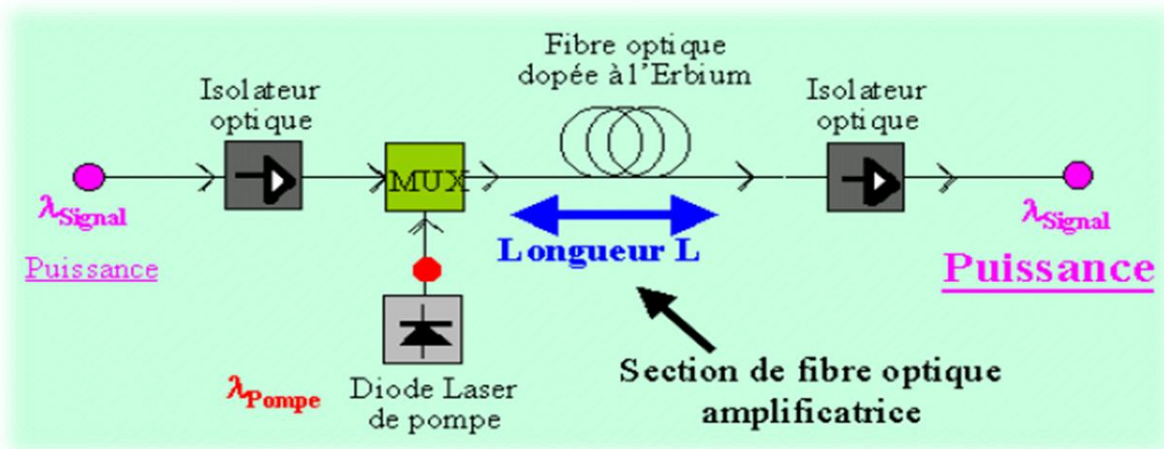


Figure 1. 10 : Amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA).

Après avoir provoqué la fibre dopée en erbium par un laser de pompage optique une inversion de population entre deux niveaux d'énergie appropriés, des photons incidents, correspondant au signal à amplifier, envoyés dans le milieu actif, vont déclencher l'émission de photons stimulés

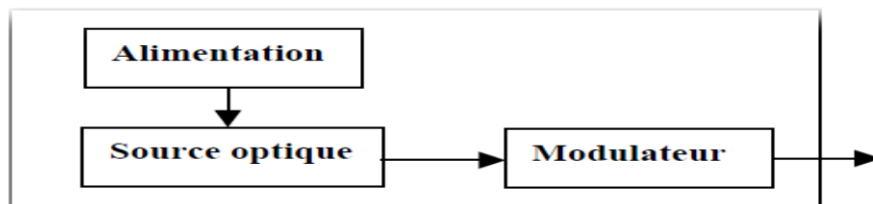
.L'amplification se distingue de l'effet laser par l'absence de résonance à la longueur d'onde d'émission .Les amplificateur de fibre optique ont les caractéristique suivant :

- Faible facteur de bruit.
- Gaine élève.
- Puissance de sortie se situant dans la région spectrale de longueur d'onde de 1550 nm.

Les modules de l'amplificateur de fibre dopée à l'erbium (EDFA) comprennent un ou deux lasers de pompage de 980 nm dotés d'un refroidisseur thermoélectrique.

### 1.3.3 Émetteur optique

Les émetteurs optiques sont des composants actifs dans les systèmes de transmission par fibre optique, Leurs fonctions fondamentales sont de convertir une énergie électrique en une énergie optique, c'est-à-dire la conversion de l'énergie lumineuse en une énergie optique. Elle comprend une source optique et un système de modulation pour moduler les ondes optiques.



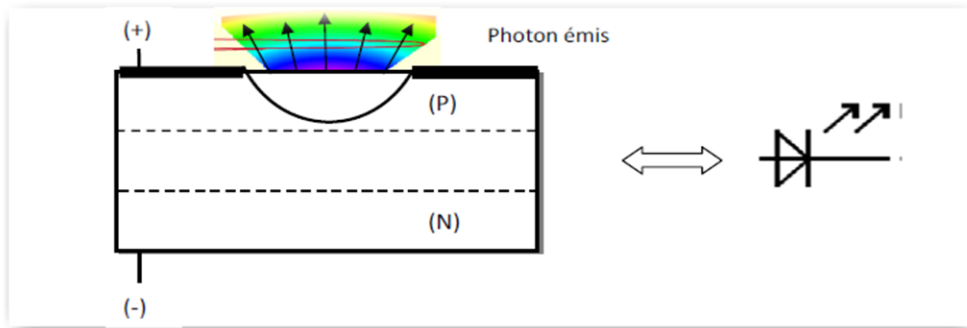
**Figure1. 11** : La structure d'un émetteur optique.

#### 1.3.3.1 Source optique

Le choix de ces sources devrait rester lié par les propriétés de la fibre (la bande passante...), dans le domaine de transmission optique les sources optiques sont classifiés en deux types : diode LED et diode LASER.

##### 1.3.3.1.1 LED

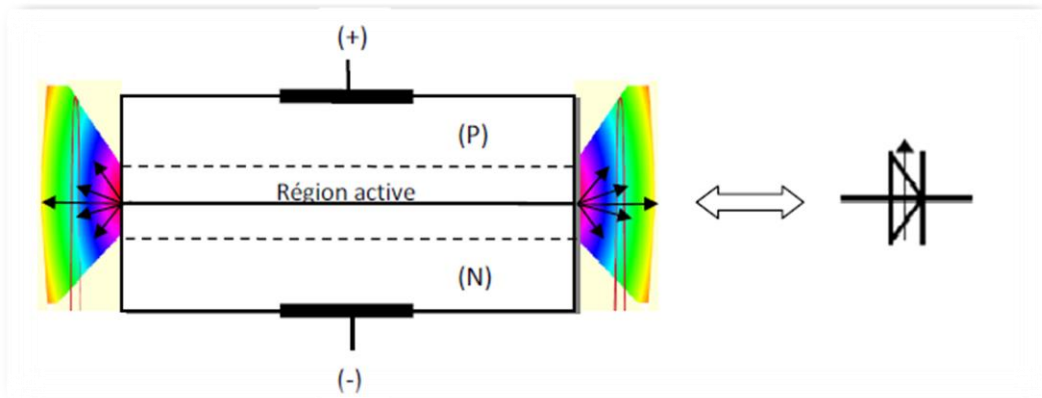
Les diodes électroluminescentes (DEL) ou LED (Light Emitting Diode). La structure de base de cette diode est une jonction PN réalisée en direct à partir de Semi-conducteurs dans lesquels les recombinaisons des porteurs excédentaires sont essentiellement radiatives. La structure type d'une diode électroluminescente et son principe de fonctionnement sont représentés sur la figure 1.12 :



**Figure1. 12 : La diode LED.**

### 1.3.3.1.2 Diodes lasers (8)

Les diodes laser (laser à semi-conducteurs) qui sont les composants essentiels dans les transmissions par fibres optiques pour un matériau à gap direct. Elles présentent un rayonnement cohérent et une bande passante de modulation de plusieurs GHz, avec une puissance optique émise pouvant atteindre quelques Watts.



**Figure1. 13 : La diode LASER.**

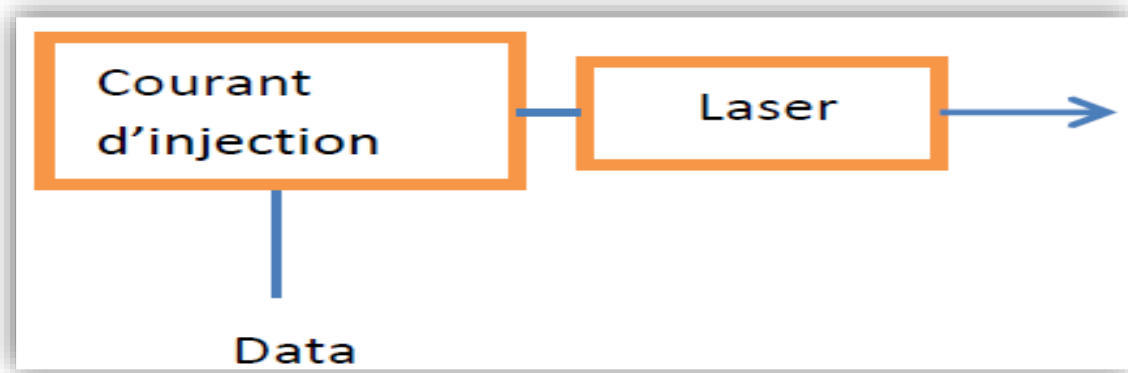
### 1.3.3.2 Les techniques de modulation

Il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Il existe principalement 3 techniques : la modulation directe et la modulation externe et la modulation par la technique OOK.

#### 1.3.3.2.1 Modulation directe (9)

On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. La puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant. Ce type de modulation provoque une modification dynamique du spectre due à la conversion amplitude-fréquence (désignée par le terme anglo américain de chirp) et du diagramme de rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes

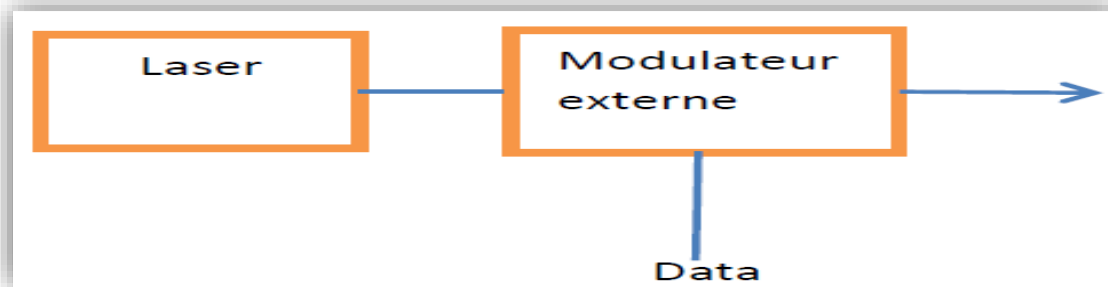
vitesse de modulation.



**Figure1. 14** : Modulation directe.

### 1.3.3.2 Modulation externe (10)

Elle permet de contourner cette difficulté, l'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits laser n'est plus modulé. La modulation plus élevés.



**Figure1. 15** : Modulation externe.

Il ya deux types de modulateurs externes sont courtement utilisés dans la pratique :

- le modulateur Mach-Zehnder (MZM).
- le modulateur à électro-absorption (MEA).

#### a La modulateur Mach-Zehnder (11)

Modulateur Mach-Zehnder est dans sa version la plus simple un interféromètre constitué généralement d'un bras de référence et d'un bras dans lequel une variation de phase est induite

par effet électro-optique (figure. 1.16). Ces deux bras sont deux guides optiques parallèles et de longueurs égales.

Si aucune tension n'est appliquée aux guides d'ondes, la lumière incidente est divisée de manière égale entre les deux bras de l'interféromètre. La recombinaison des ondes provenant des bras conduit à une figure d'interférence constructive (toute la puissance optique est disponible en sortie). Cependant, l'application d'une tension électrique à l'un des deux bras génère une variation de l'indice de réfraction du milieu, ce qui engendre un déphasage entre les deux ondes optiques. Si la tension appliquée est égale à la tension nécessaire pour modifier la phase de l'onde de  $\pi$  lorsque les deux ondes se rejoignent, elles vont interférer d'une manière destructive (aucune lumière n'est présente en sortie du guide d'onde).

Le déphasage entre les deux faisceaux repose sur deux techniques d'application du champ électrique i) une qui consiste à appliquer un champ sur un seul bras, ii) l'autre, à appliquer ce champ sur les deux bras. Dans ce dernier cas, une modulation d'intensité (ou d'amplitude) peut être obtenue. En utilisant ce type de composants, il est possible de réaliser un émetteur optique par modulation d'amplitude.

Nous pouvons, de cette manière, inscrire sur le faisceau lumineux l'équivalent optique de 0 et 1 électrique.

L'intensité à la sortie peut être de façon générale, est représentée par :

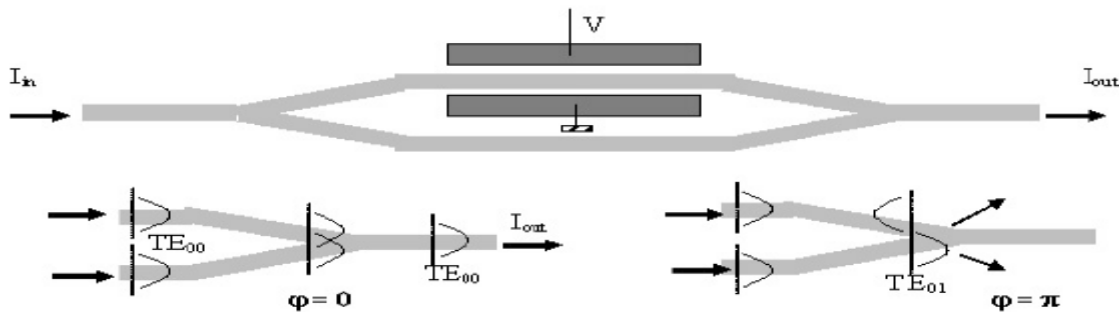


Figure1. 16 : Le modulateur Mach-Zehnder (MZM).

### 1.3.3.3 La modulation par la technique du 'OOK' (On-Off-Keying) (12)

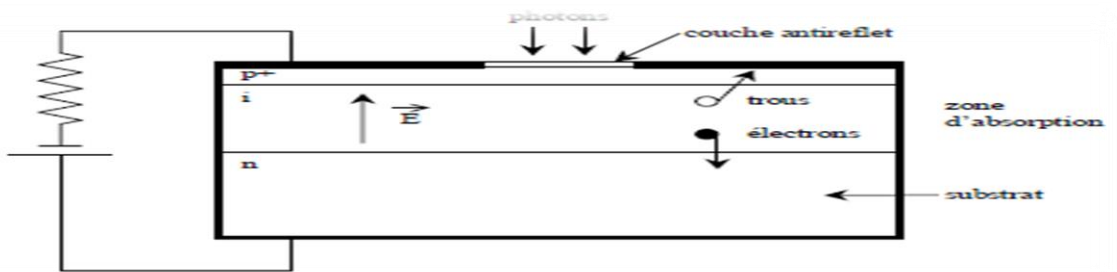
Dans cette technique, on utilise un obturateur rapide qui agit sur le faisceau LASER. Quand l'obturateur s'ouvre, il permet à la lumière de passer à travers la fibre ; quand il est fermé, la lumière est bloquée. L'obturateur optique affecte la puissance optique du faisceau LASER.

### 1.3.4 Récepteur optique

Le récepteur optique est un composant essentiel dans les communications par fibres optiques. Son rôle est de traduire le signal optique envoyé par la fibre optique en signal électrique, qui sera traité par des dispositifs électroniques. Dans notre étude nous allons parler des récepteurs. Les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique qui sont les photodiodes PIN ou APD. (13)

#### 1.3.4.1 Photodiode PIN (3 pp. 66-67)

Dans le cas de la photodiode **PIN** (Positive Intrinsic Negative), le détecteur est réalisé par une diode de type (Positive Intrinsic Negative) ; elle est constituée d'un matériau intrinsèque désigné par *i* et légèrement dopé *n* qui est inséré entre un substrat de type *p* et un substrat de type *n*.



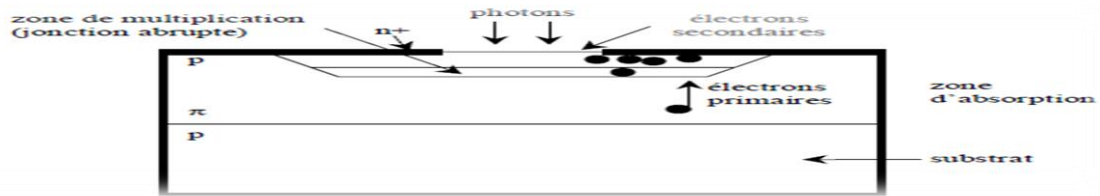
*Figure 1. 17* : Photodiode PIN.

Par rapport à la jonction PN simple, la zone de champ électrique non nul a été élargie par rapport aux zones conductrices, ce qui augmente la probabilité d'absorption et donc de création de paires électron-trou dans cette région.

#### 1.3.4.2 Photodiode à Avalanche (PDA) (3 pp. 66-67)

Une photodiode à avalanche est avant tout une structure PIN à laquelle on applique une polarisation inverse proche à la tension de claquage. Contrairement à la photodiode PIN, la photodiode à avalanche est un dispositif avec gain, c'est-à-dire que le nombre de paires électron-trou collectées est supérieur au nombre de photons absorbés.

La photodiode PIN présente certains avantages par rapport à la PDA ; elle est plus stable, elle nécessite une tension de polarisation inférieure et elle est plus facile à mettre en œuvre. En revanche ; la PDA qui peut être vue comme une version améliorée de la photodiode PIN autorise des puissances optiques incidentes plus faibles et son gain est 10 à 1000 fois supérieur à celui de la PIN. La figure ci-dessus représente Structure d'une photodiode à avalanche :

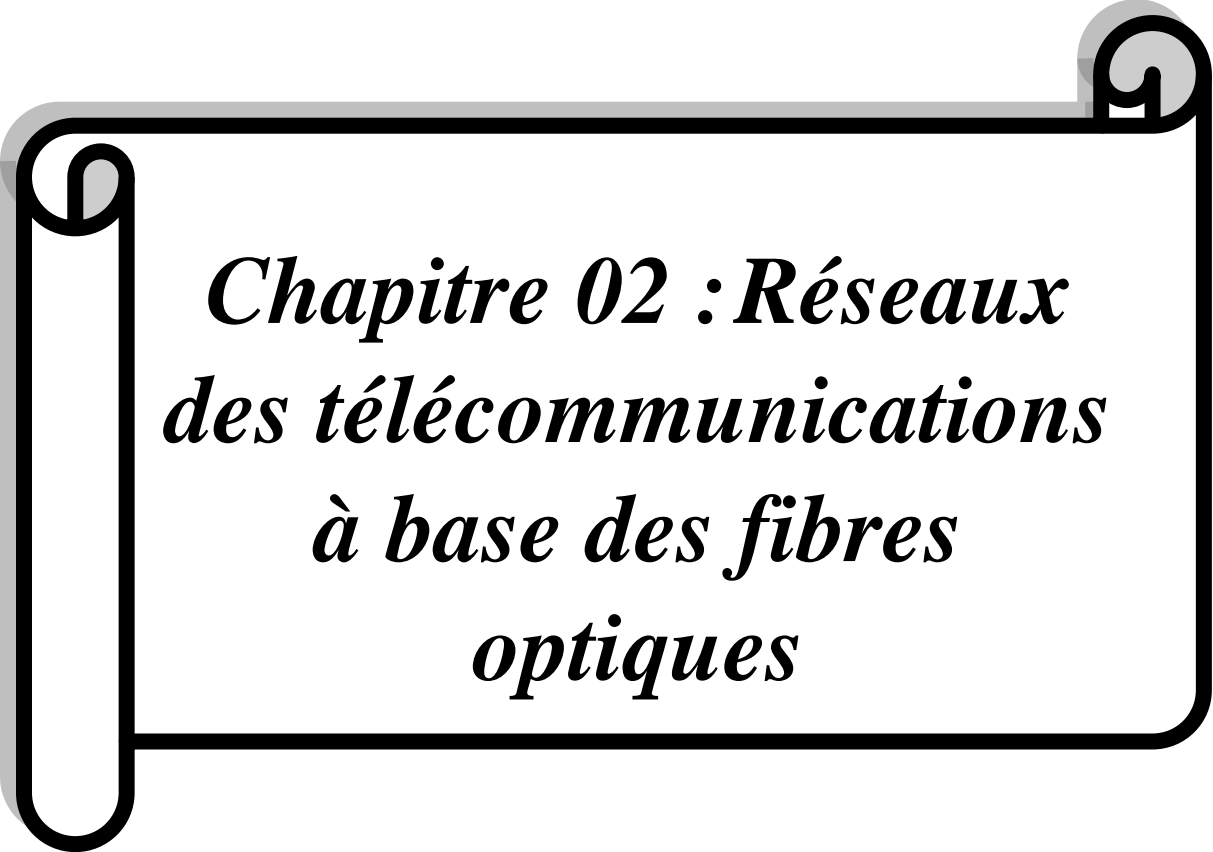


**Figure1. 18** : Photodiode à avalanche.

## 1.4 Conclusion

La fibre optique peut être utilisée comme support de transmission général pour diverses applications liées à la transmission d'informations. Certains de ses défauts semblent corrigés (dispersion, atténuation...). L'atténuation du signal de la fibre monomode est inférieure à celle de la fibre multimode, elle peut donc être utilisée pour des distances plus longues jusqu'à 100 kilomètres, tandis que la fibre multimode peut être utilisée pour des distances plus courtes jusqu'à 100 kilomètres. 'A 6 kilomètres. Les effets linéaires et non linéaires sont des effets qui limitent la distance de propagation et le taux de transmission.

Nous avons également présenté d'autres modules de la ligne de transmission optique dans ce chapitre, et donné leurs principales caractéristiques



*Chapitre 02 : Réseaux  
des télécommunications  
à base des fibres  
optiques*



## **2.1 Introduction**

Les télécommunications sont définies comme la transmission à longue distance d'informations à l'aide de moyens électroniques et informatiques ainsi que par transmission filaire, optique ou électromagnétique. Actuellement, les télécommunications impliquent généralement l'utilisation d'équipements électroniques liés aux réseaux analogiques ou numériques.

Dans ce chapitre, on va discuter d'une manière générale sur les réseaux de télécommunication à base des fiber optiques puis la technology employé pour transmettre un signal optique.

## **2.2 Définition des réseaux**

Un réseau est un ensemble de connexions entre plusieurs ordinateurs. Il permet à différentes Machinery d'accéder en commun à la plupart des ressources aussi efficacement que dans le cadre d'un system centralisé.

Les réseaux sont nés du besoin de relier des terminaux distants à un site central puis des ordinateurs entre eux et enfin des machines terminales, tels que station de travail ou serveurs. Dans un premier temps, CES Communications étaient destinées au transport des données informatiques. Aujourd'hui, l'intégration de la parole téléphonique et de la vidéo est généralisée dans les réseaux informatiques, même si cela ne va pas sans hardé.

## **2.3 La topologie d'un réseau**

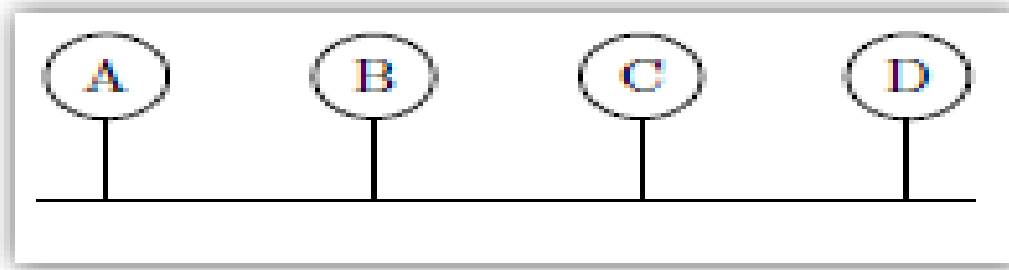
Dans les réseaux de communication, la topologie est la description généralement schématique de l'agencement du réseau, comprenant ses nœuds et ses lignes de connexion.

### **2.3.1 La topologie en bus (14)**

Un réseau en bus est une architecture de communication où la connexion des clients est assurée par un bus partagé par tous les utilisateurs au moyen d'arrêt de bus d'où le nom réseau en bus.

Les réseaux en bus permettent de relier simplement de multiples clients, mais posent des problèmes de collision quand deux clients veulent transmettre des données au même moment sur le bus. Les systèmes qui utilisent une topologie en bus ont normalement un arbitre ou un système de départage

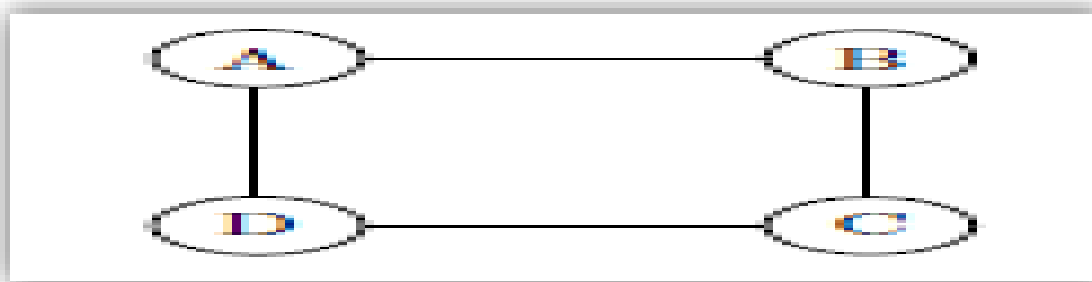
qui gère l'accès en émission sur le bus. Tous les nœuds du réseau sont reliés entre eux à une même ligne formant une chaîne.



**Figure 2. 1:** La topologie en bus.

### 2.3.2 La topologie en anneau

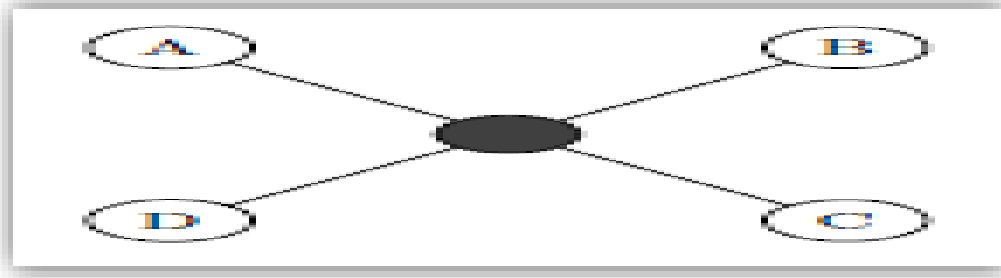
L'anneau ou ring se présente sous la forme d'un bus fermé. Chaque station est reliée à cet anneau. L'accès des stations au réseau est géré par le passage d'un relais appelé jeton. L'ordinateur qui possède le jeton peut soit émettre, soit passer le jeton à la station suivant.



**Figure 2. 2:** La topologie en anneau.

### 2.3.3 La topologie en étoile (15)

Dans une topologie de réseau en étoile aussi appelé Hub and spoke, les équipements du réseau sont reliés à un système matériel central. Celui-ci a pour rôle d'assurer la communication entre les différents équipements du réseau. En pratique, l'équipement central peut être un commutateur, concentrateur ou un routeur.



**Figure 2. 3:** *La topologie en étoile.*

## **2.4 Les réseaux optiques**

### **2.4.1 Réseau MAN (Metropolitan Area Network)**

Un réseau métropolitain désigne un réseau composé d'ordinateurs habituellement utilisé dans les campus ou dans les villes, ce réseau utilise généralement des fibres optiques. (16)

Les MAN interconnectent plusieurs LAN géographiquement proches (au maximum quelques dizaines de km) à des débits importants. Ainsi un MAN permet à deux nœuds distants de communiquer comme si ils faisaient partie d'un même réseau local. Un MAN est formée de commutateurs ou de routeurs interconnectés par des liens hauts débits (en général en fibre optique). (17).

### **2.4.2 Réseau WAN**

Est un réseau informatique ou un réseau de télécommunication couvrant une grande zone géographique, typiquement à l'échelle d'un pays, d'un continent, ou de la planète entière. Le plus grand WAN est le réseau internet. (18)

- Les réseaux sous-marins
- Les réseaux terrestres

### **2.4.3 Réseau PAN**

Un réseau personnel ou Personal Area Network (PAN) désigne un type de réseau informatique restreint en manière d'équipement, généralement mis en œuvre dans un espace d'une dizaine de mètre. D'autre application pour ce type de réseau sont : réseau domestique ou réseau individuel. (19)

## 2.4.4 Réseau personnel LAN ou (réseau d'accès) (20)

Le réseau local comprend tout ce qui est situé entre le réseau métropolitain et le terminal de l'abonné. Sa longueur varie de 2 à 50km.

Le réseau local optique est souvent constitué par une partie en fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'à le terminal de l'abonné.

Plusieurs configurations pour raccorder les utilisateurs à la fibre optique sont définies: selon la localisation de la terminaison de réseau optique, on cite les configurations les plus répandues :

### 2.4.4.1 FTTC (Fiber to the curb)

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de

télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab).

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.

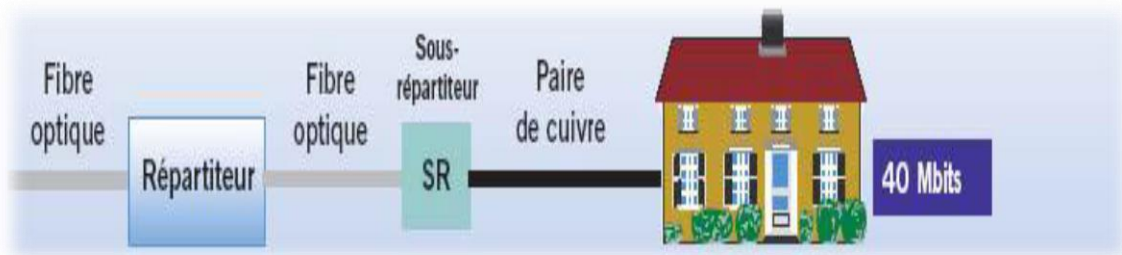
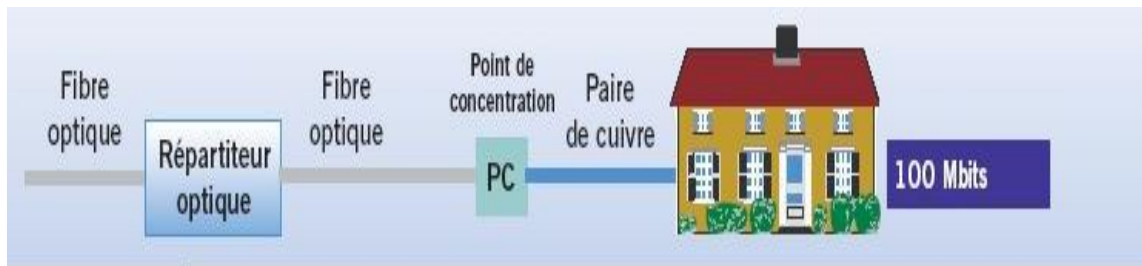


Figure 2. 4 : La structure d'un réseau FTTC.

### 2.4.4.2 FTTB (Fiber to the building)

La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre. Cette configuration est appelée aussi FTTB.



**Figure 2. 5 :** La structure d'un réseau FTTB.

### 2.4.4.3 FTTH (Fiber to the home, Fibre jusqu'au domicile)

La terminaison du réseau optique, propre à un abonné est implantée dans ces locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s). Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO.



**Figure 2. 6:** La structure d'un réseau FTTH.

## 2.5 Architecture du réseau d'accès optique (21)

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile. Elle ne fait Appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné et de sécurité de transfert (les données des différents utilisateurs sont séparées), mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur.

Les deux architectures couramment utilisées pour le déploiement FTTH sont :

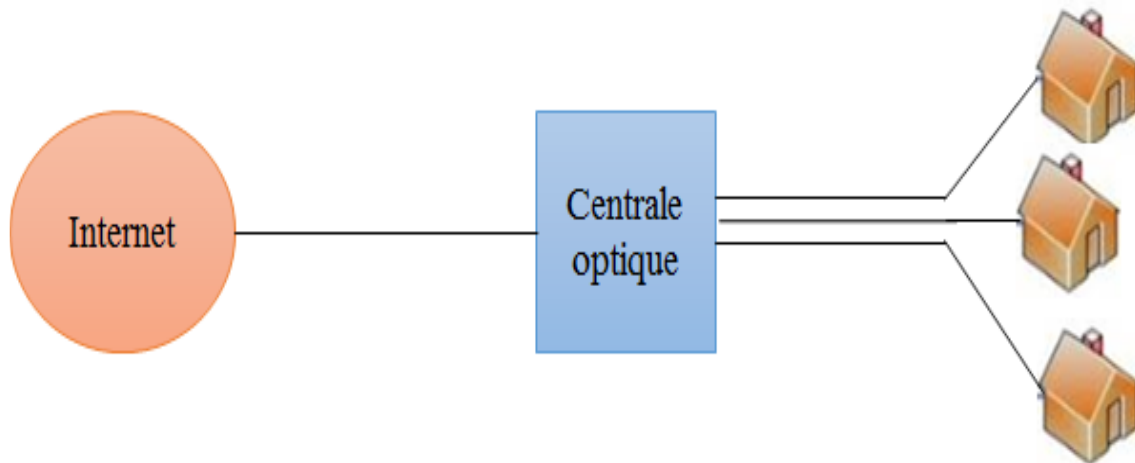
- L'architecture active, aussi appelée Point -to-Point (P2P)
- L'architecture passive est appelée communément PON (Passive Optical Network) ou P2M (Point To Multipoint).

### 2.5.1 Architecture point à point

Cette architecture est la plus simple à mettre en œuvre parmi les Topologies physiques du réseau d'accès optiques, elle consiste à avoir un lien physique en Fibre optique directement entre le central et l'abonné. Son déploiement revient plus cher.

Dans cette architecture, chaque abonné sera raccordé au répartiteur optique du réseau le plus proche, avec une fibre dédiée (point à point). Cette architecture permet une étanchéité absolue entre les lignes des différents abonnés, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant de fibres que d'abonnés.

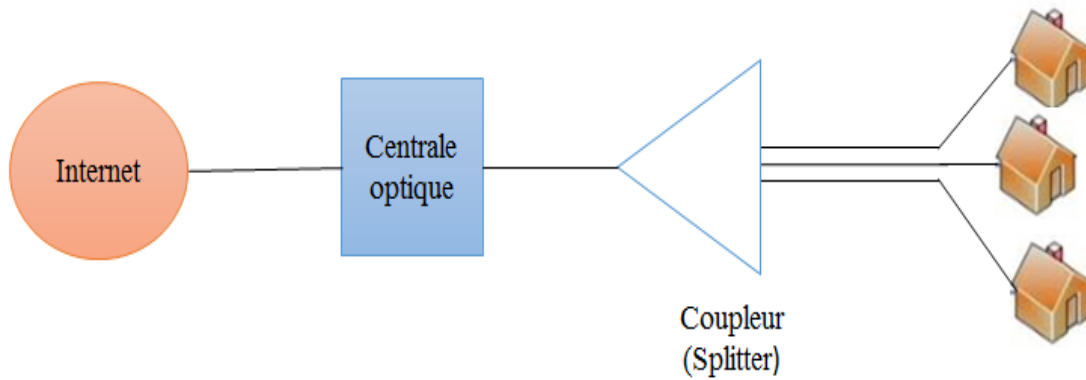
On utilise différents protocoles pour le transport des données, souvent c'est Ethernet qui est choisi. Ces solutions sont alors dénommées Ethernet P2P ou Ethernet Direct Fiber. Elles permettent des débits de 10Gb/s. Pour être commercialisé, les débits sont limités à des valeurs inférieures, par exemple 100Mb/s symétriques.



**Figure 2. 7:** Architecture point à point.

### **2.5.2 Architecture point à multipoint (Les réseaux optiques passifs)**

Un réseau point à multipoint connu aussi sous le nom de PON (Passive Optical Network), le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique. Dans cette architecture, une fibre unique part du central optique dans le réseau et dessert plusieurs habitations, sur lesquelles sont raccordées à cette fibre au niveau d'un équipement passif (coupleur ou splitter) placé à proximité de la zone à desservir. Chaque site reçoit toutes les informations envoyées par l'équipement central OLT (Optical Link Terminal), et les reçoivent par l'équipement récepteur ONT (Optical Network Terminaison) de chaque abonné, et assure la fonction du filtrage : chacun des ONT et OLT n'exploitent que les données qui concerne l'utilisateur qui y est raccordé



**Figure 2. 8:** Architecture point a multipoint.

## 2.6 Les techniques de multiplexages

C'est un procédé qui permet de transmettre simultanément plusieurs informations sur le même support. Son objectif est de regrouper ces informations en provenance de voies basse vitesse (BV) sur un unique circuit à plus fort débit ou voie haute vitesse(HV), en parle de circuit composite. On distingue deux types de multiplexage. (22)

### 2.6.1 Le multiplexage temporel TDM (23) (24)

Le multiplexage temporel (TDM, Time Division Multiplexing) est une technique de multiplexage permettant à un émetteur de transmettre plusieurs canaux numériques élémentaires à bas débit (voix, données, vidéo) sur un même support de communication à plus haut débit en entrelaçant dans le temps des échantillons de chacun de ces canaux. L'allocation complète de la ligne aux différentes voies est effectuée périodiquement et pendant des intervalles de temps constants (voir Figure 2.9).

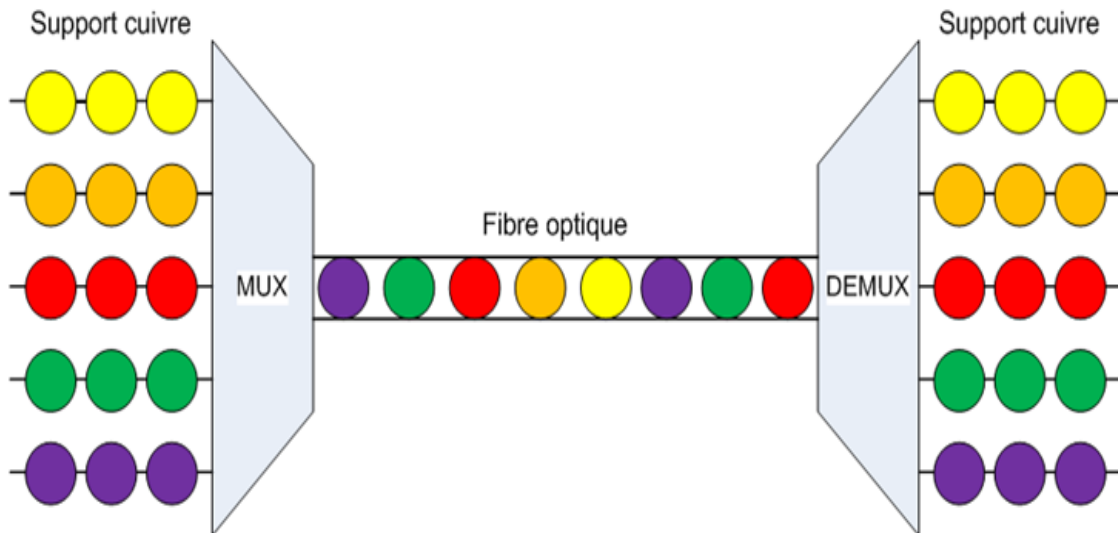


Figure 2. 9: La technique de multiplexage TDM.

### 2.6.2 Spatial ou fréquentiel (FDM) (25)

Le partage de la voie composite peut être un partage de la bande disponible, chaque voie dispose en permanence d'une fraction de la bande disponible. L'efficacité d'un tel système reste faible.

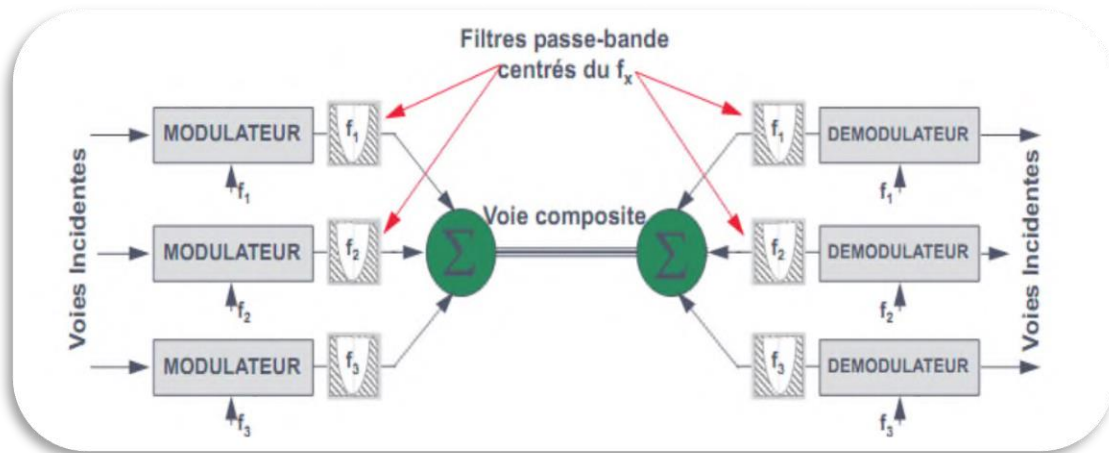


Figure 2. 10: Principe du multiplexage fréquentiel.

### 2.6.3 Le multiplexage en longueur d'onde WDM (26)

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à envoyer plusieurs ondes de longueurs différentes sur la même fibre. La modulation d'une onde se fait d'une façon classique. Les ondes sont ensuite multiplexées par des systèmes optiques passifs. L'avantage de la technique WDM est qu'elle n'est pas tributaire de la vitesse des équipements électroniques. Cependant le nombre de longueurs d'onde qu'une fibre peut transporter est limité : d'une dizaine de longueurs d'ondes il y

a quelques années, on est passé à plusieurs centaines aujourd'hui. De plus, en WDM, un seul amplificateur optique se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec la longueur de la liaison et le nombre de canaux.

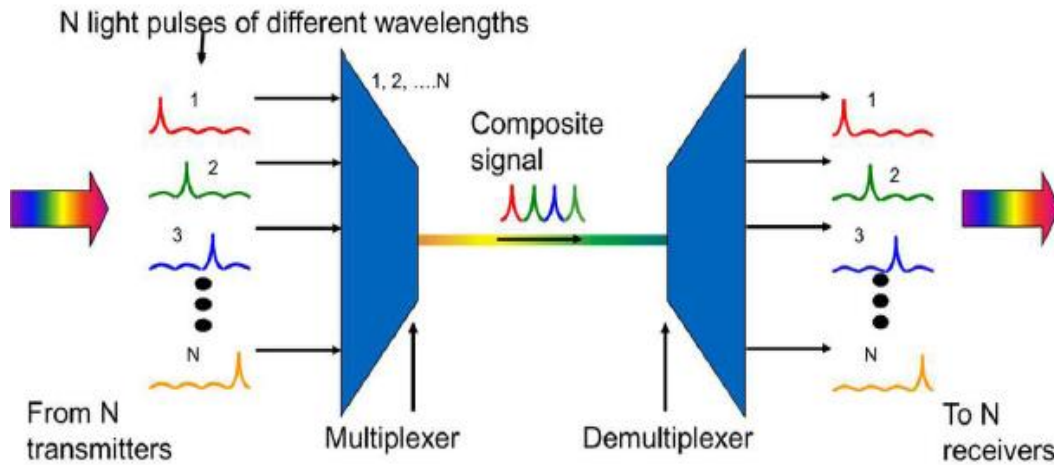


Figure 2. 11: La technique de multiplexage WDM.

### 2.6.3.1 Les types de multiplexage en longueur d'onde WDM

Il existe plusieurs types de WDM en fonction des longueurs d'ondes utilisées

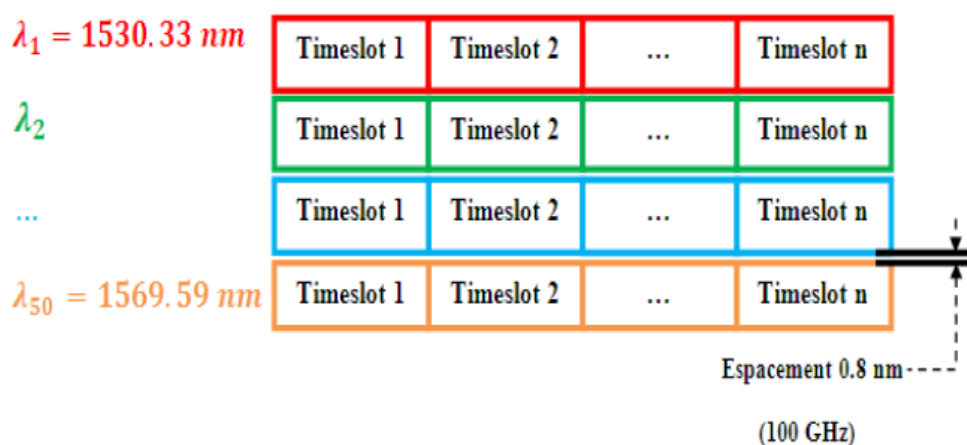
#### 2.6.3.1.1 Multiplexage DWDM (Dense WDM)

La technologie DWDM est adaptée pour le transport courte et longue distance de données.

Le système DWDM est parfaitement adapté dans le Metro ou long distance où les demandes de capacité sont extrêmement élevés. Cette grande capacité demande un résultat de l'agrégation des services reçus des clients multiples à la périphérie de l'entreprise, utilisent des lasers qui ont un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps (OC-192/STM-64) et peuvent multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 2,4 Tbps sur une seule fibre. Les nouveaux systèmes DWDM seront en mesure de soutenir 40-Gbps avec un maximum de longueurs d'onde de 300 chaînes, résultant en 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre. Les Émetteurs-récepteurs des systèmes DWDM consomment plus d'énergie et dissiper la chaleur beaucoup plus que les émetteurs-récepteurs des systèmes CWDM. Cela crée une obligation pour le refroidissement des sous-systèmes de DWDM.

Cette technologie est schématisée dans La Figure 2.12. Aujourd'hui les systèmes DWDM Metro déployés utilisent généralement un espacement de fréquence de 100 GHz ou de 200 GHz. L'espacement commun du DWDM peut être 200, 100, 50, 25, ou 12,5 GHz avec un nombre de

canaux pouvant atteindre jusqu'à 300 ou plusieurs canaux à des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec l'amplification et la régénération le long de cette route. Comme spécifié par le standard ITU G.694.1, les systèmes DWDM sont caractérisés par un espacement entre canaux de 50 ou 100 GHz. La grille de fréquence de DWDM est ancrée à 193,1 THz. Les systèmes DWDM ont de façon significative une granularité plus fine entre les longueurs d'onde (espacement typique de 100-GHz) par rapport à leurs homologues CWDM. Selon la grille UIT, les produits DWDM fonctionnent dans la bande C entre 1530 et 1565 nm ou dans la bande L entre 1565 et 1625 nm. L'un des avantages du DWDM est le gain dans la région de l'EDFA (Amplificateur à Fibre dopée Erbium) qui correspond à la bande C. Les longueurs d'onde peuvent être amplifiées pour compenser les pertes dues à la longue distance de transmission des fibres ou /et les pertes passives élevées (pertes du coupleur, du multiplexeur, etc...). (27)

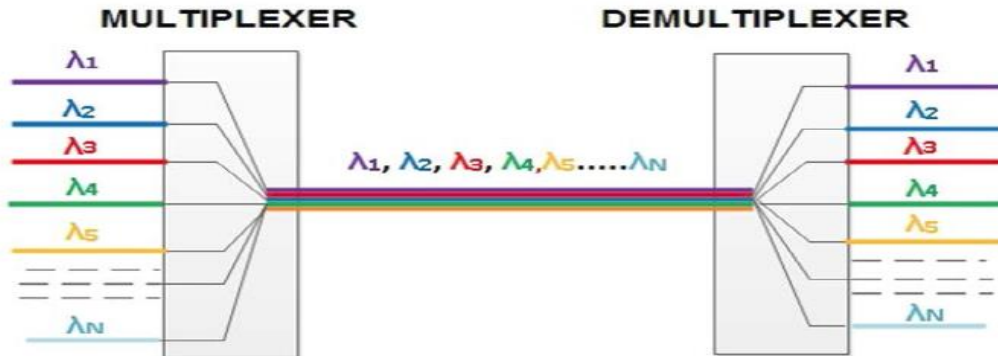


**Figure 2. 12:**Technique de multiplexage DWDM.

### 2.6.3.1.2 Multiplexage U-DWDM (DWDM)

Les systèmes de communications optiques sans fil utilisent le multiplexage par répartition en longueur d'onde ultra-dense (UDWDM) est la meilleure solution pour fournir une transmission à haut débit avec un très faible taux d'erreur de bits (BER). Ce type de multiplexage est le phénomène le plus récent pour l'avancement de la technologie, il s'agit d'une technologie qui peut transmettre plusieurs données simultanément sur la fibre unique avec un espacement des canaux très étroit ,où l'espacement entre les canaux est de 0,4 nm et le nombre de canaux utilisables est égal à 100. Il y a des expériences actuellement avec l'espacement entre les canaux égal à 0.1 nm sont en cours d'exécution, mais les règles de travail pour eux sont les mêmes. De nos jours, les systèmes DWDM sont basés sur une grille de fréquences avec un espacement de 50 GHz (0.4 nm), 100 GHz

(0.8 nm) et 200 GHz (1.6 nm) et sont appliqués avec une référence de fréquence égale à 193.1 THz.  
(28)

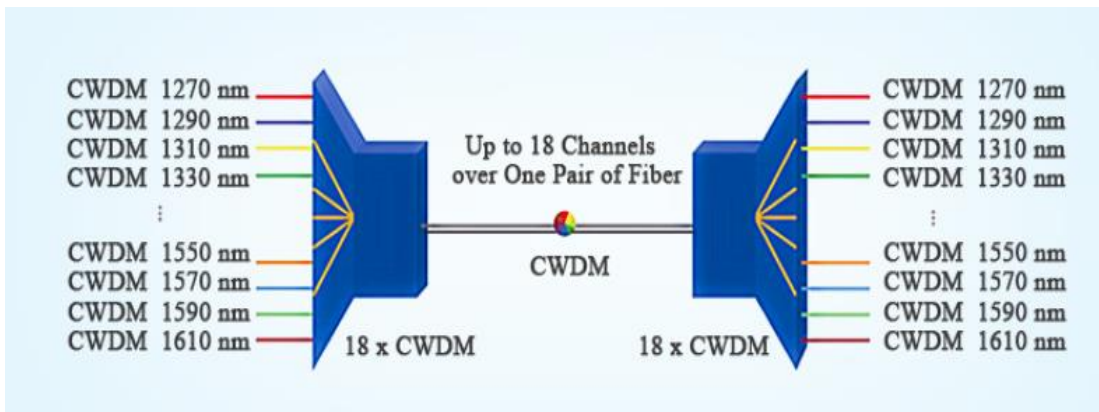


**Figure 2. 13:**Technique de multiplexage Ultra DWDM.

### 2.6.3.1.3 Multiplexage CWDM (Coarse WDM)

La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) est adaptée pour le transport courte distance. Le système CWDM est idéalement adéquat pour des infrastructures en fibres avec des portées de fibres qui sont à 50 km ou moins et qui n'ont pas besoin de la régénération du signal ou de la présence des amplificateurs optiques, utilisent des lasers qui ont un débit de 2,5 Gbps (OC-48/STM-16) et peuvent multiplexer jusqu'à 18 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 45 Gbps sur une seule fibre. Le laser de transmission et le détecteur de réception sont généralement intégrés dans un ensemble unique appelé un émetteur-récepteur. Les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'onde. Ils ne nécessitent pas un contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui explique leur coût moins élevé par rapport aux équipements DWDM.

Cette technologie est schématisée dans La Figure 2.14. Ce système est caractérisé par un espacement entre canaux de 20 nm ou 2500 GHz (spécifiés par la norme ITU G.694.2). La grille CWDM est définie en termes de séparation de longueur d'onde. Cette grille est constituée de 18 longueurs d'onde définies dans la plage 1270 nm à 1610 nm. (27)



**Figure 2. 14:**Technique de multiplexage CWDM.

#### 2.6.3.1.4 Comparaison entre les techniques de multiplexage

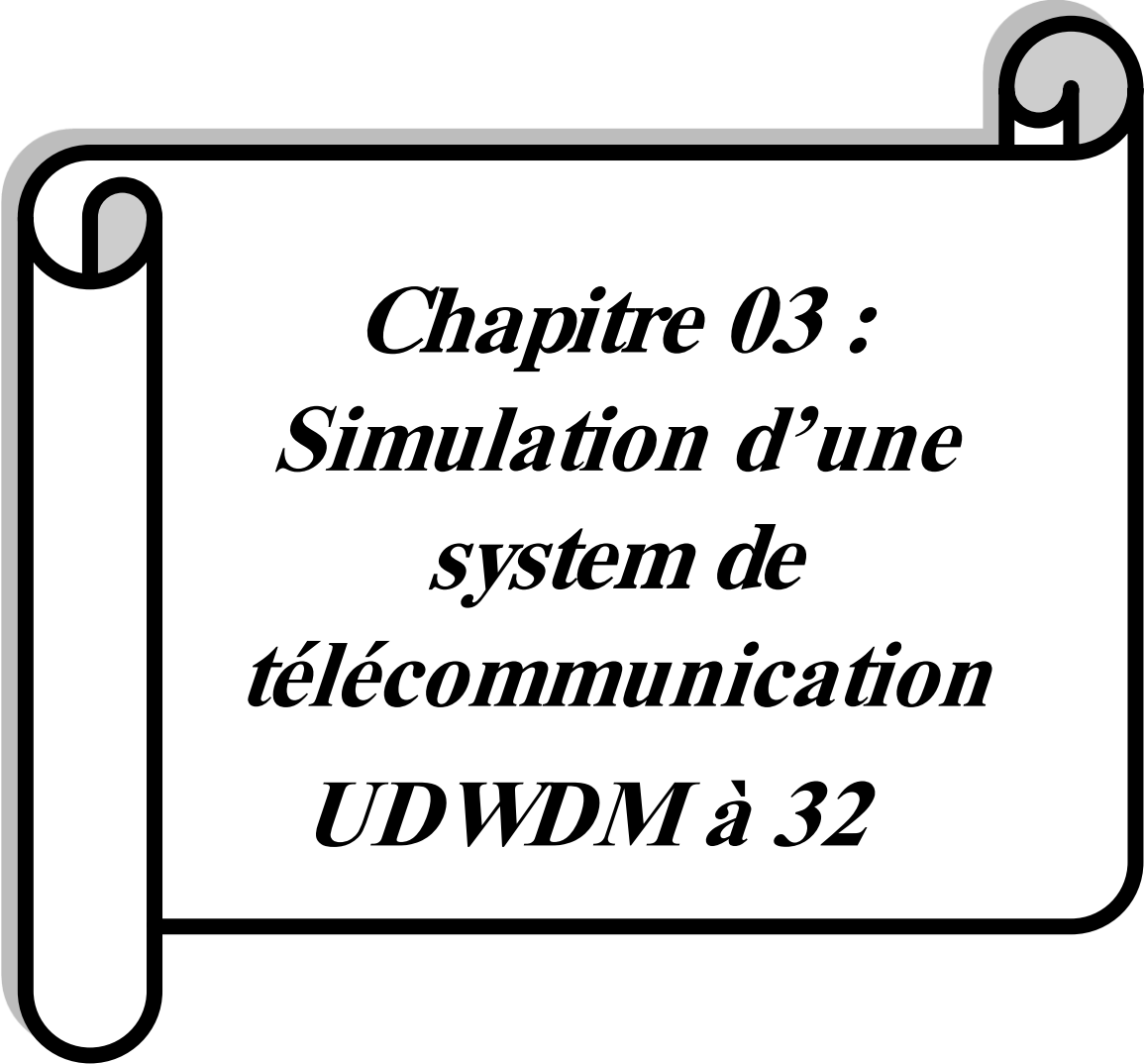
Le tableau suivant résume la différence entre les systèmes de multiplexage WDM, CWDM, DWDM et UDWDM :

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

**Tableau 2. 1:** La différence entre les systèmes de multiplexage.

## 2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement les réseaux optiques. Nous avons présenté les différentes topologies utilisées pour le déploiement de FTTH: point à point, point à multipoint, dans un deuxième temps on a vu le fonctionnement les différentes technology de multiplexage lêtentês (part of TDM, WDM). File type demultiplexing WDM



***Chapitre 03 :***  
***Simulation d'une***  
***system de***  
***télécommunication***  
***UDWDM à 32***



### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement le logiciel OptiSystem7.0 en définissant son interface, sa bibliothèque et son éditeur de mise en page. Nous aborderons également les différentes applications et avantages du logiciel.

Nous allons étudier la simulation de transmission WDM et écrire différentes parties de la simulation, et enfin analyser les différents résultats de la simulation.

### 3.2 Présentation de logiciel OptiSystem

OptiSystem est un outil interactif développé par la société canadienne Optiwave Systems Inc. Il permet aux chercheurs et ingénieurs de simuler, modéliser, analyser et concevoir n'importe quel module de système optique, de l'équipement le plus basique à un système de communication complet décrit dans des schémas fonctionnels. Il s'agit d'un environnement interactif, il combine donc des outils numériques avec des fonctions graphiques et des interfaces utilisateur. (29)

### 3.3 Interface de logiciel OptiSystem

L'interface est un utilisateur graphique complète est control la disposition de composant optique, elle contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties.

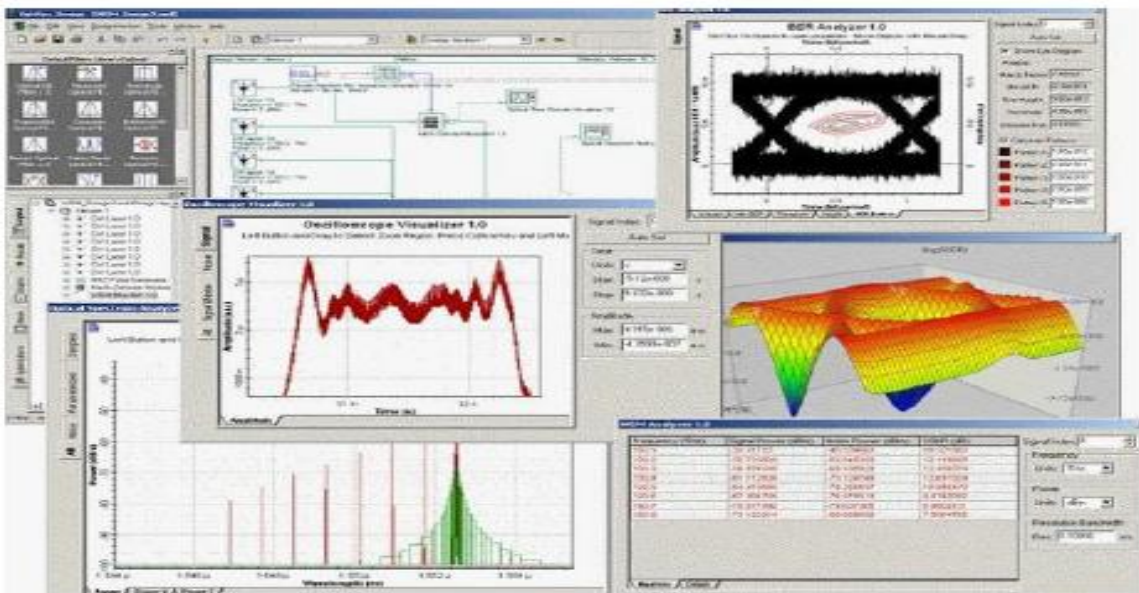


Figure 3. 1: L'interface graphique de logiciel OptiSystem.

### 3.3.1 La bibliothèque

La bibliothèque est une base de données qui contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs, comme les régénérateurs, codeurs, modulateurs, filtre...etc.

### 3.3.2 Éditeur de Layout

La principale zone de travail où vous insérez des composants dans la mise en page, modifiez les composants et créez des connexions entre composants.

## 3.4 Paramètre et caractéristique de composant de la bibliothèque

### 3.4.1 Paramètre d'affichage dans la mise en page

La première propriété de paramètre est **Disp (Affichage)** que vous sélectionnez cette propriété, le nom du paramètre, la valeur et l'unité apparaissent dans la mise en page (Layout) principal. Par exemple si vous sélectionnez Disp pour **la fréquence** et **la puissance** ces paramètres apparaissent dans la mise en page principal (Layout).

### 3.4.2 Unités de paramètre

Certains paramètres, tels que la fréquence et la puissance, peuvent avoir plusieurs unités. La fréquence peut être en Hz, THz ou nm et la puissance peut être en W, mW ou dBm (Voir la figure 3.2). La conversion est automatique.

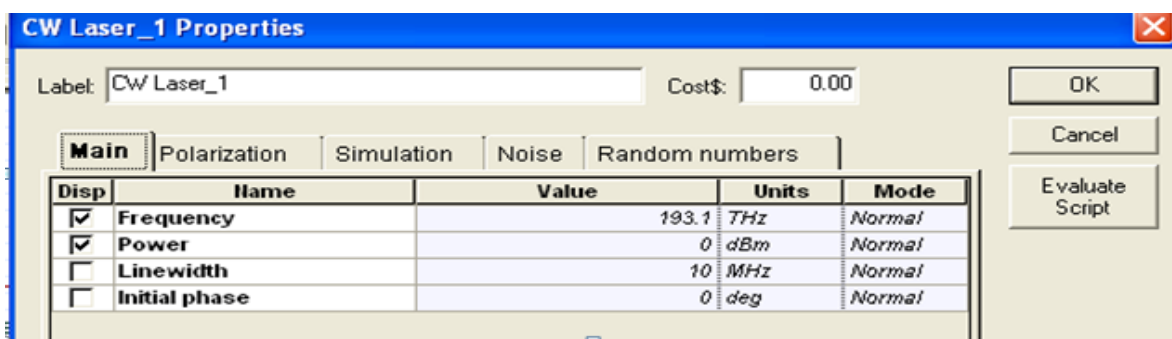


Figure 3. 2: Paramètre unité.

### 3.5 Application de logiciel OptiSystem

- Composant définis par l'utilisateur et langage de script basé sur une modélisation réaliste des systèmes de communication à fibres optiques.
- Bibliothèque complète de composant actif et passif, y compris un paramètre réaliste dépendant de la longueur d'onde.
- Balayages de paramètres et optimisation.
- Le calcul du taux d'erreur binaire et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et de réseau optique passif (PON).

### 3.6 Avantages de logiciel OptiSystem

- Obtenir un aperçu de performances du system de la fibre optique.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
- Présentation virtuelle des options de conception.

### 3.7 Performance de liaison optique

#### 3.7.1 Diagramme de L'œil

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

#### 3.7.2 Taux d'erreurs binaires

Si le Diagramme de l'œil est la façon la plus visuel de qualité d'un signal numérique, alors le critère qui quantifie le mieux cette qualité de transmission est le Taux d'erreurs binaire (TEB, ou BER pour Bit Error Rate) qui représente la probabilité d'une prise de décision erronée sur un élément binaire. Il se définit comme suit :

$$TEB=BER=\frac{\text{nombre d'erreur d'étectées}}{\text{nombre de bit transmit}} \quad (3. 1)$$

### 3.7.3 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.

### 3.7.4 Le rapport signal sur bruit optique (OSNR)

Le rapport signal sur le bruit optique OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) est un paramètre permettant d'évaluer la qualité du signal à la réception. La valeur de ce paramètre est le rapport entre la puissance du signal optique  $P_s$  et la puissance d'émission spontanée amplifiée  $P_{ASE}$ . Ce paramètre doit être supérieur à une certaine valeur pour que le signal puisse être détecté correctement. Ce dernier est mesuré dans une bande de référence  $B_{ref}$  dans laquelle est considéré le bruit. Ce rapport est donné par la formule suivante :

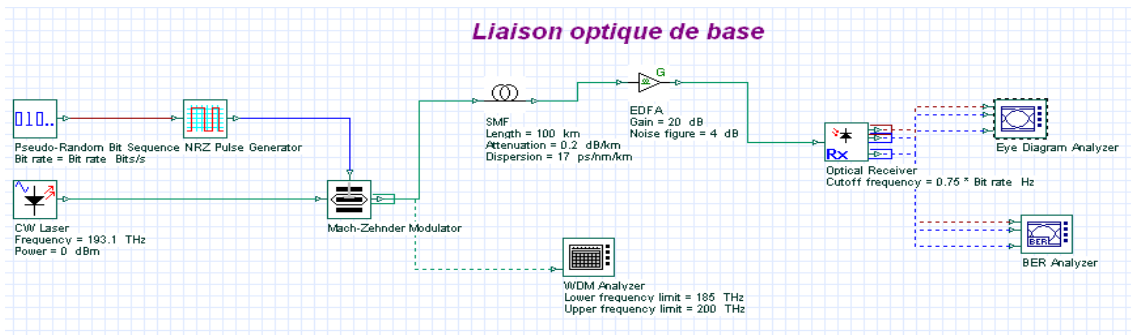
$$OSNR_{B_{ref}} = \frac{P_s}{P_{ASE}} = \frac{P_s}{2 N_0 B_{ref}} \quad (3. 2)$$

Où,  $N_0$  est la densité spectrale de puissance du bruit d'émission spontanée amplifiée sur une des deux polarisations orthogonale et le facteur 2 provient du fait que le bruit d'ASE n'est pas polarisé. Par convention, la bande de référence  $B_{ref}$  est généralement fixée à 0,1 nm, soit de manière équivalente à 12,5 GHz à 1550 nm. (30)

## 3.8 Résultats de simulation et interprétation

### 3.8.1 Le premier scénario : Résoudre le problème de la dispersion chromatique par des différentes configurations (une liaison simple)

La simulation à été fait par le logiciel OptiSystem, la figure 3.3 représente l'architecture de la liaison optique proposée. Le système est compose d'un module émetteur configuré par une source de donnée qui produit une séquence pseudo-aléatoire de bits à 10 Gbps représentant l'information à transmettre. Un codage NRZ, un Mach Zender pour la conversion (électrique-optique), cette information sera par la suit propage dans in fibre optique monomode de type SMF, de longueur 100 km avec une atténuation de 0.2 dB/km et une dispersion chromatique de 17 ps/nm/km. Dans le parti détection (Réception) on trouve photodiode PIN et un filtre électrique passe-bas. On utilise un analyseur BER et Diagramme d'œil, WDM analyseur pour observe la variation de valeur du taux d'erreur binaire (BER), du facteur de qualité et OSNR de système.

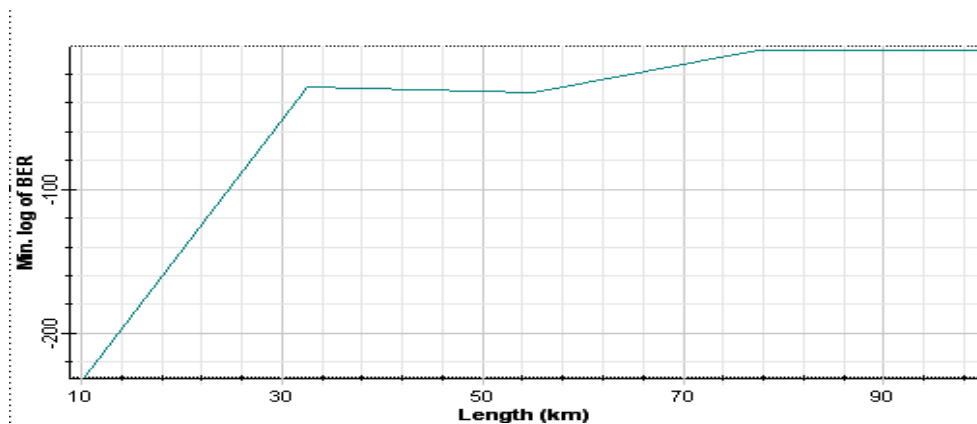


**Figure 3. 3:**Schéma de base d'une liaison optique.

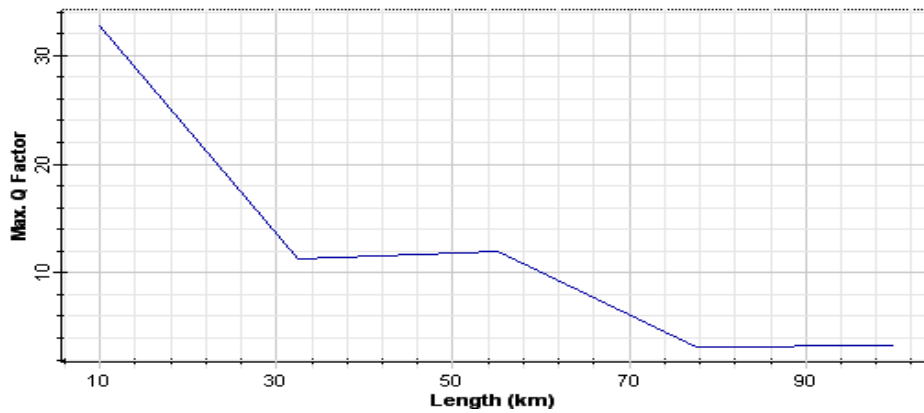
Afin d'évalué les performances de la liaison optique suggéré, nous avons adopté un distance de fibre optique SMF différente à partir de 10 km jusqu'à 80 km, afin de connaitre leur effet sur l'efficacité d'une liaison WDM. Nous avons obtenu les résultats présentés sur le tableau 3.1, à savoir la variation des valeurs BER et facteur de qualité Q, OSNR.

La distance de SMF	10	40	70	100
BER	$3.485 \cdot 10^{-232}$	$3.62 \cdot 10^{-25}$	$7.116 \cdot 10^{-20}$	0.000656
Facteur Q	34.636	10.293	9.050	3.172
OSNR	32.8221	32.713	32.587	32.851

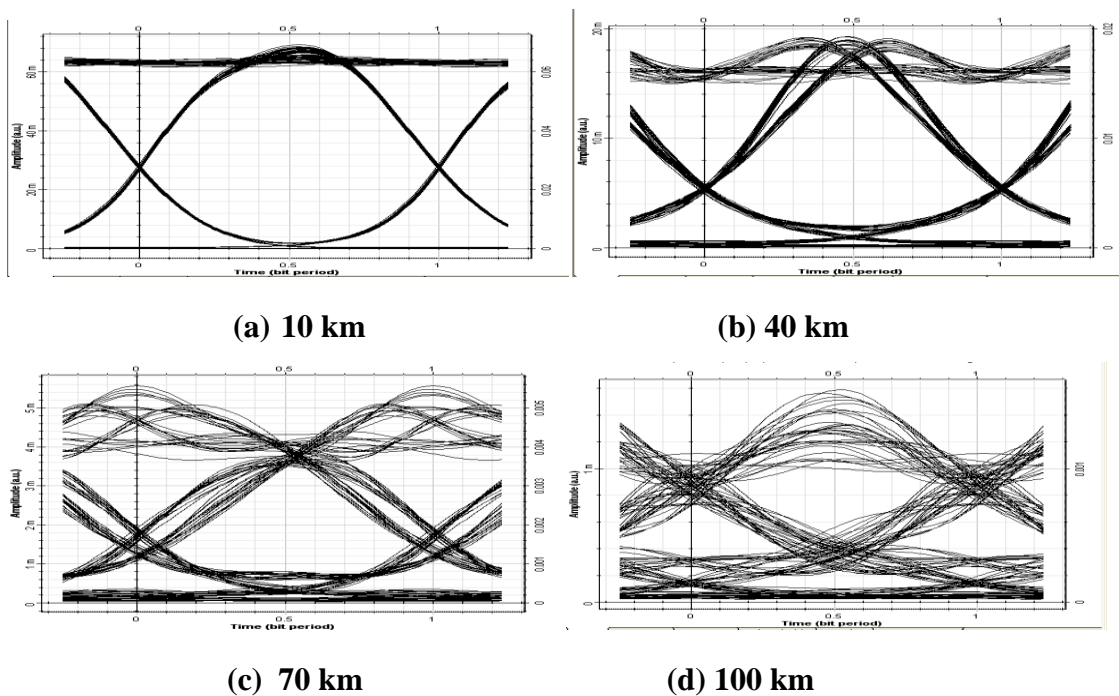
**Tableau 3. 11 :** Taux d'erreur binaire (BER) et facteur de qualité (Q) et OSNR vs de la distance de SMF.



**Figure 3. 4:** Le taux d'erreur (BER) en fonction de la distance de SMF.



**Figure 3. 5:**Facteur de qualité Q (dB) en fonction de la distance de SMF.



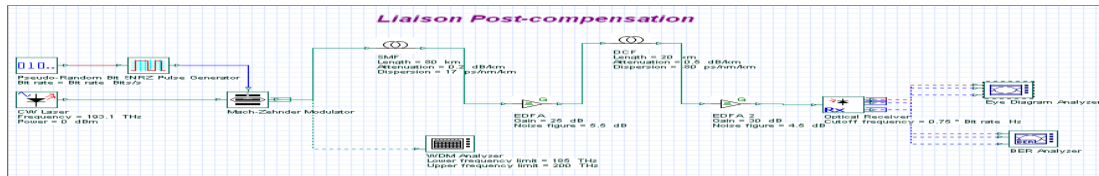
**Figure 3.6:** Les diagrammes de l'œil en fonction de la distance de SMF.

À travers les résultats obtenus dans diagramme d'œil, nous remarquons que la transmission du signal est de mauvaises qualités. On peut dire que la performance d'une liaison optique peut être détériorée à cause de l'augmentation de la distance de la fibre optique.

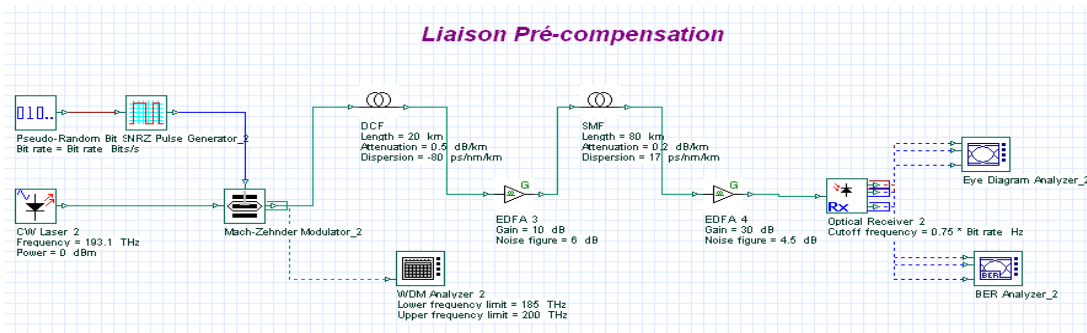
Afin d'améliorer la performance et la qualité de la liaison optique simple qui a été suggéré dans la figure 3.3 nous avons préconisé comme solution l'incération d'une fibre optique à dispersion chromatique DCF et amplificateur optique de type EDFA.

**Note :** on garde les même données du système précédant, sauf que nous ajoutons un autre fibre DCF caractérisée par une dispersion chromatique de -80 ps/nm/km et une atténuation de 0.5db/km et des amplificateur EDFA avec un débit de système de 20Gbps.

La fibre DCF peut être utilisée pour deux configurations, à savoir : pré-compensation (Prc) et Post-compensation (Poc).



**Figure 3. 7:**La solution proposée pour la liaison optique simple par la configuration Poc.



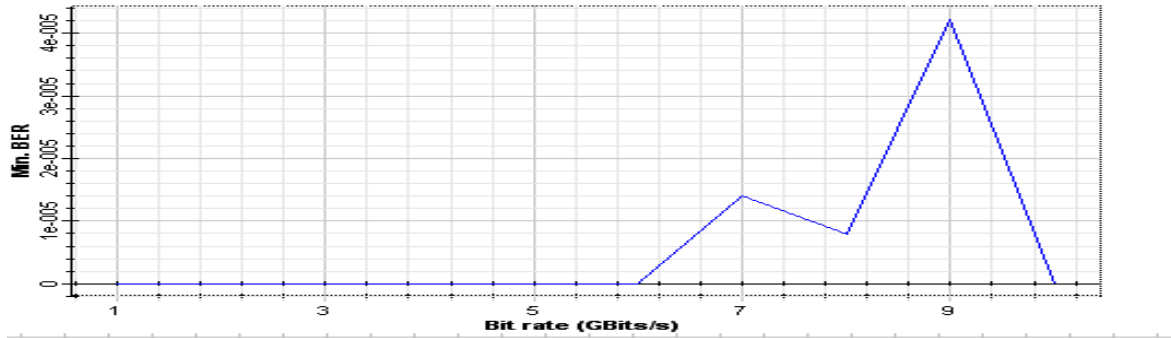
**Figure 3. 8:**La solution proposée pour la liaison 3 optique simple par la configuration Prc.

Après la simulation des deux configurations de la liaison optique illustré précédemment sur les figures 3.7 et 3.8, nous avons enregistré les résultats obtenus dans le tableau 3.2 présentent respectivement la qualité de liaison optique présenté précédemment avant et après compensation de la dispersion chromatique.

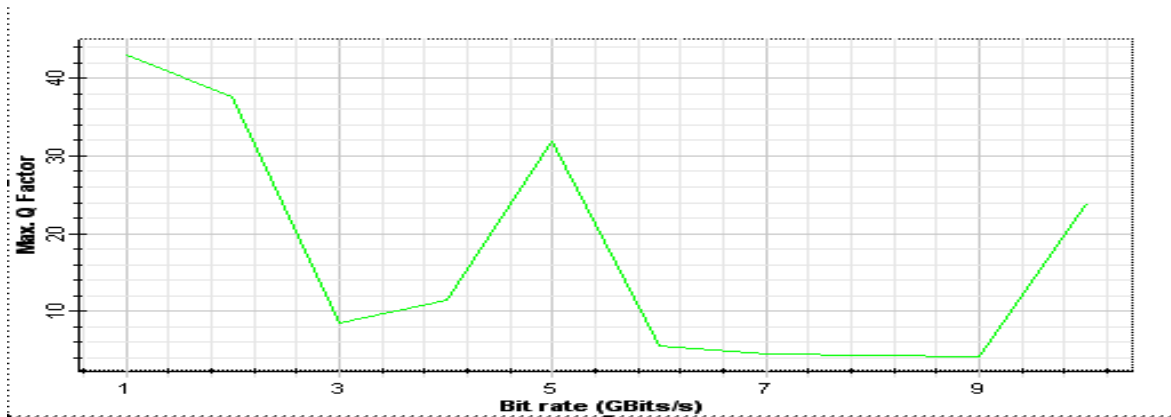
Débit (Gbps)	Avant compensation			Après compensation : (PoC)			Après compensation : (PrC)		
	Q	BER	OSNR	Q	BER	OSNR	Q	BER	OSNR
10	0	1	32.797	24.218	$6.4 \times 10^{-130}$	32.680	2.809	0.001	32.791

20	0	1	29.647	10.60 1	$1.3 \times 10^{-26}$	29.597	2.515	0.004	29.813
40	3.433	0.0002	20.717	3.141	0.006	21.137	0	1	21.139

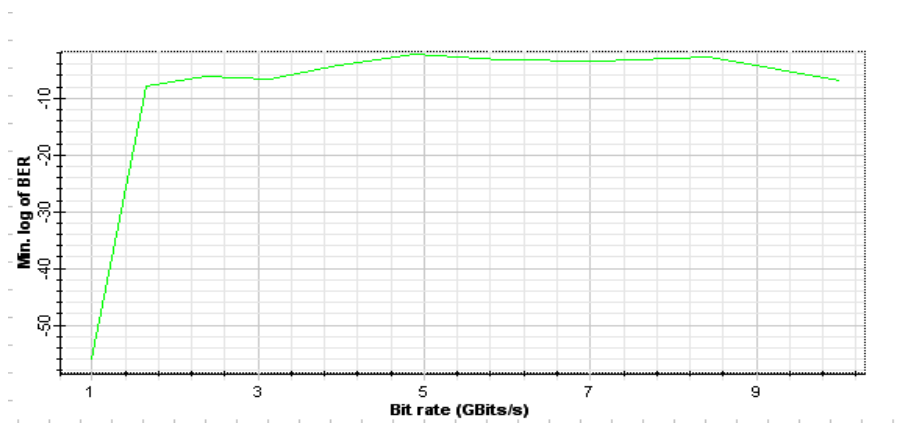
**Tableau 3. 2:** les performances avant et après la compensation vs débit de transmission.



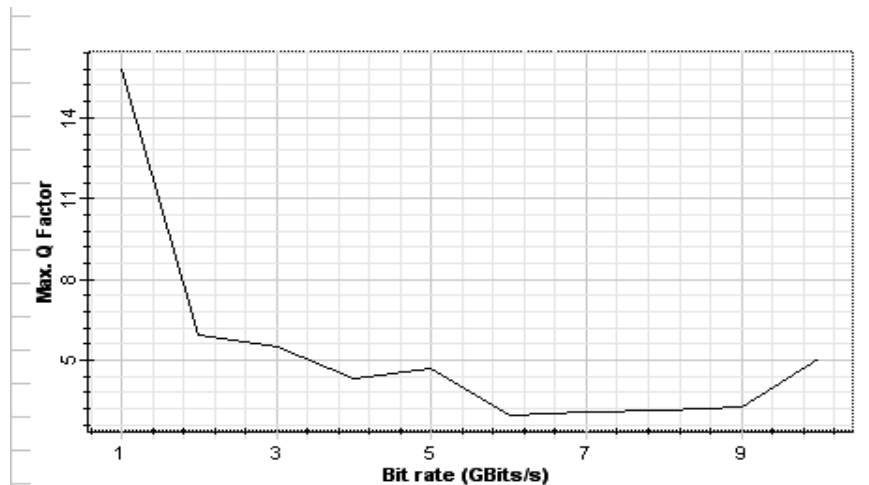
**Figure 3. 9:**Facteur de qualité (Q) dB en fonction du débit de la transmission (Poc)



**Figure 3. 10 :** Le taux d'erreur binaire en fonction du débit de la transmission (Poc).



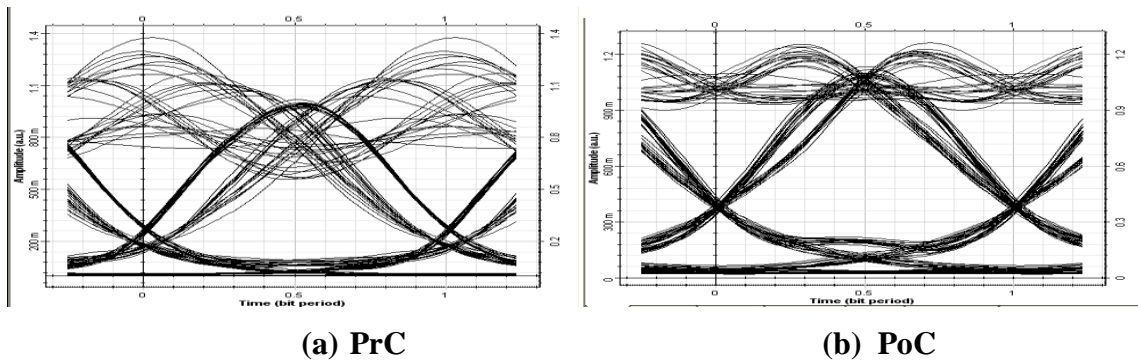
**Figure 3. 11:**Facteur de qualité (Q) dB en fonction du débit de la transmission (Prc).



**Figure 3.12: Le taux d'erreur binaire en fonction du débit de la transmission (PrC).**

À partir de ce résultats ,il est tout à fait claire que la meilleur qualité de transmission est obtenu avec la configuration Post-compensation (PoC) que donne le meilleur taux d'erreur binaire ainsi que le meilleur facteur de qualité par rapport à ceux des deux autre configuration à savoir :avant la compensation et Pré-compensation (PrC).

D'après la figure 3.13 et les résultats obtenus par le tableau 3.2, nous remarquons que la transmission du de bonne qualité par rapport à la figure 3.6 **(le cas (d) 100 km)**.



**Figure 3.13:Diagramme d'œil en sortie du récepteur pour les deux configurations :**

Comme conclusion, nous avons constaté que la configuration PoC est une solution plus fiable pour résoudre le problème de l'atténuation et la dispersion chromatique pour la liaison optique WDM lorsque le débit est accru.

### 3.8.2 Le deuxième scénario : Application d'une configuration adoptée sur une liaison optique UDWDM à 32 canaux

Dans ce scénario, on s'intéresse à étudier comment augmenter la capacité d'une liaison optique simple qui proposée sur la figure 3.3 .Pour cela en utilisant la technologie WDM avec la configuration Poc.

Nous avons bien sélectionné la configuration de Poc puisque est réduire le taux d'erreur lorsque vous transmet des données, et nous avons constaté que cette dernière est la meilleure solution pour corriger les effets de la dispersion chromatique.

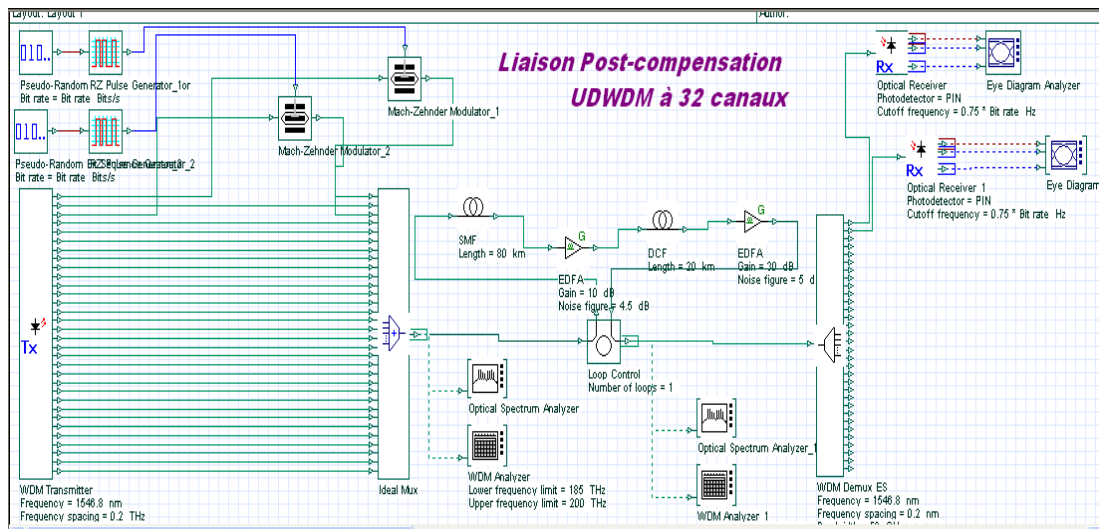
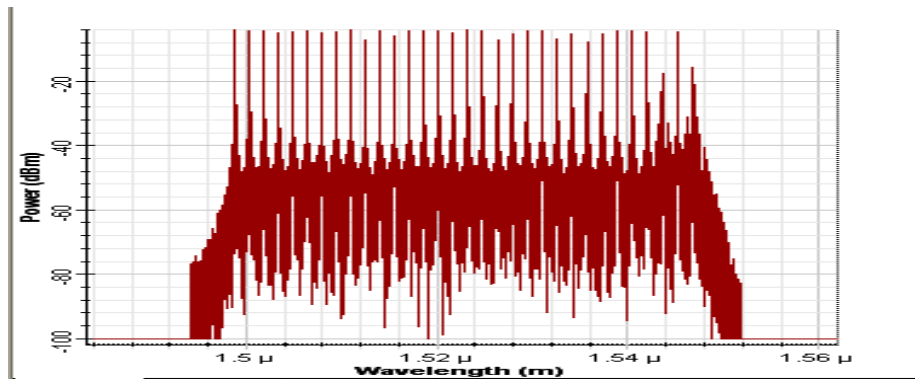


Figure 3. 14:Liaison UDWDM à 32 canaux.

La figure 3.14 présente un système optique UDWDM à 32 canaux de débit de transmission égal à 40 Gbps avec la configuration Poc. Dans cette section nous avons savoir une type de norme da la technologie WDM qui est : la norme UDWDM.

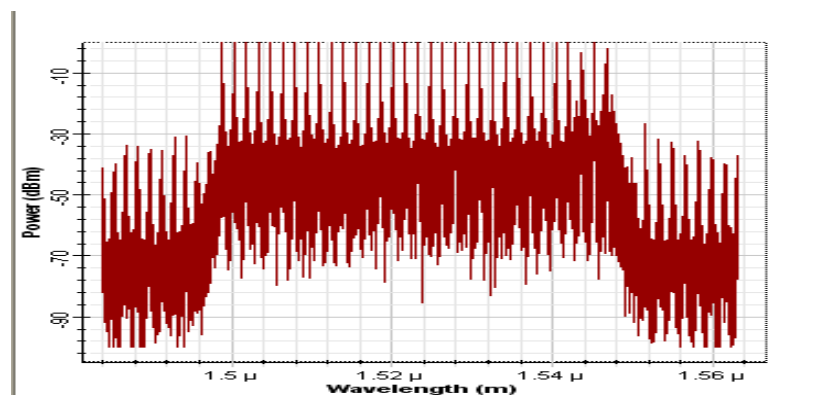
Le choix de longueurs d'ondes est très importants dans nos études de la technologie WDM pour cela, nous avons identifié 32 longueurs d'onde UDWDM donc longueur d'onde sont respectivement : 1546.8nm jusqu'à 1553.2 nm. On noté que l'espaceing entre canaux pour le système UDWDM est 0.2nm.

La figure 3.15 montré le spectre des 32 canaux multiplexés à la sortie du multiplexeur.



**Figure 3. 15:Signal de sortie du multiplexeur.**

La figure 3.16 montre le spectre optique après l'amplification.



**Figure 3. 16: Signal de sortie du multiplexeur.**

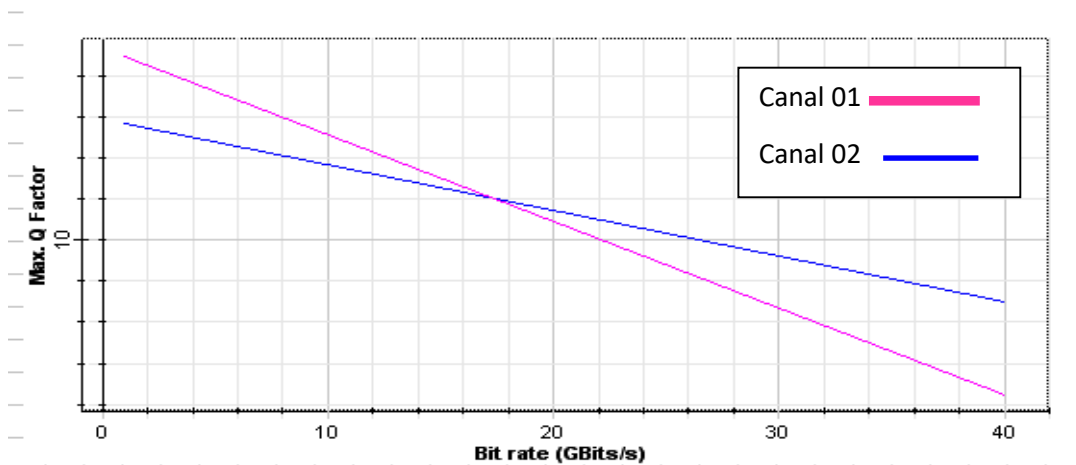
Après avoir comparé les deux graphiques, on observe que la valeur de l'intensité a été amplifiée sans remodeler le spectre du signal optique après amplification, ce qui prouve que le system a atteint la fonction de d'amplification optique.

*Pour étudier les performances du notre système, on va effectuer une étude juste pour deux canaux le première canal et le deuxième canal, à 8Gbit/s ,12Gbit/s ,15Gbit/s et 20Gbps. Pour chaque simulation on va visualiser le diagramme de l'œil, les valeurs du taux d'erreur binaire BER et du facteur Q, OSNR.*

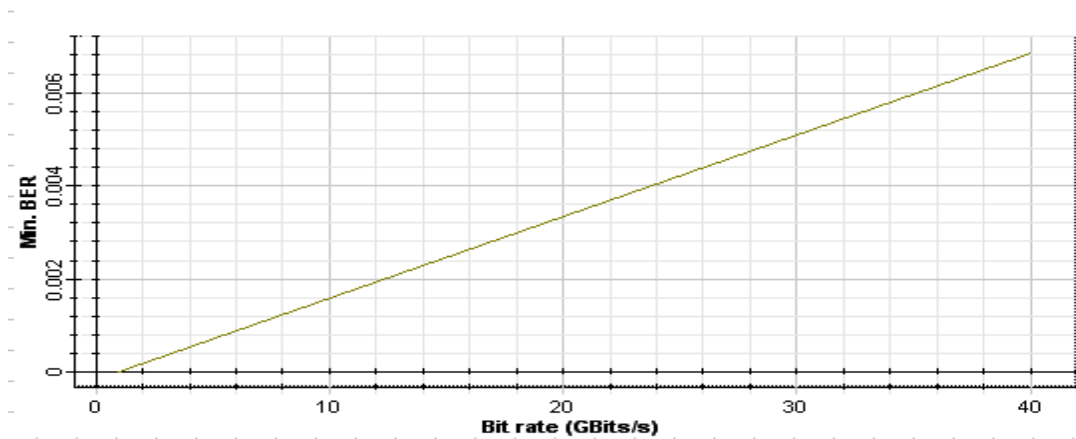
Après simulation, Les résultats du facteur de qualité et du BER sont décrits dans le tableau suivant :

	Le premier canal			Le deuxième canal		
	Facteur Q	BER	OSNR	Facteur Q	BER	OSNR
8Gbps	12.80	$7.80e^{-39}$	28.18	12.30	$3.97e^{-35}$	37.92
12Gbps	11.45	$21.04e^{-33}$	20.72	9.03	$7.41e^{-20}$	34.19
15Gbps	10.98	$2.11e^{-28}$	25.15	4.46	$1.32e^{-21}$	32.34
20Gbps	3.05	0.0008	15.11	4.48	$6.20e^{-7}$	30.78

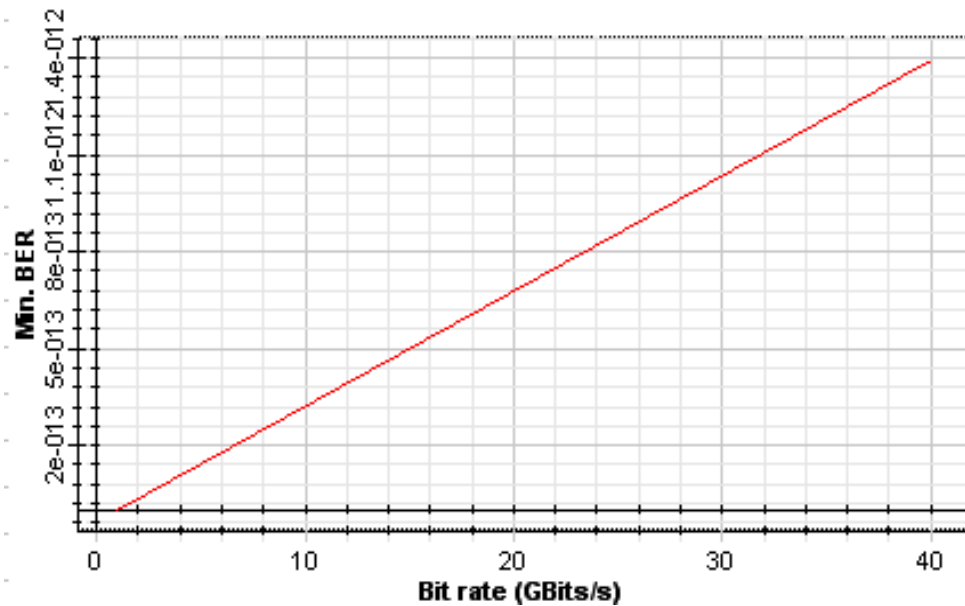
*Tableau 3. 3: Taux d'erreur binaire BER et le facteur de qualité Q pour les deux canaux.*



*Figure 3. 17: le facteur de qualité Q pour le deux canal.*



*Figure 3. 18: Le taux d'erreur binaire BER pour le premier canal.*



*Figure 3. 19: Le taux d'erreur binaire BER pour le deuxième canal.*

### 3.8.2.1. Résultats obtenus

**Le première résultat :** nous avons constaté que pour une variation de longueur d'onde pour le système UDWDM, le taux d'erreur binaire subit un changement considérable .Dans ce cas nous avons remarqué que le BER est augmentée via l'augmentation de débit.

**Le deuxième résultat :** on remarque que l'augmentation de débit à une influence sur la qualité de transmission, plus le débit augmente plus on à une dégradation du facteur de qualité.

**Le troisième résultat :** à partir des résultats (1er et 2ème), nous avons noté que notre système UDWDM proposé donne de meilleure performance dans le cas où la valeur du débit maximum pour chaque longueur d'onde égal à 15 Gbps donc la capacité maximale de la liaison optique UDWDM proposée sur la figure 3.15 est de 450 Gbps (il ya 32 canaux donc  $15 \times 32 = 480$ ).

L'étude des diagrammes de l'œil montre que la qualité de signal reçu à travers l'architecture proposée est acceptable jusqu'à Gbps. Cependant, à partir de Gbps jusqu'à Gbps, la qualité de transmission du signal subit une dégradation, donc l'œil est fermé en raison de la dispersion chromatique.

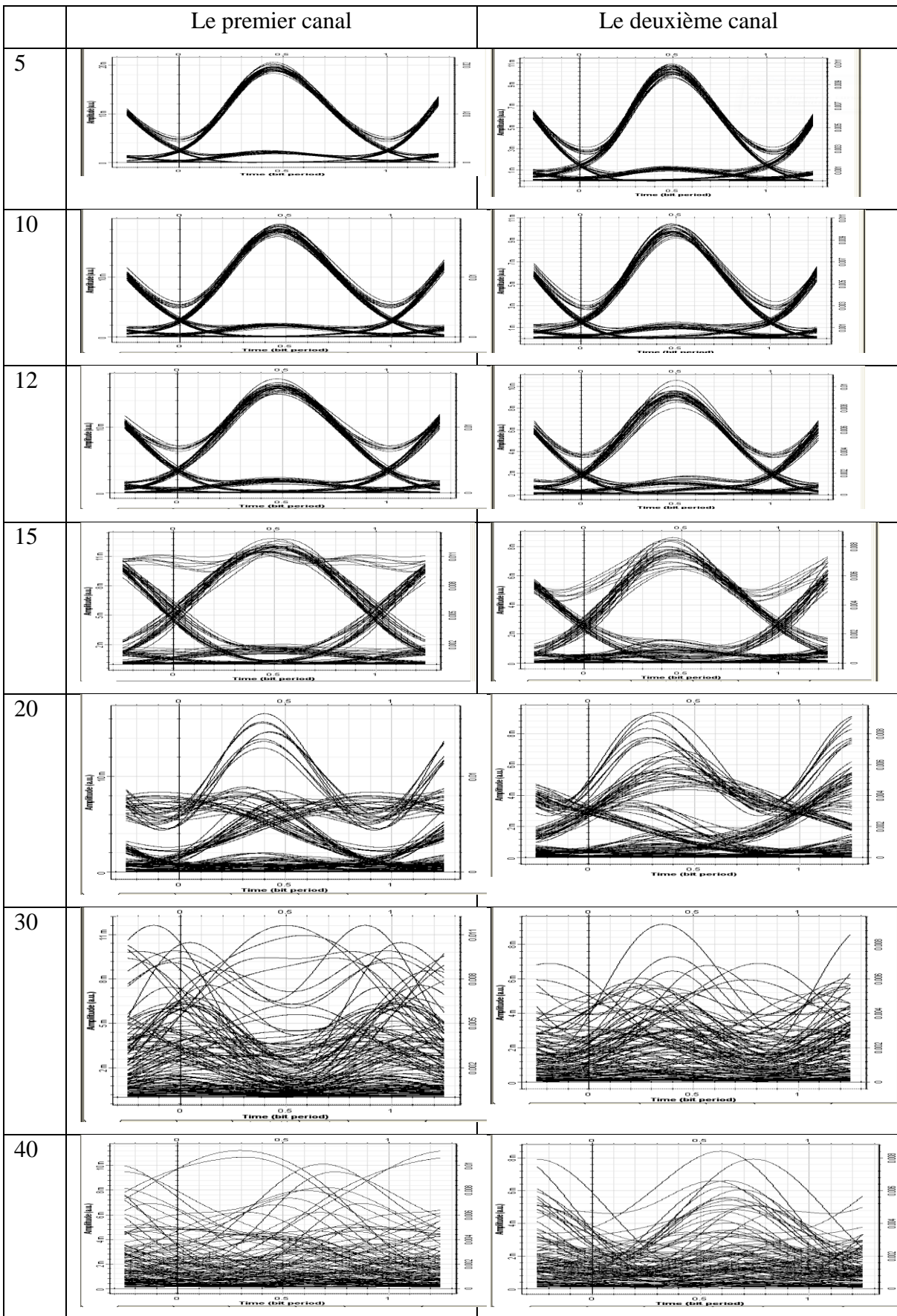


Tableau 3. 4 : Diagramme de l'œil pour les deux canaux pour différentes débit.

### **3.9 Conclusion**

Le dernier chapitre nous a fait savoir que la technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est une solution prometteuse pour améliorer les réseaux longue distance et augmenter la capacité de transmission de données. Cette recherche montre que l'évaluation des performances de la liaison optique UDWDM proposée est jugée par le facteur de qualité Q et le taux d'erreur sur les bits BER, OSNR et d'autres normes, qui permettent aux ingénieurs de surveiller la qualité sonore. Réseau et déterminer que toute dégradation peut affecter la qualité de la transmission des données



***Conclusion générale***



Ce projet à consisté à l'étude d'une liaison optique à très haute débit qui utilise le multiplexage en longueur d'onde (WDM). On utilise la technologie WDM pour améliorer la capacité de la transmission optique. Il existe de nombreuses solutions pour appliquer le concept de WDM, dans ce travail nous avons utilisé le système de télécommunication UDWDM.

L'étude de ce projet à comporté trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons fait une description détaillée sur la fibre optique et leurs types. Dans un seconde temps nous avons étudé la chaîne de transmission optique ainsi qu'au fonctionnement de chaque élément composant celui-ci.

Dans le deuxième chapitre l'étude était porté sur les réseaux d'accès en télécommunication et sur la description des réseaux fibrés FTTX, notamment les réseaux optiques passifs PON, leur principal composant constitutif. Et nous avons décrit les différents types de multiplexage.

Dans le dernier chapitre logiciel de simulation OptiSystem à été utilisé pour étudié, évaluer et consacré les différentes simulations de système de transmission optique qui à été proposée présida

Le premier scénario qui nous avons simulé est pour conception d'une liaison optique simple à haute début égal à 10 Gbps. Cette simulation montré que il ya une dégradation de qualité de transmission dues au phénomène d'atténuation et la dispersion chromatique. Comme une solution on a utilise une fibre optique compensatrices DCF et un amplificateur optique de type EDFA, pour ce faire nous avons basé sur deux configuration : la configuration PoC et la configuration PrC. D'après cette simulation nous avons constaté que la meilleure configuration pour résoudre le problème de dispersion est la configuration Poc.

Le système de télécommunication UDWDM à été consacré pour augmenter la capacité de système de transmission (le premier scénario) comme résultat le début maximale pour chaque canal pour le système UDWDM ou système 15 Gbps, donc la capacité maximale de système UDWDM propose dans ce travail égal à 480 Gbps.

En résumé l'améliorer de la capacité d'un système de transmission il est possible pour deux investigations :

- Augmenter le débit de longueur d'onde.
- Augmenter le nombre de longueur d'onde pour réduire l'espacement entre les canaux.

Le travail de ce mémoire est montré le potentiel et limite de la technologie WDM. On s'intéressera à étude d'autres techniques pour augmenter la capacité de réseau WDM. Comme perspectives nous allons suggérer d'autre technique suivant : UDWDM/DWDM, UDWDM/CWDM, UDWDM/DWDM/CWDM et les systèmes hybrides WDM/TDM pour les réseaux a long distance.



*Référence bibliographie*



## *Site Web*

- [1]. Caractérisation d'une fibre optique dopée terres rares Physique.unice.fr  
<http://Physique.unice.fr>
- [6]. Connecteur fibre optique. wikipedia. [https:// fr.m.wikipedia.org](https://fr.m.wikipedia.org).
- [7]. optical-attenuator.html . <https://www.empowerfibre.com/fr>.
- [14]. Réseau en bus (informatique) . Wikipedia. <https://fr.m.wikipedia.org>
- [15]. Réseau en étoile . Wikipedia. <https://fr.m.wikipedia.org>.
- [16]. Réseau métropolitain. Wikipedia. <https://fr.m.wikipedia.org>.
- [18]. Réseau étendu . Wikipedia. <https://fr.m.wikipedia.org>.
- [19]. Réseau personnel . Wikipedia. <https://fr.m.wikipedia.org>.
- [23]. Lusteau, Franck. Techniques de codage sur fibre optique ou paire torsadée ", Mémoire de l'examen probatoire en informatique.  
<http://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Acceuil.htm>. 13 décembre 1999.
- [24]. sr-tel. <http://www.sr-tel.fr/glossaire.html>.
- [28]. itbundle.net. <http://itbundle.net/archives/2211>.

## *Cours et Livres*

- [4]. BENATIA, Djamal. Cours de la matière onde et propagation. 3<sup>ème</sup> Année Licence Télécommunication.
- [5]. Télécommunication Transmission numérique -1-. s.l. : Centre de perfectionnement de Sonatrach
- [8]. Pr. REBIAI-BENAHMED, Saida. Composants optoelectroniques. s.l. : esience.
- [9]. Chluda et Cédric. Bruit Basse et Moyenne Fréquence des amplificateur. Science et Technique du LANGUEDOC. 2003.

- [10]. VERNEUIL, Jean –Louis. Simulation de systèmes de télécommunications par fibre. Université de limoges. novembre 2003. pp. 134-136.
- [13]. Piere, Lecoy. Télécom sur fibres optiques. Vol. 3ème édition revue et augmentée.
- [20]. MRABET, Enseignant : HICHEM. Cours Réseau d'accès optique. s.l. : Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis, 2010-2011.
- [21]. Septembre 2009-43, rue de Meuniers, 94300 Vincennes -Etude de chiffrage pour le développement du très haut débit en aquitaine-.
- [22]. BENHADJA Ahmed, « Système de transmission numérique », ITO, Nov.2007.
- [25]. C.SERVIN, « Réseau et Télécoms », Edition Dunod, 2008.
- [26]. Eisenstein, D. Dahan and G. Numerical comparison between distributed and discrete amplification in a point-to-point 40-Gb/s 40-WDM-based transmission system with three different data formats,. J. Lightwave Technol. 20 (2002) . pp. 379–388.
- [27]. Alwayn, Vivek. Optical Network Design and Implémentation. 1-58705-105-2. ISBN : ©Cisco, 17 Mars2004, . Vol. Vol.840.
- [29]. ABOUDKHIL, A.OUZZANI et B.SOUDINI. communication optique-bruit de photodetection.

### ***Mémoire et Thèse***

- [2]. GJELLOULI, Mohamed et HAMOUDA, Abdelmadjide. L'amplification optique et son intérete majour dans les réseau des télécommunication. Technologies des communication, Université Dr.Tahar Mooulay. Saida : s.n., 2016. Mémoire de Master.
- [3]. Mlle, BERROUANE, Wassila. Etude de conception d'une chaine de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-Nitrures. Réseaux Architecture et Multimédia, Université de DJILLALI Liabes. SIDI BEL ABBES : s.n., 2018. Thész de doctorat.
- [11]. CHEMALA, Tarik et SEDDIKI, Said. Etude d'un canal de transmission tout optique. Réseaux et Télécommunications, Université Mouloud Mammeri . Tizi-Ouzou : s.n., 13

juillet 2017,. Mémoire de Fin d'Études En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electronique.

[12]. REDJDAL, Kaci. Étude d'une Chaîne de télécommunication optique. télécommunication, Université Abderahmane Mira. Bejaia : s.n., 2012-2013. Mémoire de Fin de Cycle En vue de l'obtention du diplôme de Master.

[17]. MADANI, Fethia Samia. Caractérisation et contribution des diodes LED pour la transmission par fibre optique dans un réseau local. Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, Ecole doctorale- Département d'électronique . Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister.