



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M .../GE/2021

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Présenté Par

**TALBI MAAROUF et ZENATI DOUNIA ZED**

## Etude Comparative du Multiplexage WDM et OTDM dans les Systèmes Radio sur Fibre

Soutenu le 11/07 / 2021 devant jury composé de :

Président :	BENTOUMI Mohamed	Grade MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	BENCHELLAL Amel	Grade MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENAOUALI Mohamed	Grade MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENALLOU Soltane Abedelkader	Grade MAA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020/2021

# Remerciement

Par la grâce de Dieu Tout puissant, on a pu réaliser ce travail, on ne cessera de lui adresser nos remerciements.

A monsieur Benouali. Mohamed enseignant à l'université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, qui a bien voulu nous encadrer et pour avoir été très patient avec nous en ayant beaucoup sacrifié de son temps.

On ne le remerciera jamais assez pour son soutien, ses conseils judicieux et son aide précieuse, merci infiniment.

Au terme de ce projet, on tient à remercier Monsieur Soltane Benalou. Abdelkader, enseignant à l'Université de Mostaganem, pour la qualité de son Co-encadrement, et ses directives précieuses pendant toute la durée de ce travail.

Nos profonds remerciements vont aussi aux membres du jury Madame Benchellal Amel et Monsieur Bentoumi Mohamed pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département Génie Electrique pour leurs encadrements tout le long de notre formation.

Enfin, que 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

---

# Dédicace

## « « Talbi Maarouf » »

*A ma mère tu m'as donné la vie, la tendresse la courge pour réussir.*

*Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer L'amour et la reconnaissance que je te port ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force.*

*Que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.*

*A mon cher Père la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.*

*A ma précieuse sœur « K.R », A mon cher frère « Idriss »*

*A ma cher binôme "Dounia zed".*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous les cousins Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

*Ai-je vous remercie.*

*Je tiens aussi à dédier ce travail et remercier du fond du cœur, à tous les membres du département génie électrique j'adresse mes remerciements à tous ceux que j'ai oublié de nommer.*

---

---

## « « Zenati Dounya Zed » »

*Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu*

*Je dédie ce modeste travail accompagné du profond amour*

*A la mémoire de « ZENATI BELHOUEL » qui aura être fière de moi en ce jour-là. Paix a ton âme GRAND Père*

*A ma raison de vivre, celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, a la source d'amour inaccessible, la mère des sentiments fragile qui ma bénie par ces prières ... Mamati*

*A celle qui m'a donné la vie, qui m'a soutenu et encouragée durant tous ces années d'étude ma chère mère NABILA*

*A mes deux moitiés Houria et Fatima qui ont partagées avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail merci d'être toujours l'a mes cotes quoi que je fasse ou quoi que je disse je ne pourrais jamais vous remercier pour tout ce que vous m'avais donné.*

*Au pilier de ma vie qui m'a appris ma supporter et ma dirigé mon chère père hbibi ZENATI TOUATI*

*A mes adorables sœurs*

*A mon cher grand-père, notre fierté*

*A tous les moments passés avec toi ma sœurs Randa.*

*A mes très chères frères aniss et farouk*

*A mon chère binôme « Maarouf »*

*A mes amis Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des frères et des amis sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite*

---

---

*une vie pleine de santé et de bonheur.*

*A tout l'équipe de département Samira et Abdelhadi ainsi que le  
chef de département du Génie électrique*

*Enfin, je remercie tous mes enseignants spécialement Monsieur  
Abed, Monsieur Benstalli. W, Monsieur oueld ali, vous m'avez  
constamment guidée et soutenu durant tous mes années  
universitaires.*

---

---

## Résumé

Ce mémoire, nous a permis de faire la lumière sur la fibre optique en détaillons ses propriétés, ses différents types et les éventuelles atténuations et les dispersions qui peut subir le signal tout au long de sa propagations.

<sup>2</sup> Dans ce travail on a étudié la technologie hybride dites « Radio sur Fibre » qui a été inventé pour améliorer les système sans fils à large bande, en résolvant certains problème relatif à la qualité du système sans fil et le rendre adaptable face au future exigence à venir en associant les avantage de la fibre optique reliev au signaux radio en espace libre, cette combinaison nous a permis de couvrir toute une zone avec un minimale de perte par l'attribution des technique de multiplexage tel que le multiplexage WDM et OTDM .

**Mots clés :** fibre optique, Radio fréquence, multiplexage WDM, OTDM, Optisystem

### **Abstract :**

This memory, has allowed us to make light on the optical fiber by detailing its properties, his different types and the possible attenuations and dispersions that can submit to the signal throughout its propagations.

In this work we have studied the hybrid technology called "Radio over Fiber" which was invented to improve the broadband wireless system, solving some problems related to the quality of the wireless system and make it adaptable to future requirements by combining the advantages of fiber optics with free space radio signals, this combination allowed us to cover a whole area with a minimum of loss by the allocation of multiplexing techniques such as WDM and OTDM.

**Key words :** radio over optical fiber, wavelength division multiplexing (WDM), optysistem.

---

Remerciement	
Dédicace	
Résumé.....	1
<b>Liste des figures</b> .....	4
<b>Liste des tableaux</b> .....	6
<b>Glossaire des acronymes</b> .....	7
Introduction générale .....	9

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique

<b>La transmission par la fibre optique</b> .....	12
<b>I.1 Introduction :</b> .....	13
<b>I.2 La fibre optique (FO)</b> .....	13
I.2.1. Description .....	13
I.2.2 Composition d'une fibre optique .....	14
I.2.3 Les différents types de la fibre optique .....	14
I.2.3.1 La fibre multi mode : .....	14
I.2.3.2 La fibre monomode .....	15
I.2.4 Avantages et inconvénients de la fibre optique.....	16
I.2.5 L'atténuation dans la FO .....	17
I.2.6 La dispersion dans la FO .....	18
a. La dispersion modale : .....	19
b. La dispersion chromatique.....	19
I.2.7 Système de transmission par fibre optique.....	21
I.2.7.1 Emission optique .....	22
1.2.7.2 La réception optique .....	25
<b>I.2.8 Les applications de la fibre optique</b> .....	28

## Chapitre II :Étude d'une liaison radio sur fibre

<b>II.1 Introduction</b> .....	31
<b>II.2 Les ondes radio</b> .....	31
<b>II.3 Concept de la radio sur fibre (RoF)</b> .....	33
<b>II.4 Les types de transmissions de signaux RoF</b> .....	34
II.5 Avantage des systèmes RoF .....	35
<b>II.6 Limitations des systèmes RoF</b> .....	35
II.7 Applications de la RoF .....	36
II.8 La notion du multiplexage .....	37
II.8.1 Le multiplexage optique .....	37
II.8.2 Le multiplexage temporel optique (OTDM) : .....	38
II.8.3 Le Multiplexage à répartition par code CDM : .....	38

---

---

II.8.4 Le Multiplexage en longueur d'onde (WDM).....	39
II.9 Conclusion .....	41
<b>Chapitre III :Simulation de la radio sur fibre</b>	
<b>III.1 Introduction.....</b>	<b>44</b>
<b>III.2 Le cahier des charges.....</b>	<b>44</b>
<b>III.3 Présentation du logiciel Optisystem .....</b>	<b>44</b>
III.3.1 Avantages du logiciel .....	45
III.3.2 Description des principaux critères d'évaluation de la transmission .....	46
<b>III.4 Description de la chaine de transmission Radio sur fibre RoF .....</b>	<b>47</b>
III.4.1 Le schéma générale de la liaison Radio sur fibre .....	47
III.4.3 Partie réception optique .....	50
<b>III.5 Résultats de simulation.....</b>	<b>51</b>
III.5.1 Simulation RoF-WDM .....	51
III.5.2 Effet de la variation du débit binaire et de la longueur de la fibre .....	56
A-Effet de variation du débit binaire :.....	57
B-Effet de variation de la longueur de la fibre principale :.....	58
<b>III.6 Résultats de la simulation de la tethnologie ROF avec le multiplexage OTDM 59</b>	
III.6.1 Effet de variation du débit binaire .....	59
III.6.2 Effet de variation de la longueur de la fibre principale .....	60
<b>Conclusion générale : .....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliographie : .....</b>	<b>63</b>



---

# Liste des figures

## CHAPITRE I

Figure I.1: Description de la fibre optique.	5
Figure I.2: la fibre multi mode à saut d'indice.	6
Figure I.3 : la fibre multi mode à gradient d'indice	6
Figure I.4 : la fibre monomode.	7
Figure I.5 : Effet de l'atténuation	8
Figure I.6: Les pertes de propagation de la fibre optique.	9
Figure 1.7 : Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la FO.	9
Figure I.8 : illustration des effets de la dispersion modale de polarisation.	12
Figure I.9 : Schéma de base d'une liaison à transmission optique.	13
Figure I.10 : Synoptique du module d'émission.	13
Figure I.11 : modulation directe.	15
Figure I.12 : la modulation externe.	15
Figure I.13 : la modulation mach Zehnder.	16
Figure I.14 : la photodiode PIN.	17
Figure I.15 : Représentation d'un amplificateur dopé à l'erbium.	18
Figure I.16 : Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur.	18

## CHAPITRE II

Figure II.1 : Fréquence et longueur d'onde.	23
Figure II.2 : le spectre électromagnétique.	23
Figure II.3 : Schéma synoptique d'une liaison RoF.	25
Figure II.4 : Les trois types de transmission de signaux à travers une liaison RoF.	25
Figure II.5 : Exemples d'applications de la technologie RoF.	28
Figure II.6 : Schéma synoptique d'un multiplexage OTDM.	29
Figure II.7 : schéma synoptique du CDM.	30
Figure II.8 : principe d'une liaison WDM.	31
Figure II.9 : Les systèmes WDM.	32

## CHAPITRE III

Figure III.1 : Présentation du logiciel Optisystem.	36
Figure III.2 : Schéma générale de la liaison Radio sur fibre.	39
Figure III.3 : Schéma bloc d'émission avec WDM.	40
Figure III.4 : Schéma bloc de la partie réception	41
Figure III.5 : Liaison RoF-WDM.	42
Figure III.6 : subsystem 1.	43
Figure III.7 : subsystem 2.	43
Figure III.8 : Les signaux émis.	44
Figure III.9 : les signaux reçus.	45
Figure III.10 : signal de d'entrée.	46
Figure III.11 : signal sortie RF.	46
Figure III.12 : diagramme de l'œil pour un seul utilisateur.	47
Figure III.13 : les variations de BER et Q en fonction du débit.	48

---

Figure III.14 : la variation de Q et BER en fonction de longueur.	<b>49</b>
Figure III.15 : la variation du Q et BER en fonction du débit.	<b>50</b>
Figure III.4 : variation de Q et BER en fonction de la longueur.	<b>51</b>

---

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : la comparaison entre la fibre monomode et le multi mode.	<b>7</b>
<b>Tableau II.1</b> : Les gammes d'ondes radio.	<b>24</b>
<b>Tableau III.1</b> : Effet de variation du débit binaire.	<b>48</b>
<b>Tableau III.2</b> : Effet De la variation de longueur de la fibre.	<b>49</b>
<b>Tableau III.3</b> : Effet de la variation de longueur de la fibre principale.	<b>50</b>
<b>Tableau III.4</b> : variation de Q et BER en fonction de la longueur.	<b>51</b>

---

# Glossaire des acronymes

**Note : tout ce qui est écrit en italique c'est en Anglais**

AFDE	Les amplificateurs à fibre optique dopée à l'erbium
APD	La photodiode à avalanche
BBoF	<i>Base Band over Fiber</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
Bp	Bande passante
CATV	Câble Télévision
CDM	Le Multiplexage à répartition par code
CW	<i>Constant Wave</i>
DEL	Les diodes électroluminescentes
Démux	Démultiplexeur
DFB	<i>Distributed feedback</i>
DGD	<i>Differential Group Delay</i>
DWDM	<i>Dense WDM</i>
E/O	Electro-optique
FP	Fabry-pérot
FO	fibre optique
GI-FO	La fibre multi mode à gradient d'indice
GHz	Gigahertz
IFoF,	<i>Intermediate Frequency over Fiber</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MUX	Multiplexage
MZM	Modulateur de Mach-Zender
NRZ	<i>No Return to Zero</i>
nm	nanomètres
OTDM	Le multiplexage temporel optique
O/E	Opto-électrique
PMD,	<i>Polarisation mode dispersion</i>
PDH	Hiérarchie numérique plésiochrone

---

PRBS	<i>Pseudo-random bit séquence</i>
Q	facteur de qualité
RF	radio fréquence
RFoF,	<i>Radio Frequency over Fiber</i>
RoF	Radio sur fibre
SDH	Hiérarchie numérique synchrone
SMF	<i>Single fiber mode</i>
SI-FO	Fibre multi mode à saut d'indice
TEB	Taux d'erreurs binaires
UDWDM	<i>Ultra Dense WDM</i>
WAN	<i>Wireless Area network</i>
WDM	Le Multiplexage en longueur d'onde

---

# Introduction générale

### Introduction générale :

La tendance de haut débit n'a cessé d'augmenter au cours de ces dernières décennies, vu que les communications sans fils à haut débit sont favorisées par les utilisateurs grâce à leur caractéristique polyvalence de souplesse et de mobilité.

Dans le but de garantir des services variées et évolutif à la fois les réseaux d'accès devraient être étendue pour satisfaire le nombre croissant d'utilisateur, en particulier dans les endroits public (gares, bureaux, aéroport).

Cette opération sera pratiquement réalisable par la conception des réseaux pico-cellulaires qui permettent de couvrir toute la zone géographique par plusieurs cellules de taille réduite en diminuant le nombre d'utilisateur dans chaque cellule, en raison des pertes de transmission très élevés d'un câble coaxiale la distribution des antenne peut être avantageusement remplacée par des fibres optique, l'un des principaux critères de son succès est sa largeur de bande, et en particulier les très faible pertes qu'elle possède, c'est pour cette raison la réalisation de systèmes de transmission de très grande capacité était désormais possible.

En effet, une technique hybride dite « Radio sur fibre » c'est inventé afin de garantir une vaste couverture radio, cette technique utilise les avantages et les performances de la fibre optique, ce qui facilite la distribution de données à large bande et/ou de signaux à haute fréquence dans de nombreuses stations de base.

Dans une liaison RoF, le signal est transposé sur l'amplitude ou la phase d'une porteuse optique par des transducteurs électro-optique(E/O) et puis récupéré à l'extrémité de la fibre par des transducteurs opto-électrique (O/E).

Bien que cette combinaison consiste à distribuer sur un support optique des signaux radio fréquence elle permet aussi d'offrir au-delà de 1Gbit/s pour chaque utilisateur toute en satisfaisant le besoin de la mobilité. Dans notre mémoire nous allons faire une étude sur les réseaux de distribution et d'accès à large bande par le système RoF car ils permettent facilement de diffuser des micro-ondes sur de longues distances le long de fibres optiques pour optimiser la couverture radio et ainsi amélioré le débit dans chaque cellule et éliminer les atténuations qui subissent les signaux lors de leur passage à travers les murs, l'apparition de multiplexage a encore renforcer l'évolution de cette transmission.

Dans ce cadre nous allons étudier et caractérisé le système RoF avec deux types de multiplexages WDM et OTDM, en projetant leurs performances, avantages et limitations en concluant par une comparaison entre les deux types et en tirant les meilleurs résultats.

## Introduction générale :

---

Pour ce travail on a utilisé un logiciel appropriés appelé « OptiSystem » pour calculer les performances du système RoF.

L'organisation de ce mémoire inclut trois chapitres dont le premier est consacré à la description de la fibre optique l'épine dorsale de la télécommunication et les différents composants qui entrant dans la réalisation des liaisons de transmission par fibre optique et un rappel sur les différents types de la source optique, ces avantages et ces inconvénients, ainsi les atténuations et les différents types de propagations qui subissent le signal au cour de sa propagation tels que la dispersion chromatique et modale..ect.

Dans le deuxième chapitre nous allons d'abord faire une étude sur le concept de la technologie radio sur fibre « radio-over-fiber (RoF) » et ces applications ainsi que leur architecture, on parlera par la suite des limitations qui proviennent dans le système RoF, après nous allons aborder la notion de multiplexage optique et décrire par la suit les différents types de multiplexage (OTDM ; WDM ; CDM) pour les utiliser dans le système RoF. Le dernier chapitre a été consacré à la présentation des résultats de simulation du système RoF en le caractérisant avec les deux types de multiplexage



# **Chapitre I :**

## La transmission par la fibre optique

### I.1 Introduction :

Nous prévoyons dans un proche avenir le besoin de communications sans fil à courte portée et à haute vitesse, en particulier pour les applications domestiques ou de bureau. Une habitation, un lieu de travail, une résidence hôtelière, etc., nécessitera le déploiement d'un réseau interne capable de transporter des données allant jusqu'au Gbit/s.

Par ces avantages incomparables aux autres supports de transmission, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de la révolution de la transmission des informations numériques sur les réseaux de télécommunication.

En raison de ces propriétés qui permettent une communication 100 fois plus rapide sur une très longue distance par un débit très élevés jusqu'alors impossible.

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre ; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre pour la longueur d'onde 1550 nm utilisée dans les télécommunications). Leur fibre optique était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'informations qu'un simple câble de cuivre, ce qui correspondait au rapport des longueurs d'onde utilisées [1].

Les fibres ont pour rôle principal de propager la lumière avec un affaiblissement aussi faible que possible d'un module émetteur à un module récepteur donc elles font appelle à une technologie très complexe et pointue. Dans ce chapitre nous allons tout d'abord aborder l'évolution de la transmission et les différents éléments d'une liaison par fibre optique, dans un premier lieu nous allons décrire un système de transmission optique, le principe de fonctionnement, les différents types et caractéristiques ainsi que ces avantages et ces inconvénients.

### I.2 La fibre optique (FO)

#### I.2.1. Description

La fibre optique est un moyen qui permet de transmettre des informations numériques sur les réseaux de télécommunications avec un très grand débit, elle est basée sur le principe de la réflexion / réfraction de la lumière. La présence de la lumière sera codée par le chiffre numérique "1" et son absence par le chiffre "0".

La fibre optique est un guide d'onde constitué de plusieurs couches de matériaux

diélectriques et peuvent être soit du verre soit du plastique, ces derniers sont transparents avec des indices de réfraction différents ce qui permet de confiner la lumière au voisinage du centre.

### I.2.2 Composition d'une fibre optique

La fibre optique est constituée de trois parties (figure 1.1): le cœur, la gaine, et le revêtement de protection.

- **Le Cœur** : est le canal de transmission de la lumière.
- **La Gaine** : est une couche qui entoure le cœur, elle permet de conserver les pertes des rayons lumineux.
- **Revêtement de protection** : est une couche généralement composée en plastique, qui couvre le cœur et la gaine. Il permet d'assurer la protection de la forme et la courbure de fibre [2]

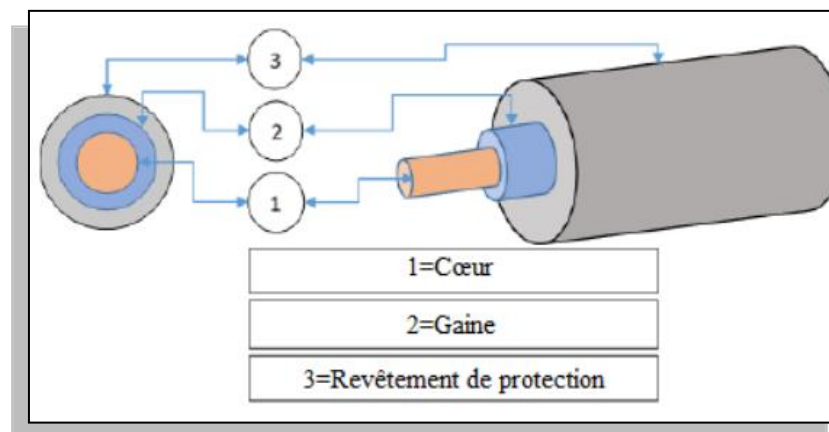


Figure I.1 : Description de la fibre optique.

### I.2.3 Les différents types de la fibre optique

Il existe deux grandes familles de la FO, le type multimode et le monomode :

- Le **multi mode** dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de silice avec plusieurs angles d'entrés.
- Le **monomode** dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière qui est parallèle à la FO en une ligne bien droite.

#### I.2.3.1 La fibre multi mode :

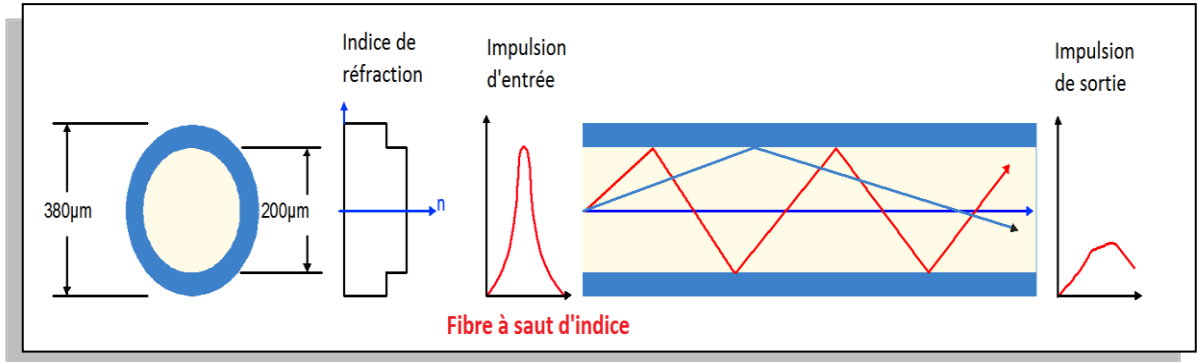
##### a. La fibre multi mode à saut d'indice (SI-FO) :

La fibre multi mode à saut d'indice est la FO la plus ordinaire qui est dédiés aux réseaux de courte distance comme les réseaux locaux de type LAN.

Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et la

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique .

gaine optique, c'est pour cette raison que les rayons lumineux se propagent par réflexion total interne en dent de scie.



**Figure I.2 :** la fibre multi mode à saut d'indice.

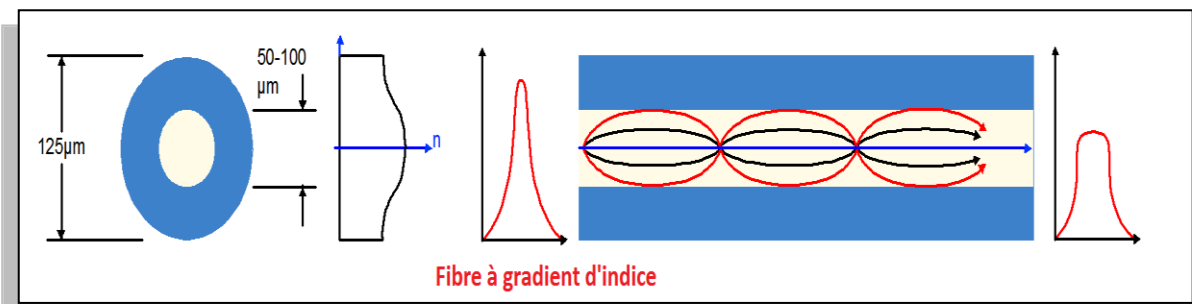
La fibre à saut d'indice a un cœur très large et par ces différents angles à l'entrée de la FO engendrent différentes trajectoires avec un temps de propagation différents, il en résulte donc un effet de dispersion intermodale.

### **b. La fibre multi mode à gradient d'indice (GI-FO) :**

La FO multi mode à gradient d'indice est utilisée dans les réseaux locaux LAN, son cœur est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction un peu plus élevé ; ces derniers influent sur la direction de propagation des rayons lumineux par leur forme elliptique.

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que celle des fibres à saut d'indice grâce à la taille intermédiaire de son cœur.

La figure ci-dessous nous montre une fibre multi mode à gradient d'indice.



**Figure I.3 :** la fibre multi mode à gradient d'indice.

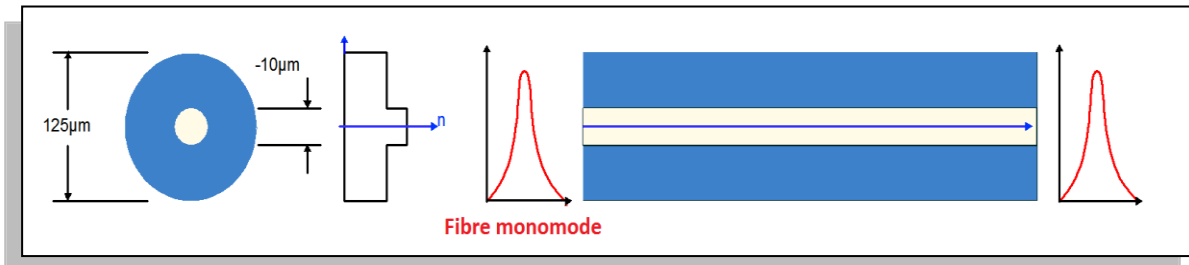
### **I.2.3.2 La fibre monomode**

A l'heure actuelle, le meilleur type de fibre existant est le monomode, c'est la plus utilisée dans les cœurs des réseaux mondiaux, il y existe un seul mode de propagation, c'est

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique .

le mode en ligne droite mais leurs couts de fabrication sont élevés.

Le câble en monomode (figure I.4) ne présente qu'un seul type de diffusion, une seule longueur d'onde dans le cœur qui est très fins de la taille d'un cheveu de diamètre de  $10\mu\text{m}$  donc il n'y aura pas d'interférences ni de chevauchement et l'atténuation est quasiment nulle, c'est ce qui fait la force, d'offrir un débit nettement supérieur a celui du multi mode.



**Figure I.4 :** la fibre monomode.

Le tableau suivant nous montre une comparaison entre le monomode et le multi mode

**Tableau I.1 :** la comparaison entre la fibre monomode et le multi mode :

<b><u>Fibre monomode</u></b>	<b><u>Fibre multi mode</u></b>
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Hauts débits, réseaux WAN	Réseaux locaux LAN
Prix élevé	Faible prix
Très grande bande passante	Bande passante raisonnable

### I.2.4 Avantages et inconvénients de la fibre optique

La fibre optique offre de nombreux avantages pour les télécommunications :

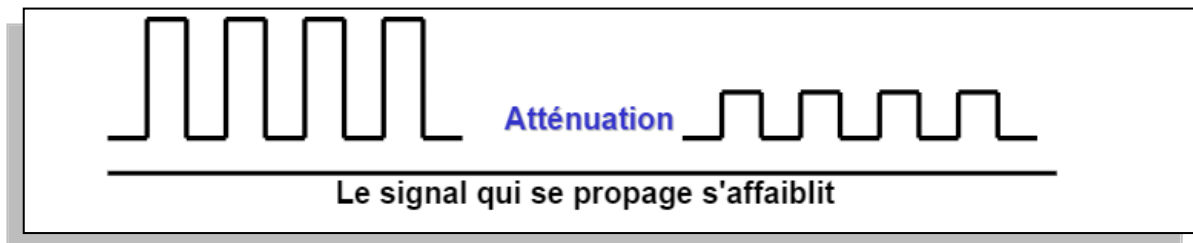
- La transmission des informations numérique sur une grande distance avec une très faible perte due généralement à la soudure du câble.
- La FO a une très grande bande passante (BP) qui peut atteindre les 100Gbit.
- Un très grand débit qui est 100 fois plus élevé par rapport au câble coaxial.
- Une vitesse 100 fois plus rapide que les autres moyens de transmission.
- Connue par son insensibilité aux perturbations radioélectriques et aux interférences électromagnétiques, donc pas d'interruption ni de parasite.
- Sa rentabilité : son long cycle de vie qui va jusque' a 20ans.

- Avantage de mise en œuvre : très petite taille, grande souplesse et un faible poids.
- Multiplexage possible de plusieurs signaux, elles permettent aux systèmes d'avoir une capacité très supérieure à celles des câbles conducteurs.

Par contre la FO ne connaît pas beaucoup de point négatif, son principal inconvénient demeure son prix, plus la difficulté de fabrication dû à sa technologie qui est bien pointue.

### I.2.5 L'atténuation dans la FO

En électronique, l'atténuation ou l'affaiblissement est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission. C'est le rapport entre la valeur efficace du signal à la sortie par celle à l'entrée de la section considérée.



**Figure I.5 :** Effet de l'atténuation.

L'atténuation, que ce soit dans les lignes de transmission ou dans la transmission Hertzienne, est une grandeur importante dans les télécommunications, dont elle est un facteur limitatif. Ce concept sert aussi en acoustique, notamment en acoustique environnementale pour le calcul de l'isolation phonique. Dans les circuits électroniques, les montages atténuateurs servent pour l'adaptation du niveau du signal entre des parties d'un appareil, sans en modifier d'autre part les caractéristiques.

Ce rapport, toujours inférieur à 1 par définition, s'exprime souvent en décibels. La définition de l'atténuation est identique à celle du gain. L'atténuation est un gain inférieur à 1, s'il est exprimé en rapport, ou négatif, s'il est exprimé en décibels.

On définit un coefficient d'atténuation par :

$$\alpha = 10/L \times \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad \dots (I.1)$$

$P_{in}$  : Puissance injectée à l'entrée.

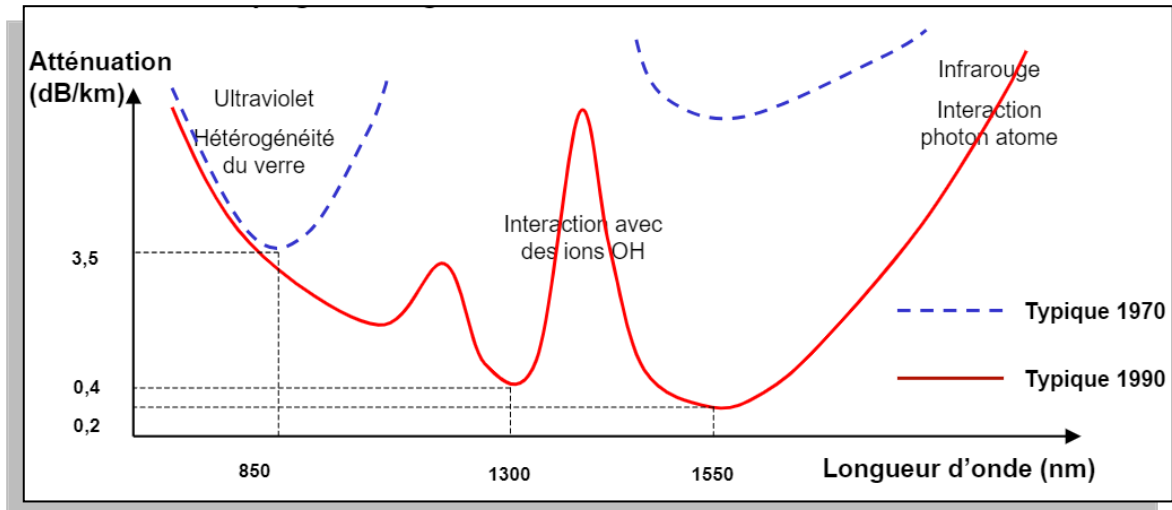
$L$  : la longueur de la fibre.

$P_{out}$  : Puissance à la sortie.

L'atténuation dépend en particulier de la longueur d'onde des impulsions lumineuses.

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique .

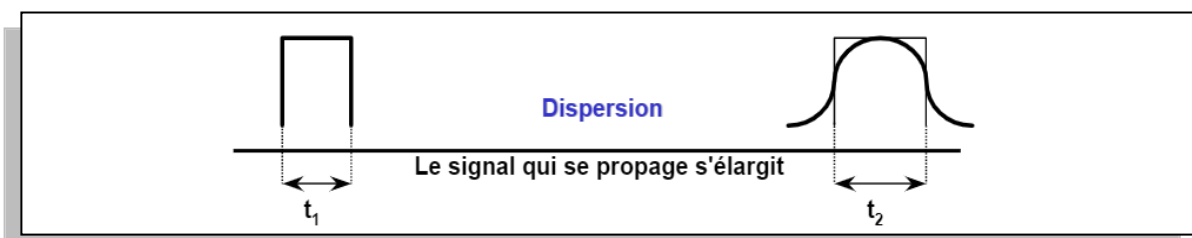
Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. La diffusion Rayleigh limite ainsi les performances dans le domaine des courtes longueurs d'onde (domaine du visible et du proche infrarouge). Un pic d'absorption, dû à la présence de radicaux OH<sup>-</sup> dans la silice, pourra également être observé autour de 1 385 nm. Les progrès les plus récents dans les techniques de fabrication permettent de réduire ce pic.



**Figure I.6 :** Les pertes de propagation de la fibre optique.

### I.2.6 La dispersion dans la FO

La propagation de l'impulsion en régime linéaire dans une FO, subit un phénomène de dispersion traduit comme un étalement temporelle et une réduction de l'amplitude de modulation des hautes fréquences de celle ci (figure I.7)



**Figure I.7 :** Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la FO.

Les phénomènes qui provoquent la déformation du signal durant sa propagation dans la fibre sont de trois types : dispersion modale, la dispersion de chromatique, et la dispersion de polarisation

### a. La dispersion modale :

La dispersion modale se produit généralement dans les fibres multi mode, elle n'existe pas dans les fibres monomodes, elle est provenue de la différence de temps de la propagation de la lumière parcouru dans la FO en fonction des chemins traversées.

Lorsqu'on utilise une fibre multimode, la lumière peut prendre plusieurs chemins (modes) lorsqu'elle se propage dans la fibre. La distance parcourue par certains modes est donc différente de la distance parcourue par d'autres modes. Lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, elle se décompose selon les différents modes. Certaines composantes (modes) arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale.

Dans le cas d'une fibre multi-mode à saut d'indice, seule la longueur du trajet de chaque mode varie ; la vitesse de chacun des modes reste identique.

Les fibres multi-mode à gradient d'indice ont précisément été développées pour répondre au problème de la dispersion modale. Puisque l'indice de réfraction n'est pas constant, la longueur du trajet et de la vitesse de propagation de chaque mode va varier. Les modes d'ordre élevé empruntent des trajets plus longs (assez éloignés de l'axe optique) où l'indice de réfraction est plus faible qu'au voisinage de l'axe optique mais avec une vitesse plus importante que les modes d'ordre moins élevés qui se propagent au voisinage de l'axe optique, donc sur des trajets plus courts mais plus lentement. La dispersion modale d'une fibre à gradient d'indice est comparativement plus faible que celle d'une fibre à saut d'indice

Dans le cas d'une fibre monomode, la dispersion modale n'existe pas (en pratique, elle est quasiment nulle). Le mode de propagation étant unique (une ligne droite), il n'y a pas de dispersion dû au fait qu'un signal peut prendre plusieurs chemins différents. [3]

### b. La dispersion chromatique

Ce terme regroupe en fait deux types de dispersion à savoir :

- **La dispersion en matériau** : les lasers et les LED s ne sont pas des sources monochromatiques. Ils produisent de la lumière dans une gamme de longueur d'ondes. Une impulsion lumineuse issue de source optique est donc composée de plusieurs longueurs d'onde. L'indice de réfraction des fibres étant différent selon la longueur d'onde de la lumière, chaque longueur d'onde se propage dans la fibre à une vitesse spécifique. Certaines longueurs d'ondes arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale (s'élargit).

- **La dispersion en guide** : Ceci est dû au fait que la lumière n'est en fait pas strictement confinée dans le cœur. Les champs électrique et magnétique constituant l'impulsion lumineuse s'étendent en fait (légèrement) à l'extérieur du cœur, donc dans la gaine. Le champ



électromagnétique "déborde" dans la gaine d'autant plus que la longueur d'onde est grande. L'indice de réfraction vu par l'onde est donc une moyenne entre de l'indice de réfraction du cœur et celui de la gaine. Les longueurs d'ondes les plus petites auront donc tendance à se propager plus lentement que les longueurs d'ondes plus grande, d'où un élargissement de l'impulsion lumineuse.

Cet effet est quasiment négligeable avec les fibres multi-modes (qui n'ont un rayon de cœur relativement grand) mais ne l'est pas avec les fibres monomodes (pour lesquelles le rayon du cœur est quasiment de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde).

Les deux types de dispersion, guide et matériau, se compensent ainsi exactement à la longueur d'onde de 1310nm donnant ainsi une dispersion chromatique nulle pour cette longueur d'onde, ce qui est le principal avantage à travailler dans la seconde fenêtre de transmission. [4]

Elle est principalement qualifiée par le coefficient de dispersion chromatique  $D$  donné par la formule suivante :

$$D = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} \quad \dots\dots(I.2)$$

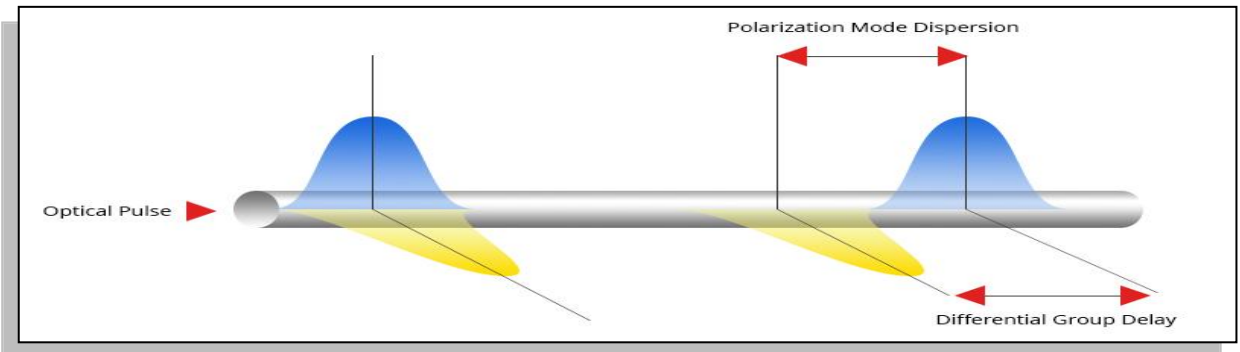
Avec  $\beta$  est le vecteur d'onde et  $\omega$  est la pulsation.

Lorsque le coefficient  $D$  est positif, c'est le régime de dispersion anormal et les impulsions se contractent. Cela peut se traduire par une instabilité de modulation provoquant l'éclatement d'une impulsion en plusieurs maxima. La dispersion de polarisation (PMD, Polarisation mode dispersion)

En principe, la polarisation dans une fibre dans une fibre parfaitement circulaire ne devrait pas évoluer le long de la fibre un petit tronçon de fibre apparaît généralement comme une lame biréfringente avec un mode dit rapide et un mode dit lent qui ont des polarisations rectilignes orthogonales. De plus, dans une fibre réelle, cette biréfringence est la direction des axes propres varient constamment et de manière incontrôlée, la polarisation devient alors rapidement imprévisible.

Ce phénomène est dû à la non-symétrie de la révolution du profil d'indice dans le cœur de la fibre, non-symétrie intrinsèque à la fabrication de la fibre et extrinsèque lors de pose de la fibre. Les origines intrinsèques peuvent être une symétrie géométrique circulaire imparfaite de la fibre (non-homogénéité de l'indice) Les causes extrinsèques peuvent être des à un écrasement, un étirement, une torsion ou une courbure de la fibre.

Ceci induit un effet photoélastique, d'où une biréfringence et une polarisation variable quand on envoie un signal sur une fibre biréfringente, sans se soucier de sa polarisation, on excite les deux modes à la fois chacun d'entre eux a sa propre vitesse de propagation. Ce décalage des temps de propagation de groupe a pour effet le dédoublement du signal à la sortie de la fibre, et donc un brouillage de l'information.



**Figure I.8 :** Illustration des effets de la dispersion modale de polarisation

La FO apparaît ainsi comme un milieu fluctuant. La valeur moyenne du retard n'est donc pas suffisante pour le décrire totalement, il faut donc ajouter des données statistiques. La mesure principale est le temps de groupe différentiel (DGD Differential Group Delay), entre les deux composantes correspondant aux états principaux de la propagation. La suite de ce chapitre va successivement s'intéresser au différent système de transmission ainsi que leurs applications.

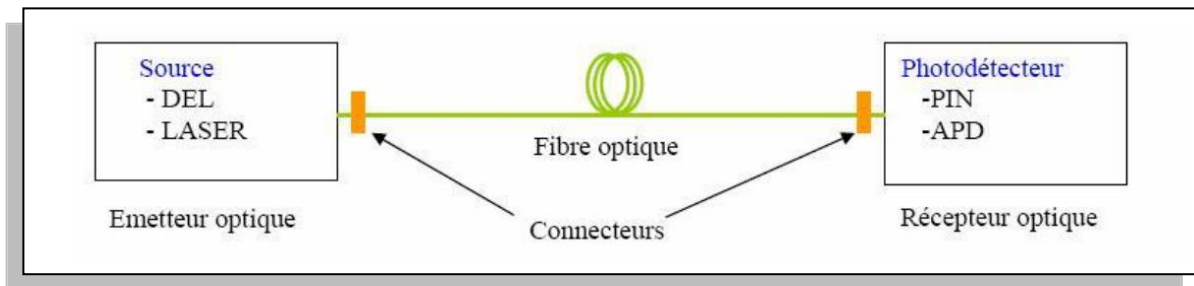
### I.2.7 Système de transmission par fibre optique

Les systèmes de télécommunication à longue distance ont des technologies ultras rapide, pour effectuer la transmission par fibre optique on possède un émetteur et un récepteur entre eux se trouve un canal optique qui comporte deux fibres optiques une pour l'émission (coté émetteur) et l'autre gère la réception.

L'information est portée sur le canal optique (la fibre), aux extrémités il y a deux transpondeurs partenaires échangent l'information entre eux, ce transpondeurs sa fonction et pour convertir les impulsions électriques en signaux optiques sur le long du cœur de la FO.

Les signaux électriques sont traduits en impulsions optique par une LED et lu par un phototransistor ou une photodiode.

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique .

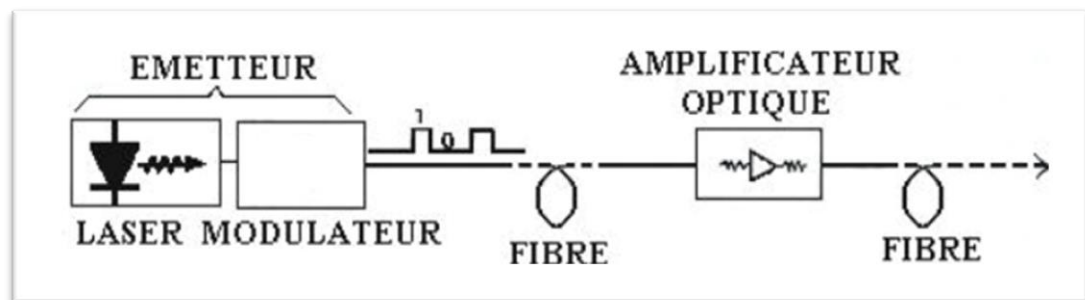


**Figure I.9:** Schéma de base d'une liaison à transmission optique.

### I.2.7.1 Emission optique

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments comme l'alimentation, le modulateur, et une source de lumière électro lumineuse ou laser.

Le rôle du module d'émission (Figure I.10) est de délivrer au canal de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données à envoyer.



**Figure I.10 :** schéma Synoptique du module d'émission.

Il existe trois types d'émetteur utilisés dans la transmission via FO :

- Les diodes électroluminescentes (DEL), ou LED, qui fonctionnent dans le proche infrarouge (850 nm),
- Les lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1 310 nm ou 1550 nm.
- Les diodes à infrarouge qui émettent dans l'infrarouge à 1 300 nm

Le facteur essentiel qui constitue le choix des émetteurs optique est les semi-conducteurs vue leur faible dimension et leur grande fiabilité de transmission, et la réalisation d'un couplage efficace « émetteur \_ fibre »

En effet, dans un semi-conducteur un électron peut transiter d'une bande d'énergie à une autre bande par l'effet de l'émission et l'absorption d'un photon.

Pour la liaison par FO à haut débit et pour les longues distances l'émetteur de lumière

le plus utilisé est la diode laser.

### ❖ La diode laser

C'est un composant à semi-conducteur , il permet la conversion d'un signal électrique en un signal optique, l'exemple classique c'est le laser Fabry-pérot (FP): dans lequel la lumière est réfléchi successivement et confinée entre les miroirs en parallèle , le spectre transmis est multi longueur d'onde à cause de la dispersion chromatique cette configuration n'est évidemment pas souhaité pour les transmissions a longue distance c'est pour cette raison ils sont conçue les lasers mono fréquence présentables la meilleur pureté spectral possible comme les laser DFB « Distributed Feedback ».

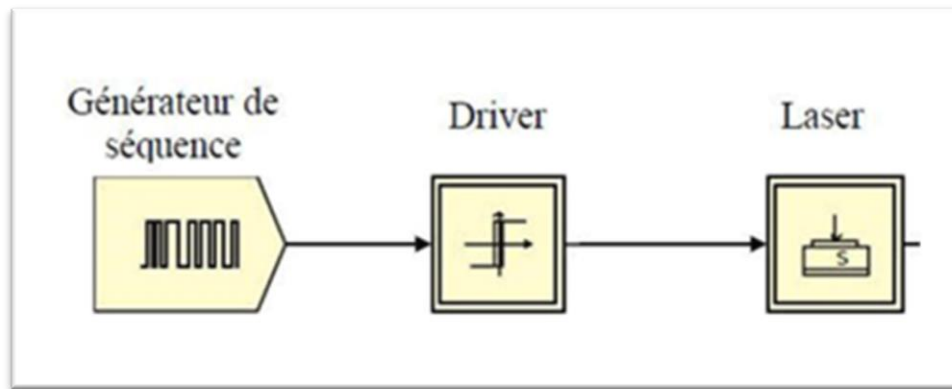
Par rapport à un laser FP, le DFB permet de générer des impulsions à spectre très étroit de l'ordre de pico mètre , pour choisir une seul longueur d'onde d'émission on a ajouté un réseau de Bragg son principe est considéré comme u réseau sélective ou un filtre optique en dessous de la zone active (figure ) le réseau de Bragg est un réflecteur de grande qualité utilisé dans les guides d'onde comme la FO, c'est un empilement de plusieurs couches de matériaux d'indice de réfraction différent, ce qui provoque une variation périodique d'un indice de réfraction effective dans le guide c'est pour cette raison les lasers DFB sont très utilisés dans les systèmes de transmission optique en raison de leur stabilité en longueur d'onde pour transmettre les informations à très haut débit sur des fibres monomode optique a longue distance .

### **La modulation :**

Le signal optique produit par la source laser doit être modulé pour qu'il s'adapte au canal de transmission « la FO » :

Il existe principalement deux techniques : la modulation directe et la modulation externe.

- La modulation directe : la modulation directe possède trois éléments (figure I.11) :

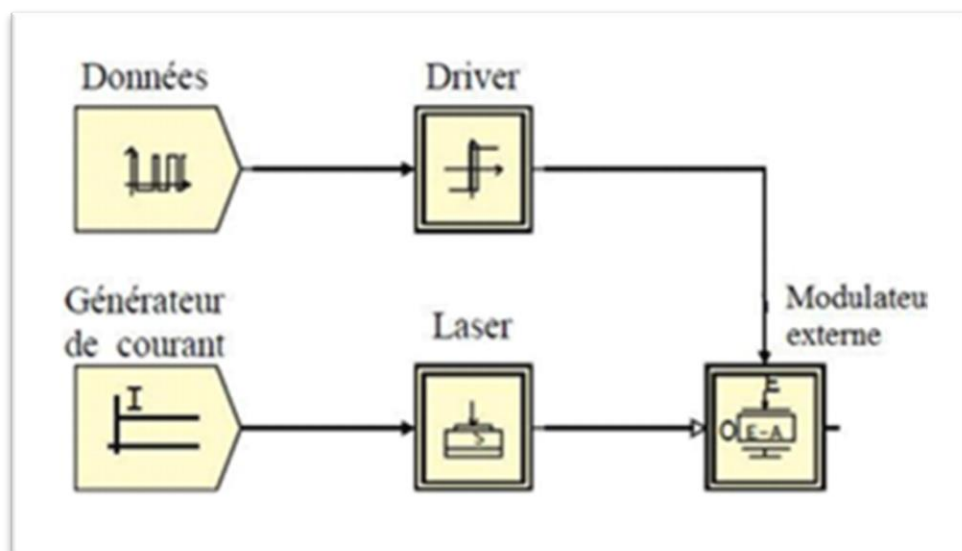


**Figure I.11** : modulation directe

Le courant injecté en entrée de laser, il va se moduler directement, à la suite de cette modulation, l'intensité de la lumière produise par le laser sera émise.

- La modulation externe : la modulation externe consiste à moduler le faisceau lumineux en sortie de laser et non pas le courant d'alimentation de l'entrée.

Cela va créer une puissance constructive qui provoque une disponibilité de la puissance optique, et une puissance destructive qui donne une absence à l'émission de la lumière.



**Figure I.12** : la modulation externe.

- Modulateur de Mach-Zender (MZM) : la MZM c'est modulateur électro-optique placer directement à la sortie de laser, il est fréquemment utilisé pour les applications de télécommunication de large bande de 10 à 40 GHz/s, il est constitué de deux

jonction PN, la lumière injecté a l'entrée est divisé en deux, on applique une tension à l'un des bras (figure 1.12), l'indice de réfraction du matériau utilisé change suivant la tension de polarisation appliqué sur ces électrodes et conduit un changement de phase optique, a la sortie du modulateur les deux ondes déphasées se combinent et interfèrent en fonction de déphasage optique introduit l'amplitude, l'onde optique est alors modulé .

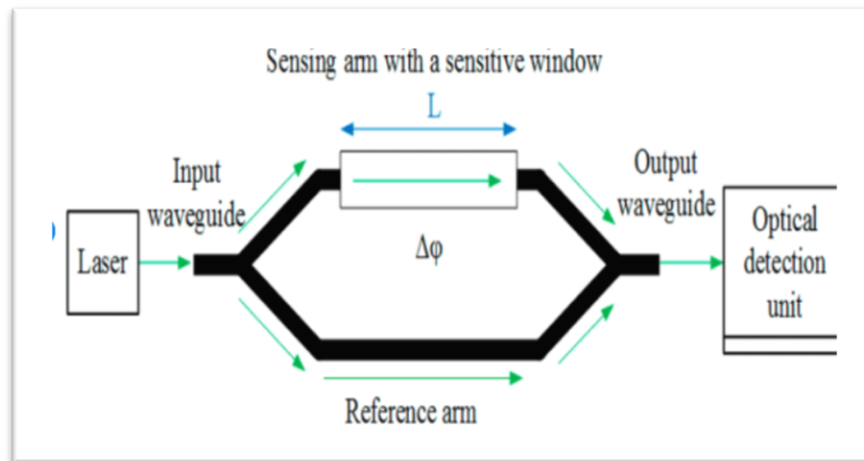


Figure I.13: la modulation mach Zehnder

### 1.2.7.2 La réception optique

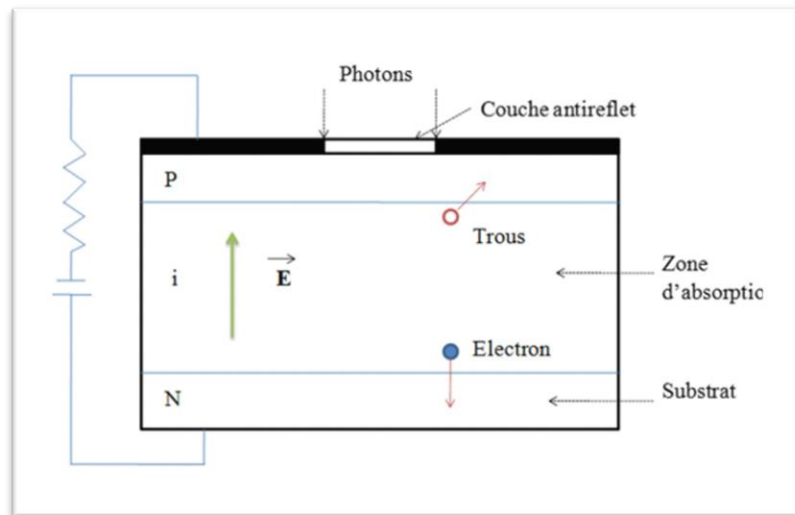
A la sortie du modulateur le signal lumineux pénètre la FO et traverse de longue distance jusqu'au module de réception, le premier élément rencontré par les photons c'est les photos détecteurs (détecteur de la lumière) ou la photodiode.

#### ❖ Les photos détectrices :

L'absorption d'un photon par un semi-conducteur donne une naissance a une paire électron trous d'où la création du courant électrique.

Il existe deux types de photodiode utilisé en télécom optique répendant à ces critères, il y a la photodiode (PIN), et la photodiode à avalanche APD.

- La photodiode (PIN) : est polarisé en inverse elle est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteurs, deux couches fortement dopées P et N entre lesquelles il existe une couche de grande résistivité presque intrinsèque d'où il existe très peu de charges mobiles, dans la région intrinsèque les photon incident crée des paires électron trous qui sont dissocier par le champs électrique intense et collecter par les électrodes, dans les régions P et N ceux les photons proches de la région photon intrinsèque crée un photo courant, les photodiode PIN sont les plus utilisées car elles sont peu couteuse et simple à utiliser avec une performance satisfaisante.



**Figure 1.14 :** la photodiode PIN

- La photodiode à avalanche APD : lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible de l'ordre de quelques nano-watts, le courant détecté est plus élevé de l'ordre de quelques nano-ampères. Ce qui se superpose au courant d'obscurité conduisant à un mauvais rapport signal sur bruit, pour augmenter ce dernier il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant l'effet de multiplication par un gain qui est le plus un photon reçu produit un électron libre et par le phénomène à avalanche cet électron va produire plusieurs électrons en conséquence ce qui va produire plus de courant donc une sensibilité plus importante

### ❖ Amplification optique :

L'amplificateur est un dispositif qui amplifie le signal lumineux sans le convertir en électrique, il est utilisé pour remplacer les répéteurs du générateur du signal, il a plusieurs caractéristiques comme le gain, la bande passante optique, la puissance de saturation du gain. Dans la télécommunication il existe deux types d'amplifications : amplificateur à fibre optique dopée (à l'Erbium) et amplificateur à semi-conducteurs.

- Les amplificateurs à fibre optique dopée à l'erbium (AFDE) :

Les éléments actifs dans ces amplificateurs sont les ions d'erbium, cet amplificateur optique amplifie la lumière grâce à l'émission stimulée si un photon réagit avec un électron dans l'état métastable, le retour de l'ion dans l'état fondamental produit un effet quantique de résonance, À partir d'un photon on en obtient ainsi deux : c'est la base de l'amplification optique. Mais l'amplification l'emporte si les photons rencontrent plus d'ions dans l'état métastable que dans l'état fondamental, Cette condition est désignée

## Chapitre I : La transmission par la fibre optique .

par le terme « d'inversion de population » et est obtenue par l'opération de pompage, Les photons de la pompe excitent les particules actives et les font passer de l'état fondamental à l'état supérieur. Ces dernières ayant une durée de vie très courte, les particules actives retombent très rapidement au niveau métastable [6]

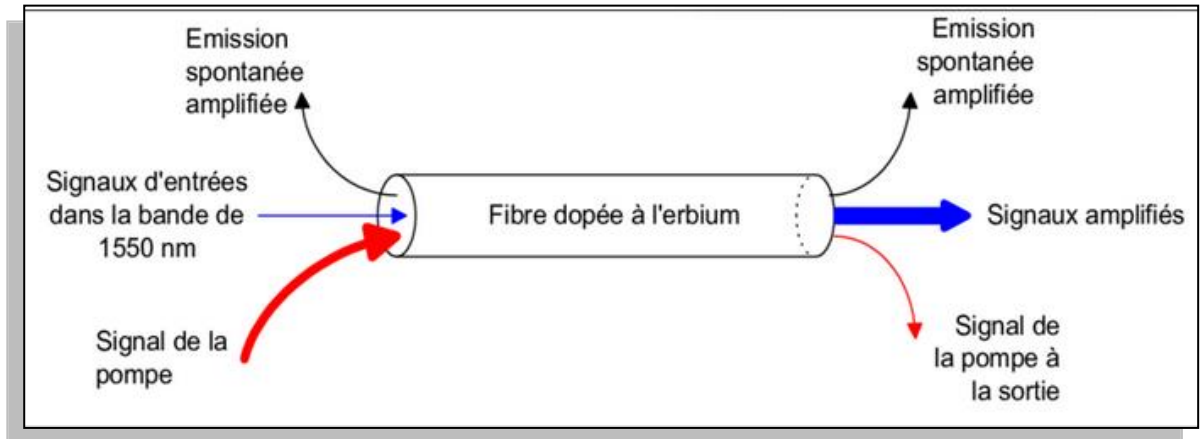


Figure1.15 : Représentation d'un amplificateur dopé à l'erbium

- Amplificateur à semi-conducteurs : L'amplification dans un amplificateur à semi-conducteur comme dans un amplificateur à fibre dopé, repose sur le phénomène d'émission stimulée. Le signal se propage dans un guide (semi-conducteur) qui présente un gain dû à une source extérieur(courant injecté) qui vient crée l'inversion de population. Les photons d'émission stimulée viennent s'ajouter au signal et l'amplifient, au même temps d'autre photons sont émis de manière non cohérente avec le signal : ils constituent l'émission spontanée

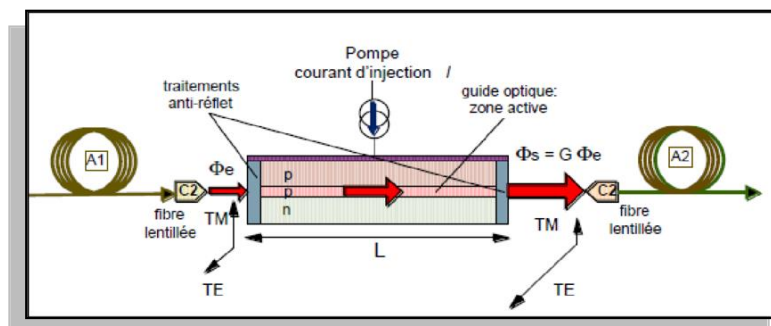


Figure1.16 : Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur

### ❖ Les filtres optiques :

Le filtrage c'est pour limiter l'occupation spectrale d'un signal, on le caractérise par sa bande passante, son domaine de fréquence pour lequel il laisse passer la lumière, en absorbant



une certaine gamme de longueur d'onde et en transmettant les autres pour donner une séparation spectrale.

### 1.2.8 Les applications de la fibre optique

#### Les télécommunications :

Pour que les informations se propagent dans des grandes distances et d'une manière rapide, les chercheurs ont préféré d'envoyer les informations par les réseaux de télécommunications qui permettent de mettre en relation un grand nombre de personnes.

de plus en plus ces derniers utilisent la FO comme moyen de transmission, cette technique a permis la réception et l'émission de données d'une manière rapide

#### Les réseaux sous-marins :

Pour avoir un réseau de télécom à forte capacité, des câbles à des milliers de Kilomètres sont posés au fond des mers partout dans le monde sont appelés « câbles sous-marins » ces réseaux offrent une très grande capacité avec un très grand débit sur une longue distance.

#### L'armée :

Par son faible poids et son insensibilité au parasite, la FO est très utilisée par les militaires, le missile Polyphème qui est un fil de FO utilisé pour relier le poste de tir à sa cible via un opérateur par une caméra embarquée.

#### La Médecine :

La fibre optique est utilisée dans le domaine de la médecine pour filmer des endroits sensibles ou inaccessibles du corps humain, du fait de la réalisation de caméra et de câbles de très petite taille.

#### Conclusion

Le principe de toute transmission de données est de faire circuler des informations entre un émetteur et un récepteur en minimisant les risques de déformation du signal réceptionné, de façon à assurer une fiabilité maximum du transfert de l'information.

La demande de débits élevés et déjà atteint la limite des solutions câblées actuelles (ligne électrique, câbles coaxial) et la fibre optique a déjà supplanté ces supports de transmission.

Dans ce chapitre on a commencé par donner des généralités sur la fibre optique ainsi que ces types tel que, les fibres monomode et les multimodes, les fibres à saut d'indice et les fibres à gradient d'indice ensuite nous avons étudié l'atténuation et la dispersion dans une

## **Chapitre I : La transmission par la fibre optique .**

---

FO, sont oublier les avantages que représente les fibres optiques et les inconvénients qui apparaissent dans leurs utilisations; ainsi que les éléments qui constituent une liaison à base de fibres optiques.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons la radio via la technologie de la fibre optique et verrons que la source optique est un composant essentiel d'une telle application.

**Chapitre II :**  
Étude d'une liaison radio sur  
fibre

### II.1 Introduction

La communication sans fil est devenue une partie intégrante de la société d'aujourd'hui, elle est l'un des domaines de développement technologique les plus actifs à l'heure actuelle. La demande continue de débits élevés au cours de ces dernières décennies a conduit un passage de la bande centimétrique vers la bande millimétrique centrée au tour de 60Ghz, Ce développement est principalement motivé par la miniaturisation des antennes et les intégrées dans les récepteurs radio. Néanmoins, la couverture radio pour ces fréquences est très restreinte, d'où on a besoin de prévoir des liaisons optiques analogiques pour étendre le réseau sans fil avec fiabilité et efficacité.

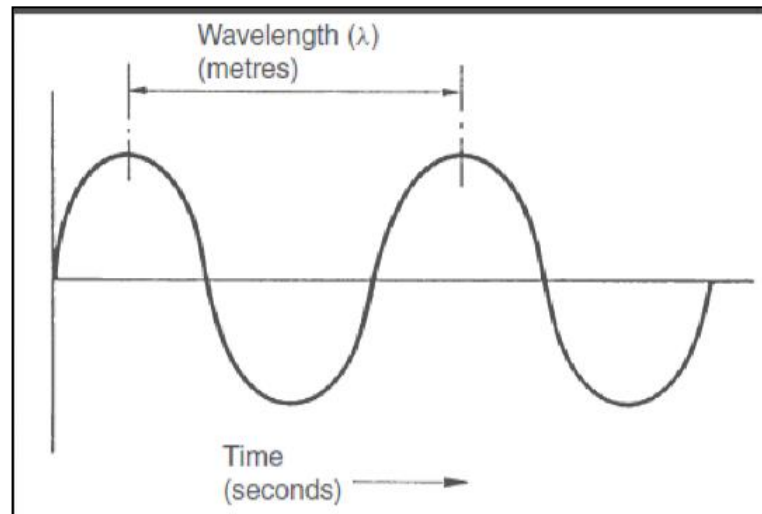
Dans ce cadre, les schémas (RoF) peuvent être appliqués pour réaliser des réseaux sans fil transparents car ils permettent de distribuer facilement des micro-ondes et des ondes millimétriques sur de longues distances le long de fibres optiques. Cette technique hybride dis « radio sur fibre » dans cette partie on va concevoir et simuler la technologie RoF pour améliorer le système sans fil à large bande en résolvant certains problèmes liés à la performance du système sans fil et le rendre flexible aux exigences futures en intégrant les avantages de la technologie RoF avec le système sans fil. Ce chapitre vise à discuter des concepts de la technologie de radio sur fibre et des techniques de transport des signaux radio sur fibre optique, y compris les différentes techniques de multiplexage (OTDM, WDM) qui ont été mises en place pour améliorer les capacités du support optique transportant ces signaux dans les réseaux d'accès.

### II.2 Les ondes radio

Les ondes radio se déplacent près de la surface de la Terre et rayonnent également vers le ciel à différents angles par rapport à la surface de la Terre. Au fur et à mesure que les ondes radio se déplacent, leur énergie se propage sur une surface de plus en plus grande. Une onde radio typique a deux composantes, une crête (partie supérieure) et un creux (partie inférieure). La distance entre les crêtes successives de l'onde est appelée longueur d'onde.

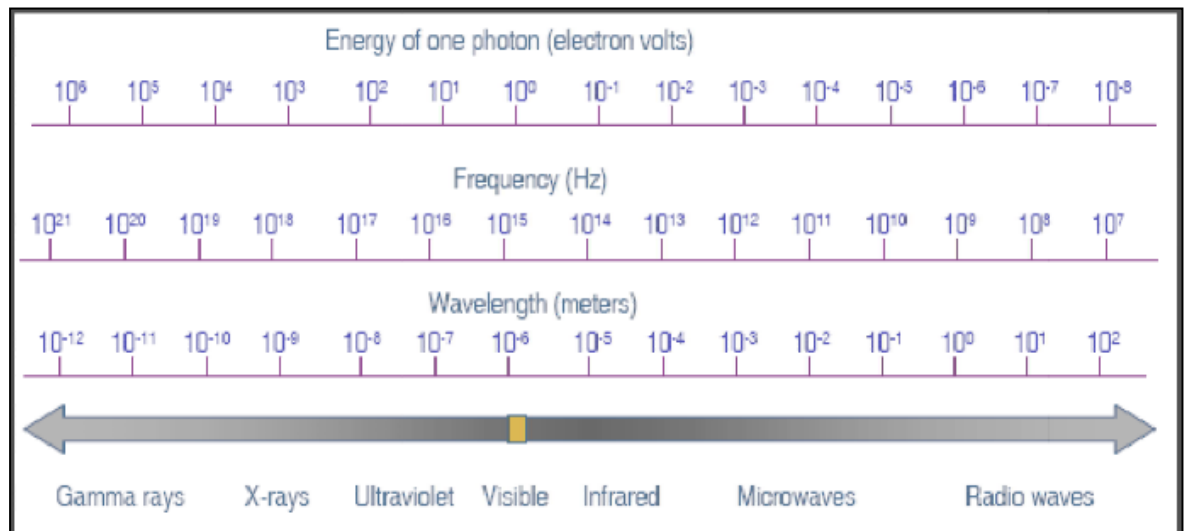
## Chapitre II : étude d'une liaison radio sur fibre

La Figure ci-dessous montre une présentation de la fréquence et longueur d'onde



**Figure II.1** : Fréquence et longueur d'onde.

Le spectre des ondes électromagnétiques est représenté sur la (Figure II.2) la partie utilisable pour la communication radio va de moins de 10 kHz à plus de 100 GHz



**Figure II.2** : le spectre électromagnétique.

**Tableau II.1** : Les gammes d'ondes radio :

<b>Frequency Range</b>	<b>Symbols</b>	<b>Symbols</b>
3-30 KHz	VLF	Very Low Frequency
30-300 KHz	LF	Low Frequency
300-3000 KHz	MF	Medium Frequency
3-30MHz	HF	High Frequency
30-300 MHz	VHF	Very High Frequency
300-3000 MHz	UHF	Ultra High Frequency
3-30GHz	SHF	Super High Frequency
30-300 GHz	EHF	Extremely High Frequency

### II.3 Concept de la radio sur fibre (RoF)

La distribution des signaux numériques tels que l'Ethernet (IEEE802.11) nécessite un convertisseur analogique/numérique, numérique/analogique, par contre il est possible de transporter le signal radio en moyen d'une fibre optique contrairement à la transmission optique classique. La solution RoF représente une technique hybride, le principe de fonctionnement de cette technique consiste à moduler un laser avec un signal analogique radio fréquence (RF) sa plage de fréquence va de 3khz à 300Ghz.

L'intérêt de la technologie radio sur fibre, est pour garantir une couverture géographique total des signaux radio fréquences et pouvoir répondre à l'augmentation en permanence de la demande de fort débit et de bande passante très élevée ainsi sa capacité à regrouper les hautes performances de la communication par voies optique et sans fil.

La figure II.3 ci-dessous représente un schéma synoptique d'une liaison RoF. Une cellule radio a l'entrée, et une autre a la sortie, un laser / démodulateur, une fibre optique se place a ces extrémités un transducteur E/O qui transpose le signal électrique en un signal optique à l'émission et un transducteur O/E qui transpose le signal optique en un signal radio a la réception, un photodétecteur.

La Figure ci-dessous présente un schéma synoptique d'une liaison RoF:



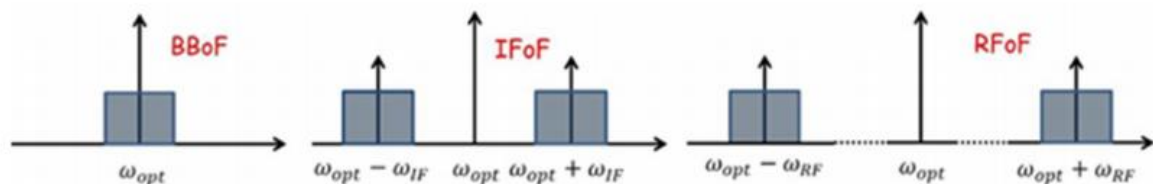
**Figure II.3 :** Schéma synoptique d'une liaison RoF.

### II.4 Les types de transmissions de signaux RoF

Nous pouvons distinguer trois types de transmission de signaux à travers la liaison optique pour les applications sans fil comme illustré sur la figure II.4:

- transmission du signal en bande de base (BBoF, Base Band over Fiber) et une transposition en fréquence après photo détection.
- transmission du signal à une fréquence intermédiaire (IFoF, Intermediate Frequency over Fiber) et une transposition en fréquence après photo détection.
- transposition directe du signal micro-onde à une fréquence radio (RFoF, Radio Frequency over Fiber) et émission directe après photo détection.

La liaison RoF permet de transporter sur la fibre optique le signal RF dédié aux applications en bande millimétriques mais cela nécessite une bande passante élevée des transducteurs E/O et O/E. En outre, la dispersion chromatique de la fibre optique a des effets plus prononcés pour la transmission RFoF à fréquence RF élevée. Le terme RoF est utilisé pour ces trois types de liaisons.



**Figure II.4 :** Les trois types de transmission de signaux à travers une liaison RoF : a) en bande de base – b) en fréquence intermédiaire IF et c) en fréquence RF.

La transmission sur fibre consiste, dans notre cas, à transposer le signal radio à une fréquence intermédiaire (IF) avant la transmission optique. Ainsi, les exigences sur les composants optoélectroniques en termes de largeurs de bande passante sont réduites et la

transposition en fréquence vers la fréquence RF est effectuée, avec un oscillateur local, à l'étage de réception électronique. [7]

### II.5 Avantage des systèmes RoF

La technologie ROF combine deux communications : optique et sans fils. Nous pouvons déterminer ses avantages par la suite :

- La fibre en silice a une faible atténuation de 0.2 pour les longueurs d'onde de 1550nm et 0.3 dB/km pour les longueurs d'ondes de 1310nm ce qui permet une amélioration de la zone de couverture
- La transparence par rapport au standard radio utilisé.
- Immunité aux interférences électromagnétiques.
- L'utilisation des systèmes RoF a un faible coût d'installation.
- Le pouvoir de réaliser le Multiple Input Multiple Output (MIMO) à l'aide de la RoF.
- Le poids des fibres est considérablement léger à celui des câbles coaxiaux classiques.
- Une très grande couverture géographique par la bande passante qui est très élevée de la fibre optique et la possibilité d'atteindre des débits de transmission supérieurs au Gbit/s.
- Le coût est moins élevé.
- Simplification de l'unité d'antenne à distance unités :
  - Petites, légères et de faible puissance.
  - Entretien et installation plus faciles.
- On peut réaliser des systèmes « Multiple Input Multiple Output » efficaces à l'aide du réseau RoF.

### II.6 Limitations des systèmes RoF

Malgré les nombreux avantages qui présentent les systèmes RoF, ils présentent certaines limitations. Ces limitations sont relativement dues à la nature analogique du signal micro-onde transmis par la liaison RoF.

- Dans les systèmes RoF à base de fibres SMF, la dispersion chromatique peut limiter la longueur des liaisons par fibre et peut également provoquer une dégradation de phase entraînant une augmentation du bruit de phase de la porteuse RF.
- Dans les systèmes RoF basés sur des fibres multimodes, la dispersion modale limite sévèrement la largeur de bande et la distance des liaisons disponibles.
- La non-linéarité provoquée par les différents éléments qui constituent la liaison RoF

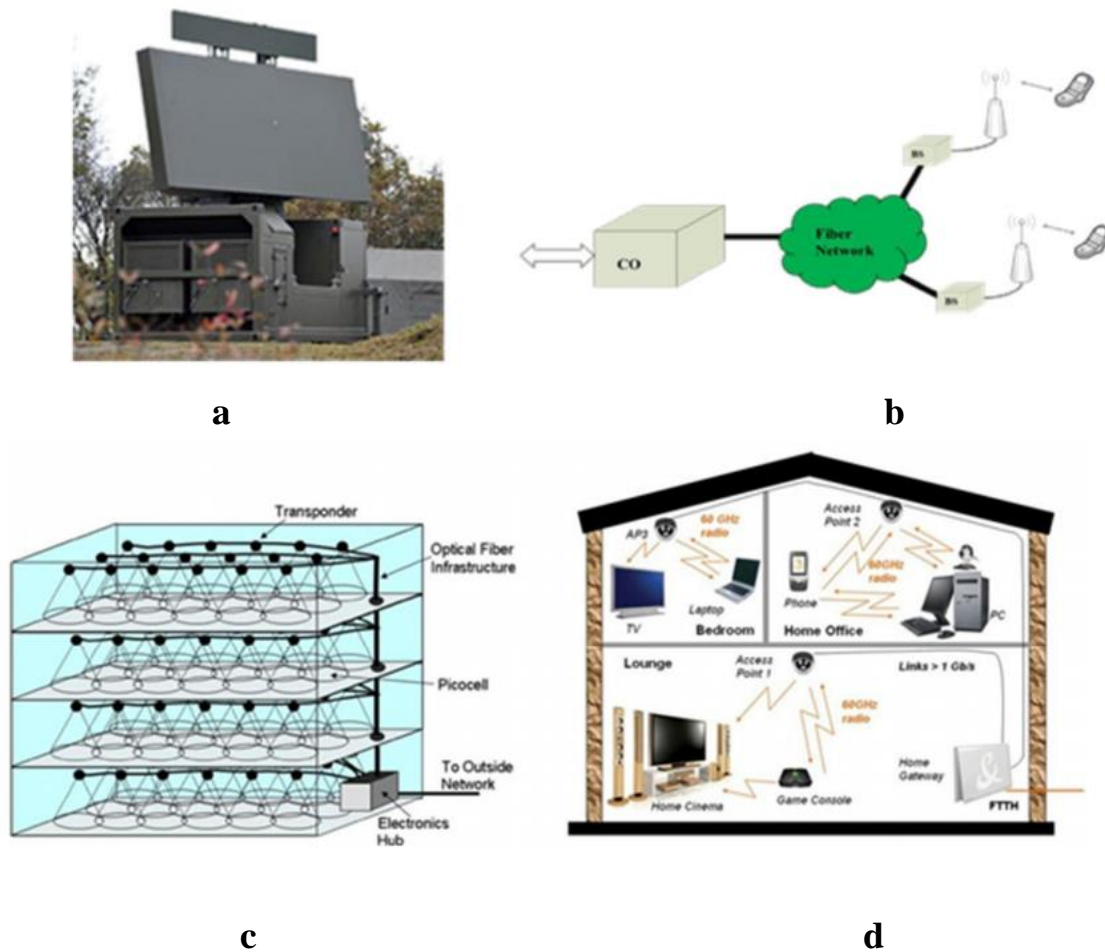


pour des puissances fortes d'entrée RF, cette non-linéarité est liée au transducteur E/O ce dernière causes des distorsions et des déformations du signal transmittent et limite la dynamique de la liaison.

### II.7 Applications de la RoF

La technologie RoF peut être appliquée dans les divers systèmes de télécommunication a langue distance associant les avantages des systèmes optiques et sans fil, la figure (II.5) ci-dessous donne quelques exemples d'applications les plus communes des systèmes RoF.

Des liaisons optiques analogiques sont utilisées pour transmettre des signaux analogiques dans les systèmes radar (Figure II.5(a)) pour des applications militaires (radar de sol, systèmes navals et radar aéroporté). L'utilité de la RoF dans ces systèmes provient de la possibilité de l'intégration des composants optiques, la large bande passante, l'immunité aux perturbations électromagnétiques et le faible poids, néanmoins, il faut assurer de très faibles niveaux de bruit pour de telles applications. Le réseau central (Figure II.5(b)) formé par un système RoF permet d'interconnecter plusieurs stations de base avec la station centrale. Cela représente une solution idéale pour transporter efficacement les signaux radio de la statio centrale vers les sites d'antennes éloignés. Ici, la complexité associée à des fonctions de traitement du signal et des étages électroniques est ramenée à la CS, ce qui conduit à la simplification des BSs. La taille réduite de cellules limite le nombre d'utilisateurs par cellule et, par conséquent, augmentera le débit par utilisateur. Les applications de réseaux domestiques (HAN, Home Area Network) en bande millimétrique centrée autour de 60GHz (Figure II.5 (d)) fournissent une très large bande passante avec un très haut débit. De plus, les murs, les obstacles fixes ou mobiles comme les humains dégradent également la propagation des ondes millimétriques. La couverture radio pour ces applications est alors limitée à la taille d'une pièce d'où l'intérêt d'utiliser des liaisons RoF afin d'étendre la couverture radio aux autres pièces. La transparence des systèmes RoF aux standards de transmission sans fil fait de cette technologie une solution prometteuse et efficace. Les fibres multimodes sont souvent utilisées pour ces applications qui nécessitent de courtes distances pour lesquelles la dispersion modale est négligeable.[8]



**Figure II.5 :** Exemples d'applications de la technologie RoF : a) radar – b) réseau RoF Central - c) système RoF pico cellulaire et d) réseau domestique à 60 GHz.

Pour augmenter le débit et le nombre d'utilisateur, nous allons faire une étude sur les techniques de multiplexage (OTDM, WDM), ensuite nous allons les introduire à notre technologie radio sur fibre.

## II.8 La notion du multiplexage

La notion du multiplexage (MUX), est justifiée par le fait que l'on cherche sans cesse transmettre plusieurs informations sur un seul support de transmission.

### II.8.1 Le multiplexage optique

Les multiplexeurs et démultiplexeurs optiques sont essentiellement des systèmes de filtre optique passifs, construites pour gérer des longueurs d'ondes spécifiques, entrants et sortant du système de transport (la FO).

### II.8.2 Le multiplexage temporel optique (OTDM) :

Le multiplexage temporel optique (OTDM : pour "Optical time division Multiplexing") présente l'avantage de ne fonctionner que sur une seule longueur d'onde. Dans ce système, chacun des flux de données en bande de base reçoit une série d'intervalles de temps sur le canal multiplexé nommé aussi « slot time ». Un multiplexeur (MUX) est chargé d'assembler le train de bits à débit élevé de plusieurs flux en bande de base, tandis qu'un démultiplexeur (Démux) effectue le travail opposé pour reconstruire une réplique de flux a un débit inférieur en séparant les bits du système OTDM.

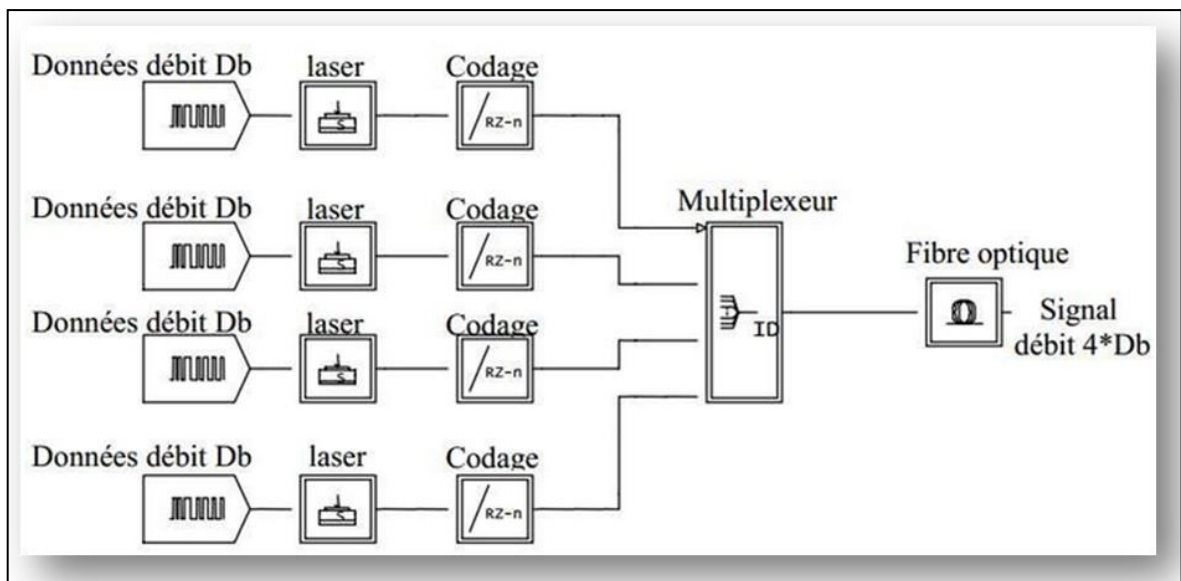


Figure II.6 : Schéma synoptique d'un multiplexage OTDM.

### II.8.3 Le Multiplexage à répartition par code CDM :

Le Multiplexage à répartition par code (CDM : Code Division Multiplexing), cette technique fait en sorte de diffuser en même temps les informations et consiste à associer à chacun d'eux un code nommé « signature », formées d'une série de bits ultras rapide « chips » pour les différencier de bits de données de l'utilisateur, le débit après le codage est celui des données de l'utilisateur multipliées par la longueur de la séquence de code.

Le CDM permet d'étaler spectralement le signal transmis sur une bande de longueur celle du signal initial.

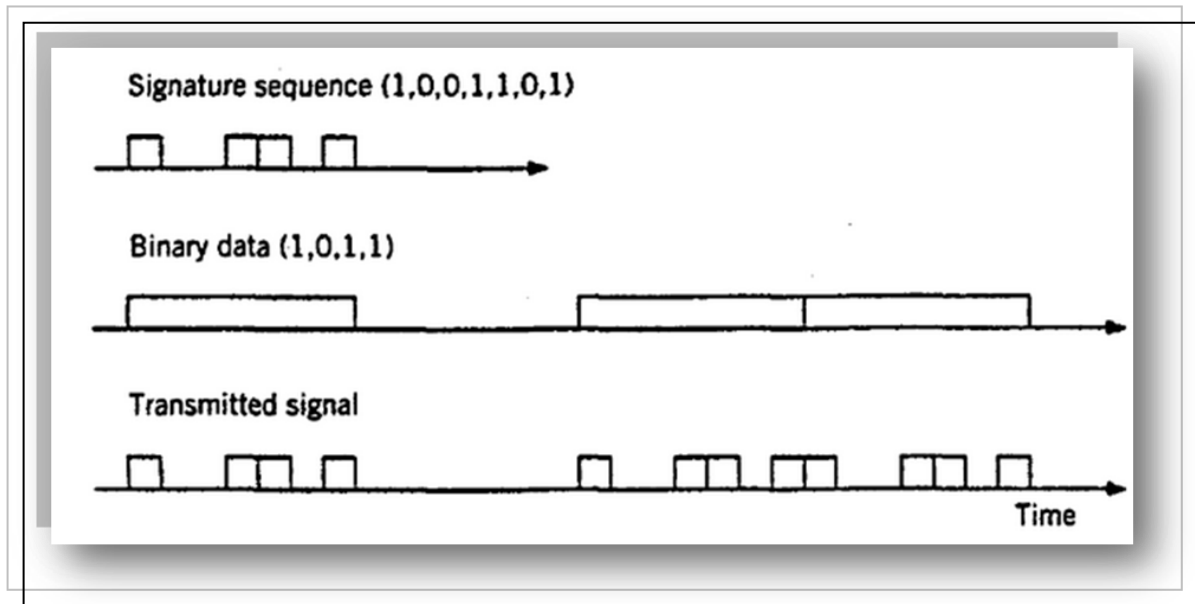


Figure II.7 : schéma synoptique du CDM.

Le troisième type de multiplexage c'est une véritable révolution technologique s'est produite avec l'apparition du multiplexage en longueur d'onde (WDM) avant cette création toute exigence d'un très haut débit entraînait l'ajout d'une FO dont chacune propageait un signal, l'intérêt principal de cette technologie qui a fait sa popularité, et de pouvoir réutiliser la fibre déjà installée ce qui n'entraîne pas de surcoût pour des nouvelles infrastructures.

#### II.8.4 Le Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le concept réside sur la diffusion simultanée de différents signaux, venant de source diverse et chacune est porté par une longueur d'onde différente sur la même fibre optique, La bande passante disponible dans une fibre est largement étendue.

En effet chaque longueur d'onde offre un débit de plusieurs Gb/s et de dizaines de longueur d'onde peuvent être utilisées, cette progression permettra de bénéficier une bande passante de la fibre plus étendue que celle qui est utilisée par un seul émetteur optique dans le cas de SDH.

##### II.8.4.1 Principe de la WDM

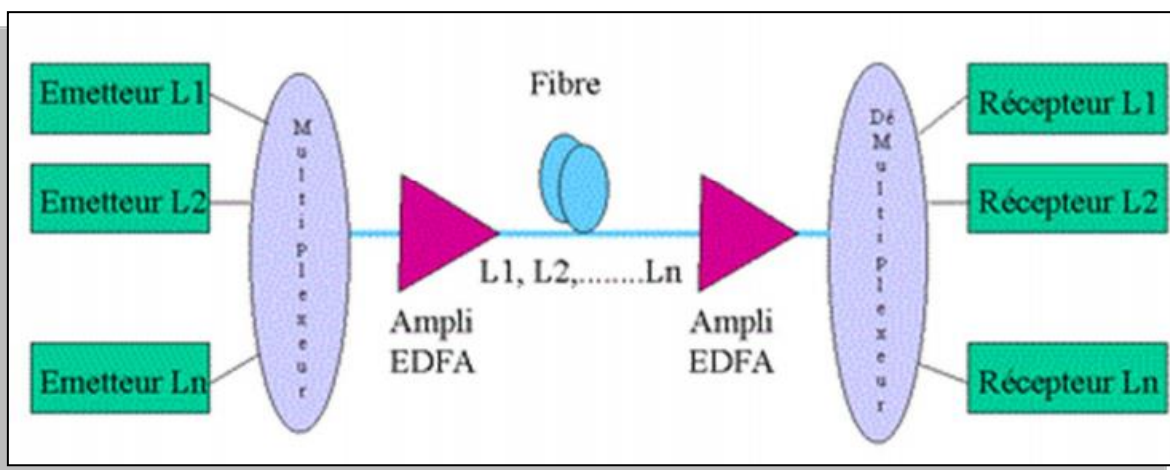
Le multiplexeur vise à superposer plusieurs signaux de différentes longueurs d'onde sur un même canal, afin de réaliser cette technique, un système WDM exploite deux terminaux reliés par une liaison optique.

Le MUX a un double objectif, tout d'abord il transforme les longueurs d'onde des signaux à l'aide du transpondeur et les multiplexe sur seul support physique.

Lorsque les signaux clients sont arrivés au multiplexeur ils peuvent avoir la même longueur d'onde même si ils sont d'émetteurs différents (comme c'est le cas en SDH) ou les signaux sont envoyés sur une seule longueur d'onde de 1300nm ou 1550nm, comme il n'est pas acceptable de transmettre deux fois la même longueur d'onde sur le même canal pour éviter les interférences, les transpondeurs sont les interfaces de transmissions et de réception des signaux optique leur rôle est de transformer un signal clients (SDH,PDH, Ethernet) en un signal optique associé a une longueur d'onde WDM.

Une fois les signaux sont multiplexés, ils vont subir des amplifications et régénérations pour répondre aux atténuations possibles au long du canal optique.

A la réception, le démultiplexeur se comporte autant que des filtres dans des plages de longueur d'onde qui circulent dans le milieu optique, le Demux peut donc savoir la totalité des signaux multiplexés au départ



**Figure II.8 :** principe d'une liaison WDM.

### II.8.4.2 Les systèmes WDM

Il existe plusieurs systèmes WDM. Ils adoptent tous le même principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux (longueurs d'onde) utilisables dans une fibre. Le multiplexage WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde accessibles. Cet intervalle est exprimé en nanomètres (nm) ou en Gigahertz (GHz). Si cet intervalle est inférieur ou égale à 0,8 nm (soit 100 GHz), nous parlons alors de multiplexage DWDM (Dense WDM). Des expérimentations ont même été effectuées avec des intervalles de 0,4 et 0,2 nm ou 160 canaux peuvent être utilisables dans une fibre. Dans ce cas, nous parlons de multiplexage UDWDM (Ultra Dense WDM). La (Figure II.3) illustre les différents systèmes WDM en fonction de l'espacement.

Espacement	Nombre de canaux	
1000 GHz ( $\Delta\lambda = 8$ nm)	4	WDM (Wavelength Division Multiplexing)
400 GHz ( $\Delta\lambda = 3,2$ nm)	8	
200 GHz ( $\Delta\lambda = 1,6$ nm)	16	DWDM (Dense WDM)
100 GHz ( $\Delta\lambda = 0,8$ nm)	32	
50 GHz ( $\Delta\lambda = 0,4$ nm)	80	UDWDM (Ultra Dense WDM)
25 GHz ( $\Delta\lambda = 0,2$ nm)	160	

Figure II.9 : Les systèmes WDM.

Il existe une autre forme de multiplexage WDM, moins performante, connue sous l'appellation CWDM (Coarse WDM qui signifie WDM grossier) [20]. Dix-huit canaux au maximum sont utilisables, mais en pratique les équipements émettent sur quatre, huit ou seize canaux. [9]

#### II.8.4.3 Les avantages de la WDM

- Le WDM permet une augmentation de la portée et du nombre de clients.
- On peut facilement localiser l'emplacement de la panne quand il ya le partage de la longueur d'onde.
- La WDM permet un transport très élevé d'information sur le même canal de transmission (FO) destiné vers plusieurs destinataires.
- La souplesse de multiplexage permet de juxtaposer des différentes adresses en fonction du type de clients, services et technologie finale.
- La WDM répond aux besoins d'augmentation de débit, il peut être amélioré de 100Mb/s à 25Gb/s.
- La WDM permet une Indépendance vis-à-vis protocole et entre canaux.

## II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, l'état de l'art sur la radio sur fibre a été abordé, les types de transmission et les avantages des systèmes ROF, plus leurs limitations ainsi que leur application ont été montrés.

Dans ce chapitre, l'état de l'art sur la radio fibre est discuté, les types de transmission et les avantages des systèmes ROF, leurs limites ainsi que leurs applications, sont présentées.

Finalement nous avons présenté les techniques de multiplexage telle que (OTDM, CDM et LA WDM) pour une intégration dans notre technologie.



# **Chapitre III**

## Simulation de la radio sur fibre



### III.1 Introduction

Afin d'étudier et de dimensionner les liaisons RoF, les différents composants optoélectroniques ainsi que la fibre optique seront modélisés et leurs caractéristiques seront spécifiées dans un environnement électrique à l'aide des outils de simulation disponibles sur le logiciel Optisystem,

Dans un premier temps, nous présentons une les différentes applications du logiciel de simulation Optisystem suivi par une description des métriques pour évaluer la qualité de transmission, en suite nous allons présenter les performances des liaisons RoF en déterminant les effets qui influencent sur la qualité du système RoF telle que l'effets de variation de la longueur de fibre et l'effets de variation de débit binaire.

Dans ce concept on a testé par simulation les deux types de multiplexage de l'utilisé par le système RoF tel que le multiplexage en longueur d'onde (WDM) et le multiplexage temporel optique OTDM.

On a terminé notre simulation par une comparaison entre les deux types de multiplexages pour déduire l'utilité de chaque type.

### III.2 Le cahier des charges

Dans ce travail pour étudier un système RoF on a respecté un cahier des charges spécifique :

- Simuler cette technologie RoF dans notre faculté pour procurer les bonnes informations afin de faciliter la réalisation pratique.
- Choisir quatre zones (chaque zone couvre par exemple plusieurs utilisateurs).
- Utiliser un multiplexage WDM et OTDM pour en tirer la bonne méthode afin de garantir une bonne transmission.
- Fibre optique principale SMF de longueur 50Km.

### III.3 Présentation du logiciel Optisystem

Optisystem est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. Optisystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale.

## Chapitre III : Simulation de la radio sur fibre

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma bloc,
- Analyser le schéma.

Interface Optisystem : L'interface Optisystem contient une fenêtre principale repartit en plusieurs partie (Figure III.1).

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- Editeur du lay-out : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

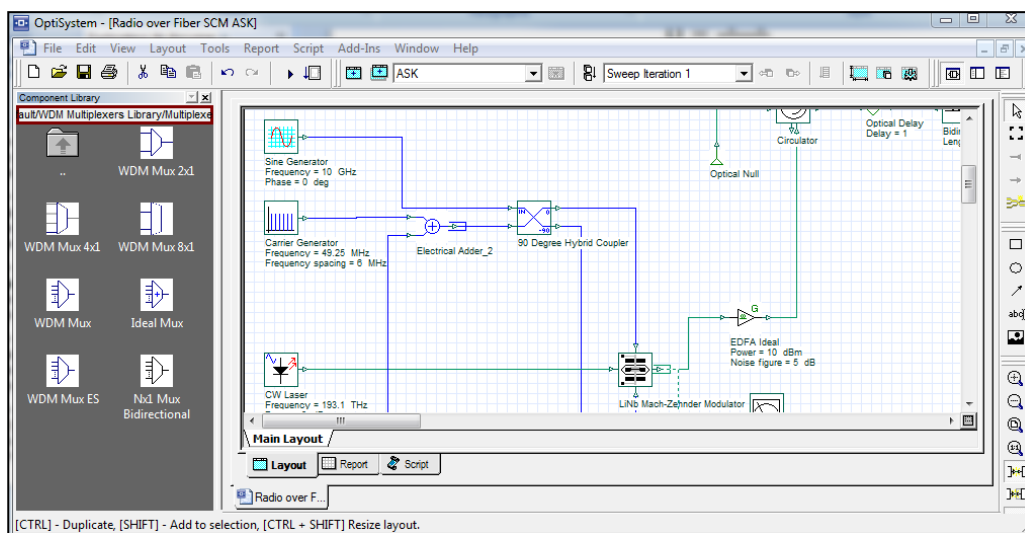


Figure III.1 : Présentation du logiciel Optisystem

### III.3.1 Avantages du logiciel

Parmi les avantages de ce logiciel on trouve :

- Fournir un aperçu de performances du système mondial de fibres optiques.
- Evaluer les sensibilités des paramètres aidant aux spécifications de tolérance de conception.
- Présenter visuellement les options de conception à des clients potentiels.
- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation approfondie du système.
- Fournir le balayage automatique des paramètres et d'optimisation.

Optisystem permet l'automatisation et la conception de pratiquement n'importe quelle liaison optique dans la couche physique et analyse un large éventail de réseaux optiques. Optisystem permet aux utilisateurs de planifier, tester et simuler :

- WDM/ TDM ou la conception du réseau CATV (Câble Télévision).
- Conception d'anneaux SONET/ SDH. -Conception de cartes de dispersion.
- Estimation des pénalités BER des systèmes avec différents modèles de récepteurs.

### III.3.2 Description des principaux critères d'évaluation de la transmission

#### A. Taux d'erreurs binaires :

Le taux d'erreurs binaires (BER : Bit Error Rate) permet d'évaluer la qualité d'une transmission optique. Il peut être déterminé en comparant la séquence de données binaires émise et celle reçue car il est défini par le rapport du nombre de bits erronés sur le nombre total de bits transmis.

$$BER = \frac{\text{nombre de bit érronés}}{\text{nombre total de bits transmis}} \quad \dots\dots \text{(III.1)}$$

#### B. Facteur de qualité :

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

$$Q = \frac{I_1 - I_2}{\sigma_1 - \sigma_2} \quad \dots \text{(III.2)}$$

Ou  $I_1$  et  $I_2$  sont les valeurs moyennes qui représentent le signal utile et  $\delta_1$  et  $\delta_2$  sont les écarts types des densités de probabilité des symboles 1 et 0

Q est d'habitude exprimé en dB en utilisant la formule suivante :

$$Q_{dB} = 20 \log_{10}|Q| \quad \dots \text{(III.3)}$$

#### C). Diagramme de l'œil :

Le diagramme de l'œil est un équipement spécialiser pour générer des séquences aléatoires et comparer le signal de sortie de la liaison optique avec le signal d'entrée, il est souvent utilisé pour décrire la dégradation de bruit et la dispersion du signal numérique.

Le principe général est que plus la zone centrale est grande plus on a une meilleure qualité du signal reçu.

La largeur du signal est associée à la possibilité de différencier facilement les échantillons successifs, tandis que la hauteur du lobe central exprime le rapport d'énergie entre le signal original et le bruit du canal.

### **III.4 Description de la chaine de transmission Radio sur fibre RoF**

Notre liaison radio sur fibre (RoF) est composée de trois parties, comme il est indiqué dans la Figure III.2 : partie émission RF, partie transmission optique, Partie réception RF.

#### **III.4.1 Le schéma générale de la liaison Radio sur fibre**

La figure suivante nous montre le schéma général de la liaison Radio sur fibre.

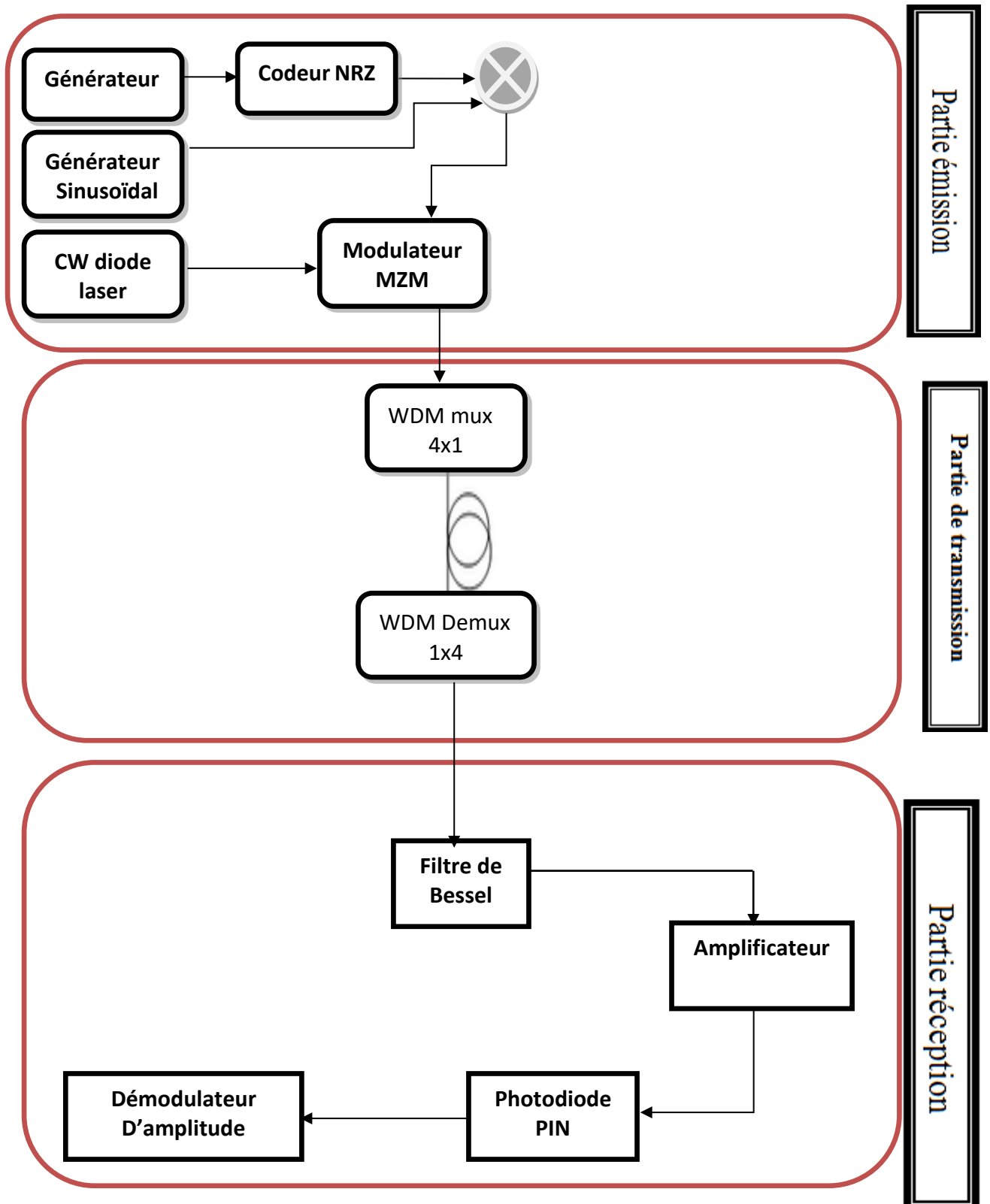
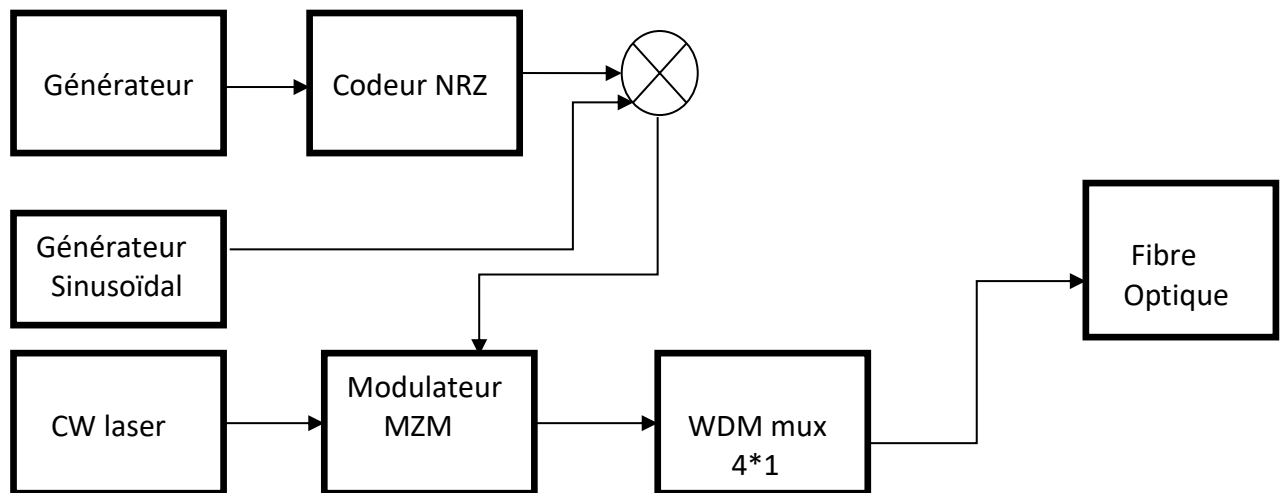


Figure III.2 : Schéma générale de la liaison Radio sur fibre

### III.4.2 Description de la Partie émission

Le schéma ci-dessous nous montre la partie qui compose le circuit d'émission avec un multiplexage WDM.



**Figure III.3** : Schéma bloc d'émission avec WDM

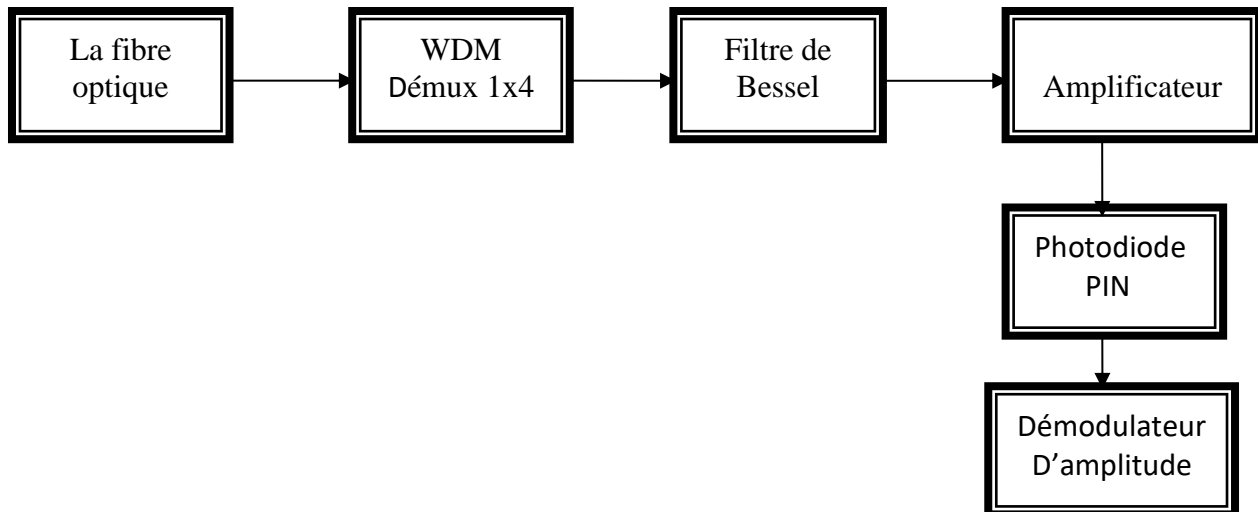
On trouve sur ce schéma bloc les éléments suivants :

- **Un Générateur de bit** : PRBS (Pseudo-random bit séquence) 1Gbit/s.
- **Un codeur** de type NRZ (pulse generator).
- **Un générateur de fonction Sinusoïdale** de type Sine generator pour moduler le signal électrique utile avec une fréquence de modulation de 10Ghz pour chaque canal de transmission (vu qu'on simuler pour quatre utilisateurs, chacun alloue un canal).
- **Une diode laser (CW Laser)** de longueur d'onde de 1550nm.
- **Un multiplexeur** de type WDM (4x1) : ce multiplexeur utilise un espacement fréquentiel de 0.1Thz (0.8nm) entre les canaux et une largeur de bande de 100 GHz ; sachant que chaque utilisateur alloue un canal de transmission au niveau du multiplexeur qui sépare les 4 canaux par un espacement de 0.1Thz :
  - F1 = 193.1 Thz pour canal 1
  - F2 = 193.2 Thz pour canal 2
  - F3 = 193.3 Thz pour canal 3
  - F4 = 193.4 Thz pour canal 4
- **Modulateur externe d'amplitude (MZM)**.
- **Fibre optique monomode bidirectionnelle** avec les paramètres suivants :
  - Longueur d'onde  $\lambda=1550\text{nm}$

- Longueur de fibre de 90Km au maximum.
- Atténuation  $\alpha=0.2$  dBm
- Dispersion chromatique 16.75 PS/nm/km

### III.4.3 Partie réception optique

Dans cette partie on va décrire les éléments qui constituent la partie réception.



**Figure III.4** : Schéma bloc de la partie réception

Dans cette partie on trouve :

- **Un démultiplexeur WDM (Démux 1x4)** de largeur de bande de 100GHz qui travaille avec les fréquences suivantes :
  - Canal 1 de réception à 193.1 GHz
  - Canal 2 de réception à 193.2 GHz
  - Canal 3 de réception à 193.3 GHz
  - Canal 4 de réception à 193.4 GHz
- **Un Filtre passe bande de Bessel d'ordre 2** de bande passante de 30 GHz.

Au niveau de la réception on a utilisé quatre filtres passe bandes, chacun est spécifié par une fréquence de coupure telle que :

- $F1 = 193.1$  Thz pour canal 1
- $F2 = 193.2$  Thz pour canal 2
- $F3 = 193.3$  Thz pour canal 3
- $F4 = 193.4$  Thz pour canal 4

- **Un amplificateur optique** de Gain 15 dB.
- **Une Photodiode PIN**

### III.5 Résultats de simulation

Dans cette partie de simulation on a procédé comme suit :

- 1- Simulation du système RoF avec multiplexage WDM.
- 2- Simulation du système RoF avec multiplexage OTDM.
- 3- Comparaison entre WDM et OTDM.

Les paramètres globaux utilisés dans cette simulation sont :

- Débit binaire = 1Gbit/s

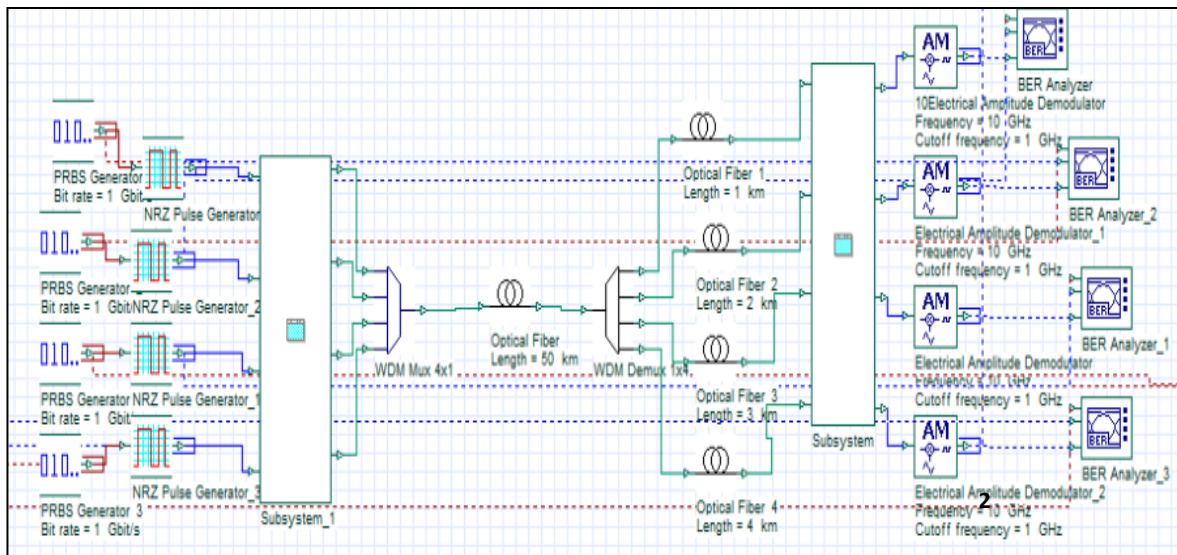
Le nombre de points de calcul = 1024 points

#### III.5.1 Simulation RoF-WDM

Dans cette section, nous discutons les résultats de simulation du système RoF obtenus avec un multiplexage WDM, dans ce cas deux effets sont considéré pour mieux étudier ce système et voir la qualité de transmission :

- L'effet de variation de longueur de la fibre principale.
- L'effet de variation du débit binaire.

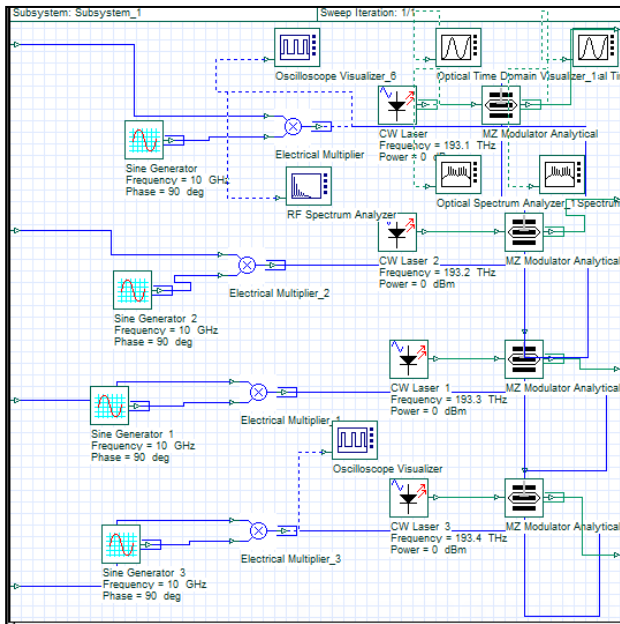
La figure ci-dessous nous le schéma globale de simulation de la Liaison RoF-WDM



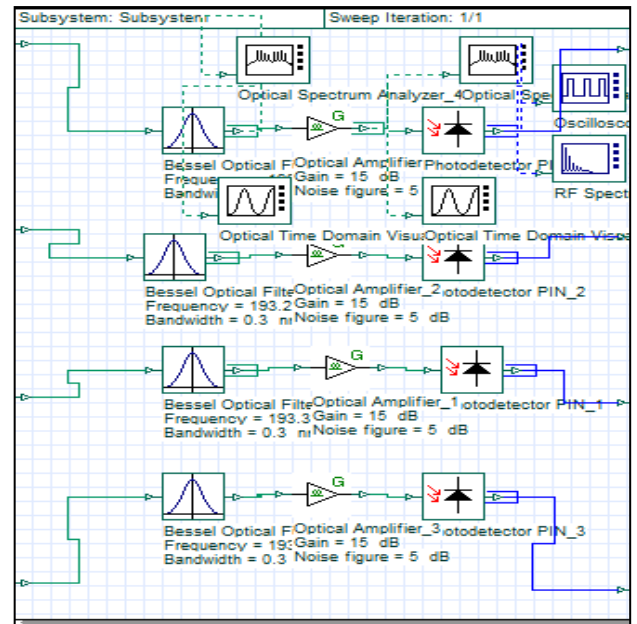
**Figure III.5 : Liaison RoF-WDM**

Les deux figures suivantes nous montrent les deux sous-systèmes (subsystem1, subsystem1) utilisés dans le schéma global.





**Figure III.6 :** subsystem 1.

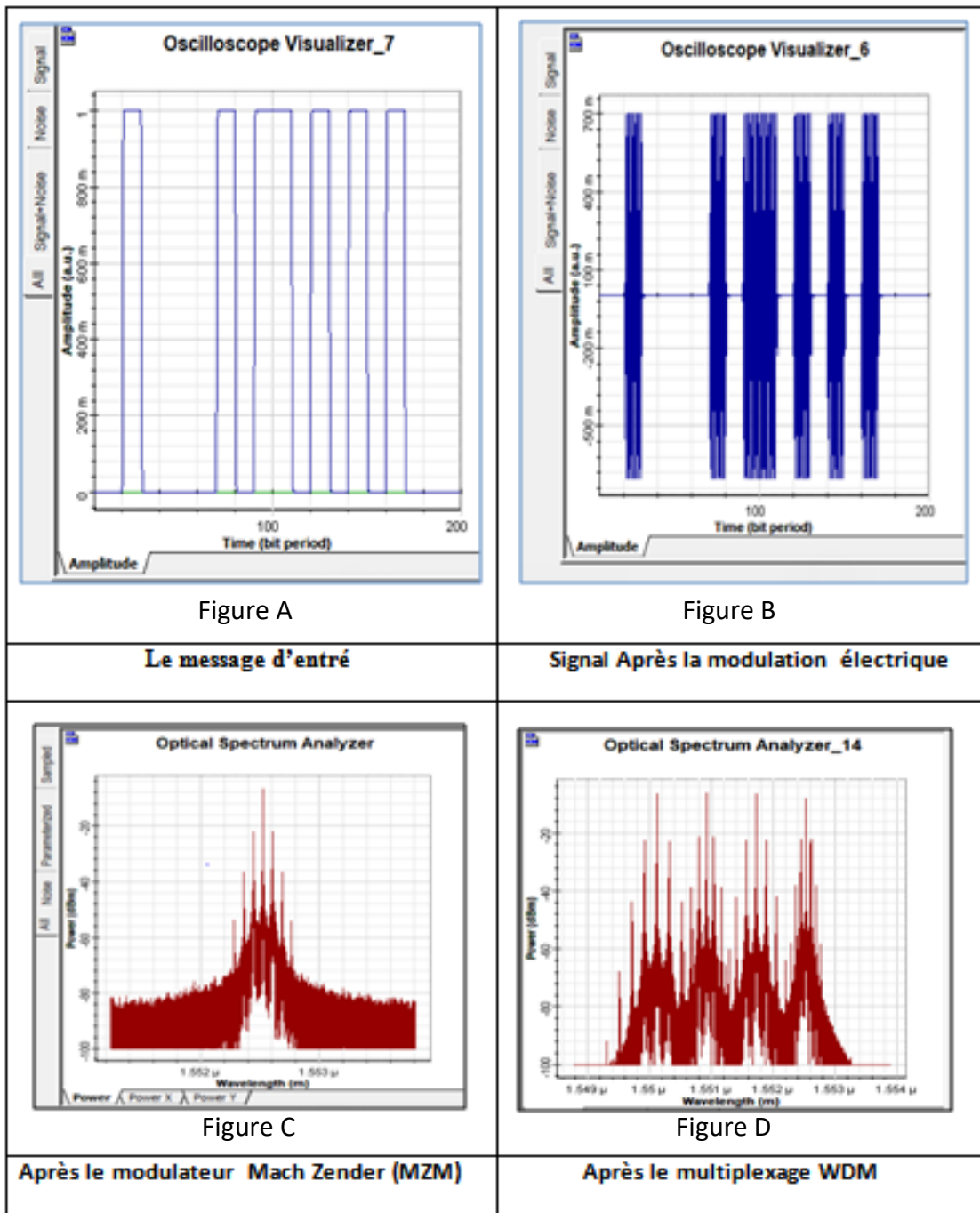


**Figure III.7 :** subsystem 2

- Le subsystem 1 contient les éléments suivants :  
Un générateur Sinusoïdal ; une diode laser et un modulateur MZM.
- Le subsystem 2 contient les éléments suivants :  
Un filtre passe bas de Bessel ; un amplificateur optique et un photo détecteur PIN.

Après la simulation on a obtenu les signaux émis et reçus suivants :

La Figure ci-dessous nous montre les signaux émis :



**Figure III.8** : Les signaux émis.

Cette figure nous montre quatre visualisations des signaux au niveau du circuit d'émission. La Figure A présente les données binaires fournies par la séquence de bits pseudo-aléatoire (PRBS) qui sont converties en impulsions électriques sans retour à zéro (NRZ) pour générer un signal en bande de base. Sur la figure B on voit le signal électrique

## Chapitre III : Simulation de la radio sur fibre

moduler.

Le signal optique après le modulateur MZM est visible sur la « figure C » ; sur la figure D on voit les quatre signaux multiplexés à des fréquences différentes.

A la réception on reçoit les signaux suivants :

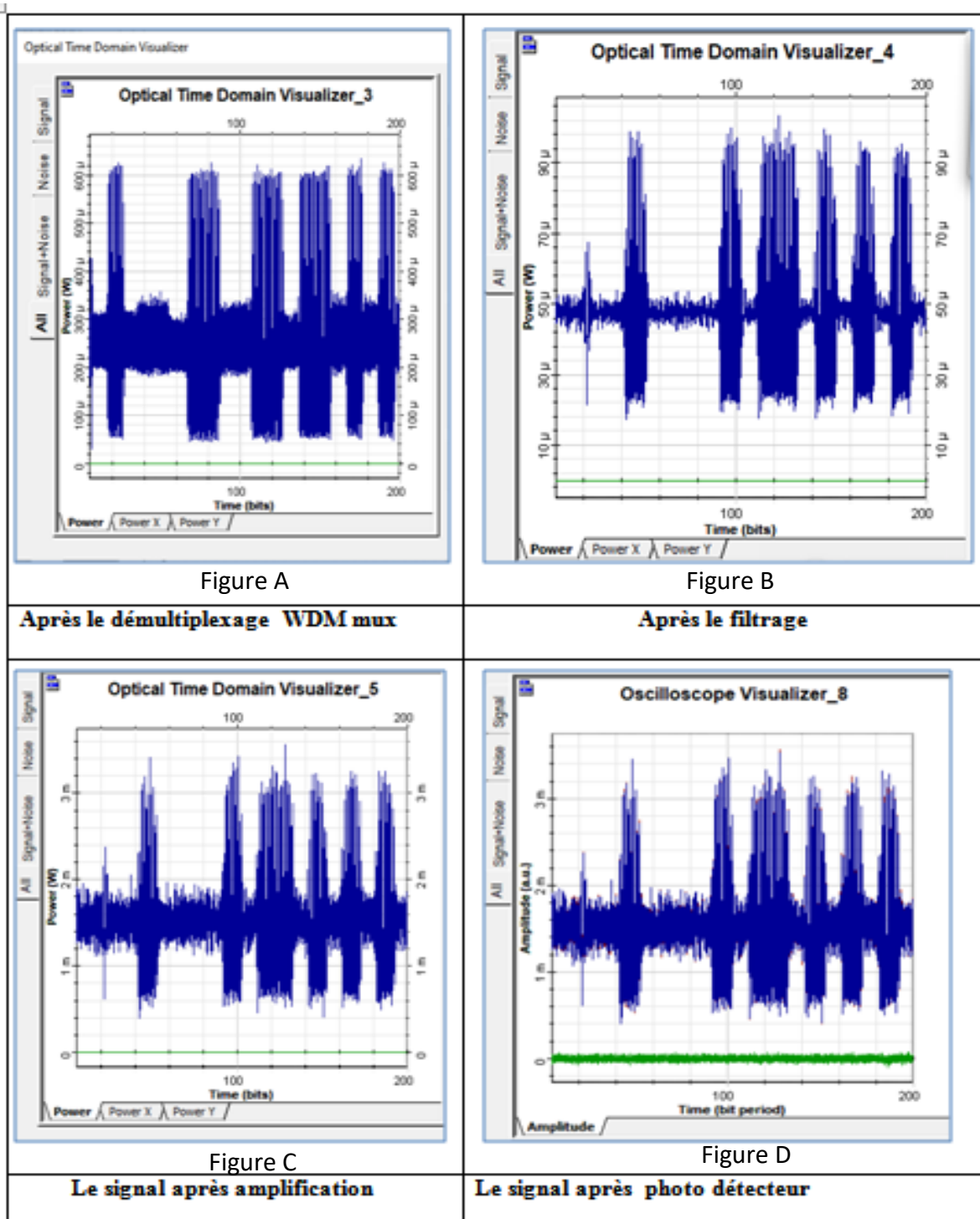


Figure III.9 : les signaux reçus.

## Chapitre III : Simulation de la radio sur fibre

Dans la partie de réception ont récupéré les signaux envoyés par le circuit émetteur. Le démultiplexeur va séparer les quatre signaux chacun avec sa fréquence pour trouver le signal d'origine. La figure A nous montre la puissance réduite du signal du premier utilisateur.

La figure B illustre le signal filtre par un filtre de Bessel avec une fréquence approprié (une fréquence spécifique pour chaque canal). Ce filtre travail comme une fenêtre glissante pour séparer les signaux RF individuels de chaque utilisateur.

Après le filtrage le signal est amplifié pour compenser la perte de puissance due à l'atténuation dans la fibre comme le montre la figure C ensuite ce signal optique est transformer la photo détectrice en un signal électrique (figure D).

Pour comparer les signaux d'origine avec ceux reçu à la réception on à enregistré les deux figures suivantes ; figure III.10 et figure III.11.

Sur ces deux figures on voit que les deux signaux sont presque identiques avec une légère déformation et une petite perte de puissance causé par les différents éléments de la chaine de transmission. Mais finalement on constate que le même message binaire envoyé a été récupérer à la sortie.

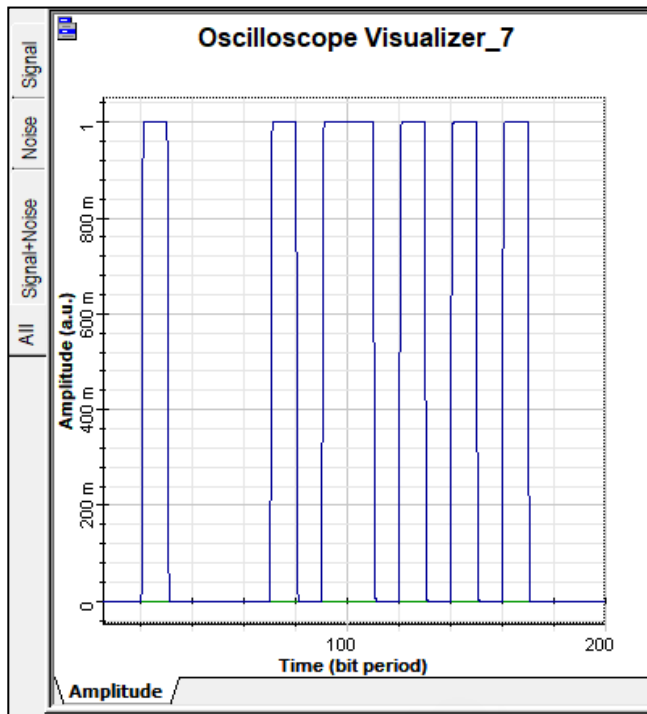


Figure III.10 : signal de d'entrée

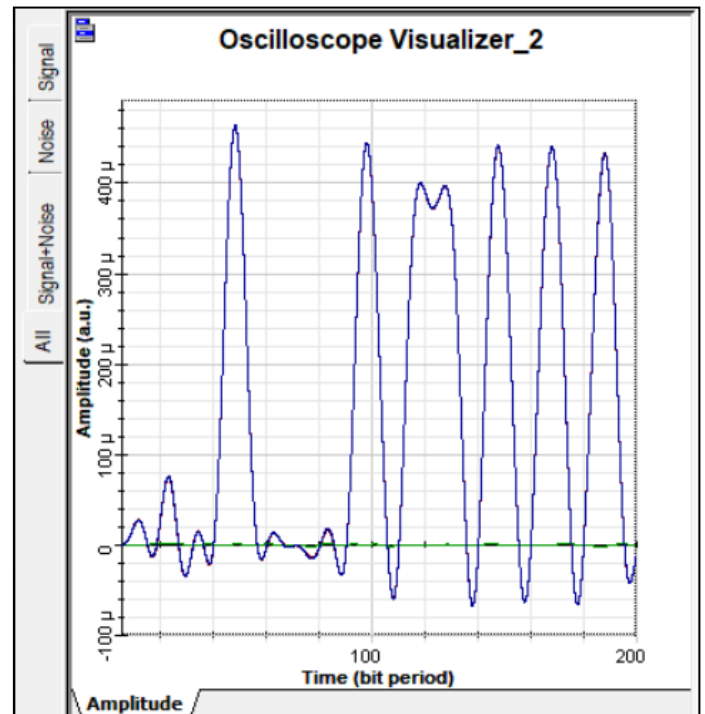
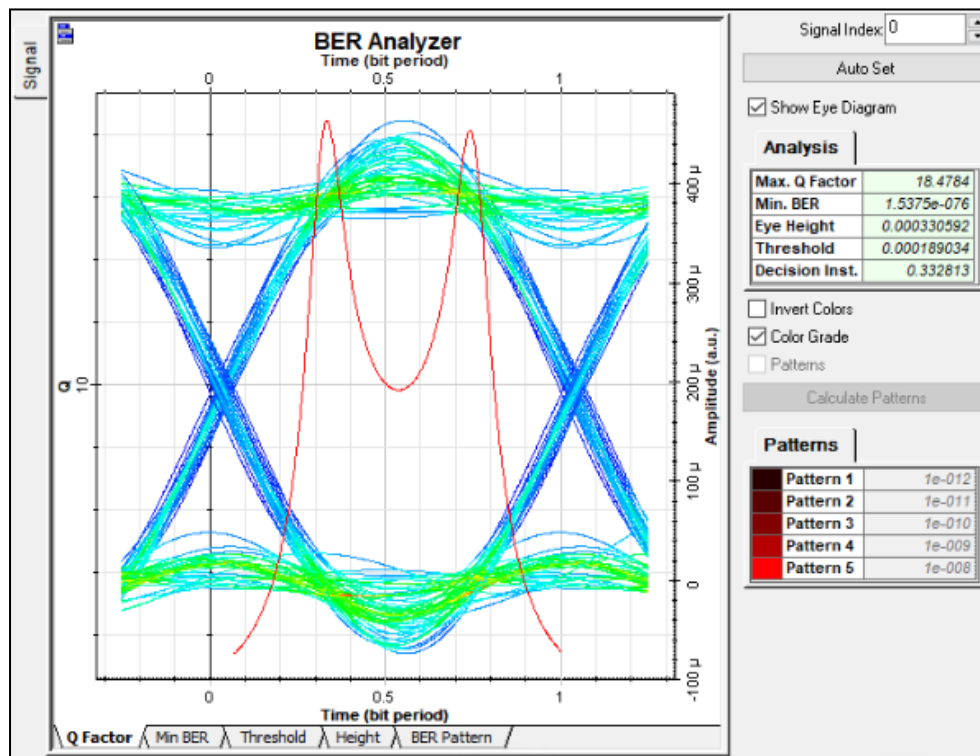


Figure III.11 : signal sortie RF

### Diagramme de l'œil de la liaison RoF-WDM

La figure III.12 suivantes représentent le diagramme de l'œil de la liaison RoF-WDM



**Figure III.12** : diagramme de l'œil pour un seul utilisateur.

D'après cette figure on voit bien que l'œil a une bonne ouverture comme synonyme d'une bonne qualité de transmission avec un facteur de qualité de 18.47 et un TEB quasiment nul.

Sachant qu'en télécommunication on considère qu'on a une bonne qualité de transmission pour un TEB  $< 10^{-10}$  et un facteur de qualité  $Q \geq 6.4$ .

D'après ces résultats obtenus on a pu définir qu'on a une bonne qualité de transmission.

Dans ce qui suit on va exposer de simulation des deux effets qui influence sur la qualité de transmission.

### III.5.2 Effet de la variation du débit binaire et de la longueur de la fibre

Dans cette partie deux effets sont analysés :

- ✓ L'effet de la longueur de la fibre principale.

✓ L'effet du débit binaire.

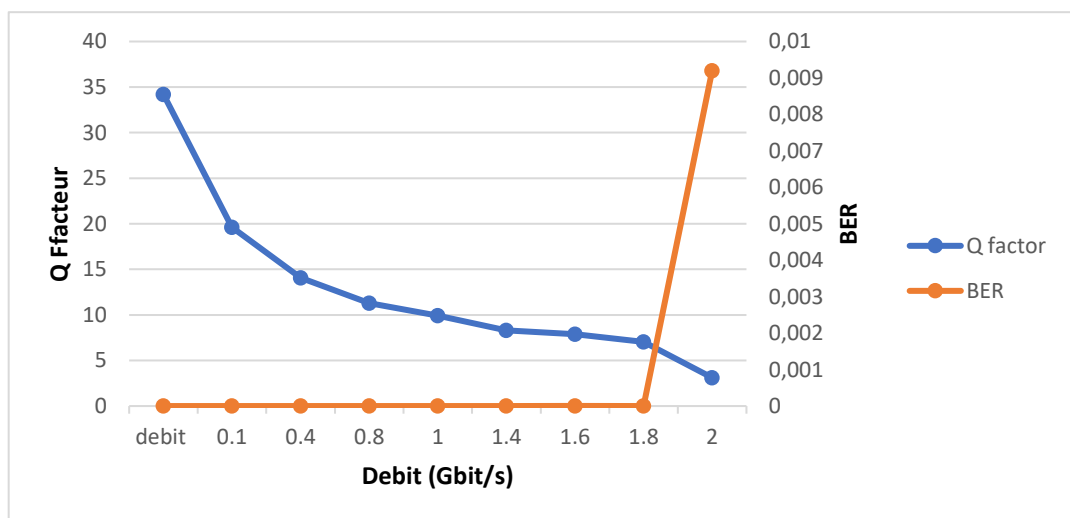
### A- Effet de variation du débit binaire :

Dans cette partie on a varié le débit binaire de transmission afin de d'étudier les performances de la liaison RoF-WD

**Tableau III.1** : Effet de variation du débit binaire.

Débit binaire (Gbit/s)	0.1	0.4	0.8	1	1.4	1.6	1.8	2	2.4
Q	34.2	19.6	14.0	17.3	9.9	7.3	8.8	9.0	3.1
BER	0	0	0	0	0	$1.4 \times 10^{-13}$	$3.5 \times 10^{-19}$	$7.6 \times 10^{-20}$	0.0092

D'après les résultats du tableau III.1 on a pu tracer les courbes de la variation de BER et du facteur de qualité (Q) en fonction du débit binaire.



**Figure III.13** : variations du BER et du Q en fonction du débit binaire

Sur la Figure III.13 on constate que plus le débit augmente plus le facteur de qualité diminue à cause des atténuations qui se produisent à l'intérieur de la fibre due aux phénomènes indésirables comme la dispersion chromatique, sinon pour le taux d'erreur binaire (BER) on voit qu'il est en relation directe avec le débit ; c.à.d. si le débit binaire augmente alors le nombre des bits erronées va augmenter aussi. Pour remédier à ça il faut

mettre en cause toute la chaîne de transmission.

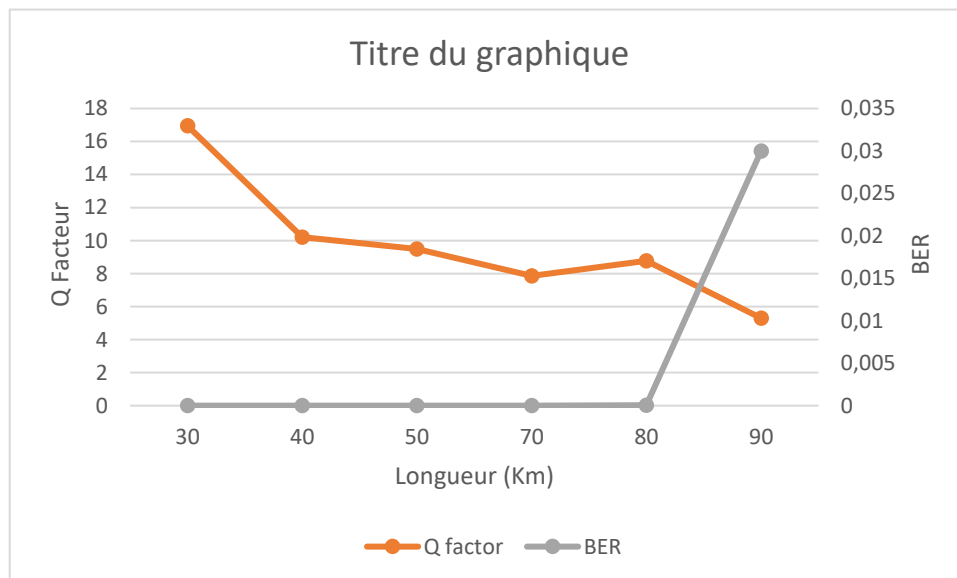
### B-Effet de variation de la longueur de la fibre principale :

La variation de la longueur de fibre optique a aussi une grande influence sur la qualité de la transmission c'est la raison pour laquelle on a voulu étudier ce cas important pour éclaircir un peu la notion de bonne qualité de transmission. Dans le tableau suivant on va exposer les résultats obtenus après simulation en variant la longueur principale de la fibre.

**Tableau III.2 :** Effet de variation de la longueur de la fibre.

Longueur Fibre (Km)	30	40	50	70	80	90
Q	16.9	10.2	16.4	9.02	8.7	5.2
BER	0	0	0	0	$9.0 \times 10^{-12}$	$5.6 \times 10^{-008}$

Avec ces résultats on a pu tracer le facteur de qualité et le BER en fonction de la longueur pour mieux voir la relation entre les deux facteurs (longueur et Q).



**Figure III.14 :** la variation du Q et BER en fonction de la longueur.

Sur cette figure on peut voir que le facteur de qualité a une tendance à diminuer avec l'extension de la longueur de la fibre. Nous avons remarqué dans les deux figures qu'à 50 kilomètres, la qualité est meilleure que le BER quasi nul, sinon nous perdrons tout le signal à 90 kilomètres.

## III.6 Résultats de la simulation de la technologie ROF avec le multiplexage OTDM

Dans cette simulation on a reproduit le même travail fait auparavant avec multiplexage WDM seulement qu'on a substitué le multiplexeur WDM par un OTDM.

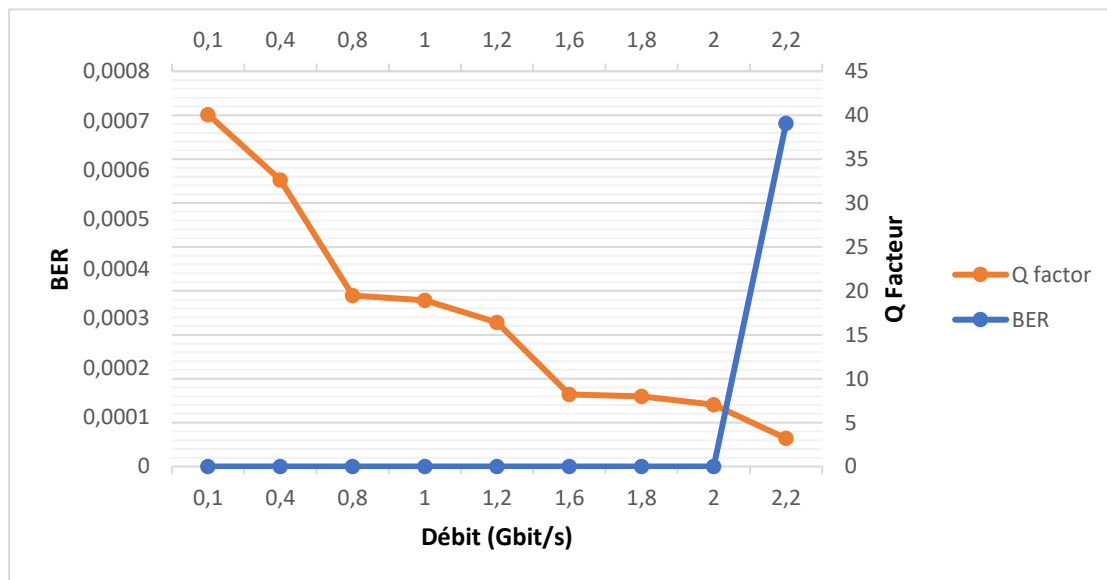
### III.6.1 Effet de variation du débit binaire

Après chaque variation du débit on a calculé la valeur du Q et du BER. Sur le tableau suivant on donne toutes les valeurs du Q et du BER calculé avec le logiciel :

**Tableau III.3 :** Effet de la variation du débit

Débit Gbit/s	0.1	0.4	0.8	1	1.4	1.6	1.8	2	2.4
Q	40	32.6	19.4	26.5	16.3	8.2	7.99	7.019	3.1
BER	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000694711

Afin de déduire la relation entre les trois facteurs (Q, BER, longueur fibre) on a tracé les courbes suivantes.



**Figure III.15 :** Variation du Q et BER en fonction du débit binaire.



### Commentaire :

D'Après ces courbes on peut dire que la qualité de la transmission est préservée pour un débit binaire de 2Gbit/s au maximum.

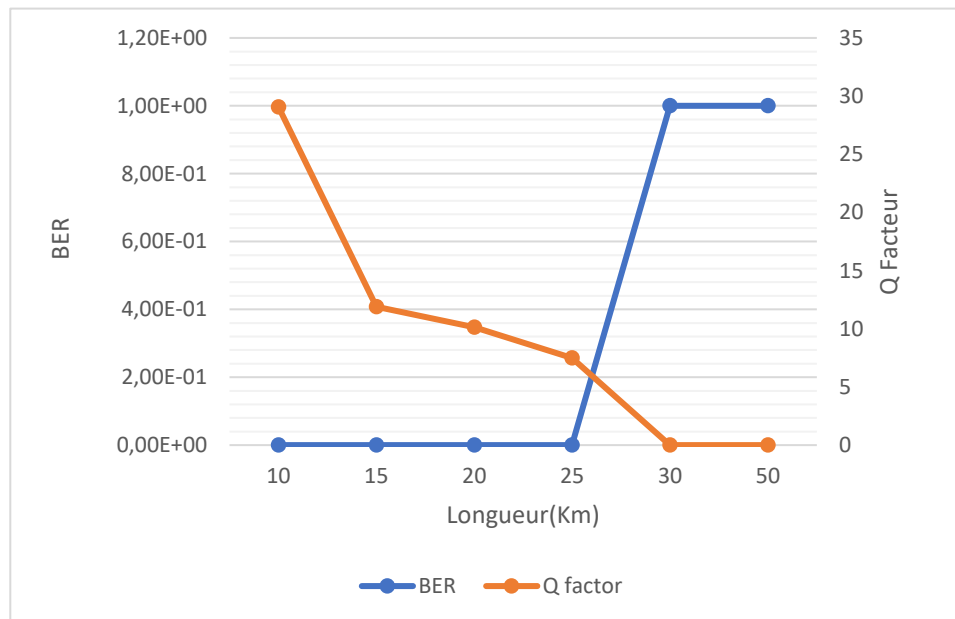
### III.6.2 Effet de variation de la longueur de la fibre principale

Pour exposer le problème de l'influence de variation de la longueur de la fibre principale on a calculé et enregistré les valeurs du Q et BER en variant la longueur (tableau III.4) :

**Tableau III.4 :** Données de variation de Q et BER en fonction de la longueur de la fibre

Longueur De fibre (Km)	10	15	20	25	30	50
Q	29.0	11.8	10.1	7.4	0	0
BER	0	0	0	0	1	1

Le traçage des données du tableau est illustré sur la Figure III.16 suivante :



**Figure III.16 :** Variation du Q et BER en fonction de la longueur.

Commentaire : on peut déduire des deux graphes qu'on peut préserver une bonne qualité de transmission à une longueur moyenne de fibre de 25 Km.

### **Conclusion :**

Après simulation du système RoF avec les deux types de multiplexage WDM et OTDM on peut conclure que la qualité de transmission est préservée pour des longueurs fibre de 80 Km au maximum avec un multiplexage WDM par contre pour celui du OTDM on peut aller jusqu'à 25 Km au maximum

---

## **Conclusion générale :**

Les communications sans fils ont large bande été l'un des domaines de développements technologiques les plus actifs a l'heure actuel, ce développement a été motivé par une technique hybride dites « Radio sur Fibre », son principe repose sur l'exploitation des avantages de l'optique pour la propagation des signaux radio fréquence par le biais d'une liaison optique.

De nombreux services et applications multimédia se sont développées, et nécessitent aujourd'hui d'importantes capacités de transmission. Un besoin d'autant plus important que les informations échangées grâce à ces applications (données, téléphonie sur voix IP, vidéo, ...) ont souvent besoin d'être transmises simultanément, par multiplexage.

Les avantages de la fibre optique en tant que support de transmission (grande bande passante, faibles pertes de propagation, immunité aux ondes électromagnétiques) justifient l'important développement des systèmes de transmission optiques, qui ont permis d'accroître les débits de transmission grâce à des techniques de multiplexage en longueur d'onde (WDM), ou encore en temporel (TDM). L'association des techniques de multiplexage OTDM et WDM permet d'augmenter le débit global des systèmes de transmission.

Après avoir fini notre mémoire on peut conclure :

Que la fibre a des avantages incomparables par rapport aux autres supports de transmission et sa combinaison avec les ondes radio a parmi de reprendre aux exigences des hauts débits.1

D'après les résultats de simulation obtenu par le logiciel Optisystem tels que les valeurs du facteur de qualité, le taux d'erreur et le diagramme de l'œil on a pu conclure que le WDM peut atteindre des distances maximales en formant des réseaux MAN et WAN par contre le multiplexage OTDM peut être destiner au distance courte tels que les réseaux locaux (LAN).

En perspective et suite de ce travail d'autres travaux peuvent être envisagée en utilisant d'autres types de multiplexages plus complexes tels que CDM (Code Division Multiple) et TDM (Electronic Time Division Multiplexing).

Sans oublier de noter qu'on a fait un stage au sein du centre d'Algérie Télécom. Ce stage était très bénéfique et nous a permis d'avoir une vision exacte sur la communication optique et la vie professionnelle surtout dans le domaine de la télécommunication.

---

## Bibliographie

[1] : fibre optique - définition et explications, techno-science.net

[2] : Hadjeres Ismail et Noura Imad, etude et simulation de la technique cdma appliqué aux transmissions optiques utilisant les réseaux de bragg », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2015/2016.

[3] : la fibre optique et la technologie wdm, dominique revuz, directeur de l'ufr ingénieurs 2000 à l'université de marne-la-vallée

[4] : la fibre optique et la technologie wdm, dispersion chromatique, Etienne Duris, responsable de la filière informatique et réseaux au sein de cette ufr.

[5] : Jérôme Jaurent, « communications optiques a tres haut debit », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, centre de paris departement stic

[6] : mr : Boubrik Nacermr: Chamek Said dirigé par:melle: Ferhani Samia, « mr: Boubrik Nacermr.:Chamek said dirigé par:melle: Ferhani Samia », mémoire de fin d'études ; faculte de genie électrique et de l'informatique departement d'électronique.

[7] : Benammar Amine, Miloudi Walid, « université Aboubakr Belkaïd– tlemcen – faculté de technologie », présenté pour l'obtention du diplôme de master en : télécommunications.

[8] : Ali Kabalan, « etude de systèmes radio sur fibre pour des applications de réseaux domestiques en bande millimétrique »,3 mar 2017.

[9] : Aavey.r.p, « dwdm reach extension of a gpon to 135 km », 2005.

[12]

[10] : melle Billami Hanane melle Bendahmane Raouda, mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, réseaux et systèmes de télécommunication (rst)