

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunication

Spécialité : Réseaux et Télécommunication

### Thème

*Le codage d'accès multiple par division de code optique  
OCDMA dans une liaison optique*

**Préparé par :**

HADJ KOUIDER Chaima

KHEBAT Manel

**Dirigé par :**

Pr. BERRAH.S

Pr. KHIREDDINE.A

Dr. SAHRAOUI.W

**Examiné par :**

Dr. BENDJELLOUL.

M<sup>lle</sup>. ACHOUR

**Invité :**

M. KETAM S.

Année universitaire : 2020/2021

# Remerciement

*Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant pour la bénédiction de la raison, de l'islam et la joie de lever nos mains vers le ciel et de dire « ya hayo ya qayyum », de nous avoir donné la patience pour atteindre nos objectifs et le courage de terminer ce travail.*

*Nous adressons ensuite, nos remerciements les plus distingués à Mr « Sahraoui Walid » qui a accepté de nous encadrés pour la réalisation de cette recherche sans aucun doute celui qui nous correspondons le mieux avec bonne humeur, rigueur scientifique et enthousiasme. Nous remercions également Pr « Berrah Smail » et « Pr Khireddine abd elkrim » pour leurs conseils et leurs encouragements.*

*Nos remerciements les plus respectueux s'adresse à Mr « Keltam Smail » qui nous a aidé et soutenue tout au long de notre stage.*

*Nous exprimons également notre gratitude à Mr l'examineur et Mr le Président. Pour leur aimable présence. Et d'avoir accepté d'en faire partie et d'avoir fait de cette journée de soutenance un si bon moment.*

*Enfin, un grand remerciement à toute personne qui nous a aidé et soutenue de près ou de loin durant notre travail.*

*Merci* 

# Dédicace

*Au nom d'Allah le Miséricordieux le très  
miséricordieux.*

*Je dédie ce travail*

*A ceux qui mon offert plus que tout ce que je pouvais désirer et  
mériter, qui ont fait de moi la plus heureuse des filles, le  
symbole de tendresse et l'exemple de bonté à vous mes chers  
parents.*

*A mes chers frères, mes chères sœurs et belle-sœur les mots ne  
peuvent pas exprimer l'amour que je porte pour vous.*

*A mon neveu et mes nièces.*

*A ma binôme C.H.A.M.A*

*A toute ma famille et mes ami(e)s*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Manel*

# Dédicace

*Au nom d'Allah le Miséricordieux le très miséricordieux.*

## *Je dédie ce travail*

*A ceux qui m'ont offert plus que tout ce que je pouvais désirer et mériter, qui ont fait de moi la plus heureuse des filles, le symbole de tendresse et l'exemple de bonté à toi ma chère maman Razika.*

*A mon cher frère Abd el Razek, mes chères sœurs ma grande Wahiba et ma petite chaherazed les mots ne peuvent pas exprimer l'amour que je porte pour vous.*

*A mes chers petits neveux Adem Fares Khalil et mes jolis jumeaux Amir et Anis*

*A ma binôme M.A.N.E.L*

*A toute ma famille et mes amis*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Chaima*

*« Une personne qui n'as jamais commis  
d'erreur n'as jamais tenté d'innover »*

*Albert Einstein*

## Table des matières

<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES.....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES LIAISONS PAR FIBRE OPTIQUE</b>	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Liaison par fibre optique .....	3
I.3. Partie d'émission.....	3
I.3.1. Sources optiques .....	4
I.3.1.1. La diode électroluminescente (LED) .....	4
I.3.1.2. La diode laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) .....	4
I.3.2. Codage des données .....	5
I.3.2.1. Codage RZ (Return-to-Zero).....	5
I.3.2.2. Codage NRZ (Non-Return-to-Zero).....	5
I.3.2.3. Codage Manchester.....	6
I.3.3. Modulation.....	6
I.3.3.1. La modulation directe .....	7
I.3.3.2. La modulation externe.....	7
I.4. Fibre optique .....	8
I.4.1. Types de fibres optiques .....	9
I.4.1.1. Fibre optique multimode .....	9
I.4.1.2. Fibre optique monomode .....	10
I.4.2. Les caractéristiques de la fibre optique .....	11
I.4.2.1. Les effets linéaires.....	11
I.4.2.2. Les effets non- linéaires .....	12
I.5. Partie de réception.....	13
I.5.1. Photodiodes .....	13
I.5.2. Circuit de décision .....	14
I.6. Techniques de multiplexages .....	15
I.6.1. Multiplexage optique par répartition dans le temps (OTDM) .....	15
I.6.2. Multiplexage par division de longueur d'onde (WDM).....	15
I.6.3. Accès multiple par division de codage optique (OCDMA) .....	16
I.6.4. Technique de Multiplexage par division spatiale SDM .....	17
I.6.5. Technique Multiplexage par division de polarisation PDM .....	18

I.7. Conclusion .....	18
<b>CHAPITRE II: TECHNIQUE D'ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION DE CODE OPTIQUE OCDMA</b>	
II.1. Introduction.....	19
II.2. Pourquoi le CDMA optique ? .....	19
II.3. Principe de l'OCDMA .....	20
II.4. OCDMA cohérent et incohérent.....	20
II.5. L'OCDMA synchrone et asynchrone.....	21
II.6. Type de codage dans l'OCDMA .....	21
II.6.1. Codage Unidimensionnel .....	22
II.6.1.1. OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA) .....	22
II.6.1.2 L'OCDMA par encodage spectral en amplitude (SAC-OCDMA).....	23
II.6.1.3. L'OCDMA par encodage spectral en phase (SPE).....	24
II.6.2. Codage Bidimensionnel.....	24
II.6.2.1 OCDMA par encodage spectral-temporel .....	25
II.6.2.2. OCDMA par encodage spatial-temporel .....	26
II.6.2.3. OCDMA par encodage spatial-spectral .....	26
II.6.3. Codage tridimensionnel (3D-OCDMA) .....	27
II.7. Les codes de l'OCDMA.....	28
II.7.1 Code à corrélation croisée nulle (ZCC) .....	29
II.7.2 Code à décalage cyclique dynamique (DCS).....	30
II.8. Conclusion .....	34
<b>CHAPITRE III: CONSTRUCTION D'UN NOUVEAU CODE POUR SAC-OCDMA</b>	
III.1. Introduction.....	35
III.2. Types de détections dans le SAC-OCDMA.....	35
III.2.1. Détection directe.....	35
III.2.2. Détection par soustraction AND .....	36
III.2.3. Détection de soustraction NAND .....	37
III.3. Développement de code Fibonacci .....	37
III.3.1. La Construction du code.....	38
III.3.1.1. Etape 1 : la suite de Fibonacci .....	38
III.3.1.2. Etape 2 : les propriétés du code Fibonacci .....	40
III.3.2. Analyse mathématique .....	40
III.4. Simulation.....	45
III.4.1. Présentation du logiciel de simulation.....	45
III.4.1.1. L'interface de travail .....	45
III.4.2. Les applications du logiciel.....	48

III.4.3. Critère de qualité de transmission d'une liaison optique .....	48
III.4.4. Description de la liaison optique.....	50
III.4.5. Analyse spectrale .....	55
III.4.6. Résultats et interprétations .....	56
III.4.6.1. Influence de la distance .....	56
III.4.6.2. Influence de puissance.....	58
III.5. Conclusion .....	61
CONCLUSION GENERALE.....	62

Annexe

Bibliographie

Résumé

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> Schéma représentant une liaison optique .....	3
<b>Figure I.2</b> Symbole d'une Diode LED .....	4
<b>Figure I.3</b> Codage RZ.....	5
<b>Figure I.4</b> Codage NRZ.....	5
<b>Figure I.5</b> Codage Manchester .....	6
<b>Figure I.6</b> Schéma synoptique d'une Modulation directe .....	7
<b>Figure I.7</b> Schéma Synoptique de la modulation externe .....	7
<b>Figure I.8</b> Schéma d'une Fibre optique.....	8
<b>Figure I.9</b> Schéma d'une fibre optique multimode à saut d'indice .....	9
<b>Figure I.10</b> Schéma d'une fibre optique multimode à gradient d'indice .....	10
<b>Figure I.11</b> Schéma d'une fibre optique monomode .....	10
<b>Figure I.12</b> Principales fenêtres de transmission dans la fibre optique .....	12
<b>Figure I.13</b> Principe de photo détection « Interaction optique-électrique » .....	14
<b>Figure I.14</b> Technique d'accès OTDM .....	15
<b>Figure I.15</b> Technique d'accès WDM .....	16
<b>Figure I.16</b> Schéma d'un système OCDMA .....	17
<b>Figure II.1</b> Technique OCDMA .....	20
<b>Figure II.2</b> Différentes techniques de codage OCDMA .....	22
<b>Figure II.3</b> Exemple de codage DS-OCDMA .....	23
<b>Figure II.4</b> Représentation schématique du SAC –OCDMA .....	23
<b>Figure II.5</b> Codage spectral en phase .....	24
<b>Figure II.6</b> Matrices en deux dimensions représentant des codes longueur d'onde- temps OCDMA .....	26
<b>Figure II.7</b> Représentation schématique de longueur d'onde- temps OCDMA .....	26
<b>Figure II.8</b> Système OCDMA spectral/spatial bidimensionnel conventionnel.....	27
<b>Figure II.9</b> Codage d'un utilisateur en 3D (temps, longueur d'onde, polarisation).....	28
<b>Figure II.10</b> Génération de la séquence $T_i$ pour le cas de $N = 22$ , $D = 8$ et $w = 4$ .....	32
<b>Figure II.11</b> Combinaison de séquences $T_i$ utilisée pour produire le 1er mot de code .....	32
<b>Figure III.1</b> Technique de Détection directe d'une longueur d'onde .....	36
<b>Figure III.2</b> Technique de Détection Directe pour la totalité des longueurs d'ondes .....	36
<b>Figure III.3</b> Détection par soustraction AND .....	37
<b>Figure III.4</b> Positionnement des uns(w) dans la séquence.....	39
<b>Figure III.5</b> Interface graphique de logiciel OptiSystem .....	45
<b>Figure III.6</b> Bibliothèque de composant de logiciel OptiSystem .....	46
<b>Figure III.7</b> Bibliothèque d'émetteur de logiciel OptiSystem .....	47
<b>Figure III.8</b> Bibliothèque du canal de transmission.....	47
<b>Figure III.9</b> Bibliothèque du récepteur de logiciel OptiSystem.....	48
<b>Figure III.10</b> Diagramme oculaire simple non déformé .....	50
<b>Figure III.11</b> Diagramme bruité.....	50
<b>Figure III.12</b> Interprétation du diagramme de l'œil .....	50
<b>Figure III.13</b> Représentation d'un émetteur OCDMA.....	51
<b>Figure III.14</b> Bloc du codage SAC-OCDMA .....	51
<b>Figure III.15</b> Bloc générateur du code .....	52

<b>Figure III.16</b> Longueurs d'onde utilisées en code Fibonacci avec ( $\Delta\lambda= 0.6 \text{ nm}$ ).....	53
<b>Figure III.17</b> Longueurs d'onde utilisées en code Fibonacci avec ( $\Delta\lambda= 0.8 \text{ nm}$ ).....	53
<b>Figure III.18</b> Longueurs d'onde utilisées en code Fibonacci avec ( $\Delta\lambda= 1 \text{ nm}$ ).....	53
<b>Figure III.19</b> Bloc récepteur du système SAC-OCDMA.....	54
<b>Figure III.20</b> Décodeur au niveau du récepteur SAC-OCDMA.....	54
<b>Figure III.21</b> Visualisation des spectres de sorties de la liaison.....	56
<b>Figure III.22</b> BER du code Fibonacci en fonction de la distance pour les différents utilisateurs .....	57
<b>Figure III.23</b> Diagrammes de l'œil du code Fibonacci de deuxième utilisateur avec différents espacements à 80 km.....	58
<b>Figure III.24</b> BER du code Fibonacci en fonction de la puissance pour les différents utilisateurs .....	59
<b>Figure III.25</b> Diagrammes de l'œil du code Fibonacci de deuxième utilisateur avec différents espacements à 60 km des puissances de -6 dBm et -8dBm avec un débit de 622Mbit/s.....	60

## Liste des tableaux

<b>Tableau II. 1</b> Génération de la séquence $S^i$ et de la séquence binaire $T_i$ dans le cas de $w = 4$ , $D = 8$ et $N = 22$ .....	32
<b>Tableau II.2</b> Mots de code DCS pour le cas de $w = 3$ , $D = 8$ et $K = 14$ .....	33
<b>Tableau II.3</b> Comparaison entre différents codes à un nombre spécifique d'utilisateurs.....	34

## Liste des acronymes

<b>1-D</b>	One dimensional	Unidimensionnel
<b>2-D</b>	Two dimensional	Bidimensionnel
<b>3-D</b>	Three dimentional	tridimensionnel
<b>APD</b>	Avalanche PhotoDiode	Photodiode à avalanche
<b>ATB</b>	Access Terminal Box	Boîte à Bornes d'Accès
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode	mode de transfert asynchrone
<b>BER</b>	Bit Error Rate	Taux d'erreur binaire
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access	Accès multiple par répartition de code
<b>CW</b>	Continuous Wave	Onde continue
<b>DCS</b>	Dynamic Cyclic Shift	/
<b>DD</b>	Directe detection	Détection directe
<b>ECL</b>	Emitter-Coupled Logic	Logique à émetteurs couplés
<b>FAT</b>	fiber Access terminal	Terminal d'Accès des Fibres
<b>FDT</b>	fiber distribution terminal	Boîtes de Distribution des Fibres
<b>FTTH</b>	fibre to the home	fibre jusqu'au domicile
<b>FWM</b>	Four-wave modulation	Modulation à quatre ondes s
<b>GPON</b>	Gigabit-capable passive Optical Network	réseau optique passif à débits de l'ordre du gigabit

<b>ISP</b>	Internet Service Provider	fournisseurs de services Internet
<b>LASER</b>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation	Amplification de la lumière par l'émission stimulée de radiations
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode	Diode électroluminescente
<b>MAI</b>	Multiple Access Interferences	Interférences d'accès multiple
<b>MCF</b>	Multicore fiber	fibre multi-cœur
<b>MDM</b>	Mode Division Multiplexing	Multiplexage par répartition de mode
<b>MDW</b>	Modified double weight	/
<b>MFH</b>	Modified frequency hopping	Saut de fréquence modifié
<b>MQC</b>	Modified quadratic congruence	/
<b>MZ</b>	Mach-Zehnder	/
<b>NAND</b>	Not- And	Non-ET
<b>NOR</b>	Not-Or	Non-OU
<b>NRO</b>	Optical Access node	nœud de raccordement optique
<b>NRZ</b>	No Return to Zero	Non-retour à zéro
<b>OCDMA</b>	Optical Code Division Multiple Access	Accès multiple par répartition de code optique
<b>OLT</b>	Optical Line Termination	Terminaison de ligne optique
<b>ONT</b>	Optical Network Termination	terminaison de réseau optique
<b>ONU</b>	Optical Network Unit	unité de réseau optique

<b>OOC</b>	Optical Orthogonal Code	/
<b>OTDR</b>	Optical Time Domain Reflectometer	Réflectomètre optique de domaine temporel
<b>PD</b>	Photodiode	Photodiode
<b>PDL</b>	Polarization Dependent Loss	Perte dépendante de la polarisation
<b>PDM</b>	Polarization Division Multiplexing	Multiplexage par répartition de polarisation
<b>PIN</b>	Positive Intrinsic Negative	/
<b>PIIN</b>	Phase Induced Intensity Noise	/
<b>PON</b>	Passive Optical Network	Réseau optique passif
<b>PRBS</b>	pseudo-Random Bit Sequence	Séquence de bits pseudo-aléatoires
<b>PSD</b>	Power Spectral Density	Densité spectrale de puissance
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network	réseau téléphonique commuté public
<b>QPSK</b>	Quaternary Phase Shift Keying	/
<b>RD</b>	Random Diagonal	/
<b>RTC</b>	Réseau téléphonique commuté	Switched telephone network
<b>RZ</b>	Return to Zero	Retour à zero
<b>SAC</b>	Spectral Amplitude Coding	Codage spectral d'amplitude
<b>SDM</b>	Space Division Multiplexing	Multiplexage par répartition de l'espace

<b>SMF</b>	Single Mode Fiber	fibres monomode
<b>SNR</b>	Signal-to-Noise Ratio	Rapport signal sur bruit
<b>SOP</b>	State of Polarisation	états de polarisation
<b>SPC</b>	Spectral Phase Coding	codage spectral de phase
<b>SPM</b>	Self Phase Modulation	Auto-modulation de phase
<b>SRO</b>	/	Sous Répartiteur Optique
<b>TB</b>	Terminal Box	Boîte à Bornes
<b>TDM</b>	Time Division Multiplexing	Multiplexage dans le temps
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access	Accès multiple par répartition de Temps
<b>UIT- T</b>	International Telecommunication Union – Telecommunication	union internationale des télécommunications
<b>VCSEL</b>	Vertical Cavity Surface Emitting Laser	/
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage par répartition de longueur d'onde
<b>XPM</b>	Cross phase modulation	Modulation de phase croisée
<b>ZCC</b>	Zero Cross-Correlation	Inter corrélation nulle

## Introduction générale

A l'essor de l'internet et suite au développement des services multimédias (la téléphonie sur IP, la visioconférence ...), le transfert d'information doit se faire dans la plupart de temps de manière simultanée et nécessite une grande bande passante et un débit important.

La capacité de transmission de données est à la fois associée aux limitations physiques du système de transmission et à la technologie adoptée pour le partage des ressources entre les utilisateurs.

Le passage de l'utilisation des câbles électriques dans les réseaux RTC et ADSL à la fibre optique de la nouvelle technologie FTTX est un pas géant dans la transmission de données pour faire face à la capacité limitée, actuellement la fibre optique est considérée comme le principal support des réseaux de télécommunication grâce à sa large bande passante son atténuation faible du signal transmis et son insensibilité aux interférences extérieures [1].

Afin d'augmenter le trafic de données sur les réseaux de télécommunications, des technologies d'accès multiples ont été mise au point, à savoir le multiplexage optique par répartition dans le temps (OTDM), le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), multiplexage par division spatial (SDM), multiplexage par division de polarisation (PDM) et Accès multiple par division de code optique (OCDMA), dont le principe est basé sur le partage du même support physique que est la fibre optique [2].

Grâce à sa grande capacité à maintenir des conditions fiables avec un support pour le trafic de données asynchrone et une meilleure réponse aux interférences d'accès multiples, l'OCDMA est considérée comme une solution potentiellement intéressante pour les futurs réseaux d'accès [3].

Les interférences et les bruits différents entraînent une augmentation des erreurs et une diminution des performances du système. La solution proposée est d'utiliser la technique d'encodage spectral en amplitude SAC (spectral amplitude coding) qui présente l'avantage de réduire ces interférences en utilisant des codes à faible corrélation croisée.

L'objectif de ce travail est de construire un nouveau code appelé Fibonacci d'un système de transmission basé sur la technique SAC- OCDMA l'étudier et le simuler sous OptiSystem.

Dans le premier chapitre, nous présenterons un aperçu sur les systèmes de transmission optique en décrivant les différents composants qui constitue ces liaisons allant de l'émetteur au récepteur passant par le support optique en citant quelques effets qui limitent les performances de systèmes et nous terminerons le chapitre par la présentation des différentes techniques de multiplexages.

Dans le deuxième chapitre, nous détaillerons la technique OCDMA en expliquant son principe de fonctionnement et ses différentes approches ainsi que les divers encodages utilisés, unidimensionnel (DS-OCDMA, SAC-OCDMA, SPE), bidimensionnel (spatial-temporel et spatial-spectral) et tridimensionnel et on présentera le développement des codes Zero Cross Correlation (ZCC) et Dynamic Cyclic Shift (DCS).

Le troisième chapitre sera consacré à la construction d'un nouveau code pour les systèmes SAC-OCDMA, nous allons entamer quelques types de détections dans le SAC-OCDMA puis nous présenterons le développement du nouveau code Fibonacci, sa construction et son analyse mathématique et enfin nous simulerons un système de transmission basé sur le SAC-OCDMA avec le code Fibonacci sous OptiSystem. Et nous terminerons avec une conclusion générale.

# **Chapitre I**

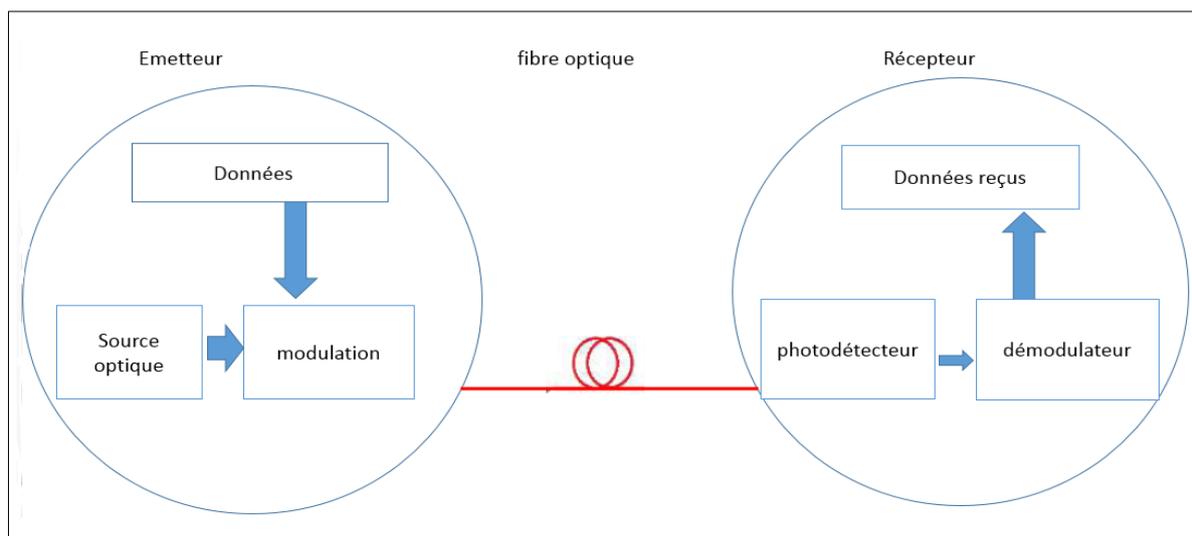
## **GENERALITES SUR LES LIAISONS PAR FIBRE OPTIQUE**

## I.1. Introduction

La fibre optique d'aujourd'hui est devenue indispensable, elle joue un rôle très important dans le système de communication, où elle offre un débit élevé et un faible taux de perte, ce qui augmente sa demande. Dans ce chapitre, nous aborderons le fonctionnement des systèmes de transmission dans les liaisons par fibre optique, les composants utilisés dans les émetteurs-récepteurs, passant par le canal, et les paramètres des performances des systèmes de transmissions à fibre optique ainsi les différentes techniques de multiplexage optique.

## I.2. Liaison par fibre optique

Chaque chaîne de transmission est composée de trois parties principales qui sont le bloc émetteur, le support de transmission (fibre optique) et le bloc récepteur. (Figure I.1)



**Figure I.1.** Schéma représentant une liaison optique

## I.3. Partie d'émission

Dans cette partie, le signal électrique sera converti en signal optique à travers des composants optoélectroniques tels que les diodes électroluminescentes et les diodes lasers afin de les véhiculer au cœur de la fibre optique.

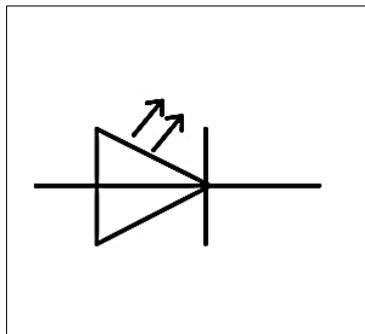
### I.3.1. Sources optiques

Les informations à transmettre dans un système de télécommunications optiques doivent être inscrites sur le support que constitue la lumière émise par une source de lumière transmet des données de manière efficace sur la fibre [5]. Ces sources peuvent être :

- Une diode LED (Light Emitting Diode) « 850 nm, 1300 nm ».
- Une diode laser « 1300 ou 1550nm » [4].

#### I.3.1.1. La diode électroluminescente (LED)

Une diode LED est un dispositif incohérent qui émet de la lumière lorsqu'il est polarisé dans le sens direct. [6] Les LED sont utilisées pour les communications optiques et peuvent fournir des centaines de microwatts de puissance optique et fournir des vitesses inférieures à 5 Mbits/s via des fibres optiques multimodes. Elles ont un faible coût [4]. Le symbole de la diode LED est représenté dans la figure I.2.



**Figure I.2.** Symbole d'une Diode LED

#### I.3.1.2. La diode laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Une diode laser est un composant électro-optique qui émet à un faible intervalle de longueur d'onde un signal puissant. Elle est considérée comme la source la plus appropriée par les télécommunications optiques car elle permet une meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre optique [7].

### I.3.2. Codage des données

La représentation physique des données (bit '0' ou '1') dans un format optique est généralement obtenue par modulation d'intensité. Les codes les plus utilisées dans les communications optiques [1] :

#### I.3.2.1. Codage RZ (Return-to-Zero)

Dans ce format, la durée de l'impulsion associée à la donnée "1" est nettement inférieure au temps de transmission de la donnée "0" car il existe en plus un "état de latence" pendant lequel la ligne ne transmet aucun bit. Ce codage est utilisé pour des débits plus élevés (plus de 10 Gbit/s) [5]. La figure I.3 représente la séquence binaire (1 0 1 0 0 1 1) codée en RZ:

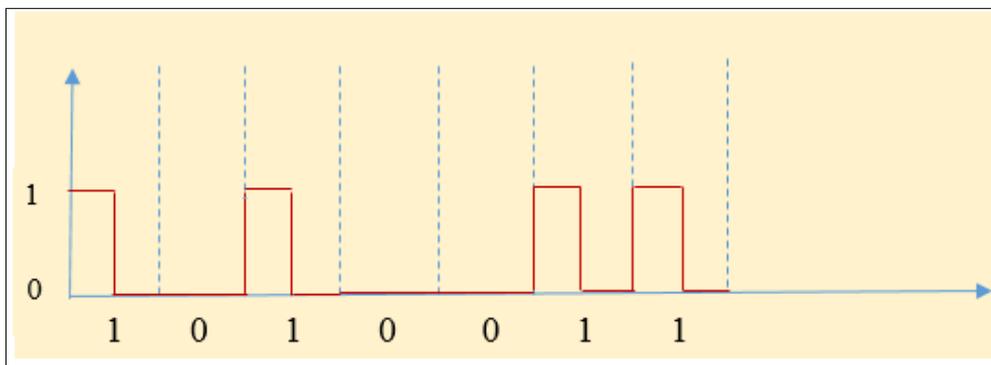


Figure I.3. Codage RZ

#### I.3.2.2. Codage NRZ (Non-Return-to-Zero)

Un signal NRZ est constitué par une tension en ligne dont la valeur varie entre un niveau bas et un niveau haut 0 ou 1 (0 ou 5 V, -12 ou +12 V). Le codage NRZ est utilisé pour les débits inférieurs à 10 Gbit/s et dans de nombreux systèmes WDM où il nécessite un modulateur externe [5]. La figure I.4 représente la séquence binaire (1 0 1 0 0 1 1) codée en NRZ :

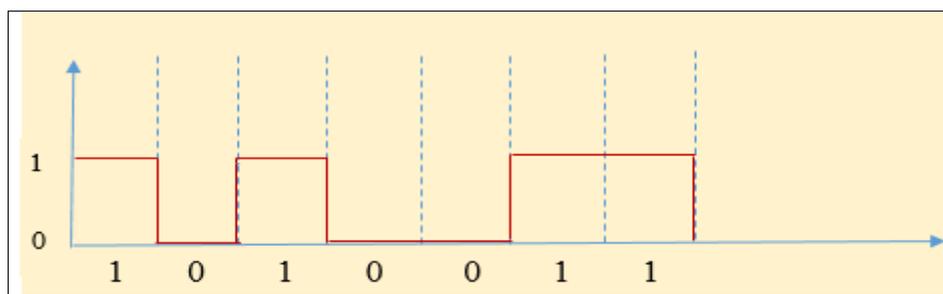


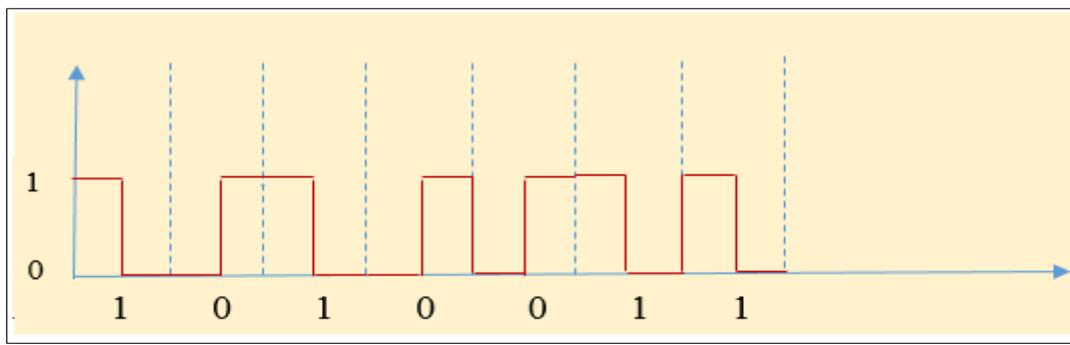
Figure I.4. Codage NRZ

### I.3.2.3. Codage Manchester

Également connu sous le nom de codage à deux phases «biphase», une transition est introduite au milieu de chaque intervalle, ce qui signifie que les données "1" seront codées sur le front descendant du cycle d'horloge, et les données "0" seront codées sur le front montant du cycle d'horloge. En fait, il comprend un OU exclusif (XOR) entre le signal de données et le signal d'horloge. Ce code est Utilisé pour supprimer la composante continue [9].

- Une transition montante : correspond à la valeur "0" du signal binaire à transmettre.
- Une transition descendante : correspond à la valeur "1" du signal binaire à transmettre.

La figure I.5 représente la séquence binaire (1 0 1 0 0 1 1) codée en Manchester :



**Figure I.5.** Codage Manchester

#### Remarque :

Le code *NRZ* est plus simple et facile à mettre en œuvre, il présente une meilleure performance aux effets non linéaires dans les systèmes à longues distances. Les configurations fournissant le format d'impulsion *RZ* sont plus coûteuses, ce qui favorise le codage *NRZ* dans les réseaux à courtes et moyennes distances [1].

### I.3.3. Modulation

Il existe deux techniques différentes de modulations : la modulation directe, où la source elle-même modifie sa sortie, et la modulation externe, un modulateur est alors situé dans le faisceau de sortie [10].

Avantages de la modulation :

- La génération d'un signal physique à partir des données binaires.
- Réduire les données binaires du niveau de puissance du signal optique.

### I.3.3.1. La modulation directe

Cette technique n'est utilisée que pour des débits inférieurs à 5 Gb/s et consiste à moduler directement le courant injecté dans un laser à semi-conducteur. Le principe est qu'on allume la diode laser pour transmettre la donnée « 1 » et on l'éteint pour la donnée « 0 ». La figure I.6 représente un schéma synoptique d'une modulation directe [7].

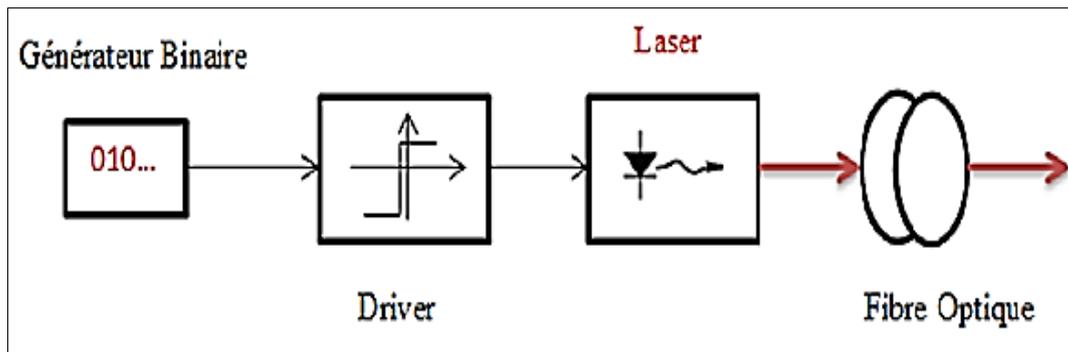


Figure I.6. Schéma synoptique d'une modulation directe [7]

Le Driver représente la partie codage de données.

Cependant, cette méthode de modulation comporte un inconvénient majeur qui réside dans l'amplitude du courant qui affecte en effet la fréquence du signal émis [11].

### I.3.3.2. La modulation externe

Cette modulation est plus répandue. En effet, ici le courant injecté à la diode restera constant, mais il est nécessaire d'utiliser un modulateur externe afin de parvenir à moduler le signal lumineux [11]. Voici l'illustration du fonctionnement par un schéma d'interféromètre Mach-Zehnder (modulateur commandé par une tension externe, modulée et représentative de l'information à transmettre) [11]:

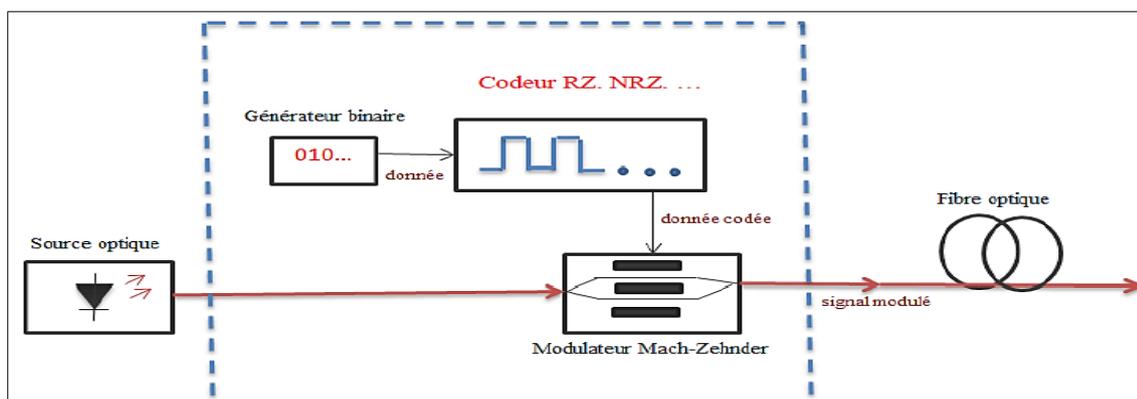


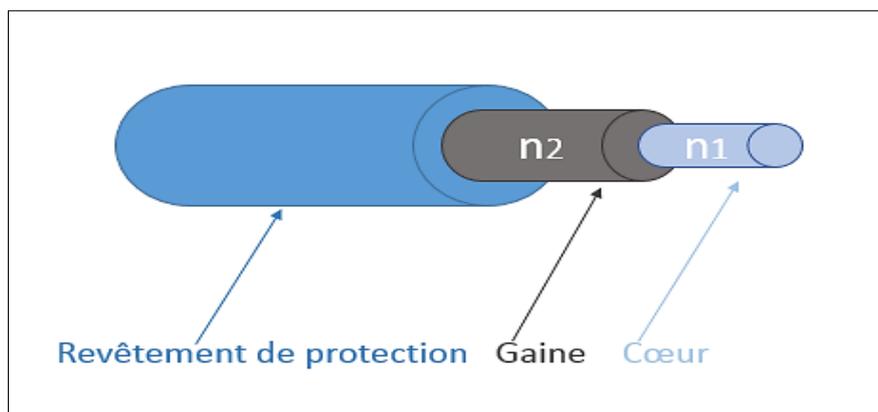
Figure I.7. Schéma Synoptique de la modulation externe

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques gigabits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité de transmission correcte. Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important [7].

#### I.4. Fibre optique

La fibre optique est un guide diélectrique qui possède généralement une symétrie de révolution, il transporte des informations sous forme d'impulsions lumineuses.

Une fibre optique est constituée par deux couches de matériaux transparents à base de silice appelées le cœur, d'indice de réfraction  $n_1$  ou la grande partie de lumière est confinée, et la gaine optique qui entoure le cœur, d'indice  $n_2$ . Ces deux couches sont protégées par un revêtement [12]. La figure I.8 représente un schéma d'une fibre optique.



**Figure I.8.** Schéma d'une fibre optique

Les fibres optiques présentent nombreux avantages en tant que support de transmission,

Parmi ces avantages, on cite :

- Large bande passante de l'ordre du Téra Hertz, qui permet d'atteindre des débits de l'ordre de quelques Gigabits par seconde (débit très élevé).
- Grande sûreté des transmissions, avec de faibles pertes d'information. La longue durée de vie, qui nécessite peu d'interventions en maintenance.
- Petite taille et poids faible.
- Absence d'échauffement.

- Insensibilité aux interférences extérieures tels que rayonnements électromagnétiques et aux brouillages [12, 1].

### I.4.1. Types de fibres optiques

La fibre optique est classifié selon deux approches : le nombre de modes envoyés (fibre monomode et fibre multimode) et l'indice de réfraction (fibres à saut indice et à gradient indice) [1].

#### I.4.1.1. Fibre optique multimode

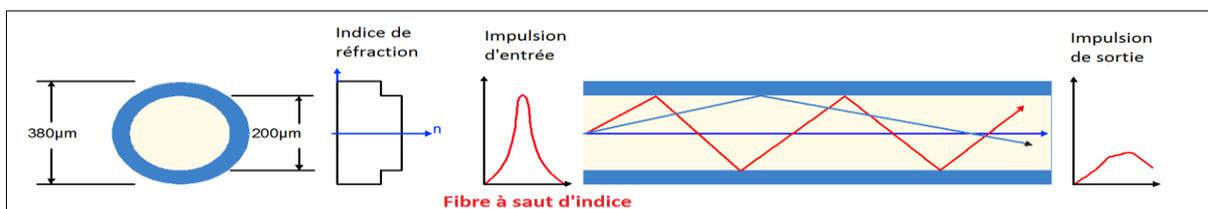
Les fibres optiques multimodes sont des guides d'ondes diélectriques qui peuvent avoir de nombreux modes de propagation (saut d'indice et gradient d'indice). La Lumière dans ces modes suit des chemins qui peuvent être représentés par des rayons lumineux comme le montrent les figures ci-dessous [13].

Leur différence réside principalement dans la différence du diamètre du cœur. La fibre à Saut d'indice présente un diamètre de cœur deux à quatre fois plus grand que celui des fibres à Gradient d'indice. Nous citons:

- **Fibre optique multimode à saut d'indice**

Cette fibre est appelée « à saut d'indice » car l'indice de réfraction change brusquement de la gaine au cœur. Par conséquent, tous les rayons situés dans un certain angle seront totalement réfléchis à la limite entre le cœur et la gaine. Les différents modes d'une impulsion arrivent à l'extrémité de la fibre à des moments différents ce qui cause un étalement des impulsions qui limite le débit binaire du signal numérique transmis [13].

Le diamètre de cœur de la fibre à saut d'indice est responsable d'une très grande atténuation des données comme le montre la figure suivante :

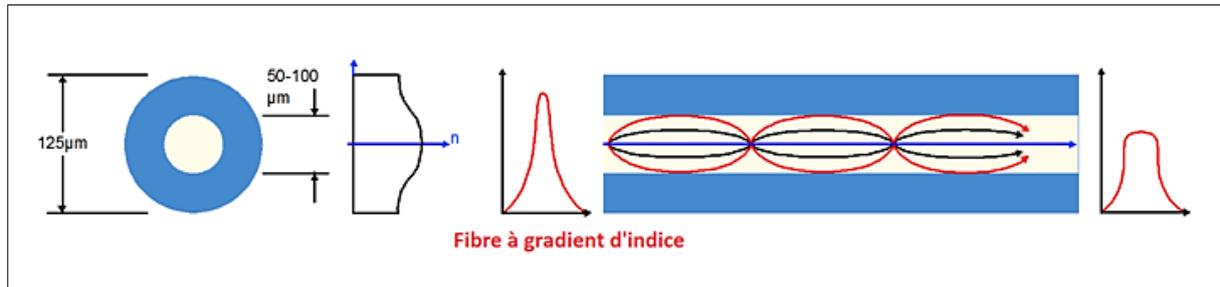


**Figure I.9.** Schéma d'une fibre optique multimode à saut d'indice [14]

- **Fibre optique multimode à gradient d'indice**

Dans ce cas, l'indice de réfraction change doucement du centre vers l'extérieur, de sorte que le temps de parcours de bout en bout des différents rayons est presque égal, même s'ils parcourent des chemins différents.

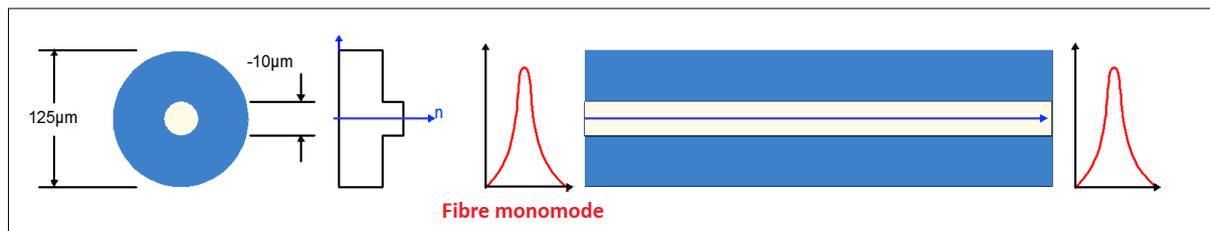
Cette égalisation des vitesses peut réduire l'étalement des impulsions par un facteur de 100 ou plus [13].



**Figure I.10.** Schéma d'une fibre optique multimode à gradient d'indice [14]

#### I.4.1.2. Fibre optique monomode

La fibre optique monomode a un diamètre de cœur de 10 µm (plus petit par rapport à la fibre multimode) ce qui permet de transporter la lumière sans réflexion et de manière quasi-rectiligne. Cette fibre dispose d'un seul mode de propagation de la lumière ce qui produit peu de dispersion [12]. (Figure I.11)



**Figure I.11.** Schéma d'une fibre optique monomode [14]

La fibre optique est caractérisée par le paramètre le plus important pour définir le nombre des modes envoyés, ce paramètre est connu sous le nom de nombre  $V$  ou la fréquence normalisée de la fibre [1].

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} NA \quad (I.1)$$

Tels que :

$a$  : le rayon du cœur.

$\lambda$  : la longueur d'onde.

$NA$  : l'ouverture numérique.

Lorsque  $V$  est supérieur à 2.405, la fibre est dite multimodes et lorsque  $V$  est inférieur à 2.405 la fibre est dite monomode [15].

## I.4.2. Les caractéristiques de la fibre optique

La fibre optique est considérée comme un meilleur support de transmission par câble à haut débit en le comparant aux autres milieux qui existent, mais ne change pas le fait des phénomènes linéaires (l'atténuation et la dispersion) et non-linéaires (effet de Kerr, SRS, SBS) qui perturbent la transmission.

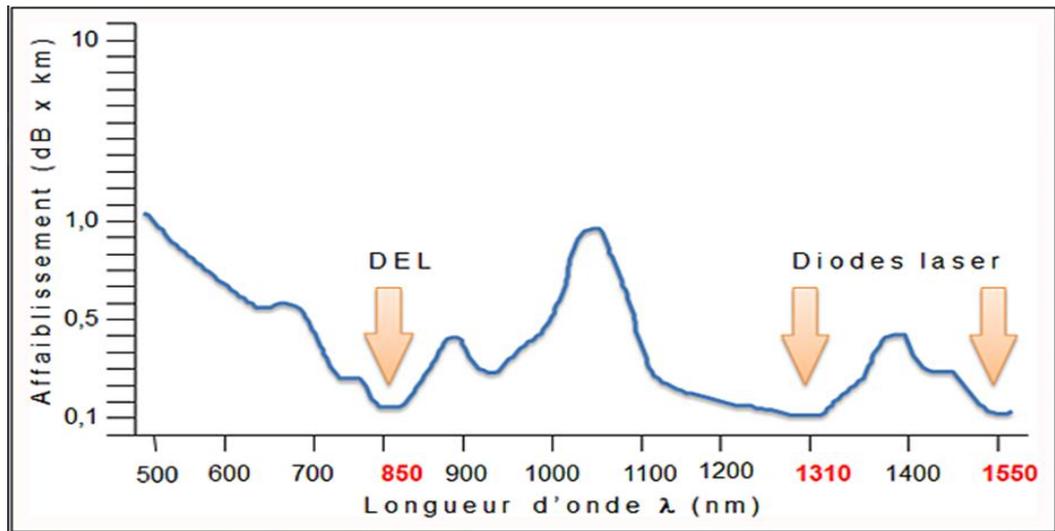
### I.4.2.1. Les effets linéaires

Les effets linéaires sont deux : Atténuation et dispersion (modale et chromatique).

**Atténuation** : Les effets de l'atténuation se manifestent par une perte de la puissance du signal au fur et à mesure qu'il se propage dans la fibre. Cette perte d'énergie est la somme de plusieurs processus d'absorption et de diffusion de l'énergie dans des directions autre que celle de la propagation [16]. Elle s'exprime en décibel (dB), le taux d'atténuation dans la fibre optique est faible par rapport aux autres supports.

La fibre optique a des valeurs d'affaiblissement différentes selon la longueur d'onde, ce qu'on appelle la courbe spectrale d'affaiblissement. Les zones de plus faibles pertes sont appelées des fenêtres d'émission où les rayons lumineux à transmettre se mettent afin d'avoir une efficacité maximale.

L'émission de la lumière se fait à travers une diode électroluminescente LED où les fenêtres utilisées ont été entre 820 et 850 nm où par une diode LASER dont les fenêtres utilisées ont été autour de 1300 et 1500nm.



**Figure I.12.** Principales fenêtres de transmission dans la fibre optique

**Dispersion :** La dispersion représente une large classe de phénomènes liés au fait que la vitesse de l'onde électromagnétique dépend de la longueur d'onde. Ce phénomène se traduit par l'élargissement des impulsions ce qui dégrade la détection des bits envoyés [1]. Il existe deux types de dispersion Modale et Chromatique.

#### I.4.2.2. Les effets non- linéaires

Les effets non linéaires présentent un des mécanismes fondamentaux qui limitent la quantité de données qui peuvent être transmises sur une fibre optique [13].

Les effets non-linéaires sont provoqués par la Variation de l'indice de réfraction du milieu avec l'intensité du signal transmis.

**L'effet de Kerr :** Cet effet consiste en une variation de l'indice de réfraction du matériau en fonction de l'intensité du signal optique, son influence sur le signal peut être observé à travers trois phénomènes (SPM : Self Phase Modulation, XPM : Cross phase modulation, FWM : FWM ; four-wave modulation).

**L'Effet Raman et Brillouin :** L'effet Raman résulte de l'interaction d'un photon avec un phonon optique alors que l'effet Brillouin résulte de l'interaction d'un photon optique avec un phonon acoustique.

## I.5. Partie de réception

Les fonctions principales dans un récepteur pour transmission sur fibre sont la photodétection, la récupération du signal d'horloge et le traitement de données numériques. La photodétection constitue l'interface optique/électrique du récepteur.

La précision de la reconstitution des données dépend de la bonne synchronisation de l'ensemble des circuits, notamment celle du circuit de décision qui effectue principalement cette tâche.

Le photodétecteur ainsi que le circuit de précision ont la complexité la plus élevée parmi les circuits composant le récepteur car ce sont eux qui doivent supporter les signaux de plus haute fréquence. Par conséquent, ils représentent généralement la partie du récepteur qui limite la vitesse de liaison [17].

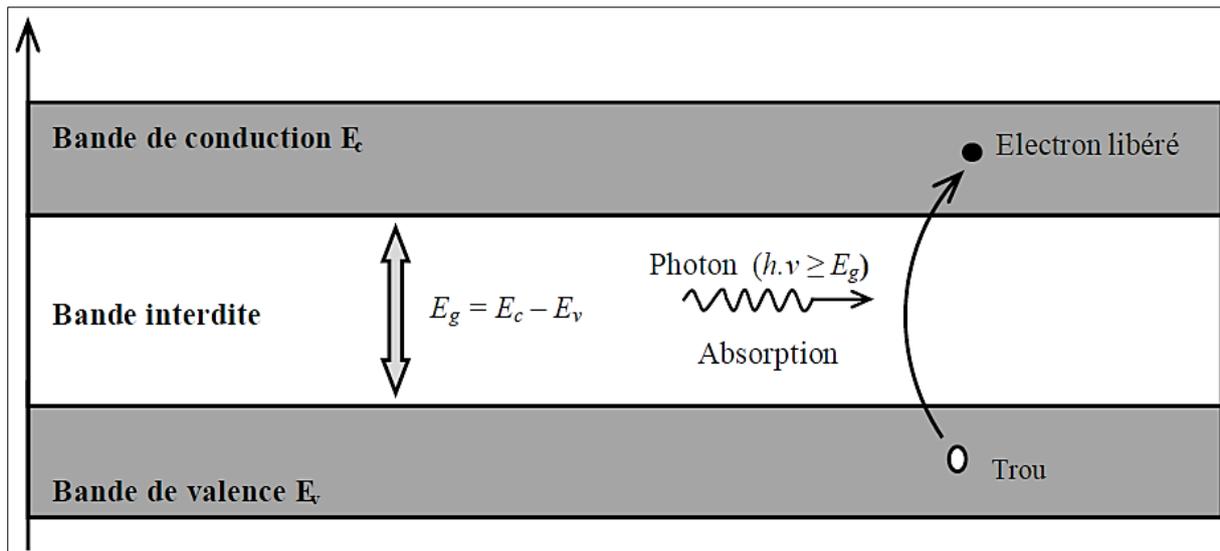
### I.5.1. Photodiodes

Les photodiodes jouent un rôle important à la constitution du signal transmis à la réception dans la chaîne de communication optique, dans une détection et la conversion optique-électrique du signal détecté.

Leurs exigences, Ils doivent :

- Etre sensibles à la longueur d'onde utilisée
- Sa taille doit être compatible avec la taille de cœur de fibre
- Avoir un faible bruit
- Présenter une bande passante assez élevée par rapport au débit de données.

La photodétection dans les semi-conducteurs, fonctionne sur le principe général de la création des paires électron-trou sous l'action de la lumière. Le nombre de paires électron-trou est égal au nombre de photons absorbés. Les photodétecteurs à semi-conducteurs convertissent directement les photons incidents en électrons, ces électrons peuvent alors être soit éjectés soit libérés au sein des matériaux semi-conducteurs grâce aux propriétés photosensibles très importantes qu'ils offrent [18, 19, 20]. La figure I.13 représente le Principe de photo détection.



**Figure I.13.** Principe de photo détection « Interaction optique-électrique » [20]

Leurs avantages sont :

- Rapides à la conversion.
- Faciles à exploiter et résistants contre les bruits.
- Développer pratiquement les transmissions optiques à très longues distances.
- Grande sensibilité.

Dans cet effet, les systèmes de communications optiques utilisent à leur extrémité réceptrice d'une façon particulière les structures les plus disposées pour convertir les flux optiques en courants électriques, la photodiode PIN (Positive Intrinsic Negative) et APD (Avalanche Photo Diode) photodiode à avalanche [18, 19, 20] ayant deux électrodes et une caractéristique électrique en symétrique [21, 20].

### I.5.2.Circuit de décision

Le rôle du circuit de décision est la régénération des données émises. Ce circuit est basé sur des bascules maître-esclave. Ces bascules sont des fonctions de base pour des applications numériques dans la synchronisation ou le retard des données par rapport au signal d'horloge, ou encore dans la remise en forme du signal.

Leur tâche est de comparer le signal de données à un certain seuil d'amplitude, puis de «décider » le niveau correspondant du signal (« bit 1 » ou «bit 0 »), et ceci à chaque front d'horloge. Ainsi, le signal d'entrée de la bascule, qui est en réalité le signal de sortie après la

détection par le photodétecteur, doit avoir une amplitude assez élevée pour la fonction de «décision ».

De plus, la plupart des circuits de décision comportent un étage d'amplification à l'entrée afin d'augmenter la sensibilité du récepteur et un étage de sortie pour amplifier le signal traité.

## I.6. Techniques de multiplexages

Lorsque la bande passante d'un support est nettement plus large que le spectre du signal à transmettre, il est nécessaire d'utiliser un même support pour transmettre parallèlement plusieurs signaux. Plusieurs techniques de multiplexage ont été développées afin d'accroître la capacité du système de transmission sur une bande passante fixe, parmi ces techniques on trouve : OTDM, WDM, OCDMA, PDM, SDM.

### I.6.1. Multiplexage optique par répartition dans le temps (OTDM)

OTDM est une technique de multiplexage qui multiplexe un N nombre de canaux de bit faible taux dans le domaine temporel c'est-à-dire découper la bande passante de la fibre optique en unité de temps que vont se partager les différentes communications comme le montre la figure I.14.

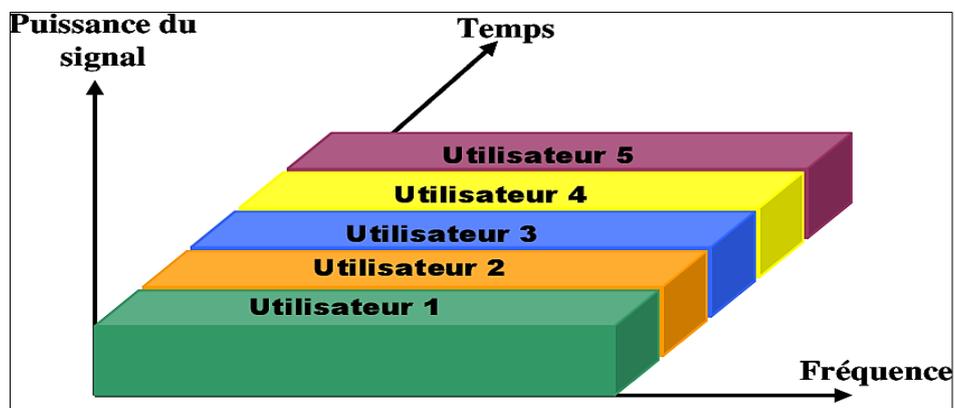


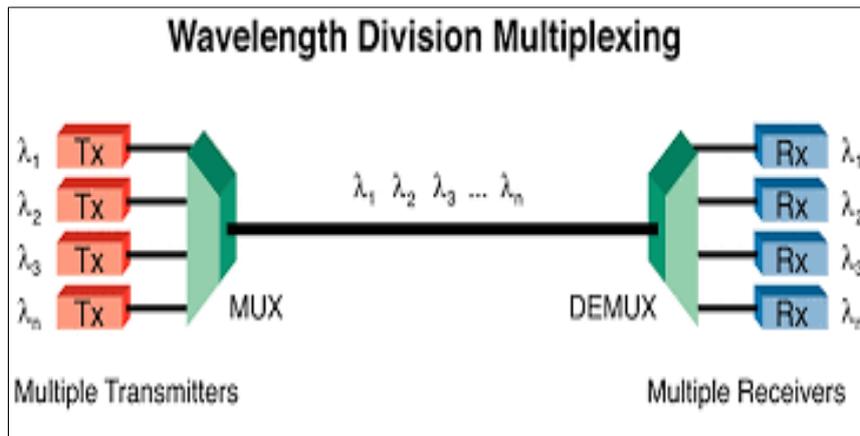
Figure I.14. Technique d'accès OTDM [12]

### I.6.2. Multiplexage par division de longueur d'onde (WDM)

Son principe est d'attribuer une longueur d'onde spécifique à chaque utilisateur. Où les données émises par des sources optiques à longueurs d'ondes distinctes sont transmises simultanément sur la même fibre optique. Le débit total obtenu est la somme des débits de tous

les utilisateurs. Le premier système WDM avait une capacité de quatre canaux ( $2.5\text{Gbit/s} \times 4$  canaux) avec un espacement de  $8\text{ nm}$  entre les canaux.

À la réception, les données de chaque utilisateur sont extraites à partir des signaux multiplexés, par filtrage optique à la longueur d'onde correspondant aux données de l'utilisateur souhaité, avant d'être détectées pour le traitement [22, 1]. La figure I.15 représente la technique d'accès WDM.



**Figure I.15.** Technique d'accès WDM [23]

### I.6.3. Accès multiple par division de codage optique (OCDMA)

La technique OCDMA a été étudiée à partir de 1986, à l'origine c'était CDMA qui est adopté aux communications radiofréquences et qui a été développée pour les communications optiques. Dans cette technique on alloue à chaque utilisateur un code ou signature, ces utilisateurs partagent les mêmes fréquences et les mêmes intervalles temporels d'où tous les utilisateurs peuvent transmettre les données simultanément et accéder à la totalité de la bande passante comme le montre la figure I.16 [24]. Les signaux dans l'OCDMA sont traités de deux façons : soit de manière cohérente ou incohérente.

Dans l'approche cohérente, l'amplitude et la phase du signal sont prises en compte, cette approche est coûteuse et complexe. Dans l'approche incohérente (le plus préférée), l'intensité lumineuse est la caractéristique du signal optique. Les codes seront donc unipolaires et quasi-orthogonaux.

La technique *OCDMA* offre plusieurs avantages pour les réseaux d'accès tels que :

- Haute sécurité.
- Faible interférence.

- Efficacité spectrale améliorée.
- Qualité de service flexible.
- Faible coût [1].

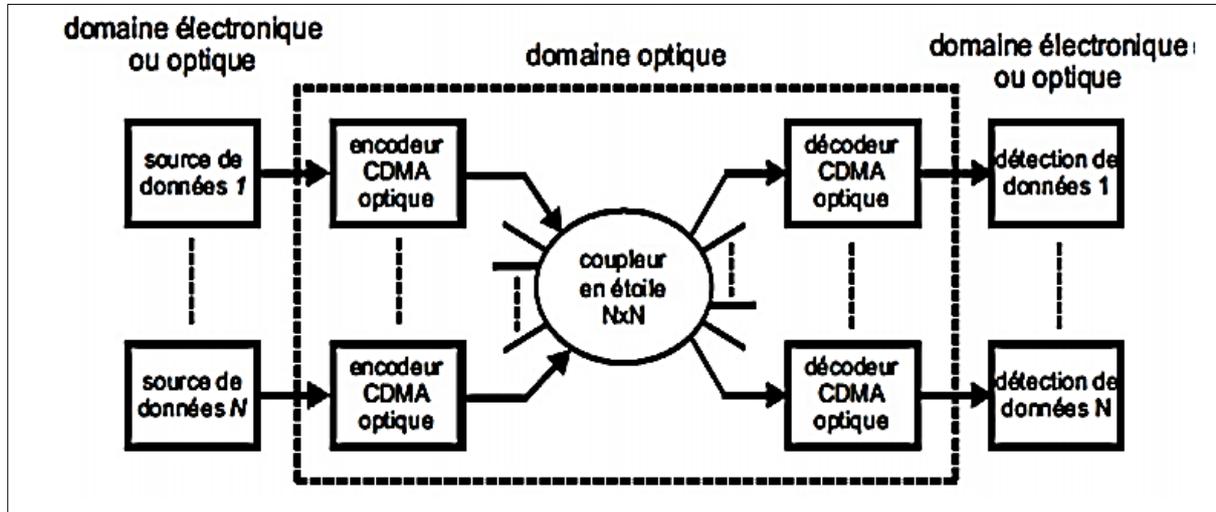


Figure I.16. Schéma d'un système OCDMA [25]

#### I.6.4. Technique de Multiplexage par division spatiale SDM

La réutilisation en mode spatial est une solution pour surmonter la limitation des capacités. SDM est une technologie qui utilise des dimensions spatiales pour transmettre simultanément différents flux de données en créant des chemins spatiaux parallèles.

Plusieurs modes spatiaux correspondant à la solution de l'équation de propagation sont multiplexés dans une fibre spécifique pour multiplier le débit de transmission par le nombre de modes utilisés.

Dans le système *SDM*, les données peuvent être transmises en parallèle dans des canaux spatiaux, et ces canaux spatiaux peuvent être implémentés en deux méthodes principales, la première méthode est basée sur les fibres multimodes, elle est appelée le multiplexage en mode (MDM) La deuxième méthode est basée sur des fibres multi-cœur (MCF) [1].

### **I.6.5. Technique Multiplexage par division de polarisation PDM**

La technique *PDM* offre une augmentation du débit de transport de données jusqu'à 100 *Gbit/s* (par l'utilisation de la modulation *QPSK* à travers les deux polarisations par une seule longueur d'onde).

Cette technique consiste à envoyer des symboles de données indépendants sur deux états de polarisation *SOP* (State Of Polarisation) orthogonaux, qui permet une efficacité spectrale de la transmission optique doublée par rapport aux systèmes optiques à une seule polarisation [1]. Dans la technique *PDM*, chaque canal de données (utilisateur) exploite un angle de polarisation unique.

### **I.7. Conclusion**

Dans ce premier chapitre nous avons expliqué les notions nécessaires à la compréhension du principe d'une chaîne de transmission optique. Nous avons présenté les trois parties de la liaison en commençant par la partie émission ou nous avons cité et expliqué quelques notions telles que les sources optiques et les techniques de modulation puis nous avons défini le support optique en se référant à ces différents types et caractéristiques, ensuite nous avons introduit en détail la partie réception. Dans ce chapitre nous avons également cité et expliqué les différentes technologies de multiplexage optique.

# **Chapitre II**

## **TECHNIQUE D'ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION DE CODE OPTIQUE OCDMA**

## II.1. Introduction

Des technologies d'accès multiples sont nécessaires pour répondre à la demande croissante de haute vitesse et de capacité de communication élevée dans les réseaux optiques, ce qui permet à plusieurs utilisateurs de partager la même bande passante de fibre optique.

La technique d'accès multiple par division de code optique OCDMA (optical code division multiple Access) devient de plus en plus attrayante en raison de ses nombreuses caractéristiques telles que sa capacité à prendre en charge l'accès asynchrone, le trafic en rafales, la transmission sécurisée et le coût réel [26, 27]. Le principal inconvénient de l'OCDMA est que ses performances et sa capacité sont limitées par les interférences d'accès multiples (MAI) [28, 29, 30].

Dans ce chapitre, nous décrirons le principe de l'OCDMA ensuite, nous parlerons sur les différentes approches de l'OCDMA (cohérent et incohérent, synchrone et asynchrone) puis nous citerons ses différents types d'encodages à une dimension, deux dimensions et trois dimensions. Enfin, nous détaillerons les étapes de construction de deux codes : ZCC (en anglais: zero cross correlation) et DCS (en anglais : dynamic cyclic shift).

## II.2. Pourquoi le CDMA optique ?

Afin de surmonter les limitations des systèmes d'accès TDMA et WDMA en termes de capacité de multiplexage, de débit et de flexibilité, il est nécessaire de recourir à la nouvelle technologie de multiplexage OCDMA. Grâce à ces avantages, plusieurs utilisateurs peuvent accéder aux réseaux asynchrones [31, 32] :

- Les composants passifs réduisent les coûts.
- Haut niveau de sécurité de transmission.
- Large bande passante et Faible atténuation est reliée à la fibre.
- Favoriser la réalisation de nombreux services, telle que la transmission de données multimédias de haute qualité.
- Le codage et le décodage sont réalisés dans le domaine optique sans faire appel à des convertisseurs électrique/optique et optique/électrique grâce à des composants optiques passifs faciles à intégrer dans les réseaux PON (Passive Optical Network).

### II.3. Principe de l'OCDMA

L'OCDMA est adapté des systèmes CDMA radiofréquence, cette technique alloue à chaque usager un code spécifique (chips) qui peut être fréquentiel, temporel, spatial basé sur la polarisation ou la phase afin de pouvoir extraire les données par corrélation au niveau du récepteur final. Pour la récupération des données, le signal reçu serait d'abord comparé au code de séquence, puis à un niveau de seuil au niveau du comparateur. L'OCDMA permet aux différents usagers d'utilisés et de partagés tout le spectre optique, ces usagers encodés optiquement transmettent simultanément d'une façon asynchrone [33, 34]. La figure II.1 présente un schéma synoptique d'un réseau CDMA Optique.

La technique OCDMA peut être classée selon deux approches principales. La première approche est selon la nature de la superposition du signal optique, où on trouve deux types, OCDMA cohérent et OCDMA incohérent. La deuxième approche est en fonction du type de codage utilisé [1].

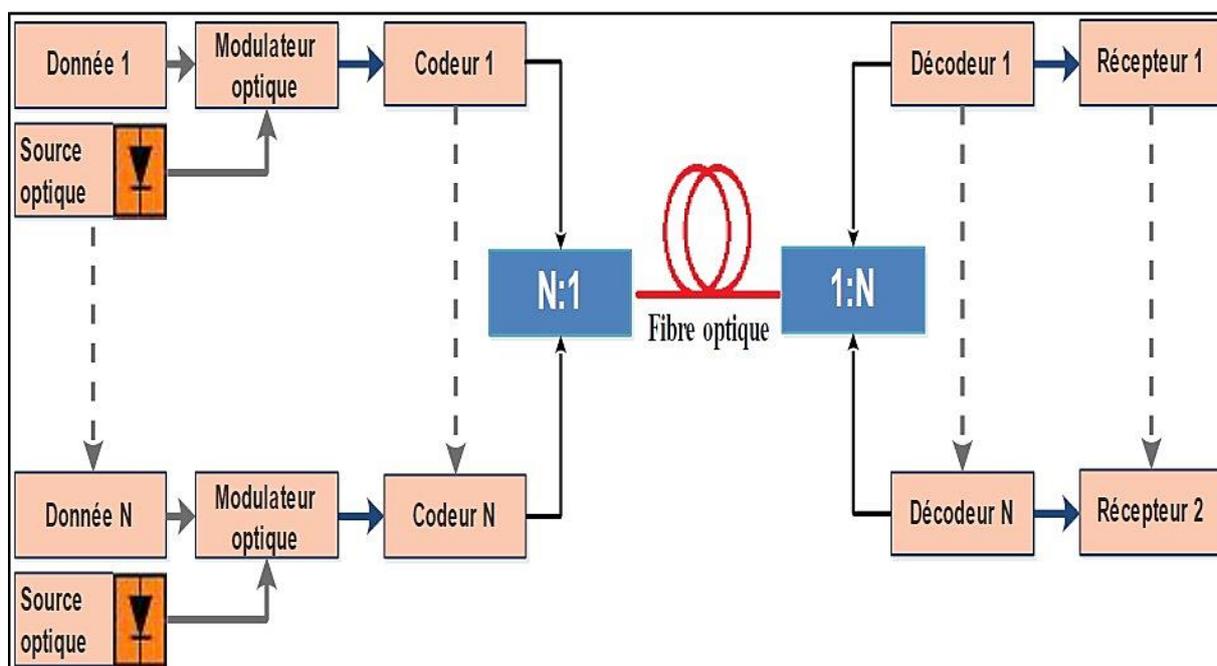


Figure II.1. Technique OCDMA [1]

### II.4. OCDMA cohérent et incohérent

Dans cette technique, les données codées à transmettre utilisent l'amplitude et la phase du signal transmis [35, 36], donc elle utilise la propriété cohérente de la lumière qui implémente un codage bipolaire composé de "+ 1" et "- 1", (par exemple le codage de la phase des signaux

optiques), cette catégorie augmente la complexité du récepteur et donc l'infrastructure à mettre en place plus onéreuse [1, 36].

L'OCDMA dit incohérent, utilise des codes unipolaires composés de "1" et "0", qui sont basés sur la présence ou l'absence de lumière (la puissance du signal transmis) pour les définir respectivement [1]. Dans ce cas, le système est simple à mettre en œuvre (faible coût) à un débit binaire relativement faible ce qui le rend envisagé par la plupart des études portés sur le CDMA optique. Par contre, les données émises par les différents usagers interfèrent les unes avec les autres ce qu'on appelle les interférences d'accès multiple (MAI) à cause des séquences de codes qui ne peuvent pas être strictement orthogonales [36].

### **II.5. L'OCDMA synchrone et asynchrone**

Les OCDMA synchrones (S-OCDMA) exploitent au maximum l'orthogonalité des codes (la corrélation entre le code d'un utilisateur et celui d'autre est nulle). Il n'y a ainsi pas d'interférence entre les utilisateurs. En fait, le cas orthogonalité parfaite n'est convenable que dans les systèmes OCDMA synchrones, où les codes bipolaires (codes de Walsh Hadamard, codes de Gold orthogonaux) offrent une parfaite orthogonalité.

Les OCDMA asynchrones (A-OCDMA), quant à eux, utilisent des codes dont l'orthogonalité n'est pas parfaite et n'imposent aucune contrainte de synchronisation entre utilisateurs. La corrélation entre les codes est alors non nulle créant ainsi des interférences entre les utilisateurs (MAI) et se manifeste par une réduction significative du nombre d'utilisateurs comparativement au CDMA synchrone [31].

### **II.6. Type de codage dans l'OCDMA**

Le codage dans la technique OCDMA peut être mis en œuvre en fonction de plusieurs dimensions 1D, 2D et 3D, comme le montre la Figure II.2 :

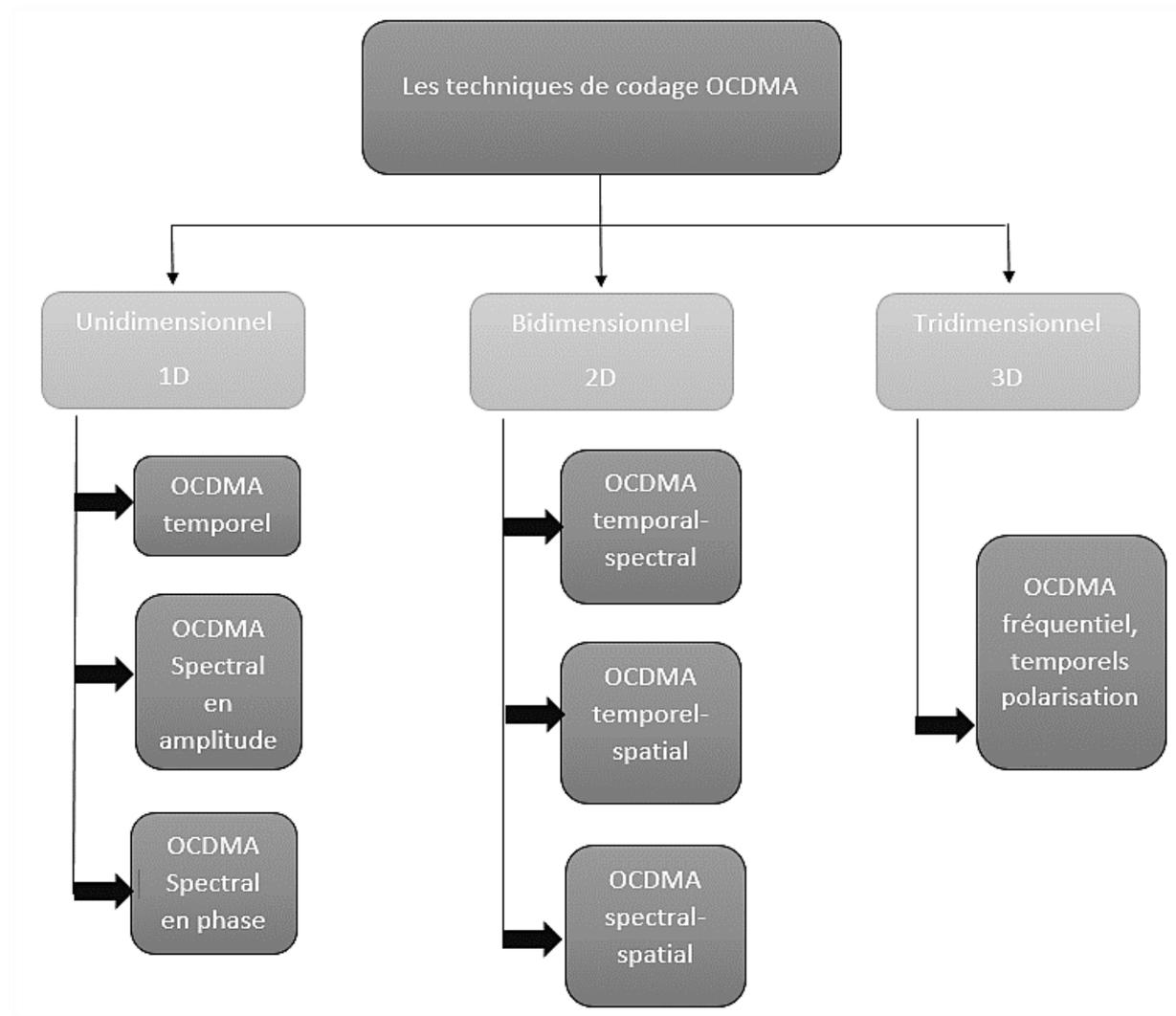


Figure II.2. Différentes techniques de codage OCDMA

## II.6.1. Codage Unidimensionnel

### II.6.1.1. OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA)

Le codage OCDMA temporel est une technique réalisée dans les années 70 (l'une des premières techniques utilisées), son principe repose sur des sections de fibres de longueur variable ou bien lignes à retard temporel afin de former un mot de code. Une impulsion de courte durée est envoyée vers un coupleur  $1 \times N$  et les  $N$  impulsions en sortie du coupleur sont retardées d'une durée  $t, 2t \dots$ . Le récepteur doit alors inverser ces retards pour former un pic d'auto-corrélation (Récupérer l'information) présenté dans la figure II.3. Ce système est facile à mettre en œuvre mais il souffre d'une faible tolérance aux interférences d'accès multiple (MAI) afin d'éliminer ces interférences plusieurs technique sont utilisés [1, 37].

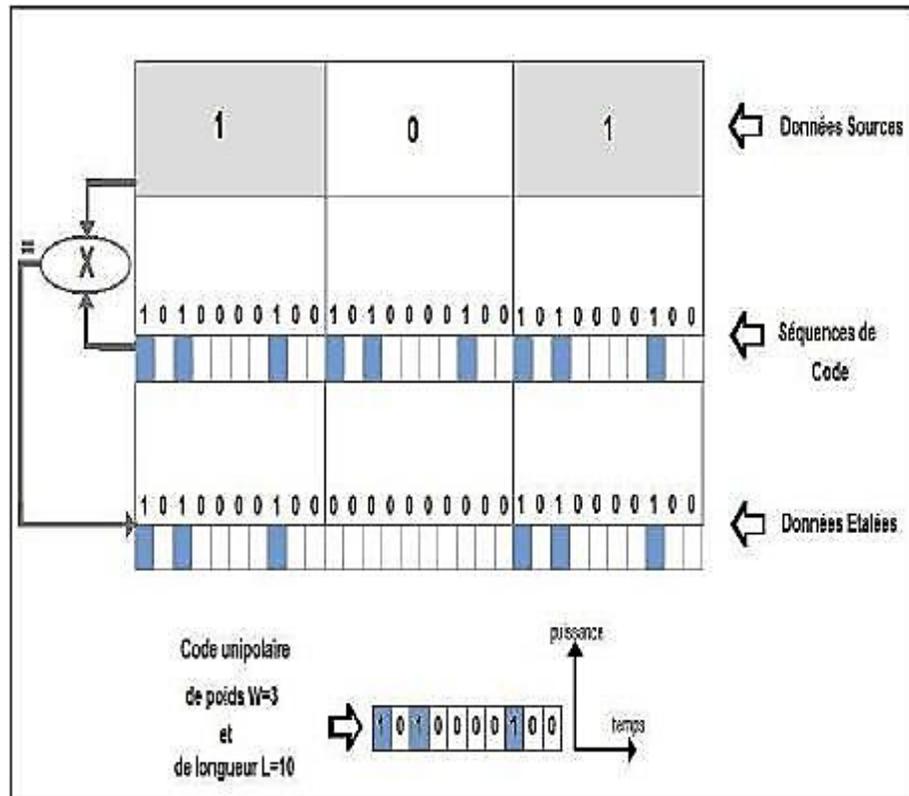


Figure II.3. Exemple de codage DS-OCDMA [38]

II.6.1.2 L'OCDMA par encodage spectral en amplitude (SAC-OCDMA)

Encodage spectral en amplitude SAC aussi appelé encodage en fréquence. Ce type d'encodage consiste à attribuer à chaque utilisateur une combinaison distincte de longueurs d'ondes appelée signature spectrale. Ce codage permet d'éliminer totalement les interférences d'accès multiples [1].

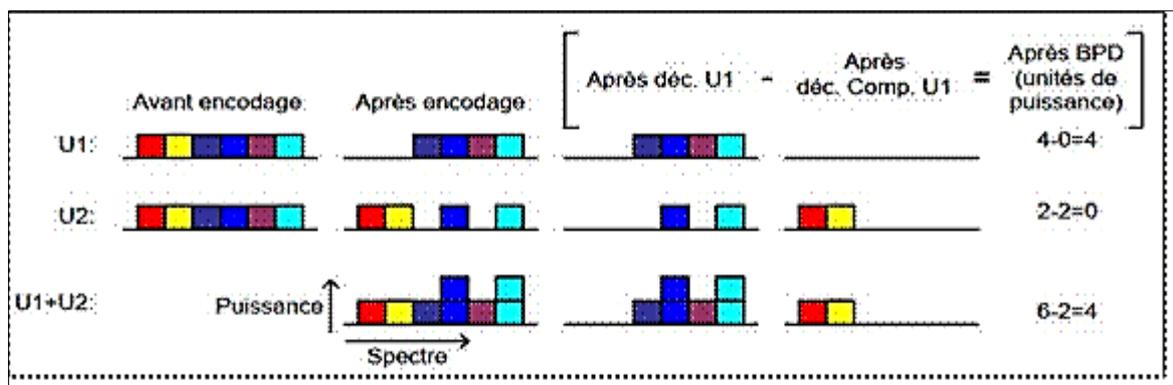


Figure II.4. Représentation schématique du SAC –OCDMA [39]

### II.6.1.3. L'OCDMA par encodage spectral en phase (SPE)

L'OCDMA par encodage spectral de phase SPE est une autre méthode qui utilise également les sources cohérentes à impulsions laser ultra courtes en OCDMA. Les sources émettent des impulsions de manière cyclique, le spectre optique correspondant est donc périodique.

Pour l'encodage SPE les impulsions courtes générées sont des transformées de Fourier et les composantes spectrales sont multipliées par le code, ce qui donne un déphasage 0 ou  $\pi$  [1].

Pour un interférent sur le décodeur, les phases ne sont pas compensées et la combinaison des composantes fréquentielles avec phases pseudo-aléatoires donne un bruit étalé temporellement (U2 après décodeur U1 sur la figure II.5) [39].

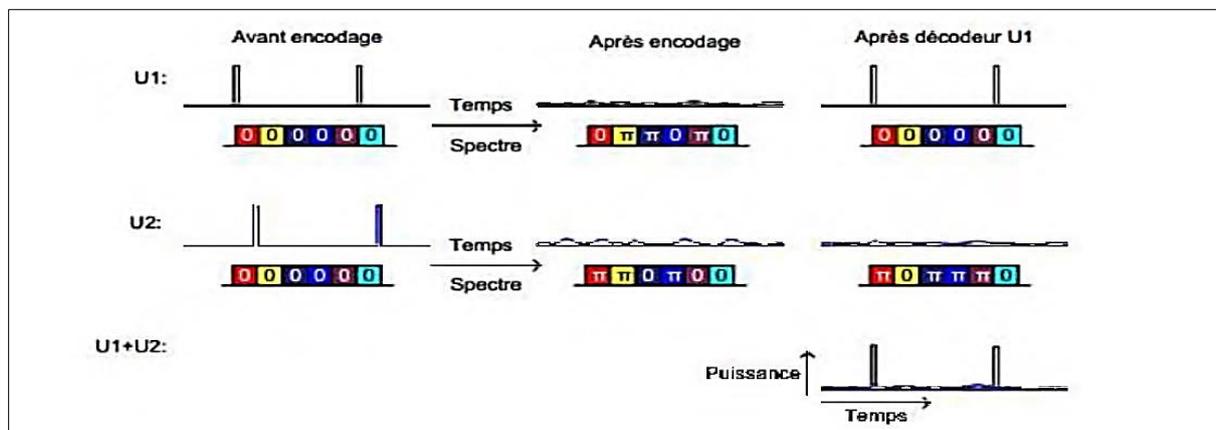


Figure II.5. Codage spectral en phase [39]

### II.6.2. Codage Bidimensionnel

Le codage unidimensionnel ne permet pas une meilleure flexibilité ; pour cela l'idée du codage bidimensionnel est née afin de dépasser ces limites, permettre un grand nombre d'utilisateur et d'améliorer les performances par la limitation des interférences d'accès multiple (MAI).

Afin d'augmenter le nombre d'utilisateurs des systèmes OCDMA uni-dimensionnels, l'idée du codage bidimensionnel (hybride) a été née.

Le codage hybride consiste à coder l'information en utilisant simultanément deux dimensions différentes : temps/longueur d'onde ou espace/temps ou bien deux techniques d'accès multiples simultanément. Dans ce cas, l'efficacité spectrale en bit/s/Hz qui est une fonction du nombre d'utilisateurs  $N$ , augmente. Elle caractérise la capacité à transmettre un débit maximum  $D_b$  dans une bande passante optique minimale  $B_0$  et elle s'exprime par [40]:

$$\eta = \frac{ND_b}{B_0} \quad (\text{II. 1})$$

### II.6.2.1 OCDMA par encodage spectral-temporel

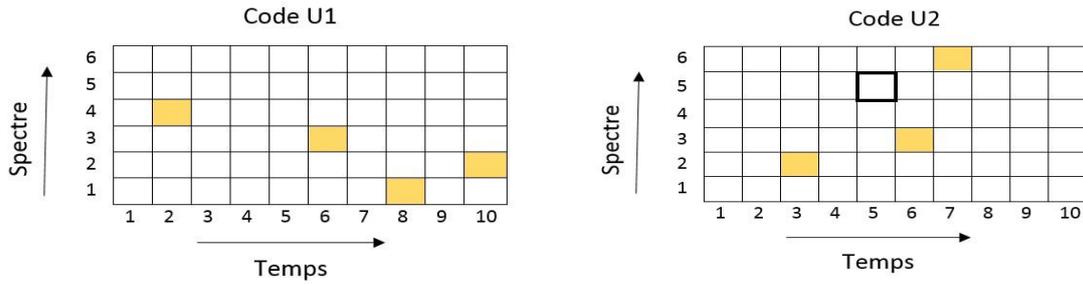
Le système OCDMA par codage spectral et temporel utilise un codage bidimensionnel, de sorte que la base de code peut être considérablement augmentée. Dans le processus de codage, l'impulsion temporelle optique à large bande est divisée en puces temporelles différentes et en puces de chaque longueur d'onde spécifique.

On peut exprimer un code spécifique dans une matrice dont les dimensions sont le temps et le spectre fréquentiel, comme le montre la figure II.6

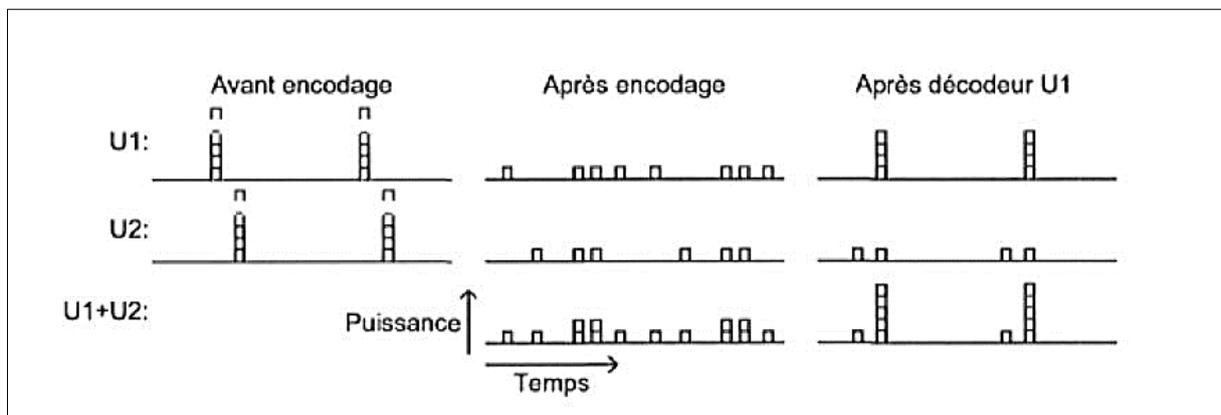
Au niveau du récepteur, le décodeur correspondant compense le retard entre différentes longueurs d'onde, établissant ainsi un pic d'autocorrélation. Les longueurs d'onde interférentes qui ne sont pas rejetées par le décodeur ont des retards répartis sur tout l'intervalle de bits, ce qui entraîne un bruit MAI. Cela signifie que le code spectre-temps n'est pas complètement orthogonal, mais la diversité temporelle et fréquentielle peut réduire la corrélation croisée entre les utilisateurs présenté dans la figure I.7.

Même principe que le DS-OCDMA, afin de pouvoir exploiter la diversité temporelle, des impulsions plus courtes que la durée du bit doivent être utilisées, de façon à étaler le maximum d'énergie des interférents en dehors du pic d'autocorrélation. Contrairement au SAC-OCDMA, le format retour-à-zéro (RZ) est donc utilisé plutôt que le format non-retour-à-zéro (NRZ).

En théorie, la puissance MAI tombant hors de l'impulsion n'affecte pas la qualité du signal. Comme présenté à la figure II.6, on peut représenter ces codes en matrices dont une dimension représente le temps et l'autre, les fréquences. Les cases occupées par un usager dans cette matrice représentent son code [39].



**Figure II.6.** Matrices en deux dimensions représentant des codes longueur d'onde-temps OCDMA [39]



**Figure II.7.** Représentation schématique de longueur d'onde-temps OCDMA [39]

### II.6.2.2. OCDMA par encodage spatial-temporel

Il s'agit du même principe que la méthode temps-longueur d'onde en remplaçant l'utilisation de plusieurs longueurs d'ondes par plusieurs canaux de transmission.

Cette solution simplifie la structure d'émission puisque les données à émettre sont toutes sur la même longueur d'onde. Par contre le système est plus complexe puisqu'il nécessite l'utilisation simultanée de  $w$  canaux de transmission (l'espace libre pour notre cas) ( $w$  étant le nombre de bits "1" du code que l'on appelle poids du code). De plus, l'utilisation d'une unique longueur d'onde par un canal (espace libre) diminue l'efficacité spectrale de la méthode [37].

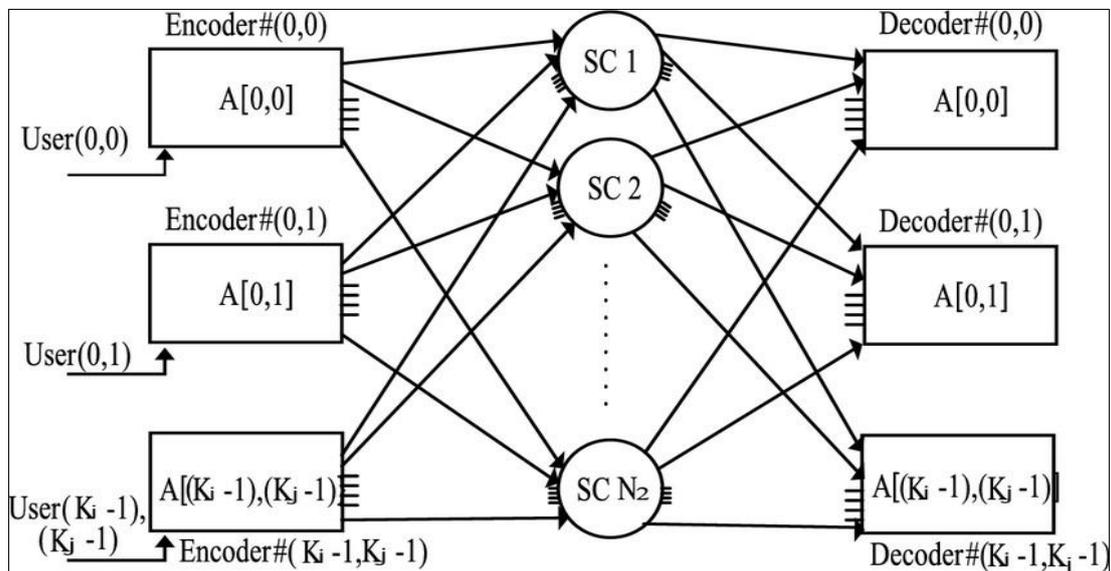
### II.6.2.3. OCDMA par encodage spatial-spectral

Dans le codage spatial de longueur d'onde, si le code utilise une dimension pour l'expansion spectrale, et une autre dimension est utilisée pour l'expansion spatiale. En fait, le démultiplexage

de la bande passante fournie par la source lumineuse à  $N$  longueurs d'onde représente le premier codage.

Le deuxième type de codage est représenté par un diviseur de puissance et un coupleur à chaque sortie du diviseur. Lors de la réception, les signaux des différents coupleurs passent par  $N * M$  branches, et chaque branche contient une partie décodage, un filtre optique, un photodétecteur [41]. Le schéma d'un système OCDMA spectral/spatial bidimensionnel conventionnel est illustré dans la figure II.8.

L'inconvénient de ce type de codage est qu'il nécessite une infrastructure très compliquée pour transmettre des codes sur différentes longueurs d'onde et différents canaux de transmission.



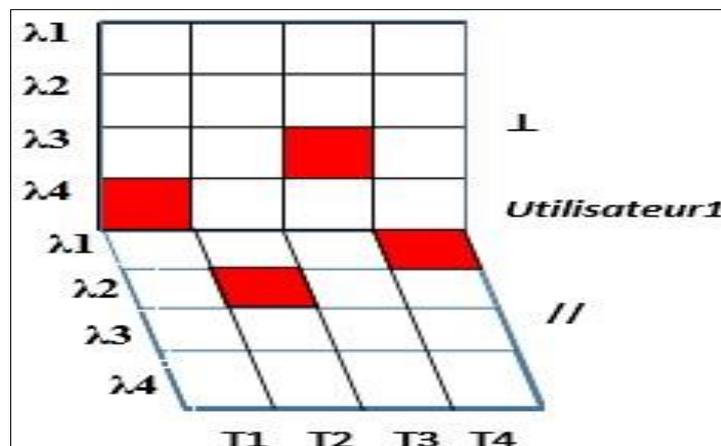
**Figure II.8.** *Système OCDMA spectral/spatial bidimensionnel conventionnel* [42]

### II.6.3. Codage tridimensionnel (3D-OCDMA)

Dans le but d'améliorer la capacité de multiplexage ainsi que la sécurisation des réseaux d'accès optiques, un autre degré de liberté "la polarisation", est ajouté pour coder les données utilisateur. Un code CDMA à trois dimensions est tel qu'à chaque chip sont attribués un temps chip, une longueur d'onde et un état de polarisation. La figure II.9 représente Codage d'un utilisateur en 3D.

L'ajout de la polarisation comme paramètre de codage permet d'augmenter la capacité de multiplexage si les deux états de polarisations sont orthogonaux. [40] Un tel système peut être idéal pour les réseaux locaux (LAN) optiques à courte distance, où les états de polarisation

restent assez stables. Ce type de codage peut augmenter le nombre d'utilisateurs potentiels, par rapport à un système classique à un code bidimensionnel (2D) classique, pour les mêmes contraintes de code [43].



**Figure II.9.** Codage d'un utilisateur en 3D (temps, longueur d'onde, polarisation)

Dans ce codage, chaque chip dans le code est codé sur un état de polarisation différent des autres chips du code différemment au multiplexage en polarisation. La capacité de multiplexage est très importante.

L'inconvénient majeur de cette technique est que la distance de transmission est très limitée car l'état de polarisation n'est pas conservé dans la fibre à cause de la dispersion de modes de polarisation (PMD : polarisation mode dispersion) [40]. Sa mise en œuvre est compliquée et nécessite de contrôler de nombreux paramètres des fibres et des dispositifs [44].

## II.7. Les codes de l'OCDMA

L'objectif principal des systèmes OCDMA est de reconnaître le signal d'un utilisateur visé en présence des d'autres signaux, tout en maximisant le nombre d'utilisateurs dans le système. Dans ce cas, les codes de séquence optique appropriés avec les meilleures caractéristiques orthogonales doivent être utilisés [45]. Les propriétés de construction du code sont l'une des questions les plus importantes qui ont un effet sur la performance du système OCDMA. Certaines conditions doivent être satisfaites dans tout code. Ces conditions sont [46] :

- Corrélation croisée minimale.
- Flexibilité du choix du poids du code et du nombre d'utilisateurs pris en charge.
- Longueur de code pratique.

- la diffusion des séquences est sélectionnée avec les caractéristiques d'autocorrélation maximale et de corrélation croisée minimale dans l'ordre pour optimiser la différenciation entre le signal souhaité et les interférences [45].

Pour résoudre les problèmes MAI (qui sont produit par le chevauchement des puces entre les séquences de code) et négliger l'effet du bruit d'intensité induit par la phase PIIN (Phase Induced Intensity Noise) en concevant des codes avec une corrélation croisée en phase idéale  $0 \leq \lambda_c \leq 1$ . Bien que ces codes puissent réduire les MAI qui sont ; ZCC (zero cross correlation d'une corrélation croisée idéale  $\lambda_c=0$ ) et DCS (dynamic cyclic shift) [45].

### II.7.1 Code à corrélation croisée nulle (ZCC)

Le ZCC est conçu avec la propriété de corrélation croisée nulle ( $\lambda_c = 0$ ) entre ses mots de code pour améliorer la performance du système SAC-OCDMA. Ce code est donné par une matrice de  $[K*N]$  où  $K$  représente le nombre d'utilisateurs actifs et  $N$  représente la longueur de code minimale [47].

L'effet du bruit d'intensité induit par la phase (PIIN) est négligé en raison de la condition de corrélation croisée nulle, sans chevauchement des spectres des utilisateurs multiples [48-49].

La matrice est générée comme suit avec le code ZCC de base ( $w=1$ ) :

$$A_{k,1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{K*N} \quad (\text{II.7})$$

Le nombre de poids de code peut être augmenté en répétant la matrice  $A_{K,1}$

$$A_{K,w} = \langle A_{K,1} | A_{K,1} | A_{K,1} \dots \dots \dots \rangle \quad (\text{II.8})$$

Le nombre d'utilisateurs actifs  $K$ , le poids de code  $w$  déterminent la longueur de code  $N$ :

$$N = K * w \quad (\text{II.9})$$

**Exemple**

$A_{3,2}$  est représenté par  $N=K*w$  donc  $N=6$  ;  $w=2$  est donnée par :

$$A_{3,2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{K*N} \quad (\text{II.10})$$

**II.7.2 Code à décalage cyclique dynamique (DCS)**

Le DCS est conçu sur la base du champ de Galois et des méthodes de décalage cyclique. Ce code présente un nombre d'avantages tels que :

- ✓ une faible corrélation croisée ( $\lambda_c \leq 1$ ) qui supprime les MAI
- ✓ une flexibilité dans le choix du paramètre de poids  $w$  concernant les puces qui correspondent à une valeur unitaire et le paramètre  $K$  (un nombre d'utilisateurs actifs), ce qui lui confère une supériorité par rapport au code OOC.
- ✓ une conception simple.

Le code appelé DCS comprend les paramètres  $N$ ,  $w$  et  $\lambda_c$ , où :  $N$  désigne la longueur du code (c'est-à-dire le nombre total de puces (chips)),  $w$  le poids du code et  $\lambda_c$  indique la corrélation croisée en phase.

Les séquences de code sont données par :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_N) \text{ et } Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$$

La corrélation croisée  $\lambda_c$  entre toute paire de séquences de code doit être suffisamment petite ( $\lambda_c \leq 1$ ). Cette propriété garantit que chaque séquence de code peut être facilement distinguée de toutes les autres séquences d'adresse. En d'autres termes, nous cherchons à rendre les MAI qui restent insignifiants lorsqu'il est par rapport à l'énergie contenue dans l'information reçue.

La corrélation croisée est donnée par :  $\lambda_c = \sum_{i=1}^N x_i y_i$

Afin d'étudier les performances du système avec le code DCS, nous tiendrons compte de l'effet de différents bruits tels que le bruit de fond, le bruit d'intensité induit par la phase PIIN (Phase Induced Intensity Noise) et les bruits thermiques [47].

### 7.2.1. La technique utilisée pour construire le code DCS

- *Algorithme pour la conception du code DCS :*

La nouvelle famille de codes proposée ici est représentée comme suit :

$$(N = \sum_{i=1}^{W-1} 2^i + D, w, \lambda_c) \quad (\text{II.11})$$

Ou  $i = \{0, 1, \dots, w-1\}$  désigne un nombre entier positif et D représente la partie dynamique [50].

Les étapes suivantes sont suivies pour construire les mots de code DCS :

1<sup>ère</sup> étape :

Nous construisons d'abord une séquence  $S^i$  de nombres entiers qui sont des éléments du champ de Galois  $GF(N) = \{1, 2, \dots, N\}$  sur un nombre entier N, en utilisant l'expression [50] :

$$S^i = \begin{cases} (2^i) \pmod{N}, & i = 0, 1 \\ (S^{i-1} + 2^i) \pmod{N}, & i = 2, 3, \dots, w-1 \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

Ici  $S^i$ , N et W sont les éléments sur le champ de Galois  $GF(N)$ .

2<sup>ème</sup> étape :

Ensuite, nous construisons une séquence  $T_i$  de nombres binaires (0, 1) en nous basant sur la séquence  $S^i$  générée et en utilisant la méthode de mise en correspondance [50]:

$$T_i = \begin{cases} 1, & \text{for } S^i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{II.13})$$

3<sup>ème</sup> étape :

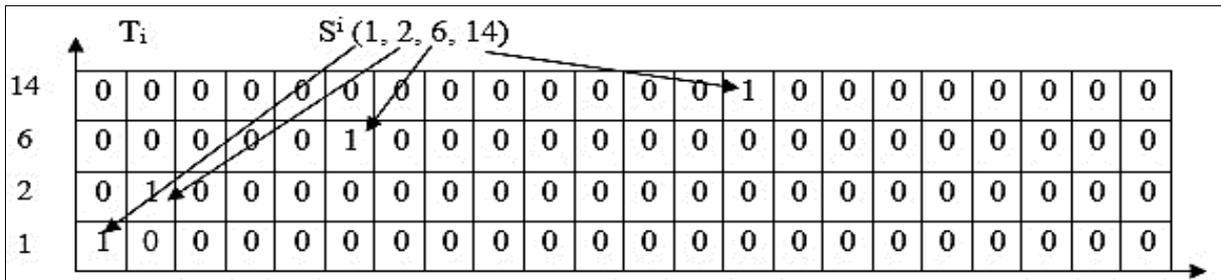
Maintenant nous combinons la séquence binaire de chaque  $T_i$  qui a été générée à l'étape 2, pour obtenir la première séquence de code du premier utilisateur. Les éléments du premier mot de code sont donnés par [50] :

$$C_1 = T_0 + T_1 + T_2 + \dots + T_{W-1} \quad (\text{II.14})$$

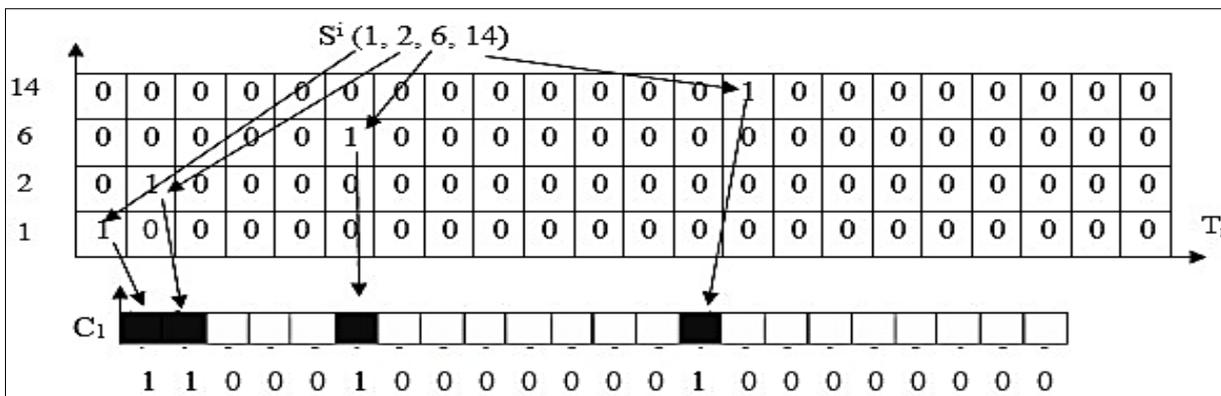
La méthode de production de la séquence binaire (0, 1) basée sur GF(N) est présentée à la figure II.10. Nous avons également illustré la génération de la première séquence de mots de code DCS du tableau II.1 pour les paramètres de code  $W = 3$ ,  $D = 8$  et  $N = 22$ , où  $C_1$  désigne le premier mot de code du code DCS. La Figure II.11 présente une procédure de combinaison des séquences  $T_i$  nécessaires pour générer le premier mot de code du code DCS [50].

**Tableau II.1.** Génération de la séquence  $S^i$  et de la séquence binaire  $T_i$  dans le cas de  $w = 4$ ,  $D = 8$  et  $N = 22$  [50].

$I$	$S^i$	$T_i$
0	1	10000000000000000000
1	2	01000000000000000000
2	6	00000100000000000000
3	14	0000000000000100000000
$C_1$		1100010000000100000000



**Figure II.10.** Génération de la séquence  $T_i$  pour le cas de  $N = 22$ ,  $D = 8$  et  $w = 4$  [50]



**Figure II.11.** Combinaison de séquences  $T_i$  utilisée pour produire le 1er mot de code [50]

Différentes séquences peuvent être générées à partir de la première séquence de code. Le nombre de séquences de code est égal à la longueur du code ( $K = N$ ). Afin d'obtenir la

caractéristique de décalage cyclique avec la plus petite corrélation croisée ( $\lambda_c \leq 1$ ), nous considérons toujours les valeurs  $D$  données par l'inégalité  $D > 7$ , sinon la valeur de corrélation croisée aurait été supérieure à 1.

Dans notre code, le nombre d'utilisateurs peut être augmenté en augmentant uniquement la séquence dynamique  $D$ , tandis que la partie de la séquence de poids reste inchangée. Un exemple est présenté dans le tableau II.2 pour  $K = 14$  abonnés, où  $W = 3$  et  $D = 8$ .

**Tableau II.2.** Mots de code DCS pour le cas de  $w = 3$ ,  $D = 8$  et  $K = 14$  [50]

Subscriber code word	
$C_1 = \{$	$1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_2 = \{$	$0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_3 = \{$	$0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_4 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_5 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_6 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_7 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \}$
$C_8 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \}$
$C_9 = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \}$
$C_{10} = \{$	$1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \}$
$C_{11} = \{$	$0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \}$
$C_{12} = \{$	$0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \}$
$C_{13} = \{$	$0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \}$
$C_{14} = \{$	$1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \}$

Annotations:  $\lambda_c = 0$  points to the first column of the table.  $\lambda_c = 1$  points to the 10th, 11th, and 12th columns of the table.

Le tableau II.3 montre le poids  $w$ , la longueur de code  $N$  et la corrélation croisée  $c$  de 30 utilisateurs. On peut clairement voir que par rapport à d'autres codes, un poids de code inférieur ( $W = 2$ ) et une longueur plus courte peuvent être utilisés pour générer des codes DCS. On voit aussi que le code DCS révèle une meilleure valeur de corrélation croisée ( $\lambda_c \leq 1$ ).

De plus, si la largeur de puce (c'est-à-dire la bande passante du filtre) de 0,8 nm est utilisée, les largeurs spectrales requises pour les codes OOC, RD, MDW, MQC, KS, MFH et DCS sont 291,2, 28, 44,8, 72, 115,2, 33,6, et 24 Nano, respectivement. Comme le montre le tableau III.3, à part les codes DCS, aucun autre code ne peut être généré avec un poids de code de 2 [50].

**Tableau II.3.** Comparaison entre différents codes à un nombre spécifique d'utilisateurs [46, 50]

Nom des codes	Nombre D'utilisateurs K	Poids des codes W	Longueur des codes N	Corrélation croisée $\lambda_c$
OOC	30	4	364	1
RD	30	4	35	La variation $\lambda_c$ dans le segment de code
MQC	30	8	56	1
MDW	30	4	90	1
KS	30	4	144	1
MFH	30	7	42	1
DCS	30	2	30	$\leq 1$
ZCC	30	4	120	0

## II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur le système OCDMA, nous avons expliqués le principe de fonctionnement de cette technique, ses encodages de différentes dimensions (temporel, spectral, spatial ...etc.) puis nous avons vu quelques codes utilisés dans ce système, leur structure et certains exemples.

Ce chapitre fournit des informations nécessaires à la compréhension du chapitre suivant qui se focalise sur la création d'un nouveau code pour le SAC-OCDMA.

# **Chapitre III**

## **CONSTRUCTION D'UN NOUVEAU CODE POUR SAC-OCDMA**

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons un nouveau code appelé Fibonacci qui est basé sur la suite de Fibonacci et puisque la simulation numérique est un outil très important pour étudier les systèmes de transmission, ce code sera simulé à l'aide de logiciel OptiSystem.

Tout d'abord on va commencer par citer quelques types de détection dans les systèmes SAC-OCDMA, puis nous expliquerons le développement de ce nouveau code (sa construction, son analyse mathématique) ; une simulation de notre code sera réalisée pour trois utilisateurs avec une technique de détection directe et selon deux critères (distance et puissance de la source) afin de montrer les performances de ce nouveau code à l'aide de logiciel OptiSystem qui sera présenté ainsi que ses applications et ses composants. Enfin nous discuterons les résultats obtenus.

### III.2. Types de détections dans le SAC-OCDMA

Le système de décodage SAC-OCDMA met en œuvre deux fonctions : la première est de détecter les données à lui envoyer, et la seconde est de rejeter le signal de l'interférent. Après réception, toutes les données des utilisateurs seront fusionnées, ce qui nécessite l'utilisation du code de chaque utilisateur pour restaurer leurs données. Pour y parvenir, nous utilisons le mécanisme de détection OCDMA [31], et nous citons les plus couramment utilisés :

- La détection directe DD (Direct detection)
- La détection par soustraction AND
- La détection par soustraction NAND

#### III.2.1. Détection directe

La détection directe représente la technique de mise en œuvre la plus simple et la moins chère. Cependant, la longueur d'onde spectrale de l'utilisateur souhaité dans le domaine optique doit être filtrée [31]. Par conséquent, il n'y a pas d'interférence entre utilisateurs MAI et la phase de bruit induit (PIIN). C'est parce que les informations peuvent être entièrement récupérées par l'une des puces (chips) qui ne se chevauchent pas avec d'autres puces dans d'autres séquences de code, comme le montre la figure III.1, ou bien par la totalité du code (voir la figure III.2)

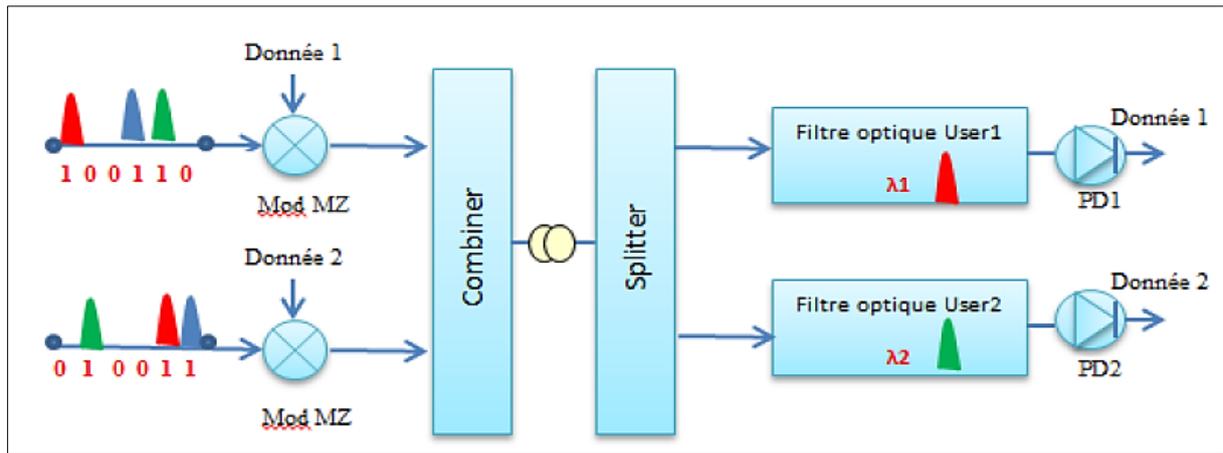


Figure III.1. Technique de Détection directe d'une longueur d'onde [31]

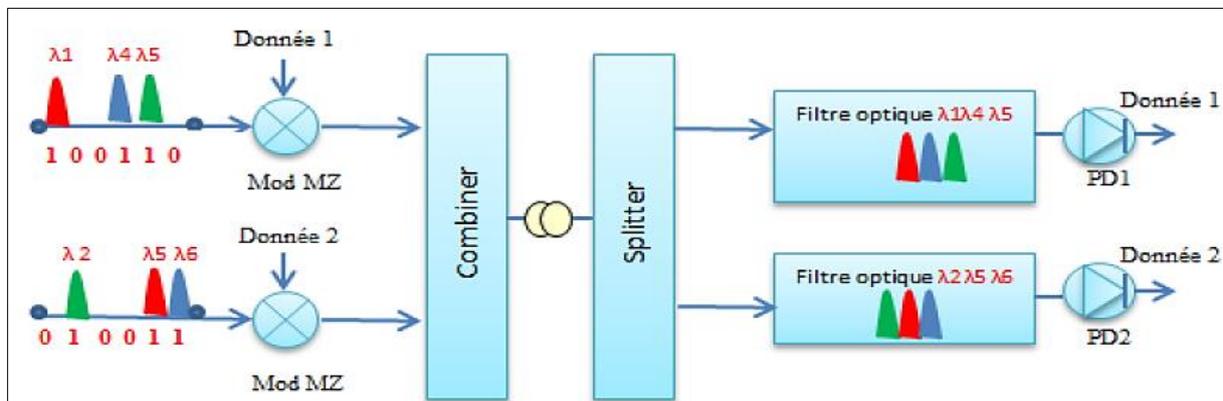


Figure III.2. Technique de Détection Directe pour la totalité des longueurs d'ondes [31]

### III.2.2. Détection par soustraction AND

Dans la technique de soustraction AND, la corrélation croisée  $\theta_{xy}$  ( $\theta_{xy} \leq \lambda$ ) est remplacée par  $\theta_{(x\&y)y}$ , où  $\theta_{(x\&y)y}$  représente l'opération ET entre les séquences X et Y. Par exemple, soit :

$$X = 0110 \text{ et } Y = 1100$$

$$\text{Donc l'opération ET est : } X\&Y = 0100$$

L'équation ci-dessous montre qu'avec la technique d'AND soustraction, l'MAI peut être annulée. Cette technique de soustraction peut être implémentée avec n'importe quel code OCDMA ayant une corrélation croisée supérieure à zéro [41, 51, 52].

$$Z = \theta_{xy}(k) - \theta_{(x\&y)y}(k) \tag{III.1}$$

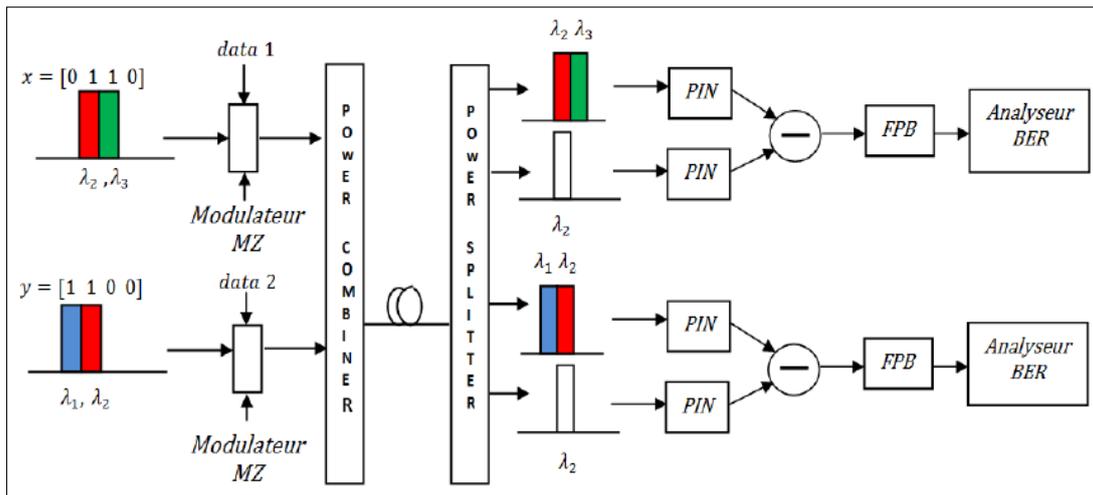


Figure III.3. Détection par soustraction AND [41]

### III.2.3. Détection de soustraction NAND

La mobilité des électrons numériques dans la porte NAND est trois fois que les portes AND/NOR. L'idée de NAND est utilisée comme une opération et non comme une porte numérique. Considérant ce point de vue, dans le concept de la technique de soustraction NAND la corrélation croisée  $\theta_{\overline{XY}}$  est remplacée par  $\theta_{(\overline{XY})Y}$ , où  $\theta_{(\overline{XY})Y}$  représente l'opération NON-ET entre les séquences X et Y. Par exemple, soit :

$$X = 1100 \quad \text{et} \quad Y = 0110$$

Donc l'opération NON-ET est :  $(\overline{XY}) = 1011$

Cependant, la technique de détection par soustraction NAND peut générer un poids supplémentaire. Cela est dû au fait que lorsque le poids du code est augmenté, la puissance du signal augmente également, ce qui augmente le rapport signal/bruit. Par conséquent, le MAI peut être annulé et les performances du système SAC-OCDMA sont améliorées de manière significative en utilisant la soustraction NAND [53].

### III.3. Développement de code Fibonacci

Afin d'améliorer l'efficacité du système SAC-OCDMA, un développement des nouvelles familles de codes est proposé. Nous avons proposé une nouvelle structure de code appelé Fibonacci qui est conçu avec la propriété de corrélation croisée nulle (zero cross

Corrélation  $\lambda c = 0$ ) qui présente un avantage majeur qui est la flexibilité dans le choix de nombre d'utilisateur et la possibilité d'éliminer les MAI.

### III.3.1. La Construction du code

Ce nouveau code est basé principalement sur la suite de Fibonacci qui permet de déterminer la position des uns ( $w$ ) dans chaque mot de code. Le code est caractérisé par la longueur du code  $N$ , le poids  $w$  et la corrélation croisée  $\lambda c$ .

$\lambda c$  et  $w$  présentent les paramètres les plus importants, ils affectent directement le rapport signal sur bruit (SNR) et il dépend que de ces deux paramètres [54]. Le SNR est exprimé par l'équation suivante :

$$SNR = \frac{2(\frac{w}{\lambda c} - \Delta v)}{BK[\frac{K}{2} + \frac{w}{\lambda c} - 2]} \quad (III.2)$$

Où,  $\Delta v$  est la largeur spectrale,  $B$  est la largeur de bande électrique équivalente au bruit du Récepteur et  $K$  est le nombre d'utilisateurs.

#### III.3.1.1. Etape 1 : la suite de Fibonacci

Dans cette première étape on présente la partie la plus importante. La méthode comment positionner les « 1 » dans la séquence et pour se faire on a utilisé la suite de Fibonacci, c'est une suite d'entiers dont chaque terme est la somme des deux termes qui le précèdent.

Elle est donnée par la relation de récurrence suivante :

$$u_{n+1} = u_n + u_{n-1}$$

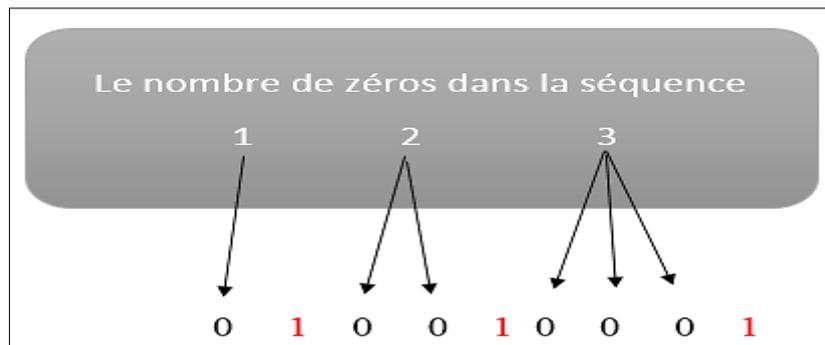
Les premiers termes de la suite sont :

$$\begin{array}{cccccccccc} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 & M_7 & M_8 & M_9 & M_{10} \dots \\ M_i = 1, & 2, & 3, & 5, & 8, & 13, & 21, & 34, & 55, & 89, \dots \end{array}$$

**Le principe du code Fibonacci**

- On a considéré la suite de Fibonacci comme une référence pour pouvoir déterminer le positionnement des « 1 » dans la séquence. Chaque chiffre dans la suite présente le nombre de « 0 » dans la séquence et le dernier « 0 » est suivi d'un « 1 ».

Prenant un poids  $w=3$  la suite est donc :  $M_i = M_1M_2M_3 = 1\ 2\ 3$ . La figure III.4 présente le positionnement des uns dans la séquence pour  $W=3$ .



**Figure III.4.** Positionnement des uns( $w$ ) dans la séquence

On aura donc : User 1= {010010001}

On effectue un décalage à chaque fois pour trouver la séquence de deuxième utilisateur troisième etc. ...

On aura donc une matrice  $[K*N]$  illustrée ci-dessous :

$$\begin{matrix}
 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_6 & \lambda_7 & \lambda_8 & \lambda_9 \\
 [K*N] = & \begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Dans le code Fibonacci la corrélation croisée est nulle ce qui implique que les performances de ce code dépendent du poids du code. L'équation (III.1) devient :

$$SNR = \frac{2(-\Delta v)}{BK[\frac{K}{2} - 2]} \quad (III.3)$$

### III.3.1.2. Etape 2 : les propriétés du code Fibonacci

Les différents paramètres utilisés dans chaque code sont :

- **La longueur du code (N)**: elle représente le nombre de « 1 » et de « 0 » dans un code. Dans notre code, elle est donnée par la relation suivante :

$$N = w + \sum_1^w M_i \quad (III.4)$$

- **Le poids (w)** : représente le nombre de « 1 » contenu dans un code.
- **La corrélation croisée ( $\lambda_c$ )** : représente le nombre de « 1 » en commun à la même position entre deux séquences de code différentes. La corrélation croisée est donnée par l'équation suivante :

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^L x_{i,j} \cdot x_{k,j} \quad \text{avec } x_{i,j} \text{ et } x_{k,j} \in [0,1] \quad (III.5)$$

Tels que :

$x_{i,j}$  : représente la valeur de « 1 » j<sup>ème</sup> position de bit dans la i<sup>ème</sup> séquence de code.

$x_{k,j}$  : représente la valeur de « 1 » j<sup>ème</sup> position de bit dans la k<sup>ème</sup> séquence de code.

- Dans notre code la corrélation croisée  $\lambda_c$  est nulle.

- **La cardinalité(K)** : est le nombre d'utilisateurs maximum supporté par un code. Pour le code Fibonacci la cardinalité est donnée par :

$$K = N$$

### III.3.2. Analyse mathématique

Dans cette section, nous étudierons mathématiquement l'effet du bruit, tels que le bruit Thermique ( $i_{thermal}$ ), bruit de grenaille ( $i_{shot}$ ) et le bruit d'intensité induit par la phase *PIIN* Noise (Phase Induced Bruit d'intensité) ( $i_{PIIN}$ ). En utilisant une approximation gaussienne pour pouvoir estimer le BER [1].

Le bruit du courant photoélectrique est exprimé comme suit :

$$\langle i^2 \rangle = \langle i_{shot} \rangle + \langle i_{Thermal} \rangle + \langle i_{PIIN} \rangle \quad (III.6)$$

Sachant que

$$\langle i^2 \rangle = 2eBI_{total} + \frac{4K_B T_n B}{R_l} + I_r^2 B \tau_c \quad (III.7)$$

$I_{thermal}$  est donné par :

$$i_{th}^2 = 4 \cdot K_B \cdot T_n \cdot B / R_l \quad (III.8)$$

$I_{PIIN}$  est donné par :

$$i_{PIIN}^2 = I^2 \cdot B \cdot \tau_c \quad (III.9)$$

En remplaçant les équations III.6, III.7 et III.8 dans l'équation III.5 On aura :

$$\langle i^2 \rangle = 2eBI_{total} + \frac{4K_B T_n B}{R_l} + I_r^2 B \tau_c \quad (III.10)$$

Avec :

B : bande passante de récepteur ;

$K_b$  : Constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23} \text{ J.k}^{-1}$ ) ;

$T_n$  : Température de bruit du récepteur ;

$R_l$  : Résistance de la charge ;

$I_t$  : Photocourant total ;

$I_r$  : Photocourant moyen ;

$\tau_c$  : Temps cohérent de la lumière incidente à la photodiode, donné par l'équation suivante [57]:

$$\tau_c = \frac{\int_0^\infty G^2(v)dv}{[\int_0^\infty G^2(v)dv]^2} \quad (\text{III.11})$$

$G(v)$  : Densité spectrale de puissance (PSD) des signaux reçus.  $G(v)$  est donné par l'équation suivante :

$$G(v) = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^k dn \sum_{i=1}^N C_n(i) C_l(i) \{rect(i)\} \quad (\text{III.12})$$

Où,  $P_{sr}$  est la puissance effective de la source au niveau du récepteur ;

$\Delta v$  : la largeur de la bande de la source optique ;

$N$  : la longueur du code ;

$K$  : le nombre d'utilisateurs ;

$dn$  : le bit d'information du  $K^{\text{ème}}$  utilisateur qui est soit '1' ou '0' ;

$C_n(i)$  et  $C_l(i)$  : le  $i^{\text{ème}}$  élément de la  $k^{\text{ème}}$  adjacent du code Fibonacci.

$$rect(i) = u \left[ v - v_0 - \frac{\Delta v}{2N} (-N + 2i - 2) \right] - u \left[ v - v_0 - \frac{\Delta v}{2N} (-N + 2i) \right] \quad (\text{III.13})$$

$$rect(i) = u \left( \frac{\Delta v}{N} \right) \quad (\text{III.14})$$

Cette analyse se fait avec les hypothèses suivantes [55,56] :

- Chaque flux binaire de chaque utilisateur est synchronisé.
- Chaque utilisateur reçoit une puissance égale par fragment au niveau du récepteur.
- Chaque composante spectrale de puissance a une largeur spectrale identique.

Dans cette analyse mathématique, nous présenterons la détection directe, ce type de détection exploite un seul bras du décodage pour récupérer le signal souhaité  $\{(\lambda) - (\lambda) \cap (\lambda)\} [1]$ . Par conséquent, cette méthode va réduire le nombre de filtres et la complexité du récepteur [55]. Les propriétés du code Fibonacci utilisant cette technique peuvent être écrites comme suit :

$$\sum_{i=0}^N C_n(i)C_l(i) = \begin{cases} w, & n = l \\ 0, & n \neq l \end{cases} \quad (III.15)$$

Le SNR à la réception peut s'écrire comme suit :

$$SNR = \frac{I_{signal}^2}{I_{noise}^2} \quad (III.16)$$

$$SNR = \frac{I_r^2}{i^2} \quad (III.17)$$

Le photocourant  $I_{DD}$  peut être exprimé comme suit :

$$I_{DD} = \Re \int_0^{+\infty} G(v)dv = \frac{\Re \cdot p_{sr} \cdot w}{N} \quad (III.18)$$

Où  $\Re$  représente la réactivité des photodétecteurs donnée par :

$$\Re = \frac{\eta \cdot e}{h \cdot v_0} \quad (III.19)$$

Tels que :

$\eta$  : L'efficacité quantique ;

$e$  : la charge de l'électron ;

$h \cdot v_0$  : L'énergie du photon avec la constante de Plank ( $h = 6.62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg} / \text{s}$ )

$$\int_0^{\infty} G(v)dv = \int_0^{\infty} \left[ \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^K d_n \sum_{i=1}^N C_n(i)C_l(i) \{rect(i)\} \right] dv \quad (III.20)$$

En introduisant l'équation (III.13) dans l'équation (III.19), on aura :

$$\int_0^{\infty} G(v)dv = \int_0^{\infty} \left[ \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^K d_n \sum_{i=1}^N C_n(i)C_l(i) \{u(\Delta v|N)\} \right] dv \quad (III.21)$$

Puis :

$$\int_0^{\infty} G(v)dv = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \frac{\Delta v}{N} \sum_{n=1}^K d_n \sum_{i=1}^N C_n(i)C_i(i) \quad (\text{III.22})$$

Puis, on introduit l'équation (III.14) dans l'équation (III.21), on aura donc :

$$\int_0^{\infty} G(v)dv = \frac{P_{sr}w}{N} d_l \quad (\text{III.23})$$

Après développement l'équation devient :

$$I_{DD} = \frac{\Re P_{sr}w}{N} \quad (\text{III.24})$$

Puisque, la technique de la détection directe est utilisée, le bruit *PIIN* est négligeable et Seuls les bruits de grenaille et thermiques ont été considérés [1]. On aura alors :

$$i^2 = 2eBI_{total} + \frac{4K_B T_n B}{R_l} \quad (\text{III.25})$$

$$I_{total} = I_{DD} \quad (\text{III.26})$$

$$i^2 = \frac{2eB \Re P_{sr}w}{N} + \frac{4K_B T_n B}{R_l} \quad (\text{III.27})$$

Après un développement mathématique du photocourant moyen l'équation du *SNR* peut être écrite comme suit :

$$SNR = \frac{\frac{\Re^2 p_{sr}^2 W^2}{N^2}}{\frac{2eB \Re p_{sr} w}{N} + \frac{4 K_b T_n B}{R_1}} \quad (\text{III.28})$$

Par l'utilisation de l'approximation gaussienne, le BER peut être exprimé comme suit [61] :

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\text{SNR}}{8}} \quad (\text{III.29})$$

## III.4. Simulation

### III.4.1. Présentation du logiciel de simulation

OptiSystem est un logiciel développé par la société canadienne Optiwave ; Optical Communication System Design Software, il permet aux ingénieurs et aux chercheurs de Concevoir, simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique. La variété des systèmes de simulation peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions exécutées par l'utilisateur, qui peuvent être ajoutées au système de simulation [57].

Le logiciel OptiSystem permet de tester et optimiser presque tous les types de liaison optique, il est basé sur la modélisation réelle des systèmes de communications par fibre optiques [58].

#### III.4.1.1. L'interface de travail

C'est la fenêtre principale du logiciel, elle permet l'établissement des différentes liaisons optiques.

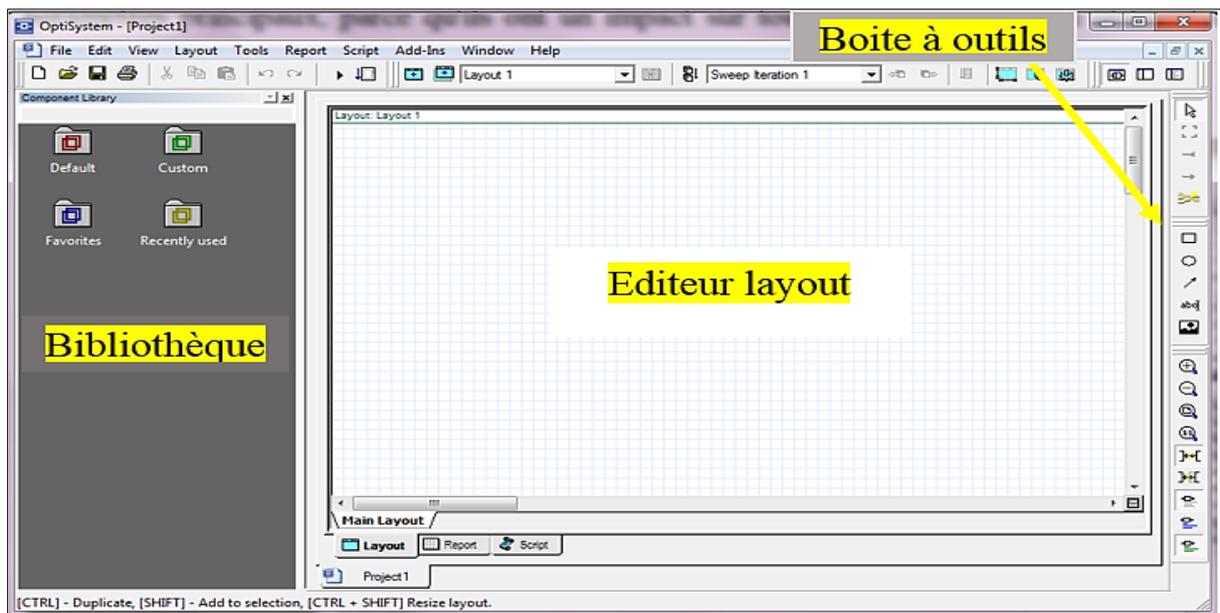
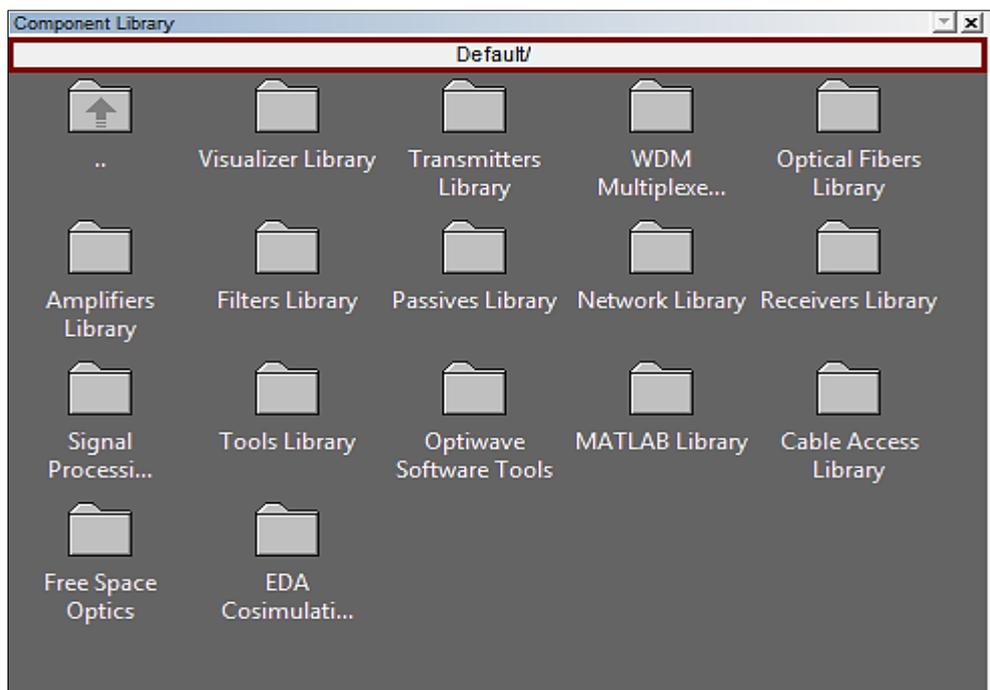


Figure III.5. Interface graphique de logiciel OptiSystem

Afin de créer un nouveau projet sous OptiSystem, il est important d'introduire plusieurs paramètres de simulation sachant : le débit binaire, la puissance, la longueur de la séquence souhaitant transmettre...etc.

Cet interface est répartit en plusieurs parties :

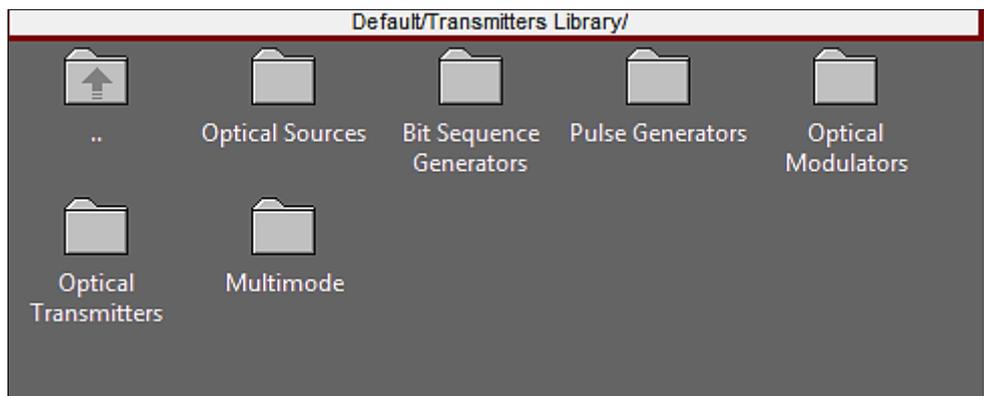
- **Bibliothèque** : La bibliothèque de composants OptiSystem comprend des centaines de composants comme le montre la figure III.6, qui ont tous été soigneusement validés pour fournir des résultats comparables aux applications réelles. les utilisateurs peuvent créer de nouveaux composants basés sur des sous-systèmes et des bibliothèques définies par l'utilisateur, ou utiliser des outils tiers (tels que MATLAB ou Simulink) pour la co-simulation [62].



**Figure III.6.** Bibliothèque de composant de logiciel OptiSystem

Un système de communication optique se compose d'un émetteur, d'un canal de communication et d'un récepteur.

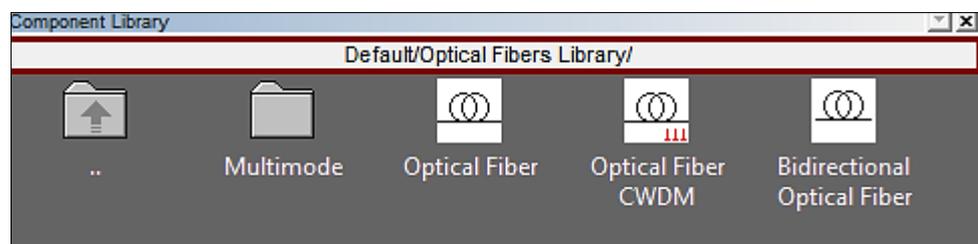
- ✓ **La bibliothèque d'émetteur** : contient différents types des sources optiques telles que la diode laser, LED, les générateurs des bits et des impulsions, les différents types de modulateurs....voir la figure III.7.



**Figure III.7.** Bibliothèque d'émetteur de logiciel OptiSystem

Le rôle de l'émetteur optique est de convertir le signal électrique en forme optique et de lancer le signal optique résultant dans la fibre optique.

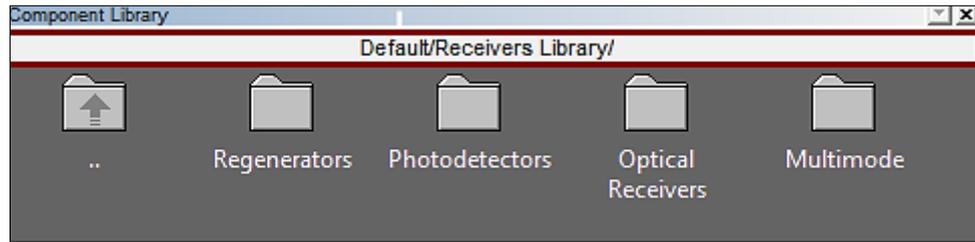
- ✓ **La bibliothèque du canal de transmission :** Contient plusieurs types de fibre optique comme la fibre monomode et multimode comme le montre la figure III.8.



**Figure III.8.** Bibliothèque du canal de transmission

Le rôle du canal de communication est de transporter le signal optique de l'émetteur au récepteur sans le déformer.

- ✓ **Bibliothèque du récepteur :** contient différents composants qui assurent des opérations du fonctionnement pour restaurer les informations tels que les régénérateurs, les photodétecteurs... voir la figure III.9.



**Figure III.9.** Bibliothèque du récepteur de logiciel OptiSystem

Le rôle du récepteur optique est de reconverter le signal optique reçu à l'extrémité de sortie de la fibre optique en un autre signal électrique.

- **Editeur du layout** : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- **Boîte à outils** : permet d'ajouter quelque indications (cercle, flèche, rectangle...etc.) dans la zone de travail.

### III.4.2. Les applications du logiciel

Parmi les diverses applications d'OptiSystem nous allons citer les plus utilisées [58] :

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER ou TEB) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et les réseaux optiques passifs (PON).
- L'espace libre pour les systèmes optique.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

### III.4.3. Critère de qualité de transmission d'une liaison optique

Les performances du système SAC-OCDMA sont évaluées à travers trois critères de qualité : le BER (valeur acceptable doit être égal à  $10^{-12}$ ), ou le facteur de qualité Q égal ou inférieur à 6, et le diagramme de l'œil (l'ouverture verticale doit être maximale)

### ✓ Le taux d'erreur binaire

Le moyen quantitatif pour évaluer les performances d'un système, consiste à comparer les bits envoyés avec les bits reçus. On définit alors le taux d'erreur binaire (TEB) ou BER (pour Bit Error Rate) est le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits transmis.

$$\text{TEB} = \text{Nombre de bits erronés} / \text{Nombre de bits transmis}$$

Le récepteur prend une décision sur la présence d'un symbole « 1 » ou « 0 » selon le niveau de signal reçu cette décision est prise à l'instant d'échantillonnage pour laquelle la tension reçue au-dessus d'un seuil est considérée comme un symbole « 1 », et au-dessous de ce seuil comme un symbole « 0 » [59].

Le taux d'erreur binaire communément accepté dans le milieu des télécommunications optiques est de  $10^{-12}$ , correspondant à une erreur commise sur un mille milliards de bits lus.

### ✓ Facteur de qualité

Le facteur Q est le rapport signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur. Il est donné par :

$$Q = \frac{u_1 - u_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (\text{III.30})$$

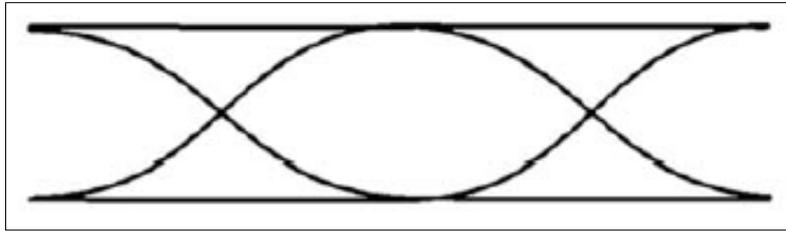
Où  $u_1$ ,  $u_0$  sont respectivement les tensions moyennes des bits « 1 » et « 0 » à l'instant de décision et  $\sigma_1$ ,  $\sigma_0$  sont les variances des bits « 1 » et « 0 » [59].

### ✓ Diagramme de l'œil

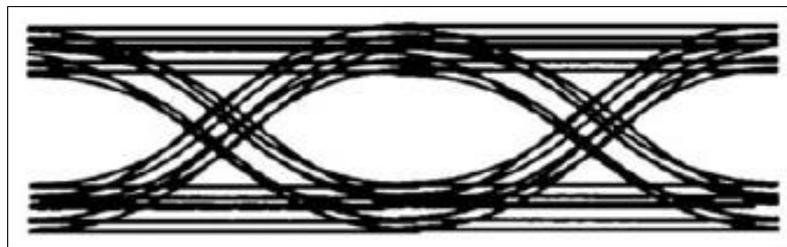
Le diagramme en œil est un affichage d'oscilloscope d'un signal numérique, échantillonné de manière répétitive pour obtenir une bonne représentation de son comportement. Le diagramme en œil peut également être utilisé pour examiner l'intégrité du signal dans un système purement numérique, tel que la transmission fibre optique etc...

Le diagramme de l'œil est un outil utile pour l'analyse qualitative du signal utilisé dans la numérique. Il fournit une évaluation en un coup d'œil des performances du système et peut donner un aperçu de la nature des imperfections du canal. Une analyse minutieuse de cette

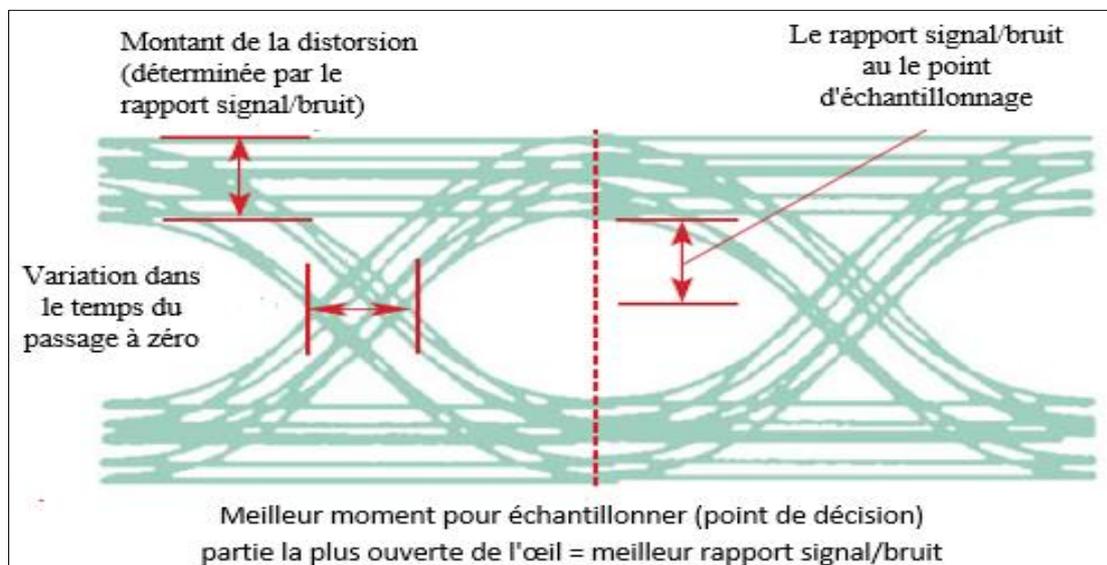
visualisation peut donner à l'utilisateur une approximation de premier ordre du rapport signal/bruit, de l'horloge et de la gigue [60]. Voir les figures ci-dessous.



**Figure II.10** Diagramme oculaire simple non déformé



**Figure II.11** Diagramme bruité



**Figure II.12.** Interprétation du diagramme de l'œil [60]

### III.4.4. Description de la liaison optique

Une liaison de télécommunication se constitue de trois éléments principaux : l'émetteur, canal de transmission et le récepteur. La figure suivante représente un émetteur SAC-OCDMA comprend trois utilisateurs.

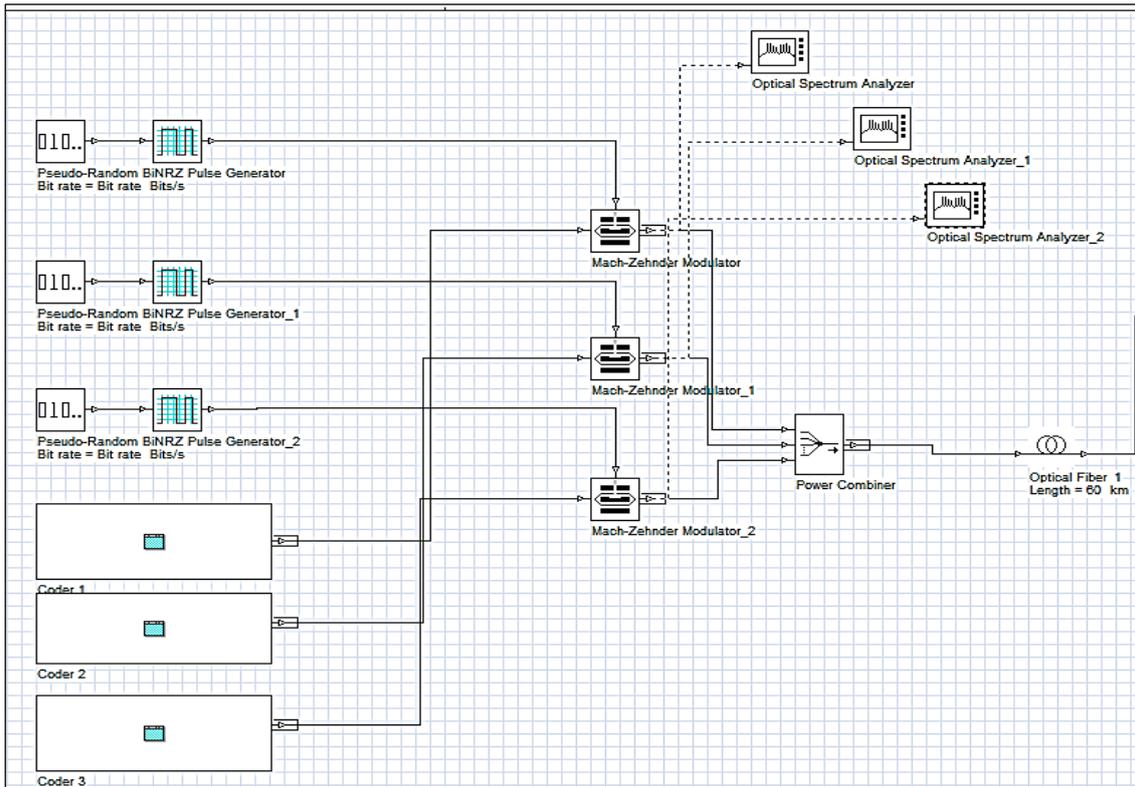


Figure II.13. Représentation d'un émetteur OCDMA

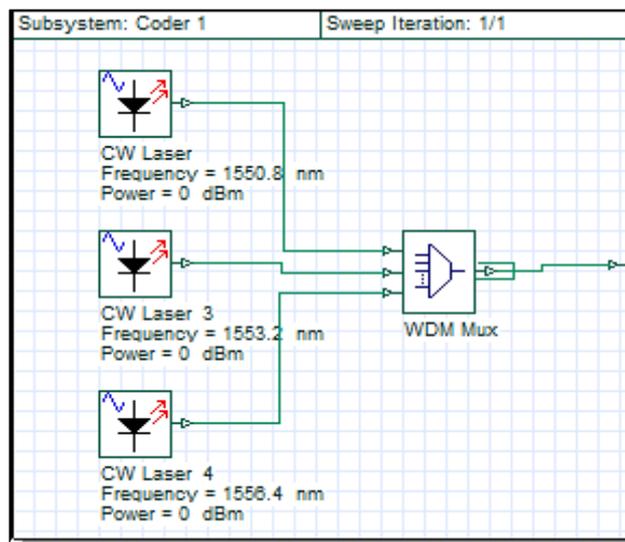


Figure II.14. Bloc du codage SAC-OCDMA

L'émetteur SAC-OCDMA présentés dans la Figure II.13 inclut trois utilisateurs qui exploitent le code Fibonacci d'un poids ( $w = 3$ ). Au niveau de chaque utilisateur, les données sont générées par une séquence de bits pseudo-aléatoires *PRBS* (Pseudo-Random Bit Sequence

Generator), suivi par un codeur NRZ pour les convertir en un signal électrique. Ensuite, au niveau de modulateur Mach-Zehnder chaque signal de données est modulé par son propre mot de code proposé (un groupe des longueurs d'onde), généré par l'ensemble de composants sources CW LASERS pour améliorer les performances du système par rapport à la diode électroluminescente (*LED*) d'un espacement de  $0,6 \text{ nm}$ ,  $0.8 \text{ nm}$  et  $1 \text{ nm}$  entre les longueurs d'onde adjacentes. Les différents signaux modulés sont combinés par Power Combiner avant de les transmettre sur la fibre optique monomode. Dans le processus de transmission, le signal sera affecté par des phénomènes linéaires et non linéaires tels que la dispersion, l'atténuation et l'effet Kerr.

Le code est représenté par la matrice  $[K * N]$ , où les séquences du code de trois utilisateurs sont données comme suit :

$$[K * N] = \begin{matrix} & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_6 & \lambda_7 & \lambda_8 & \lambda_9 \\ \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \end{matrix}$$

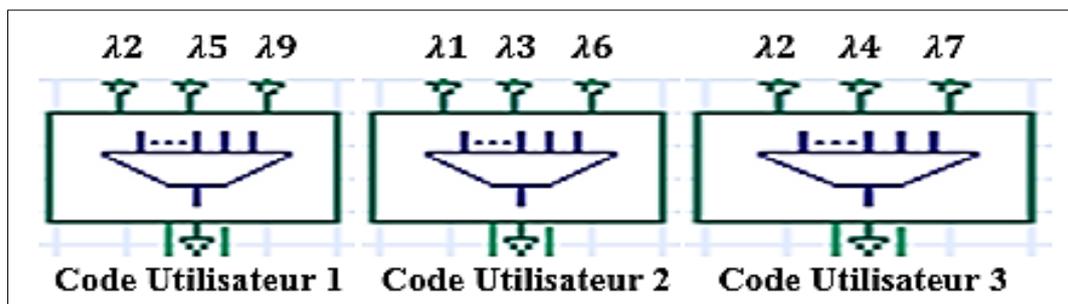


Figure II.15. Bloc générateur du code

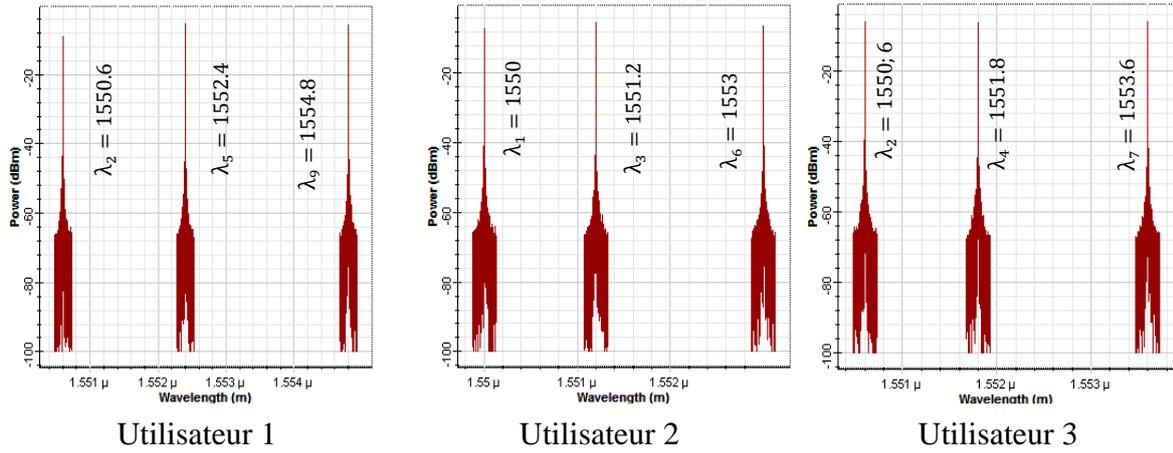


Figure III.16. Longueurs d'onde utilisées en code Fibonacci avec ( $\Delta\lambda = 0.6$  nm)

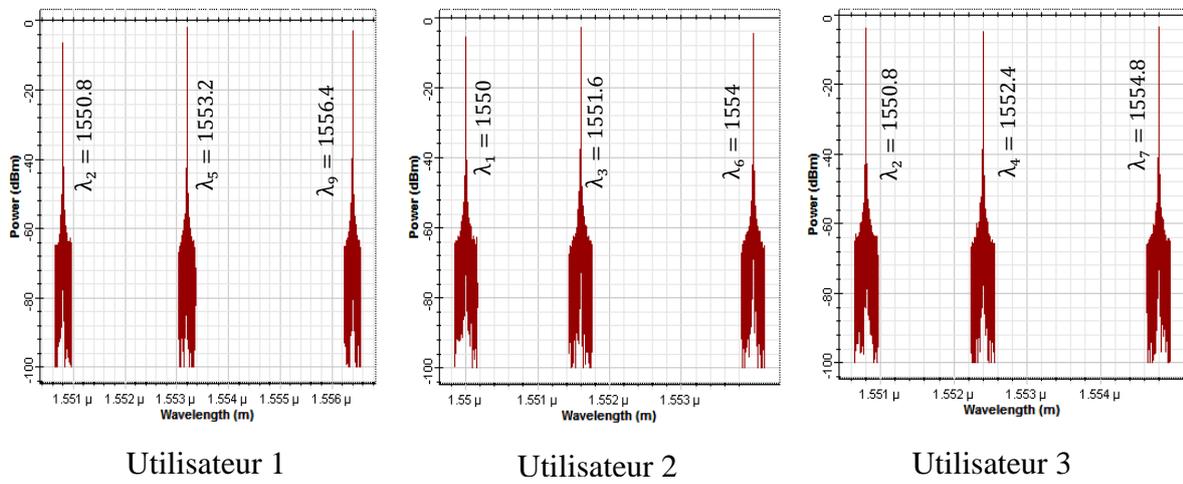


Figure III.17. Longueurs d'onde utilisées en code Fibonacci avec ( $\Delta\lambda = 0.8$  nm)

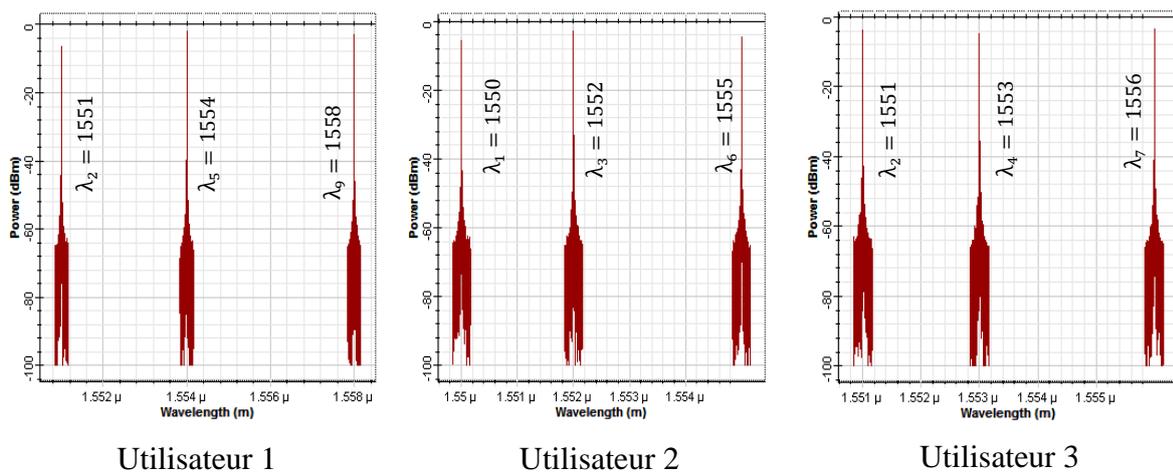


Figure III.18. Longueurs d'onde utilisées en code FIBONACCI avec ( $\Delta\lambda = 1$  nm)

Au niveau de la réception représentée par la figure ci-dessous (figure III.19, figure III.20), le signal transmis a été récupéré on utilisant un fork qui copie le même signal transmis en nombre de code optique utilisé, les signaux issus à la sortie du fork seront décodés a travers un ensemble de filtres de bragg (FBG) qui permet de sélectionner les longueurs d'ondes des différents utilisateurs puis le signal optique sera converti en un signal électrique avec une photodiode PIIN suivie d'un filtre pour éliminer les bruits et récupérer les données transmis. En fin le BER analyser est utilisé pour visualiser les résultats obtenus.

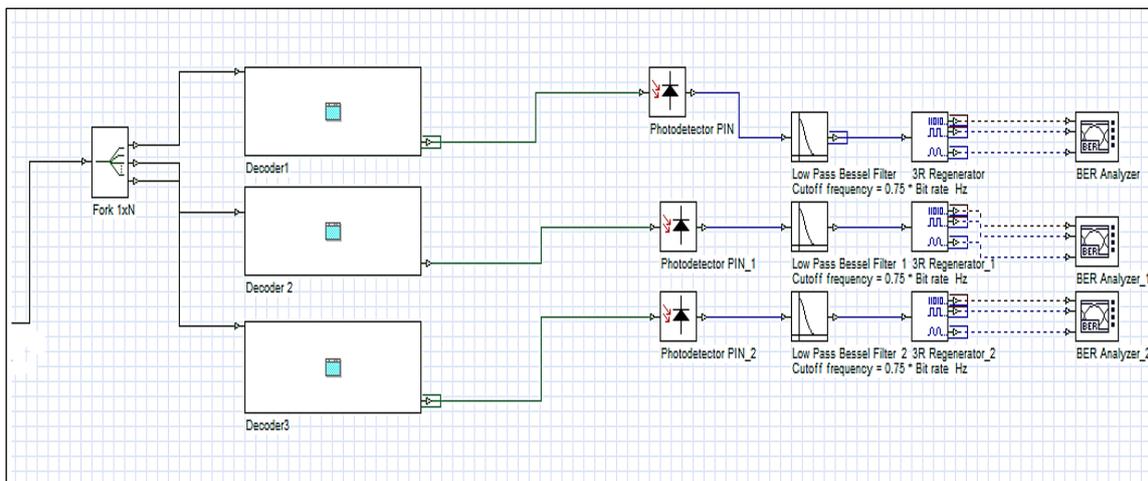


Figure III.19. Bloc récepteur du système SAC-OCDMA

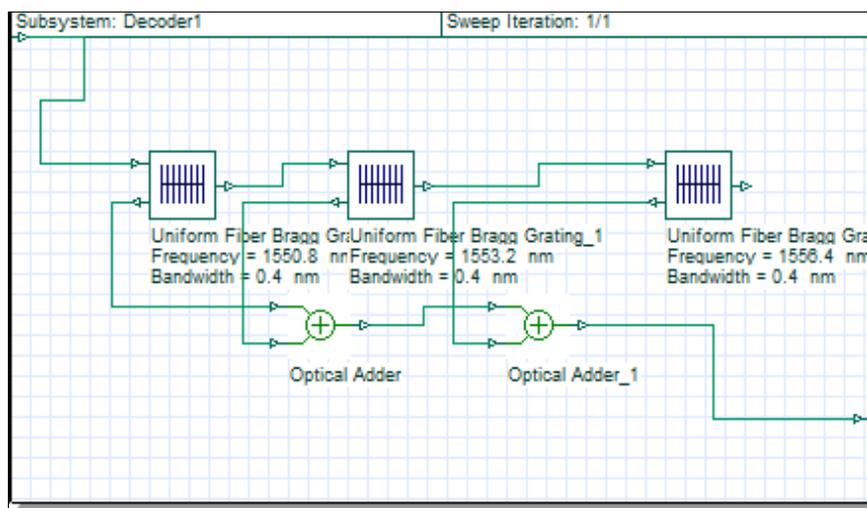
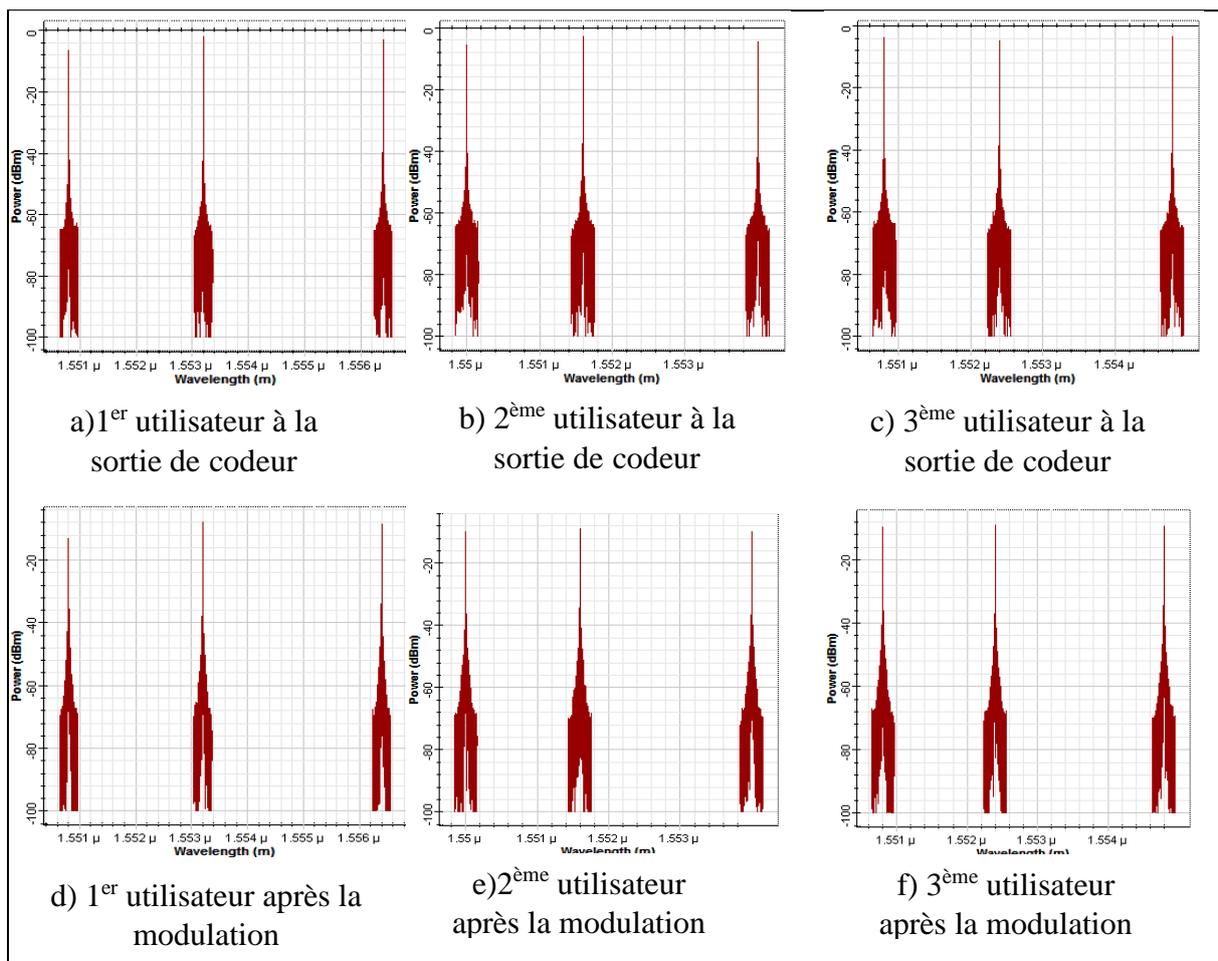


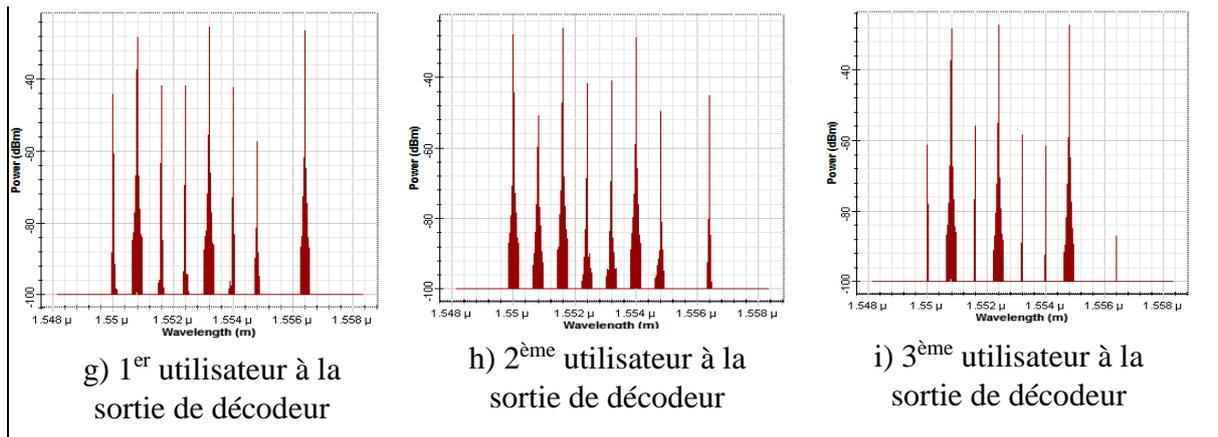
Figure III.20. Décodeur au niveau du récepteur SAC-OCDMA

**Tableau III.1.** Les paramètres de la simulation

Paramètres	Valeur
Nombrte d'utilisateurs	03
Atténuation	0.22 dB/Km
Dispersion	18 ps/nm/km
Dispersion Slope	0.075 ps/nm <sup>2</sup> /km
Dark current	10nA
Coefficient de bruit thermique	1.8e-023 W/Hz
Bande passante du filtre du récepteur	0.75×Bit Rate

### III.4.5. Analyse spectrale





**Figure III.21.** Visualisation des spectres de sorties de la liaison

Les figures a, b et c représentent respectivement les spectres du premier, deuxième et troisième utilisateur du code Fibonacci à la sortie des codeurs, on voit que les spectres sont focalisés à des longueurs d'onde bien spécifiées qui constituent leurs signatures. Les figures d, e et f représentent les spectres des trois utilisateurs après avoir effectué une modulation, on remarque que les puissances des spectres sont légèrement diminuées dû aux pertes dans le modulateur Match Zehender. A la sortie des décodeurs et comme les montrent les figures g, h et i les spectres ont subi une diminution de puissances, un léger étalement et l'apparition des fréquences parasites due aux phénomènes non-linéaires existants dans la fibre. Voir la figure III.21).

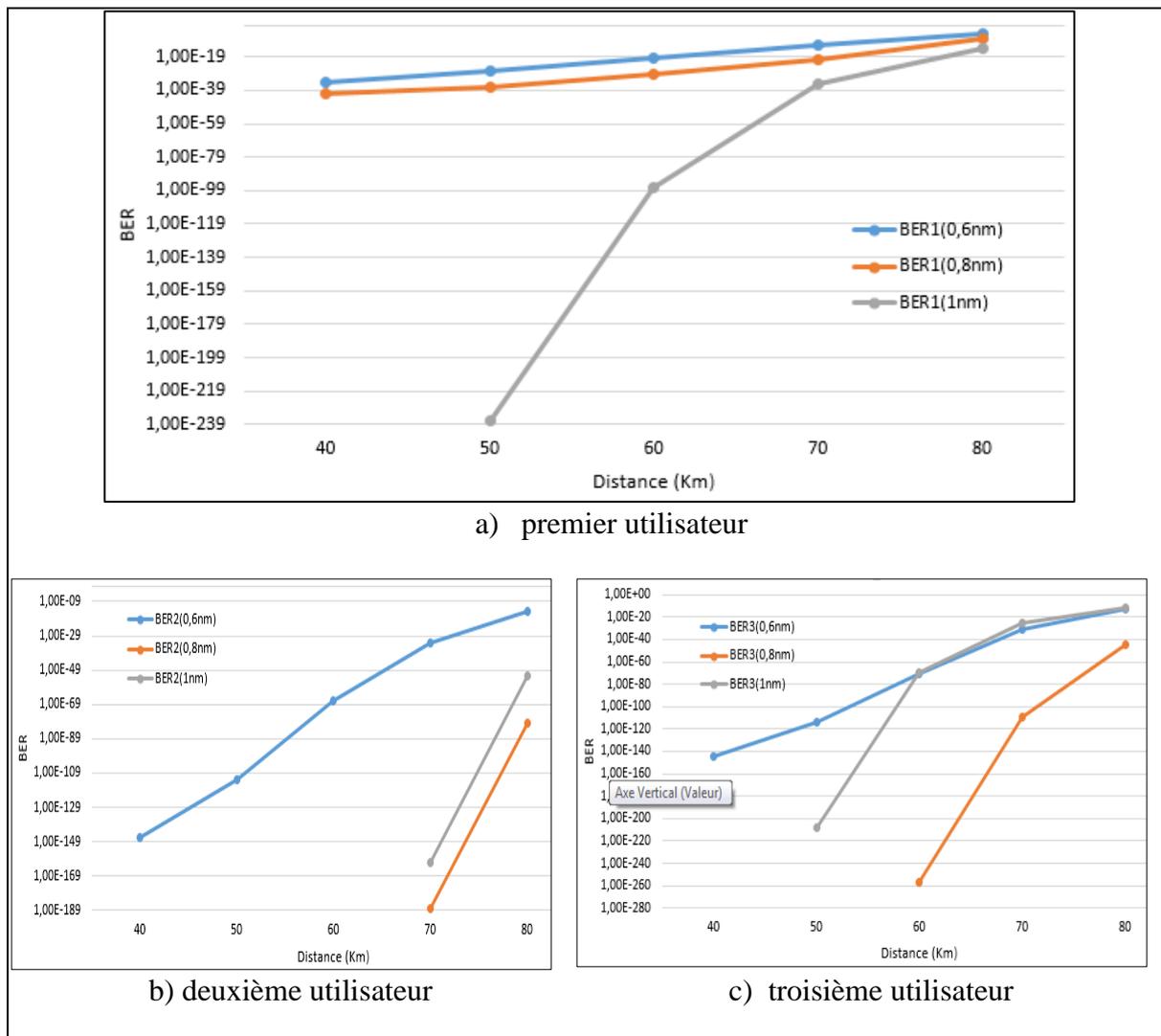
### III.4.6. Résultats et interprétations

Le système SAC-OCDMA avec trois utilisateurs a été simulé avec le logiciel OptiSystem sous la bande C (1530 nm – 1565 nm) avec différents espacements entre canaux (0,6 nm, 0,8 nm et 1 nm). L'efficacité de ce code est analysée par rapport à plusieurs paramètres tels que la distance et la puissance de la source.

#### III.4.6.1. Influence de la distance

Dans cette partie, nous allons déterminer l'effet de variation de la longueur de propagation dans une liaison optique sur le BER, pour ce faire on varie la distance de propagation de 40 à 80 km avec un pas de 20 km en fixant le débit à 622 Mbit/s et la puissance à -2 dbm.

Les figures ci-dessous représentent la variation du BER en fonction de la distance pour les différents utilisateurs.

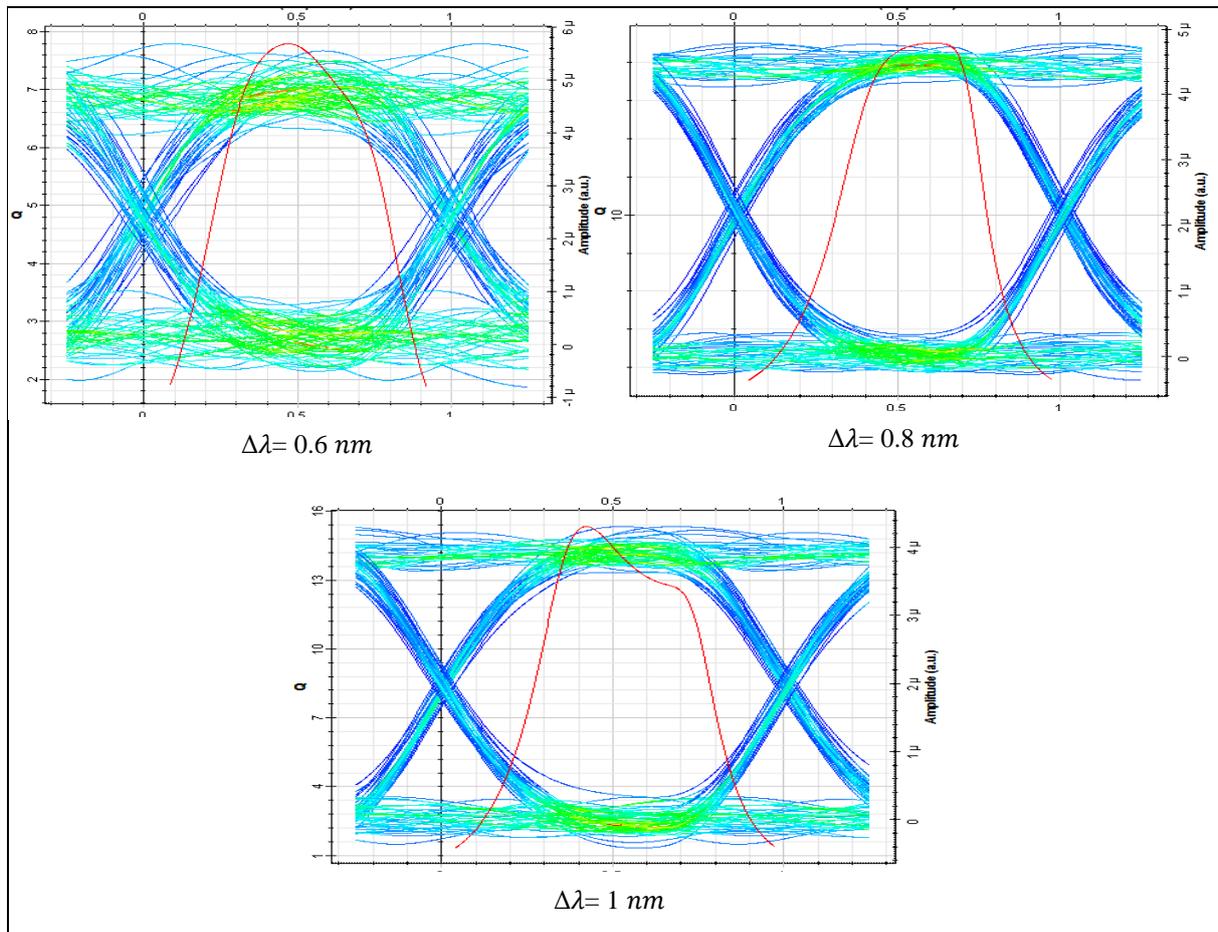


**Figure III.22.** BER du code Fibonacci en fonction de la distance pour les différents utilisateurs

La figure III.22 représente la variation de BER du code Fibonacci en fonction de la distance) pour les trois utilisateurs, on remarque que ce nouveau code nous a permet d'atteindre une longue distance (80 km) sans amplification. ça montre bien aussi que plus la distance augmente plus le BER augmente pour les trois espacement (0.6, 0.8, 1 nm) dû aux effets lineaires et non-lineaires qui influent sur l'efficacité de la transmission.

Nous observons que pour des distances moins de 70 km le BER=0 et pour 70 km on a obtenus aussi des resultats importants, un BER de  $10^{-189}$  ,  $10^{-160}$  et  $10^{-30}$  pour le deuxième utilisateur avec des espacements de 0.8, 0.6 et 1nm respectivement.

Nous constatons que ce code nous permet d'atteindre des grandes distances avec des valeurs de BER très intéressantes.



**Figure III.23.** Diagrammes de l'œil du code *Fibonacci* de deuxième utilisateur avec différents espacements à 80 km

La figure III.23 représente les diagrammes de l'œil du code Fibonacci de deuxième utilisateur pour les trois cas d'espacement (0.6, 0.8 et 1 nm) à une distance de 80 km avec un débit de 622 Mbit/s et une puissance de -2 dBm.

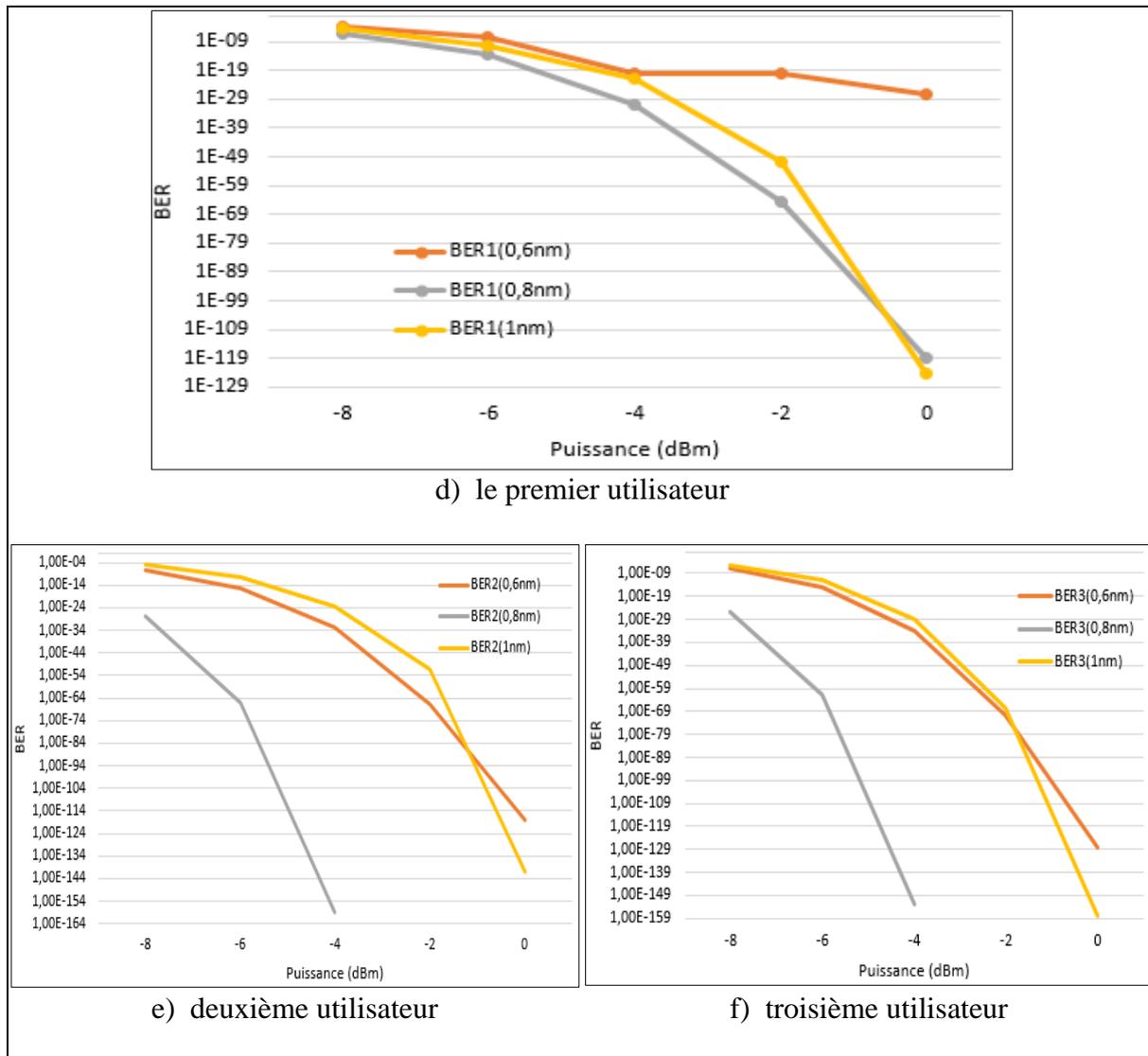
On remarque que les diagrammes de l'œil du code Fibonacci présente une large ouverture pour les différents  $\Delta\lambda$  (0.6, 0.8 et 1 nm).

#### III.4.6.2. Influence de puissance

La puissance de transmission est l'un des paramètres qui joue un rôle très important dans le domaine des télécommunications, elle agit sur le côté économique en permettant une meilleure

qualité de transmission donc dans cette partie nous essaierons de diminuer la puissance plus que possible afin d'analyser les limites du code simulé.

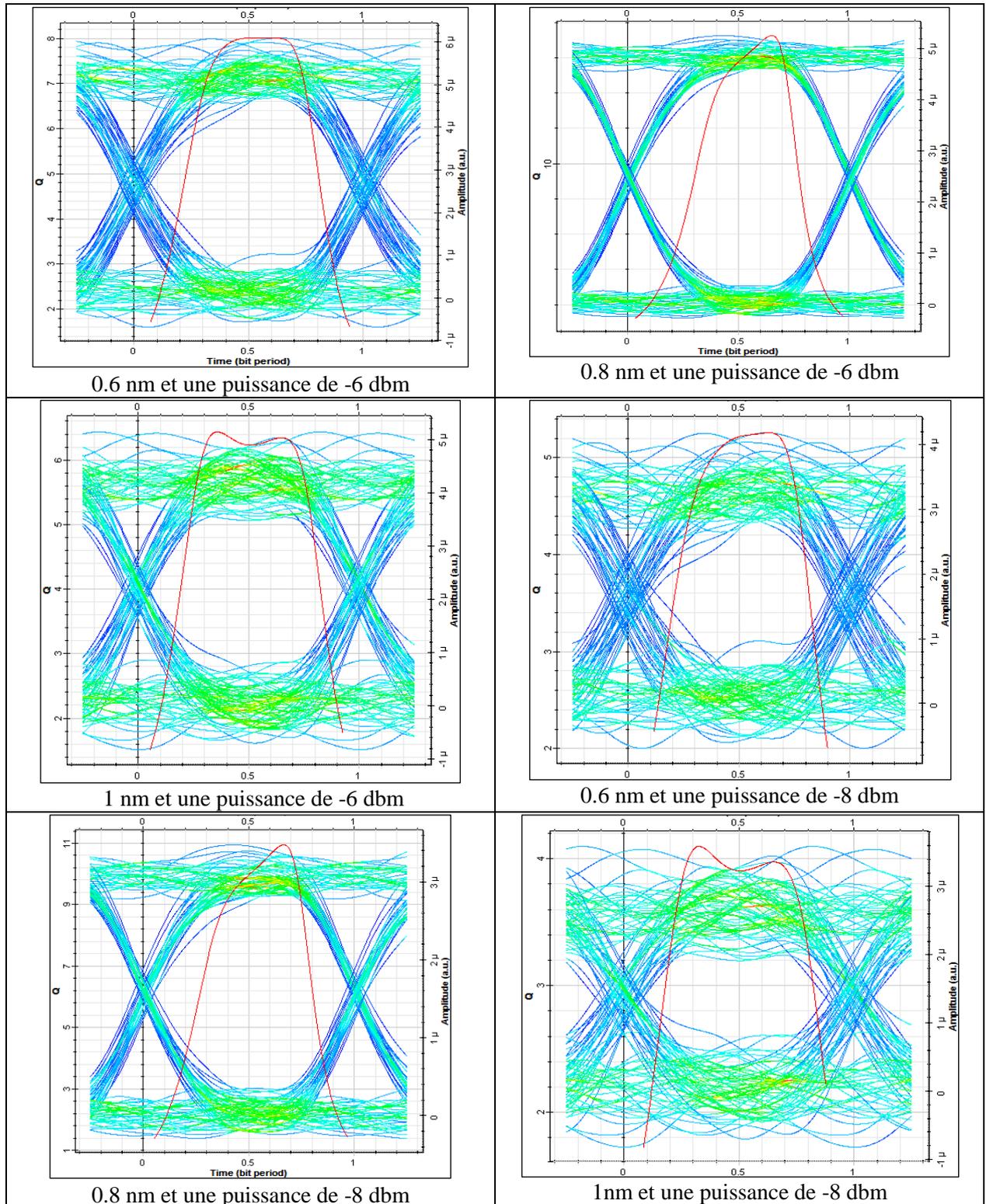
Nous avons fixé le débit à 622 Mbit/s, une distance de 60km et on varie la puissance de -8 à 0 dBm.



**Figure III.24.** BER du code Fibonacci en fonction de la puissance pour les différents utilisateurs

La figure III.24 représente la variation de BER en fonction de la puissance de la source pour les trois utilisateurs. On remarque que plus la puissance est grande les résultats de BER obtenus sont meilleurs, pour des puissances de 0 et -2 dBm nous avons un BER nul avec un espacement de 0.8 nm et plus la puissance est petite plus la valeur du BER est grande, on a pour une puissance de -8dbm le BER peut aller jusqu'à  $10^{-28}$  et  $10^{-27}$ .

D'après les allures tracées, on constate que le code Fibonacci assure une bonne qualité de transmission jusqu'à -0.8 dBm.



**Figure III.25** Diagrammes de l'œil du code Fibonacci de deuxième utilisateur avec différents espacements à 60 km des puissances de -6 dBm et -8 dBm avec un débit de 622Mbit/s

La figure III.25 illustre les diagrammes de l'œil du code Fibonacci d'un utilisateur avec trois espacements différent (0.6, 0.8 et 1 nm) à une distance de 60 km avec deux puissances différentes (-6 et -8 dBm). On remarque que les diagrammes ayant la puissance -6dBm ont une large ouverture de l'œil aussi pour -8 dBm ont une ouverture acceptable ce qui signifie que l'énergie attribuée au système est suffisante pour faire propager le signal dans le canal.

### III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un nouveau code (Fibonacci) pour le système SAC-OCDMA basé sur la suite de Fibonacci, puis nous avons évalué ses performances dans la liaison fibre optique on simulant un système de trois utilisateurs avec le logiciel OptiSystem selon la distance et puissance de la source avec des espacements spectrales  $\Delta\lambda$  différents (0.6, 0.8 et 1 nm) et une technique de détection directe afin de minimiser les interférences d'accès multiples.

Les résultats obtenus assurent l'efficacité de ce nouveau code qui apporte des avantages très intéressants tels que la corrélation croisée nulle et la technique de détection utilisée et sa structure simple. Par ailleurs nous avons pu atteindre des valeurs de puissance très importantes afin d'améliorer les performances de transmission des systèmes SAC-OCDMA.

## Conclusion Générale

Le succès du CDMA dans les réseaux cellulaires a suscité un intérêt croissant de la part des chercheurs pour introduire cette technologie du multiplexage de réseau radiofréquence au réseau optique. Ces réseaux CDMA offrent de nombreux avantages, tels qu'une transmission asynchrone, le potentiel d'une sécurité accrue, un contrôle de qualité de service, etc., afin que le réseau puisse répondre aux besoins de flexibilité, d'évolutivité, d'efficacité et de rentabilité. Cependant, ces caractéristiques des réseaux CDMA sont également les deux principales sources de bruit pouvant apparaître dans de tels réseaux : les interférences d'accès multiples et le bruit important. Ces sources de bruit sont dues au fait que chaque canal du réseau partage les mêmes ressources de temps et de bande passante. Si les méthodes d'annulation de bruit ne sont pas utilisées, cela limitera considérablement la capacité optique du réseau CDMA [31].

Plusieurs études et différentes familles de codes ont été apparus afin de réduire les interférences d'accès multiples (MAI) et d'améliorer les performances des systèmes SAC-OCDMA.

Ce mémoire a pour but d'étudier les performances du code Fibonacci qu'on a développé et de le simuler sous le logiciel OptiSystem appliqués aux systèmes SAC-OCDMA à détection directe.

Le premier chapitre s'y porté essentiellement sur des généralités sur les liaisons optiques qui permettent à la compréhension des chapitres suivants où nous avons décrit les diverses composantes de ces systèmes en présentant ainsi le support optique (fibre optique) et les différentes limitations des performances de ces systèmes puis nous avons expliqué quelques types de multiplexage tels que OTDM, PDM, SDM, WDM et OCDMA.

Dans le deuxième chapitre nous nous sommes focalisés sur la technique OCDMA, son principe, les différents encodages utilisés et quelques codes de cette technique.

Le troisième chapitre est consacré au développement du code Fibonacci (sa construction et son analyse mathématique) et à la simulation de ce code avec une détection directe pour trois utilisateurs à l'aide de logiciel OptiSystem afin d'évaluer l'efficacité de ce nouveau code dans les systèmes SAC-OCDMA en terme de BER et le diagramme de l'œil.

Les résultats obtenus en termes de BER et de diagramme de l'œil en agissant sur différents paramètres (la longueur de la fibre et la puissance de la source) nous ont permis de valider le code Fibonacci développé qui offre une bonne qualité de transmission en raison de sa construction simple et sa corrélation croisée nulle qui réduit les interférences d'accès multiple (MAI).

Au terme de ce mémoire, plusieurs perspectives peuvent être avancées pour approfondir la technique SAC-OCDMA, comme l'augmentation du nombre d'utilisateurs, l'atteinte de très hauts débits et des longues distances.

**ANNEXE**

**STAGE PRATIQUE**

## **1. Introduction**

Le GPON (gigabit passive optical network) est défini par la série de recommandations G.984.x (la section G.980–G.989 ; pour les systèmes et supports de transmission les réseaux locaux et les réseaux d'accès, réseaux numériques, Sections numériques et systèmes de lignes numériques –par ligne optique pour) d'union internationale des télécommunications l'UIT-T (International Télécommunication Union – Télécommunication). Il peut transporter non seulement Ethernet, mais aussi le trafic en mode de transfert asynchrone ATM (asynchronous Transfer mode) et par multiplexage dans le temps TDM (time division Multiplexing). L'architecture GPON est appliquée notamment dans les réseaux FTTx. Les clients avec architecture GPON sont généralement des particuliers ou des petites entreprises. Comme la technologie GPON peut fournir des données, voix et vidéo IP, elle est adaptée et populaire pour la transmission par fibre optique jusqu'au domicile FTTH (fiber to the home) [61].

## **2. L'architecture GPON dans les réseaux FTTH**

### **2.1. Définition**

Le Réseau optique passif PON d'accès souple à fibres optiques basé sur le réseau d'accès [62] FTTH est une architecture de réseau de fibre de point à multipoint, dans laquelle des diviseurs (splitters) à fibre optique non alimentés sont utilisés pour permettre à une seule fibre optique de desservir entre 32 et 128 locaux [61]. Capable de répondre aux besoins en matière de largeur de bande des services d'entreprises et des services résidentiels employant des systèmes à débits très élevés.

### **2.2. La principale technologie utilisée**

Dans toutes les technologies, on utilise une fibre pour transmettre les données dans les deux sens en utilisant le multiplexage de longueur d'onde.

La fibre optique monomode G.652.D est utilisée sur le réseau, tandis que la G.657.A2 est utilisée dans les logements en raison de sa sensibilité aux faibles rayons de courbure, phénomène qui se traduit par l'augmentation des pertes optiques aux grandes longueurs d'onde de fait de la « fuite » d'une partie de la puissance optique en dehors du cœur optique. Ce mécanisme de « fuites » est appelé pertes par macro-courbure. Le niveau de perte dépend du type de fibre, du rayon de courbure appliqué et en fonction de la longueur d'onde. Plus la longueur d'onde est grande et/ou le rayon de courbure est petit, plus la perte induite sera élevée [63].



**Figure 1.** Exemples de pertes induites par macro-courbures à 1550nm pour deux échantillons de fibres G.652.D et G.657.A2 en considérant deux tours complets autour d'un crayon à papier [63].



**Figure 2.** Exemples de cheminement de câbles à l'intérieur des bâtiments [63].

Charge à l'Opérateur d'Infrastructure de réunir les éléments/pièces démontrant le caractère d'« indisponibilité durable et majeure » de fibres G.657-A2 sur les marchés d'approvisionnement, qui lui permettront, si nécessaire et ultérieurement, de justifier ses choix.

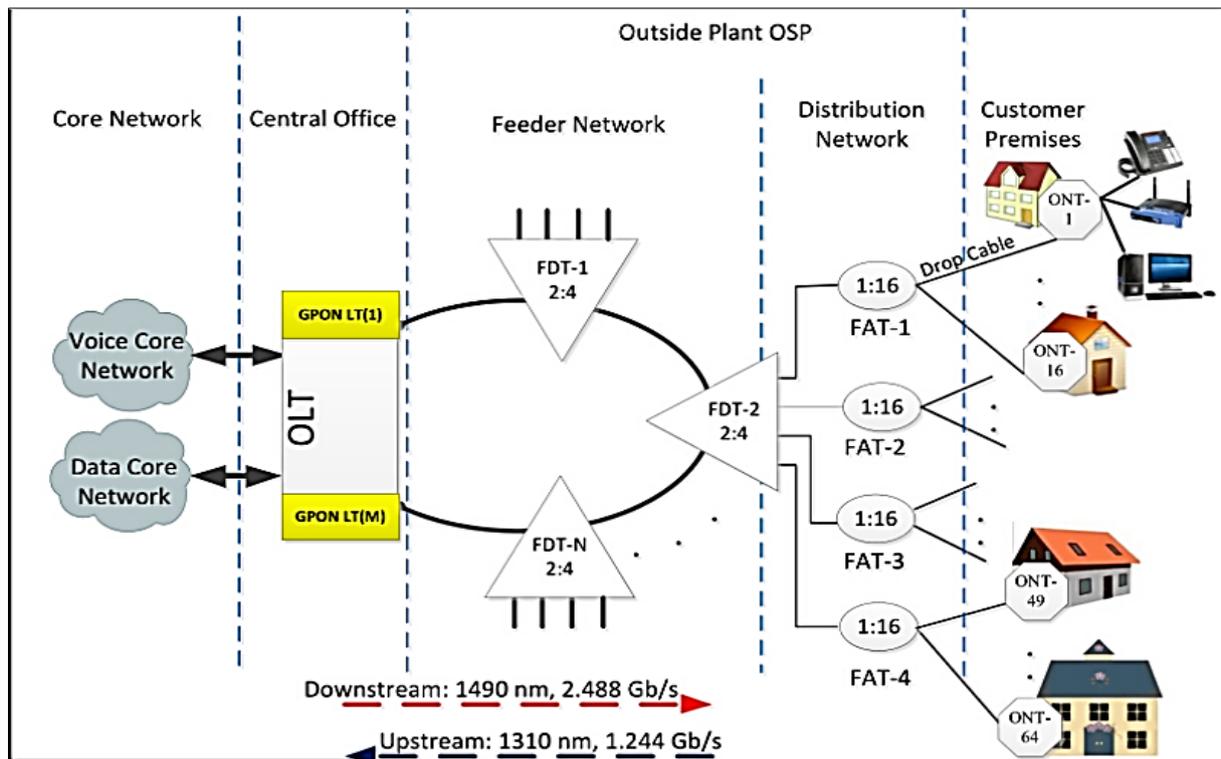
### 2.3. Architecture du Réseau d'accès GPON FTTH

Avec une topologie en arborescence, GPON maximise la couverture avec un minimum de fractionnement du réseau, réduisant ainsi la puissance optique [61].

Un réseau d'accès FTTH comprend cinq zones, sont les suivantes :

- Une zone centrale
- Une zone de bureau centrale
- Une zone d'alimentation

- Une zone de distribution
- Une zone d'utilisateur



**Figure 3.** Architecture du réseau d'accès GPON FTTH

### 2.3.1. Réseau Central (core network)

Il comprend l'équipement des fournisseurs de services Internet ISP (Internet Service Provider), réseau téléphonique commuté public PSTN (Public Switched Telephone Network) « commutation de paquets ou le circuit existant commuté » et l'équipement du fournisseur de télévision par câble.

### 2.3.2. Bureau Central (central office)

Héberge l'OLT, les sous répartiteur optique SRO et de fournir l'alimentation nécessaire. Parfois, cela peut même inclure certains des composants du réseau principal. [61]

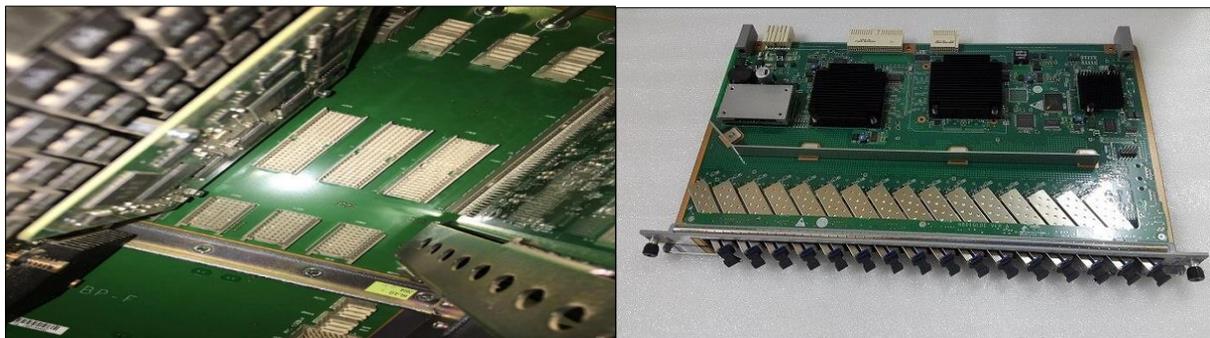
#### 2.3.2.1. Terminal de Ligne Optique OLT

OLT est un dispositif qui sert de point terminal de fournisseur de services d'un réseau optique passif. Il s'agit d'un dispositif d'agrégation Ethernet actif qui est généralement situé dans un centre de données ou dans la salle d'équipement principale. C'est le moteur qui fait fonctionner

le système FTTH. Un OLT convertit les signaux optiques en signaux électriques et les transmet à un commutateur Ethernet central. Il remplace les multiples commutateurs de couche 2 au niveau de distribution. Le signal de distribution OLT est relié au câblage du backbone ou horizontal par des répartiteurs optiques, qui sont connectés au terminal du réseau optique à chaque sortie de la zone de travail [61].



**Figure 4.** *Terminal de Ligne Optique OLT*



**Figure 5.** *La carte mère à l'intérieur de l'OLT*

### **2.3.2.2. Le nœud de raccordement NRO**

Ce nœud abrite l'OLT, c'est le premier maillon de la chaîne du réseau dont rôle est de faire la jonction entre le réseau national optique et le réseau qui va vers les abonnés. [64] Donc le point de départ des liens optiques. Ce nœud doit être dimensionné pour héberger les répartiteurs optiques.



**Figure 6.** *Nœud de raccordement optique NRO*

### **2.3.2.3. Sous-Répartiteur Optique SRO**

Le SRO est un point de concentration intermédiaire du réseau FTTH. Le sous-répartiteur optique est un point de flexibilité entre le transport et la distribution de niveau 1. Le SRO est une armoire de rue similaire aux sous-répartiteurs utilisés au niveau des réseaux téléphoniques. Il regroupe un nombre entier de splitter.



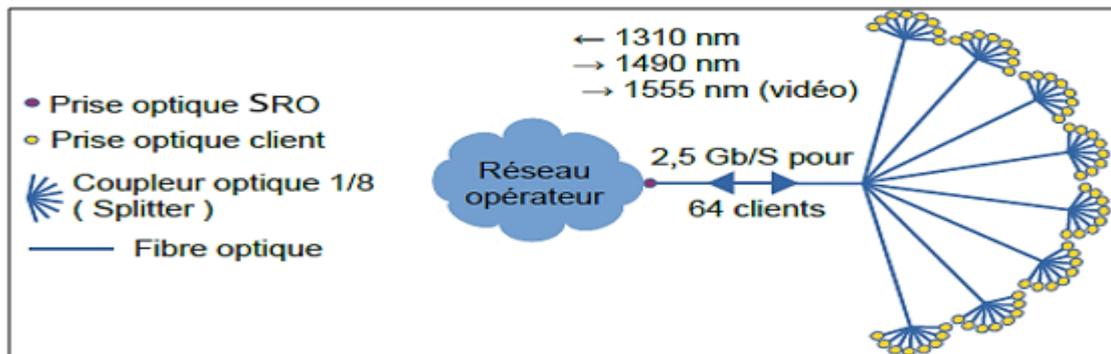
**Figure 7.** *Sous répartiteur optique SRO*

### **2.3.2.4. Coupleur ou Diviseur (Splitter) de Fibre Optique**

Il divise la puissance du signal. C'est-à-dire que chaque lien de fibre entrant dans le splitter peut être divisé en un nombre donné de fibres quittant le splitter. Normalement, trois niveaux de fibres ou plus correspondent à deux niveaux de splitter ou plus. Cela permet à de nombreux utilisateurs de partager chaque fibre. Le splitter de fibre optique passif présente les

caractéristiques suivantes : large portée de longueurs d'onde de fonctionnement, faible perte d'insertion et uniformité, dimensions minimales, grande fiabilité, ainsi qu'une politique de protection et de capacité de survie du réseau [61].

Sur la fibre sortant du SRO, on raccorde un coupleur (splitter) optique 1/8 puis sur chacune de ses branches, on en raccorde un autre. Cela permet de raccorder  $8 * 8 = 64$  clients. Ils se partagent le débit. [64]



**Figure 8.** Le principe de raccordement optique à la sortie de SRO [64]

### 2.3.3. Réseau d'alimentation (Feeder Network)

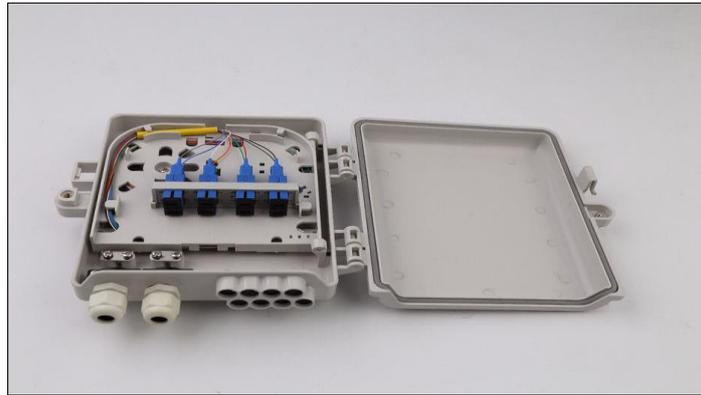
La zone d'alimentation s'étend de l'SRO dans le bureau central aux points de distribution. Ces points, qui sont généralement des boîtes de jonction situées dans la rue, appelés Boîtes de Distribution des Fibres FDT (fiber distribution terminal), où se trouvent généralement les splitters de niveau 1. Le câble d'alimentation est généralement connecté en tant que topologie en anneau à partir d'un port GPON et se termine sur un autre port GPON [61].



**Figure 9.** Boîtes de Distribution des Fibres FDT

### 2.3.4. Réseau de distribution (distribution network)

Le câble de distribution relie le splitter de niveau 1 (à l'intérieur du FDT) au splitter de niveau 2. Le splitter de niveau 2 est généralement situé dans une boîte à bornes montée sur poteau, appelée Terminal d'Accès des Fibres FAT (fiber Access terminal), généralement placée à l'entrée du quartier [61].



**Figure 10.** Terminal d'Accès des Fibres (FAT)

### 2.3.5. Zone d'Utilisateur (customer premises)

Dans la zone d'utilisateur, des câbles de dérivation sont utilisés pour connecter le splitter de niveau 2 à l'intérieur du FAT aux installations de l'abonné. Pour faciliter le travail d'entretien, un câble de dérivation d'antenne aboutit généralement à l'entrée du domicile de l'abonné dans une Boîte à Bornes TB (Terminal box), puis un câble de dérivation intérieur relie la TB à une Boîte à Bornes d'Accès ATB (access terminal box) située dans la maison. Enfin, un câble de connexion relie l'ONT à l'ATB [61].



**Figure 11.** Boite à Bornes d'Accès ATB et Boîte à Bornes TB

### 2.3.5.1. Terminal de réseau optique ONT

ONT est déployé dans les établissements du client. Il est connecté à l'OLT au moyen d'une fibre optique et n'a aucun élément actif présent dans la liaison. Dans GPON, l'émetteur-récepteur de l'ONT est la connexion physique entre les établissements du client et l'OLT du bureau central.

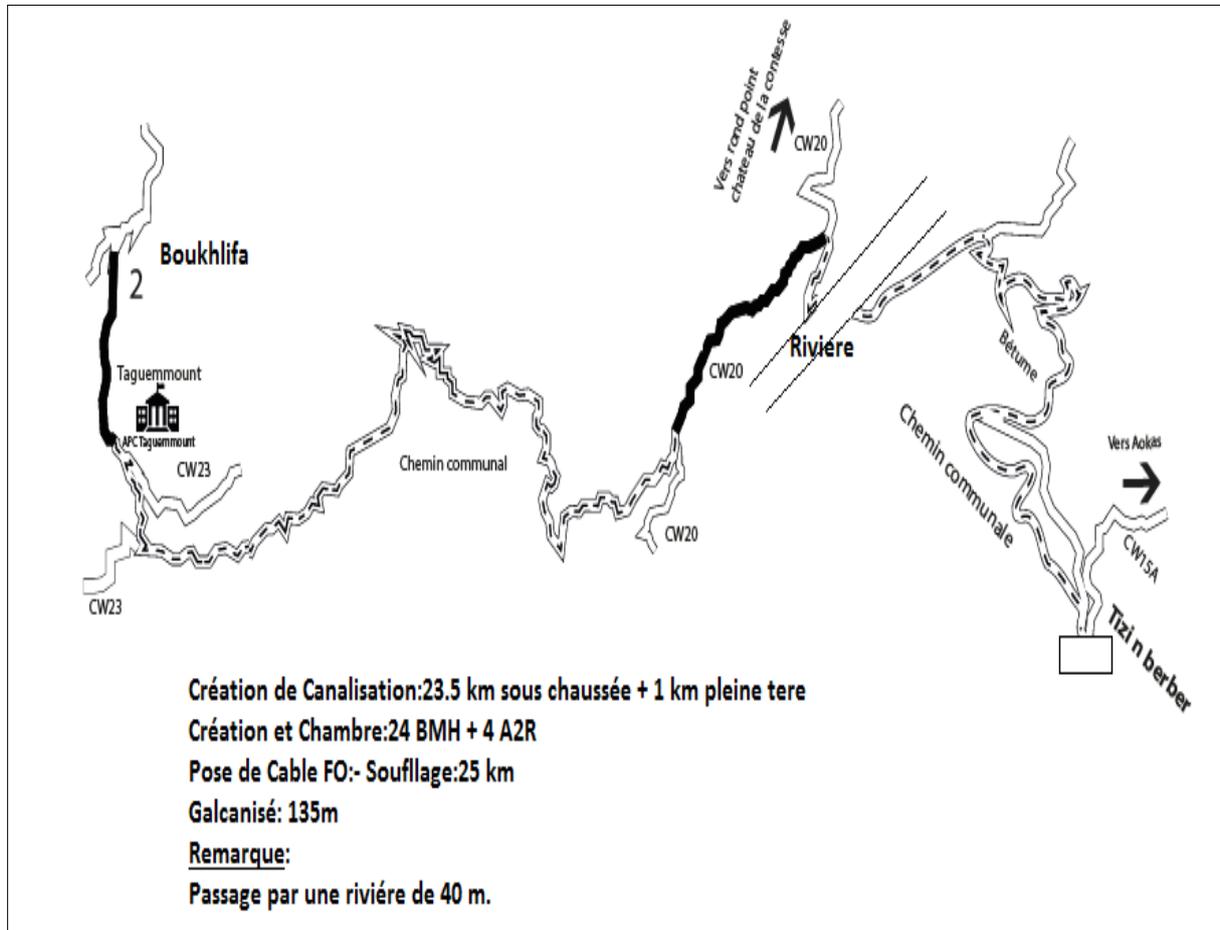


**Figure 12.** *Le terminal de réseau optique ONT*

### 3. Appareils et techniques de surveillance de performances d'un GPON chez ALGERIE TELECOM

#### 3.1. Exemple d'étude de faisabilité Fibre Optique

- LOT N° 01 Tronçon BOUKHLIFA-TIZI N'BERBER



**Figure 13.** Fiche technique de la Boucle Métro [BARBACHA-TIZI N'BERBER] Tronçons Boukhlifa – Tizi n Berbere

#### 3.2. La réflectométrie temporelle OTDR

Malgré la croissance et l'évolution de la technologie mais ça n'a pas permis l'éliminer carrément les pertes et l'affaiblissement, ces événements représente la qualité de câble à fibre optique qui peuvent être mesuré par la réflectométrie temporelle l'OTDR qui permet les mesures sur la continuité du câble et la localisation des défauts avec les pertes associées. Son principe est basé sur l'analyse temporelle (spatial de l'indice de réfraction avec la connaissance

de la vitesse de propagation) des «ECHOS» générés par les impulsions injectées dans la fibre optique [63].

### **3.2.1. Les types de signaux sur le réflectomètre optique**

Les signaux les plus forts, liés aux réflexions de Fresnel (des changements brusques) de engendrées par tous types de cassures de la fibre (les fractures dans les fibres, connecteurs optique... etc.) et les signaux les plus faibles, mais les plus importants liées à la rétrodiffusion de Rayleigh (phénomène de petites portions de lumière se réfléchissant directement vers le transmetteur) la lumière par la matière [63].

### **3.2.2. Principe de base du fonctionnement d'un OTDR**

L'OTDR est une source lumineuse capable d'émettre des impulsions lumineuses calibrées et répétitive de les injecter dans la fibre optique à tester et de chronométrer le temps mis par la lumière pour aller jusqu'à la fin de la fibre et pour en revenir. Les mesures effectuées sont discriminatoires et donnent la distance et les pertes de chacun des éléments de l'installation [63].

L'OTDR calcule les distances comme suit :

$$Distance = \frac{c}{n} \times \frac{t}{2} \quad (1)$$

Ou :

c : vitesse de la lumière dans le vide ( $2,998 \cdot 10^8$  m/s).

t : temps entre l'envoi de l'impulsion et sa réception.

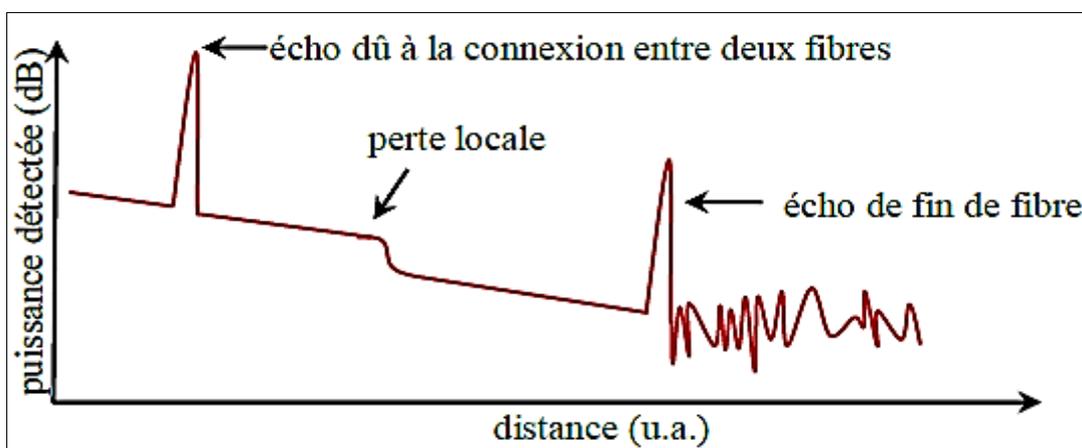
n : indice de réfraction de la fibre testée (tel que spécifié par le fabricant)

### **3.2.3. Les caractéristiques de pertes sur OTDR**

La mesure OTDR est beaucoup utilisée en télécommunications pour la détection de défauts le long du réseau optique et pour la mesure des affaiblissements le long des câbles optiques qui influent sur la qualité de transmission. La détection des défauts est possible grâce à l'analyse du profil caractéristique de la courbe de réflectométrie.

La trace caractéristique de réflectométrie, telle que présentée sur la (Figure IV.13), illustre la structure du profil des pertes d'une fibre optique sous test :

- Les pics correspondent à des échos ponctuels, dus par exemple aux connexions des fibres différentes entre elles, ou à la fin de la fibre, s'agissant tout simplement de réflexions de Fresnel.
- La pente (négative s'agissant de pertes) de la courbe caractéristique est due à l'atténuation du signal transporté dans la fibre. Lorsqu'un défaut apparaît dans une fibre (résultant d'un défaut de fabrication, de micro-courbures, de micro-déformations, ou par des conditions environnementales ; l'humidité, température, etc.), il apparaît des pertes (et donc une marche descendante sur la courbe) à l'endroit concerné. Le niveau de la courbe caractéristique baisse donc localement.



**Figure 14.** Courbe caractéristique d'un OTDR

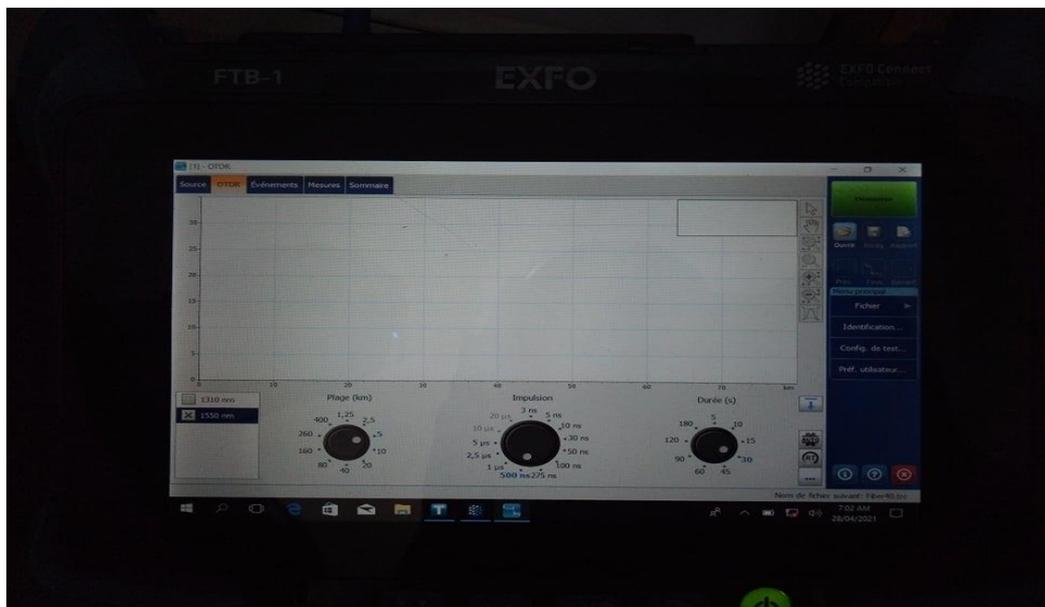
**Tableau 1.** La signification des différents événements dans l'OTDR [63]

Le symbole	La signification
	Début de section
	Niveau d'injection
	Fibre continue
	événement non réfléchissant
	événement réfléchissant
	Fusionné
	événement réfléchissant (Echo possible)

	Evènement positif
	Echo
	Fin d'analyse
	Fin de section

### 3.2.4. Description de l'appareille de mesure

Le CMSO centre de maintenance support optique de la wilaya de Bejaia dispose d'un appareille de mesure de réflectométrie de marque EXFO. Il est utilisé pour évaluer la qualité des épissures et tester la continuité des signaux.



**Figure 15.** L'écran de l'appareil de mesure OTDR

- *Caractéristique principaux*
  - ✓ Un écran tactile couleur
  - ✓ Deux ports USB 2.0
  - ✓ Port Ethernet
  - ✓ Module WIFI et Bluetooth interne en option
  - ✓ Système d'exploitation Windows
  - ✓ LVD et Wattmètre intégré
  - ✓ Autonomie de pile de 12heures

- ✓ Affichage de fichiers PDF sur l'écran
  - ✓ Transfert de fichiers et dossier via périphérique externe
- *Principales fonction*
    - ✓ Dynamique de 30dB à 1310nm, 28dB à 1550nm et 1625nm.
    - ✓ Longueurs d'ondes : 1310 nm ,1550nm et 1625nm
    - ✓ Logiciel de traitement embarqué : localisateur de macro courbures, indicateur succès/échec, vue linéaire.
    - ✓ Zone morte d'évènement : 1m
    - ✓ Gamme de puissance : 27 à 50 dBm
    - ✓ Incertitude (%)±5% ±10 nW
    - ✓ Résolution d'affichage (dB) : 0.01=max à -40 dBm  
0.1= -40 dBm à -50dBm

### 3.3. Mesure sur une liaison optique BEJAIA

Nous avons effectué un test sur la liaison « CMSO Bejaïa → Tizi-Ouzou ».

#### 3.3.1. Les étapes du test

##### 3.3.1.1. L'insertion des paramètres

Les paramètres sont résumés dans le tableau suivant pour  $\lambda=1550$  nm et  $\lambda=1310$  nm :

**Tableau 2.** Configuration des paramètres de test sur OTDR.

Longueur d'onde (nm)	1550 nm (9 $\mu$ m) & 1310 nm (9 $\mu$ m)
Plage (km)	160,0000
Impulsion ( $\mu$ s)	2,5
Durée (s)	30
Diffusion de Rayleigh (dB)	-81,87
Seuil de détection de perte d'épissure (dB)	0,020
Seuil de détection de réflectance (dB)	-72,0
Seuil de détection de fin de fibre (dB)	6,000



▪ *Vérification de l'analyse*

On distingue par l'observation sur la courbe, un évènement réfléchissant au premier connecteur au début de la section du câble. L'absence des pertes par épissures (inférieure au Seuil de détection de perte d'épissure <0,020 dB) nous informe sur la qualité des épissures réalisées par l'équipe d'Algérie Télécoms.

**Tableau 3.** Les évènements sur OTDR  $\lambda=1550$  nm

Type	N°	Pos./Long. (km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation (dB/km)	Cumulé (dB)
Premier connecteur	1	0,0000	---	-25,4		0,000
Section		1,4139	0,314		0,222	0,314
Non réfléchissant	2	1,4139	0,049			0,363
Section		2,1183	0,386		0,182	0,749
Réfléchissant	3	3,5322	0,458	-38,5		1,207
Section		2,1285	0,408		0,192	1,614
Non réfléchissant	4	5,6607	0,148			1,763
Section		1,8580	0,352		0,189	2,114
Positif	5	7,5187	-0,084			2,030
Section		1,7814	0,346		0,194	2,377
Non réfléchissant	6	9,3001	0,053			2,429
Section		4,0069	0,762		0,190	3,191
Positif	7	13,3070	-0,062			3,129
Section		2,0111	0,380		0,189	3,509
Non réfléchissant	8	15,3181	0,118			3,626
Section		1,9141	0,364		0,190	3,990
Positif	9	17,2322	-0,039			3,951
Section		3,9916	0,753		0,189	4,704
Non réfléchissant	10	21,2238	0,064			4,768
Section		3,9967	0,752		0,188	5,520
Positif	11	25,2205	-0,047			5,472
Section		4,6041	0,875		0,190	6,347
Non réfléchissant	12	29,8246	1,257			7,604
Section		3,4199	0,665		0,194	8,269
Non réfléchissant	13	33,2445	0,100			8,369
Section		3,8027	0,710		0,187	9,079
Positif	14	37,0472	-0,075			9,004
Section		4,1192	0,769		0,187	9,773

Non réfléchissant	15	41,1664	0,104			9,877
Section		7,8147	1,449		0,185	11,326
Non réfléchissant	16	48,9811	0,063			11,389
Section		11,5562	2,162		0,187	13,551
Non réfléchissant	17	60,5373	0,061			13,612
Section		15,6958	2,985		0,190	16,597
Non réfléchissant	18	76,2331	0,053			16,651
Section		3,8895	0,785		0,202	17,435
Non réfléchissant	19	80,1226	0,065			17,500
Section		1,4139	0,283		0,200	17,784
Non réfléchissant	20	81,5365	0,256			18,040
Section		4,5429	0,846		0,186	18,886
Non réfléchissant	21	86,0794	0,113			18,999
Section		3,8129	0,678		0,178	19,677
Non réfléchissant	22	89,8923	0,072			19,749
Section		1,7099	0,332		0,194	20,082
Positif	23	91,6023	-0,117			19,964
Section		2,1540	0,395		0,183	20,359
Non réfléchissant	24	93,7563	0,084			20,444
Section		2,1693	0,431		0,199	20,874
Non réfléchissant	25	95,9256	0,096			20,970
Section		1,8937	0,358		0,189	21,328
Non réfléchissant	26	97,8193	0,106			21,434
Section		3,9610	0,746		0,188	22,180
Non réfléchissant	27	101,7803	0,205			22,385
Section		36,9247	7,758		0,210	30,143
Réfléchissant	28	138,7050	---	-17,8		30,143

▪ **Observation et résultats**

Le tableau IV présente plusieurs évènements détectée par le teste OTDR (28 évènement) de La liaison (Bejaïa → Tizi-Ouzou).

Un évènement se caractérise par le dépassement des seuils d'atténuation et d'épissurage tolérer selon les normes de fabrication de la fibre optique et de réalisation du projet.

Les résultats de cette mesure sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 4.** Résultat des évènements de test

Longueur de la section :	138,7050 km	Perte moyenne :	0,217 dB/km	Niveau d'injection :	36 dB
Perte de la section :	30,143 dB	Perte d'épissure moyenne :	0,106 dB		
ORL de la section :	31,99 dB	Perte d'épissure maximale :	1,257 dB		

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie

- [1] : SAHRAOUI, Walid. Etude et simulation des techniques de transmission dans une liaison de télécommunication optique. Thèse de doctorat. Université de Béjaia-Abderrahmane Mira.
- [2] : KANDOUCI, Chahinaz, et al. Contribution à l'étude des codes optiques 2D: Application au CDMA optique. 2017. Thèse de doctorat.
- [3] : MORELLE, Mikaël. Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA (OCDMA): application aux transmissions multimédia. 2008. Thèse de doctorat.
- [4] : REFI, J. Bande passante LED des fibres multimodes en fonction de la bande passante laser et des caractéristiques spectrales des LED. Journal de la technologie des ondes lumineuses, 1986, vol. 4, n° 3, p. 265-272.
- [7] : VERNEUIL, Jean-Louis. Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s. Université de Limoges, Limoges, 2003.
- [8] : GAY, M. ; 2006 – Etude théorique et expérimentale de l'impact de la .....régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit. ....Thèse Doct. Physique. Inst. Nat. Sciences Appliquées. Rennes. 216 p.
- [9] : MEUNIER, J.-P. ; 2003 – Télécoms Optique : Composants à fibres systèmes .....de transmission. Ed. Hermes. Paris. pp.134, 208, 210 et 227.
- [10] : SUEMATSU, Yasuharu et IGA, Ken-Ichi. Transmissions sur fibres optiques. Technologie generale. Paris: Masson, 1984.
- [11] : M.THUAL - IUT DE LANNION (Université de Rennes 1), 2015.
- [12] : LOUM, Dafa Seynadou. Transmission radio haut débit multiservices sur fibres optiques. Application à l'optimisation de la capacité multi-utilisateurs en emprises de transport. 2012. Thèse de doctorat. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.
- [13] : MALCOLM, Johnson. Optical fiber cables and systems. ITU-T, p2, 2009.
- [15] : MAURY, Julien. Etude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique. 2003. Thèse de doctorat. Limoges.
- [16] : PEREZ VALENZUELA, Carlos Eduardo. Formats de modulation pour les télécommunications optiques. 2006. Thèse de doctorat. Télécom Bretagne.
- [17] : WITHITSOONTHORN, Suwimol. Photodiode UTC et oscillateur différentiel commande en tension à base de TBdH InP pour récupération d'horloge dans un réseau de transmission optique à très haut débit. 2004. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- [18] : M. Voos, H. J. Drouhin, B. Drévilion, « Semi-conducteurs et composants », Programme d'approfondissement physique, Innovation technologique, Electrical engineering, Ecole polytechnique, Palaiseau, pp. 7-44, Paris, 2001.
- [19] : D. Decoster, J. Harari, « Détecteurs optoélectroniques » Hermès-science, pp. 17-20 pp. 26-28, Paris, 2002.

- [20] : BOUDKHIL, Abdelhakim, OUZZANI, Asmaâ, et SOUDINI, Belabbes. Evaluation des Performances des Photodiodes PIN et APD dans une Chaîne de Communication Optique à Haut Débit via Optisystem. *Revue Méditerranéenne des Télécommunications*, 2015, vol. 5, no 1.
- [21]: COURJON, D. Photodiode characteristics and applications. *OSI Journal, Optoelectronics*, 2009.
- [22] : MERZOUK, Khalil. Étude d'un système bas coût de transmission par multiplexage temporel. 2008. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG. optique
- [24] : CHU, Kwong W. et DICKEY, Fred M. Optical coherence multiplexing for interprocessor communications. *Optical Engineering*, 1991, vol. 30, no 3, p. 337-344.
- [25] : SALEHI, Jawad A. Techniques d'accès multiple par division de code dans les réseaux de fibre optique. I. Principes fondamentaux. *Transactions IEEE sur les communications*, 1989, vol. 37, n° 8, p. 824-833
- [26] : KARAFOLAS, Nikos et UTTAMCHANDANI, Deepak. Optical fiber code division multiple access networks: A review. *Optical Fiber Technology*, 1996, vol. 2, no 2, p. 149-168.
- [27] CHEN, Hung-Wei, YANG, Guu-Chang, CHANG, Cheng-Yuan, et al. Spectral efficiency study of two multirate schemes for asynchronous optical CDMA. *Journal of Lightwave Technology*, 2009, vol. 27, no 14, p. 2771-2778.
- [28] HUANG, Jen-Fa, TSAI, Chen-Mu, et LO, Yu-Lung. Compensating fiber gratings for source flatness to reduce multiple-access interferences in optical CDMA network coder/decoders. *Journal of lightwave technology*, 2004, vol. 22, no 3, p. 739-745.
- [29] : AZIZ, F. A. et OBAYYA, S. S. A. Manchester-coded modified-legendre codes for spectral-amplitude coding-based optical code-division multiplexing system. *IET optoelectronics*, 2011, vol. 5, no 2, p. 93-98.
- [30] : Abd El Mottaleb, Somaya A., et al. "SAC OCDMA system using different detection techniques." *IOSR J Electron Commun Eng Apr 9.2 (2014): 55-60.*
- [31] : HANANE, DJELLAB. Evaluation des performances de la technique CDMA dans la transmission optique. Thèse de doctorat. Université de Batna. 2018
- [32] : CHERIFI ABDELHAMID, thèse de doctorat « Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi porteuses Dans La Transmission d'information Soutenue », Université Abdelhaid Ibn Badis De Mostaganem Faculte Des Sciences Et Technlogie, 06/04/2017.
- [33] : ZOUINE, Younes et MADINI, Zhour. Direct Sequence-Optical Code-Division Multiple Access (DS-OCDMA): Receiver Structures for Performance Improvement. In : *Multiplexing*. IntechOpen, 2019.
- [34] : Recherche en CDMA optique (Code Division Multiple Access) Prof. Leslie A. Rusch [rusch@gel.ulaval.ca](mailto:rusch@gel.ulaval.ca) Centre d'optique photonique et laser. Université Laval quebec
- [35] : SALEHI, Jawad A., WEINER, Andrew M., et HERITAGE, Jonathan P. Coherent ultrashort light pulse code-division multiple access communication systems. *Journal of Lightwave Technology*, 1990, vol. 8, no 3, p. 478-491.

- [36] : HUANG, Wei et ANDONOVIC, Ivan. Coherent optical pulse CDMA systems based on coherent correlation detection. *IEEE transactions on communications*, 1999, vol. 47, no 2, p. 261-271.
- [37] : KANDOUCCI, Chahinaz, et al. Contribution à l'étude des codes optiques 2D: Application au CDMA optique. 2017. Thèse de doctorat.
- [38] : Mohamed, Abdelhedi Chaoui, Slim Zied, Ouarda . Etude de la performance de récepteurs à annulation d'interférence dans un système DS-OCDMA. TY - BOOK Auteurs. 2010/05/01
- [39] : AYOTTE, Simon. Systèmes optiques à accès multiple par répartition des codes: études des performances et de l'impact du bruit d'intensité. 2007.
- [40] : FSAIFES, Ihsan. Encodage et décodage temporels" tout-optique" à réseaux de Bragg pour l'accès multiple. 2007. Thèse de doctorat. Télécom ParisTech.
- [41] : BOUARFA, Abdelkader, et al. Formats de modulation et codes adaptés aux communications numériques optiques à très haut débit. 2018. Thèse de doctorat.
- [42] : IMTIAZ, Waqas A., AHMED, Hassan Yousif, ZEGHID, Medien, et al. Two dimensional optimized enhanced multi diagonal code for OCDMA passive optical networks. *Optical and Quantum Electronics*, 2020, vol. 52, no 1, p. 1-17.
- [43] : MCGEEHAN, John E., NEZAM, SMR Motaghian, SAGHARI, P., et al. Experimental demonstration of OCDMA transmission using a three-dimensional (time-wavelength-polarization) codeset. *Journal of lightwave technology*, 2005, vol. 23, no 10, p. 3282-3289.
- [44]: YIN, Hongxi et RICHARDSON, David J. Réseaux de communication à accès multiple par division de code optique. chap , 2008, vol. 1, p. 36-37.
- [45] : YAZDANI, Arash. Contributions à la détection optimale dans les récepteurs optiques OTDM et OCDMA. 2016.
- [46] : MOSTAFA, Salwa, MOHAMED, Abd El-Naser A., EL-SAMIE, Fathi E. Abd, *et al.* Code de décalage cyclique pour SAC-OCDMA utilisant un réseau de Bragg à fibre. arXiv préimpression arXiv:1904.00373, 2019.
- [47] : MATEM, Rima, ALJUNID, SA, JUNITA, MN, et al. Influence de la variation de la taille du code sur les performances de l'hybride 2D ZCC/MD dans le système OCDMA. Dans: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. p. 06018.
- [48] : CHERIFI, A., YAGOUBI, B., BOUAZZA, B. S., et al. New Method for the Construction of Optical Zero Cross Correlation Code Using Block Matrices in OCDMA-OFDM Systemn Code Using Blocks Matrices in OCDMA-OFDM System. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 2016, vol. 8, no 1, p. 33-39.
- [49] : ANUAR, Mat Safar, SYED ALWEE ALJUNID, Syed Junid, R BADLISHAH, Ahmad, et al. Performance analysis of optical zero cross correlation in OCDMA system. 2007.
- [50] : ABD HUSSEIN, Thanaa, ALJUNID, Syed Alwee, JUNID, Syed, et al. Enhancement of performance of a hybrid SAC–OCDMA system using dynamic cyclic shift code. 2012.
- [51] : NORAZIMAH, M. Z., ALJUNID, S. A., FADHIL, Hilal A., et al. Analytical comparison of various SAC-OCDMA detection techniques. In: 2011 2nd International Conference on Photonics. IEEE, 2011. p. 1-5.

- [52] : OTHMAN, M., REJAB, M. F. M., TALIB, R., et al. Comparison of detection techniques in optical CDMA access network for point to multipoint configuration. In: 2008 International Conference on Electronic Design. IEEE, 2008. p. 1-5.
- [53] : AHMED, N., ALJUNID, S. A., FADIL, H. A., et al. Performance improvement of SAC-OCDMA system using modified double weight (MDW) code for optical access network. Scientific Research and Essays, 2012, vol. 7, no 7, p. 796-804.
- [54] : HASOON, F. N., ALJUNID, S. A., ABDULLAH, M. K., et al. Spectral amplitude coding OCDMA systems using enhanced double weight code. Journal of engineering science and technology, 2006, vol. 1, no 2, p. 192-202.
- [55]: MOGHADDASI, Majid, MAMDOOHI, Ghazaleh, NOOR, Ahmad Shukri Muhammad, et al. Development of SAC–OCDMA in FSO with multi-wavelength laser source. Optics Communications, 2015, vol. 356, p. 282-289.
- [56]: KAKAEE, Majid H., SEYEDZADEH, Saleh, FADHIL, Hilal Adnan, et al. Development of multi-service (MS) for SAC-OCDMA systems. Optics & Laser Technology, 2014, vol. 60, p. 49-55.
- [57] : Université de Mohamed Boudiaf – M’sila Année Universitaire 2018/2019 Faculté de Technologie Département d’Electronique Option : M2 – STL TP N°1: Initiation à l’utilisation du logiciel OptiSystem Chargé du TP : KAHLOUCHE Ahmed.
- [58]: ISMAIL, Tawfik. Optisystem–Optical Communication System and Amplifier Design Software. Cairo University, 2014.
- [59] : GAY, Mathilde. Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit. 2006. Thèse de doctorat. INSA de Rennes.
- [60] : RACE, Gary. Analyser les signaux à l'aide du diagramme de l'œil. Électronique haute fréquence, 2005, vol. 4, n° 11, p. 50-53.
- [62] La Recommandation G.984.1 (2003) de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 16 mars 2003 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.
- [63] bien Boldyreva, E. Mesures réparties par réflectométrie fréquentielle sur fibre optique (Doctoral dissertation) (2016).
- [64] LPO Touchard Washington Le MANS « Accès à Internet par fibre optique ».

## Webographie

[5]: The Fiber Optic Association, Inc. Site internet: <http://www.thefoa.org>

[6] : <https://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/led.php>

[14] : Aurélien OLIVIER, [en ligne] transmission sur fibre optique - Promotion IR 2010, [http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/index.html](http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html)

[23] : Nicolas GUILLOU, Andreï GHERMAN, Rémi CADART 12 boulevard Georges Perrin 87000 LIMOGES [en ligne] la fibre optique, <https://t-p-e-la-fibre-optique.webnode.fr/nos-travaux/les-applications-de-la-fibre/les-technologies-wdm-et-dwdm/>

[61]: <https://community.fs.com/fr/blog/components-and-architecture-of-gpon-ftth-access-network.html>

## Résumé

Ce travail fait partie de cadre des réseaux optiques, aujourd'hui la communication par fibre optique est devenue plus attrayant en raison de grand débit qu'elle offre et sa faible atténuation dans les longues distances. Afin d'améliorer l'efficacité de la transmission on s'intéresse sur les techniques de multiplexages pour le partage des ressources tels que WDM, PDM, SDM et OCDMA qui est considéré comme une solution attractive. Premièrement on a présenté des généralités sur les liaisons optiques, ensuite on a expliqué les différentes techniques de multiplexages et les codes dans un système de communication optique. Puis on a introduit un nouveau code pour le système SAC-OCDMA appelé Fibonacci. Les résultats obtenus par simulation sont discutés par rapport le BER et le diagramme de l'œil.

## Abstract

This work is part of the framework of optical networks, today the communication by optical fiber has become more attractive because of the high throughput that it offers and its low attenuation over long distances. In order to improve the efficiency of the transmission we are interested in multiplexing techniques for sharing resources such as WDM, PDM, SDM and OCDMA which is considered as an attractive solution. First, we presented generalities on optical links, then we explained the different multiplexing techniques and codes in an optical communication system. Then a new code for the SAC-OCDMA system called Fibonacci was introduced. The results obtained by simulation are discussed in term of the BER and the eye diagram.

## ملخص

ينتمي هذا العمل إلى مجال عمل الشبكات الضوئية وقد أصبح الاتصال بالألياف الضوئية اليوم أكثر جاذبية بسبب سرعة التدفق العالية التي يتيحها وانخفاض التوهين على مسافات طويلة. من أجل تحسين كفاءة الإرسال، نحن مهتمون بتقنيات تعدد الإرسال لمشاركة الموارد والتي تعتبر حلاً جذاباً. أولاً، قدمنا عموميات حول الارتباط الضوئي وشرحنا تقنيات مضاعفة الإرسال المختلفة مثل WDM، PDM، SDM وOCDMA والرموز المختلفة في نظام الاتصال الضوئي. وفي الأخير تم تقديم ترميز جديد لنظام SAC-OCDMA يسمى Fibonacci ثم تمت مناقشة نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها عن طريق BER ومخطط العين.