

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



**MEMOIRE**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**MASTER**

**Domaine : Sciences et Technologies**  
**Filière : Télécommunications**  
**Spécialité : systèmes des Télécommunications**

**Présenté par**

RABHI Tiziri  
YAZID Samia

*Thème*

*Etude des techniques de détection et leurs impacts  
dans un système SAC-OCDMA*

**Soutenu le 7 juillet 2019**

**Devant le Jury :**

**Présidente**            **Mme. IDJDARENE.S**  
**Examinatrice**       **Mme. MEZHOUD.N**

**Encadré par:**        **M<sup>r</sup>. AOUDIA.H**  
                              **M<sup>r</sup>. BERRAH.S**  
                              **M<sup>r</sup>. SAHRAOUI.W**

**Année Universitaire : 2018/2019**

# *Dédicace*

*Grace Allah, Je dédie ce modeste travail*

*À mes très grandes chères au monde mes parents Zahir et Nora qui m'ont*

*toujours soutenu, et ont été toujours présentent*

*J'espère que je suis la bonne fille que vous êtes rêvés de l'avoir*

*À mon frère Nordine*

*À mon très chère bien aimer Yanis*

*À mes oncles et mes chères tantes surtout Saâdia*

*À toute la famille Yazid et Tagredj*

*À tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des meilleurs moments et gardé*

*de très bon souvenirs*

***Samia***

# *Dédicace*

*Au terme de toutes ces années d'études, je dédie ce modeste travail en*

*signe de respect, de reconnaissance et de remerciement :*

*A tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu durant toutes*

*ces années.*

*A mon fiancé.*

*A ma future et deuxième famille.*

*Au bon DIEU le tout puissant.*

**TIZIRI**

# Remerciement

Nous remercions "Dieu" le tout puissant, de nous avoir accordé le courage, la patience et la volonté pour mener à terme ce travail.

En témoignage de nos profondes reconnaissances, nous devons remercier toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Nous adressons nos reconnaissances et nos remerciements à nos encadreurs Mr AOUDIA.H, Mr SAHRAOUI.OU et Mr BERRAH.S de nous avoir honoré par leurs encadrement, pour leurs disponibilité, leurs orientations et leurs précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions les membres du jury, Mme MEZHOUD.N et Mme IDJDARENE.S d'avoir accepté de juger notre travail. Nos remerciements vont aussi à nos familles et amis qui nous ont prodigué conseils et encouragements.

## Table des matières

Dédicace.....	I
Remerciement.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VII
Liste d'acronymes.....	IX
Introduction générale.....	1

### **Chapitre 1 : Généralités sur la transmission optique.**

1. Introduction.....	3
2. Présentation de la chaîne de transmission par fibre optique.....	3
3. Bloc d'émission.....	3
3.1. Source optique.....	4
3.2. Technique de modulation.....	4
4. Techniques de multiplexage.....	5
4.1. La technique OTDMA.....	5
4.2. La technique OFDMA.....	6
4.3. La technique WDMA.....	6
4.4. La technique OCDMA.....	7
4.5. La technique SDM.....	7
5. Canal de transmission dans les liaisons optiques.....	7
5.1. Atténuation.....	9
6. Bloc de réception.....	10
6.1. La photodiode PIN.....	10
6.2. La photodiode avalanche APD.....	11
7. Avantage d'une fibre optique.....	11
8. Domaine d'application.....	11
9. Conclusion.....	12

## Table des matières

---

### **Chapitre 2 : Les Systèmes Optiques à Accès Multiple par Répartition de Code.**

1.	Introduction.....	13
2.	Principe d'éclatement de spectre.....	13
3.	L'OCDMA : de radiofréquence à l'optique.....	14
4.	Présentation du système OCDMA.....	14
5.	Classification des systèmes OCDMA.....	15
5.1	Système OCDMA cohérent.....	15
5.2	Système OCDMA incohérent.....	15
6.	Techniques de codage OCDMA.....	15
6.1	L'OCDMA par encodage temporel.....	15
6.2	OCDMA par encodage spectrale de phase.....	17
6.3	OCDMA par encodage spectrale d'amplitude.....	18
6.4	OCDMA hybride ou en 2D.....	18
7.	Les codes d'OCDMA.....	19
8.	Le bruit d'OCDMA.....	19
8.1.	Bruit d'interférence.....	20
8.2.	Bruit d'intensité.....	20
9.	Les avantages d'OCDMA.....	20
10.	Conclusion.....	20

### **Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA.**

1.	Introduction.....	22
2.	Présentation du système SAC-OCDMA.....	22
3.	Principe de base de la technique SAC-OCDMA.....	22
4.	Bruit en SAC-OCDMA incohérent.....	23
4.1.	Bruit thermique.....	23
4.2.	Bruit de grenaille (shot noise).....	24
4.3.	Bruit d'intensité induit par la phase PIIN.....	24
5.	Conception et développement du code MS (multi-service).....	24
5.1.	La construction du code.....	24
5.2.	Technique de mappage.....	27
6.	Techniques de détection.....	27
6.1.	Méthode de détection AND.....	28
6.2.	Soustraction complémentaire (NAND).....	32

## Table des matières

---

6.3.	Méthode de détection spectrale directe (SDD).....	34
7.	Conclusion.....	36

### Chapitre 4 : Simulations et résultats.

1.	Introduction.....	37
2.	Présentation du logiciel OptiSystem.....	37
3.	Présentation de la liaison optique.....	38
4.	Critères d'analyse d'une liaison SAC-OCDMA.....	39
4.1.	Facteur de qualité.....	39
4.2.	Taux d'erreurs binaires (BER).....	40
4.3.	Diagramme de l'œil.....	40
5.	Analyse des performances du système.....	41
5.1.	La variation de la distance.....	41
5.2.	La variation du débit.....	43
5.3.	La variation de la puissance.....	46
6.	Conclusion.....	47
	Conclusion générale. ....	48
	Annexe.....	50
	Références bibliographiques.....	58

# Liste des figures

---

## Liste des figures

Figure 1.1 : Schéma explicatif d'un système de transmission optique.....	3
Figure 1.2 : Schéma de la modulation a : directe et b : externe.....	4
Figure 1.3 : Système d'émission et de réception dans la technique OTDMA.....	6
Figure 1.4 : Répartition fréquentielle des porteuses (OFDMA).....	6
Figure 1.5: schéma d'un multiplexage en longueur d'onde WDM.....	7
Figure 1.6: Schéma d'un câble a fibre optique.....	8
Figure 1.8: schéma synoptique de l'effet de l'atténuation.....	9
Figure 1.9: le phénomène de dispersion intermodale.....	10
Figure 1.10: dispersion chromatique.....	10
Figure 1.11: Structure d'une photodiode PIN.....	11
Figure 2.1 : étalement d'une séquence de donnée.....	13
Figure 2.2 : Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique.....	14
Figure 2.3 : un exemple de codage DS-OCDMA.....	16
Figure 2.4 : schéma synoptique d'un système DS-OCDMA.....	17
Figure 2.5 : Présentation schématique du SPE-OCDMA.....	17
Figure 2.6 : technique de codage spectrale en SAC-OCDMA.....	18
Figure 2.7 : OCDMA en 2D.....	18
Figure 3.1 : Réseaux de Bragg utilisés pour encodage SAC-OCDMA.....	22
Figure 3.2 : Encodage pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeurs.....	23
Figure 3.3: Construction de la matrice de base CB du code MS pour $W = 4$ .....	26
Figure 3.4: schéma synoptique de la détection de soustraction AND.....	28
Figure 3.5: Représentation schématique de Technique de la Soustraction complémentaire...	32
Figure 3.6: Méthode de détection spectrale directe a : d'une longueur d'onde b: avec la totalité des longueurs d'ondes.....	35

## Liste des figures

---

Figure 4.1: L'interface de travail sur OptiSystem.....	37
Figure 4.2: bloc émission et canal optique de la transmission optique.....	38
Figure 4.3: bloc réception de la transmission optique.....	39
Figure 4.4: Diagrammes de l'œil.....	40
Figure 4.5: Q facteur et BER en fonction de la distance pour les trois détections.....	41
Figure 4.6: Diagramme de l'œil des techniques de détection en fonction de la distance.....	42
Figure 4.7: Q facteur et BER en fonction du débit pour les trois détections.....	43
Figure 4.8: diagramme de l'œil en fonction du débit pour (0dBm, 30km).....	45
Figure 4.9: Q facteur et BER en fonction de la puissance pour les trois détections.....	46
Figure 4.10: diagramme de l'œil en fonction de la puissance pour (622Mbit/s, 30km).....	47
Figure A.1: Analyse spectrale de la chaine de transmission.....	50
Figure A.2: Analyse temporelle de la chaine de transmission.....	54

## Liste d'acronymes

---

### Liste d'acronymes

<b>APD</b>	Avalanche Photo diode
<b>BER</b>	Bite Errer Rate
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CS</b>	Cyclic Shift
<b>DCF</b>	Dispersion Compensating Fiber
<b>DEC</b>	DECodeur.
<b>DL</b>	Diode Laser
<b>DS-OCDMA</b>	Direct Sequence OCDMA
<b>DSP</b>	Densité Spectrale de Puissance
<b>DS-SS</b>	Direct Sequence Spread Spectrum
<b>ENC</b>	ENCodeur.
<b>FBG</b>	Fiber Bragg Grating
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>FH-SS</b>	Frequency Hopping Spread Spectrum
<b>IAM</b>	Interférence d'Accès Multiple
<b>IFFT</b>	Inverse Fast Fourier Transform
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>Laser</b>	Light Amplification by Simulated Emission of Radiation
<b>LED</b>	Light Emiting Diode
<b>MS</b>	Multi-Services

## Liste d'acronymes

---

<b>MQC</b>	Modified Quadratic Congruence
<b>NRZ</b>	No Return to Zero
<b>OCDMA</b>	Optical Code Division Multiple Access
<b>OTDMA</b>	Optical Time Division Multiple Access
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>OTDMA</b>	Optical Time Division Multiple Access
<b>OOC</b>	Optical Orthogonal Codes
<b>PIN</b>	Positive Intrinsic Negative photodiode.
<b>PIIN</b>	Phase Induced Intensity Noise
<b>PC</b>	primer code
<b>PRBS</b>	Pseudo Random Binary Sequence
<b>SAC-OCDMA</b>	Spectral Amplitude Coding OCDMA
<b>SDM</b>	Space Division Multiplexing
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>SAC</b>	Spectral Amplitude Coding.
<b>SPE-OCDMA</b>	Spectral Phase Encoding OCDMA
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>TH-SS</b>	Time Hopping Spread Spectrum
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing
<b>ZCC</b>	Zero Cross Correlation

## Introduction générale

Depuis quelques années, les télécommunications basées sur les liaisons optiques ont connus un progrès immense, ils ont remplacé les autres technologies d'information existantes, à cause de la nature du signal lumineux qui permet le transfert de données avec un flux de haut débit et à longue distance [1].

Ces liaisons qui sont basées sur les fibres optique ont pris un rôle principal grâce à ses plusieurs techniques d'accès (OTDMA, WDM, OCDMA), qui peuvent répondre aux exigences de communications dans le but de partager la même bande passante entre plusieurs utilisateurs et de transporter les données (la parole, les messages textes, les photos, les vidéos ...).

Parmi ces différentes techniques, l'accès multiple par répartition de code optique (OCDMA) qui est de plus en plus attrayant dans le domaine de communications optiques par son niveau élevé de sécurité, sa large bande passante et son faible coût, où plusieurs usagers peuvent accéder au réseau, d'une façon simultanée et asynchrone (sans gestion ni de temps ni de fréquence). En contrepartie, cette technique à pour inconvénients d'être limitée en termes des bruits et des interférences d'accès multiple (MAI : Multiple Access Interférences), qui possèdent des dégradations du signal à la réception, ce qui peuvent de ne pas récupérer les informations transmises et de limiter le nombre maximal d'utilisateurs à supporter sur le réseau [13].

L'objectif de ce travail est l'étude des techniques de détection dans une liaison de transmission, basée sur l'encodage d'amplitude spectral (SAC-OCDMA) avec le code multi-service (MS), pour voir leur impacte sur le système de transmission. Cette analyse s'appuie sur l'utilisation du logiciel OptiSystem 7.0.

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres.

Le premier chapitre présente une description détaillé d'une chaine de transmission optique, nous aborderons les différentes sources de lumière, les modulations et les techniques d'accès. Ensuite nous d'écrivons les différents classifications des fibres optiques et ces principales perturbations, à la fin nous présenterons les dispositifs de la réception et nous parlerons des avantages et les domaines d'applications de la fibre optique.

## Introduction générale

---

Le deuxième chapitre présente le système d'accès multiple par répartition du code optique (OCDMA), nous donnerons le principe de son fonctionnement, ces classifications (cohérent et incohérent) ainsi que ces types de codage. À la fin, nous entamerons ces différentes techniques de codage (DS-OCDMA, SAC-OCDMA, ...) ainsi que ces bruits.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de système SAC-OCDMA où nous présenterons ces techniques d'encodage et décodage ainsi que les différents bruits qui limitent les performances de ce système. Après, nous aborderons le principe et la structure de base du code Multi-Service (MS) à la fin, nous détaillerons les trois techniques de détection qui présentent l'axe de notre travail avec l'analyse mathématique de chaque technique basée sur le code MS.

Dans le quatrième chapitre nous allons donner une analyse comportementale des différentes techniques de détection étudiées au cours du chapitre trois en se basant sur l'utilisation du logiciel (OptiSystem 7.0) qui permet l'implémentation et l'analyse des liaisons de transmission optique et nous terminerons par une conclusion et quelques perspectives.

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

## 1. Introduction

En télécommunication le principe de la communication optique consiste à transporter une information d'un émetteur vers un récepteur via un canal de transmission qui est la fibre optique. Pour bien éclaircir le contexte de l'étude, nous avons choisi dans cette première partie d'apporter un bref descriptif sur la liaison optique puis, nous détaillerons ses différents modules en passant par la définition des sources utilisées à l'émission et à la réception en spécifiant ses différents types, ensuite nous expliquerons les techniques de multiplexage utilisées en télécommunication, enfin nous présenterons ses applications et ses avantages.

## 2. Présentation de la chaîne de transmission par fibre optique :

La liaison optique est basée sur trois blocs fondamentaux pour assurer le transfert des données, elle est constituée d'un émetteur optique qui sert à envoyer des données (signal électrique) par le câble optique et les convertis à un signal optique qui se propage avec une certaine atténuation et dispersion, à la fin, au niveau du récepteur optique, le signal propagé sera converti en un signal électrique avec une diminution des pertes de donnée (figure 1.1) [1].

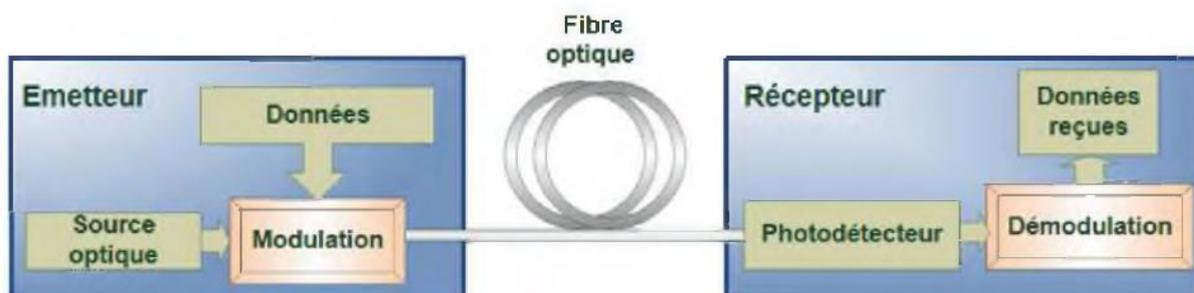


Figure 1.1 : Schéma explicatif d'un système de transmission optique.

## 3. Bloc d'émission :

Ce bloc est constitué d'un ensemble de composant optoélectronique qui assure la conversion d'un signal électrique en un signal optique, ces composantes essentielles sont des sources optiques (LED et LASER) ainsi que des modulateurs optiques.

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

## 3.1. Source optique :

Une liaison optique contient deux sources optiques tel que, la diode électroluminescente LED (Light Emitting diodes) souvent utilisée dans les fibres optiques multimode pour but de délivrer une puissance optique à une centaine mW et un débit allant jusqu'à 5Mbits/s et elle présente un spectre d'émission assez large ainsi la diode LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) qui a pour but de délivrer une puissance et une bande passante très importante elle présente un spectre d'une faible largeur [2] [3].

## 3.2. Technique de modulation :

Pour envoyer le signal électrique, il faut premièrement le convertir en un signal optique afin de l'imprimer sur le signal lumineux pour le transmettre dans un système numérique optique, c'est ce qu'on appelle une modulation.

Cette dernière est composée d'une modulation directe qui sert à moduler le signal électrique à travers la diode laser à un signal optique (figure 1.2.a) d'une certaine puissance délivrer elle est facile à réaliser avec un coût réduit ainsi une modulation externe qui est la méthode la plus connue dans les liaisons optiques à haut débit sur des longues distances, cette modulation sert à moduler le signal lumineux obtenu à la sortie du laser à un signal optique (figure 1.2.b) qui subit des dégradations elle a une bande passante plus élevée.

Pour les longues distances ou les puissances sont très faible et la qualité du signal diminue on doit injecter un amplificateur pour une bonne transmission [3].

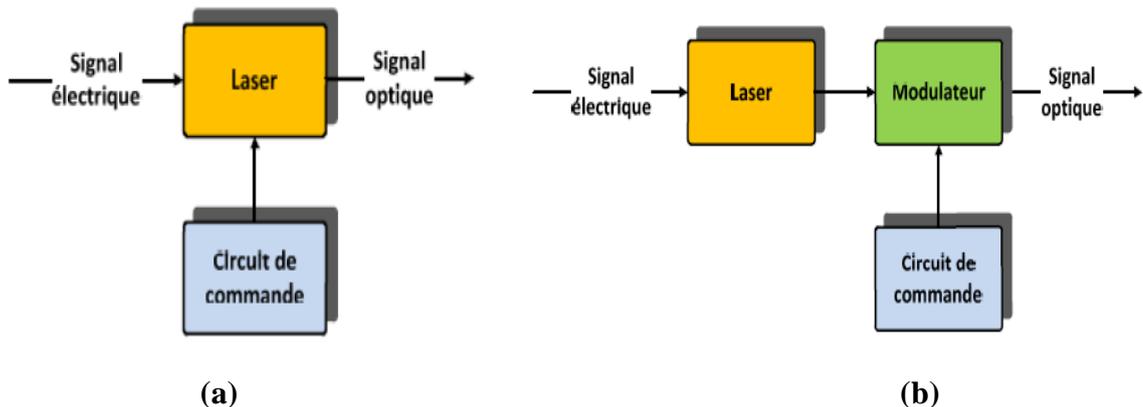


Figure 1.2 : Schéma de la modulation a : directe et b : externe.

## 4. Techniques de multiplexage :

Le développement des services multimédias qui demande des débits élevés pour répondre aux besoins des utilisateurs, le traitement électronique d'information à l'émission et à la réception impose des limitations en termes de débit. Pour cela les chercheurs permettent de distinguer plusieurs techniques de multiplexage pour les réseaux FH de transmission des signaux, La technique TDMA (Time Division Multiple Access) est basée sur la répartition des ressources dans le temps, elle permet aux utilisateurs de transmettre plusieurs informations sur un même canal mais avec différents intervalles de temps « time slot » qui ont été allouées, à la réception, il suffit d'effectuer l'opération de démultiplexage pour récupérer les données; La technique FDMA (Frequency Division Multiple Access) consiste à découper la bande fréquentielle et attribuée chacune à un utilisateur, à la réception sur la bande de fréquence on trouve un filtre sélectif qui permet de récupérer les données, et la technique CDMA (Code Division Multiple Access) permet une transmission des données simultanément sur la même bande de fréquence son principe est d'attribuer à chaque utilisateur un code associé qui lui permet de le distinguer à la réception et l'accès à la totalité de la bande [1] [3].

Ces techniques de multiplexage sont aussi adaptées au canal optique, on distingue ainsi :

### 4.1. La technique OTDMA :

L'OTDMA (Optical Time Division Multiple Access) est basée sur un multiplexage temporel purement optique utilisé pour les systèmes électroniques dont les débits de transmission sont limités à 10 Gb/s, au début des années 90 elle est développée dans le but de dépasser cette limite et approché des débits de Térabit/s.

À l'émission, elle est constituée d'une source laser qui produit des impulsions très courtes appliquées à l'entrée d'un ensemble de modulateurs assurant la modulation de la lumière par les données des utilisateurs suivi d'un système de ligne à retard et d'un multiplexage optique avant la transmission dans la fibre [1].

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

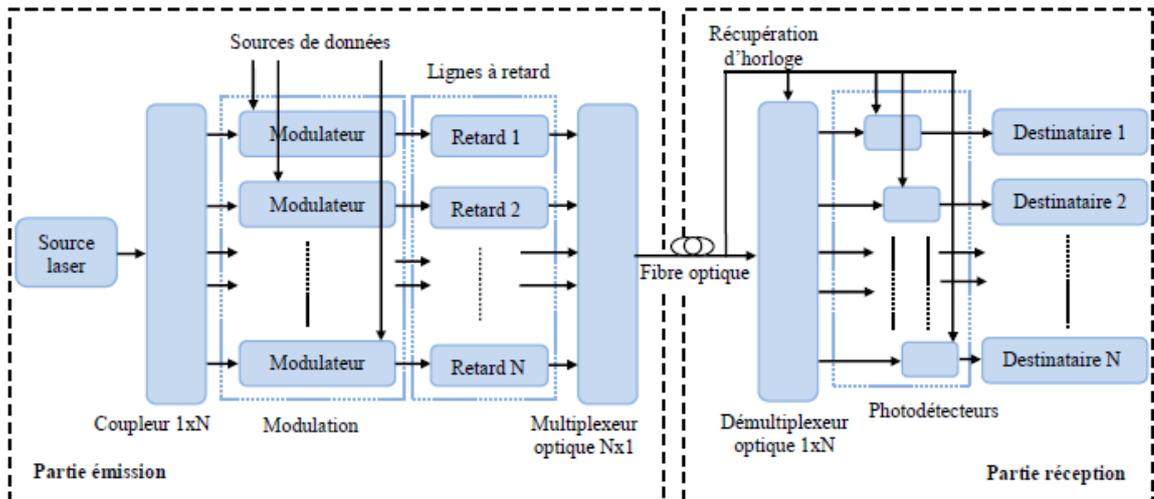


Figure 1.3 : Système d'émission et de réception dans la technique OTDMA.

## 4.2. La technique OFDMA :

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage ayant pour objectif de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses les données numériques que l'on veut transmettre tel qu'on voit sur la figure(1.4) [1].

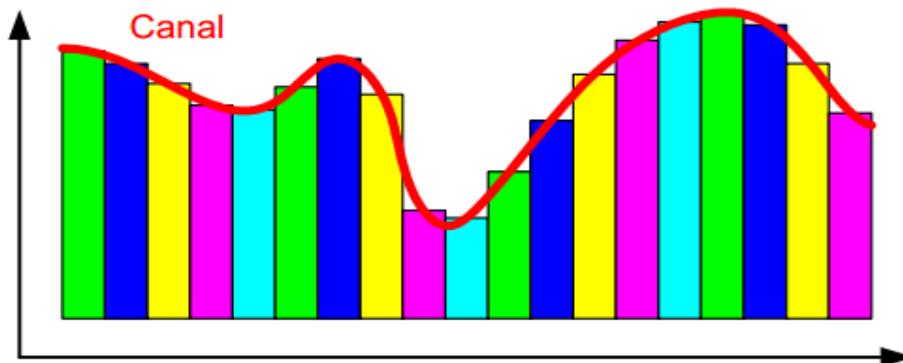


Figure 1.4 : Répartition fréquentielle des porteuses (OFDMA).

## 4.3. La technique WDMA :

WDM (Wavelength Division Multiple Access) est équivalent au système FDMA, utilisé dans les réseaux étendus WAN (Wide Access Networks) et les réseaux MAN (Metropolitan Access Networks) basé sur le multiplexage en longueur d'onde produit en optique.

Dans cette technique chaque utilisateur occupe des longueurs d'ondes différentes.

Les signaux optiques émis par les sources sont appliqués à l'entrée des modulateurs optiques qui permettent de les moduler par les données. En sortie des modulateurs les signaux sont multiplexés

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

et transmis simultanément dans la même fibre optique à la réception, les signaux reçus sont démultiplexés pour les envoyer à chaque destinataire (figure 1.4) [1].

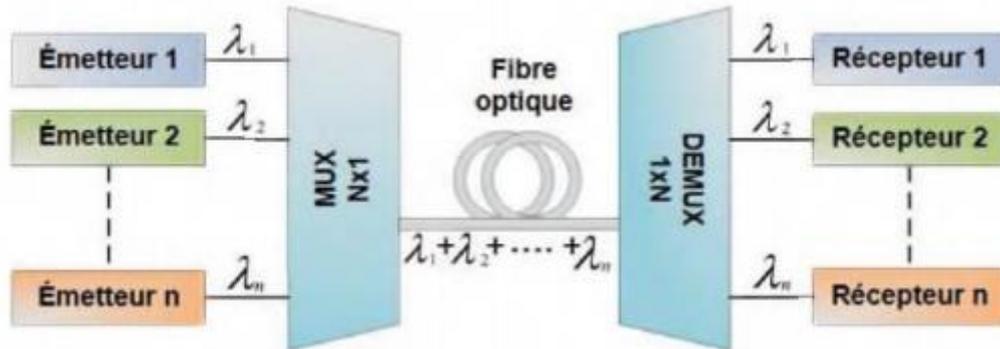


Figure 1.5: schéma d'un multiplexage en longueur d'onde WDM.

## 4.4. La technique OCDMA :

L'OCDMA est basée sur les concepts du CDMA radiofréquence où les différents utilisateurs partagent le même canal optique et que chacun a son propre code et sa propre séquence d'étalement.

La réalisation CDMA optique est totalement différente du CDMA radio car elles sont entre deux milieux de propagation différents.

Cette technique est plus détaillée dans les chapitre II [4].

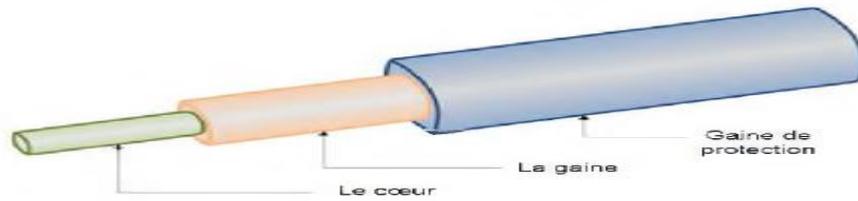
## 4.5. La technique SDM :

SDM (Spatial Division Multiplexing) est considérée comme une dernière évolution dans la transmission par fibre optique, elle a pour but d'augmenter la capacité du système de transmission et faciliter son amplification dans les réseaux centraux pour un moindre prix, tous les paramètres pour une bonne transmission optique sont étudiés dans cette technique comme la phase, la polarisation, la fréquence... [5].

## 5. Canal de transmission dans les liaisons optiques :

Le canal de transmission est la partie la plus essentielle, qui est un fil en verre ou en plastique de forme cylindrique, constitué d'une couche centrale d'indice de réfraction  $n_1$  entourée d'une autre d'indice  $n_2$  appelé respectivement cœur/gaine, tel que  $n_1 > n_2$ , l'ensemble est entouré par un revêtement [2].

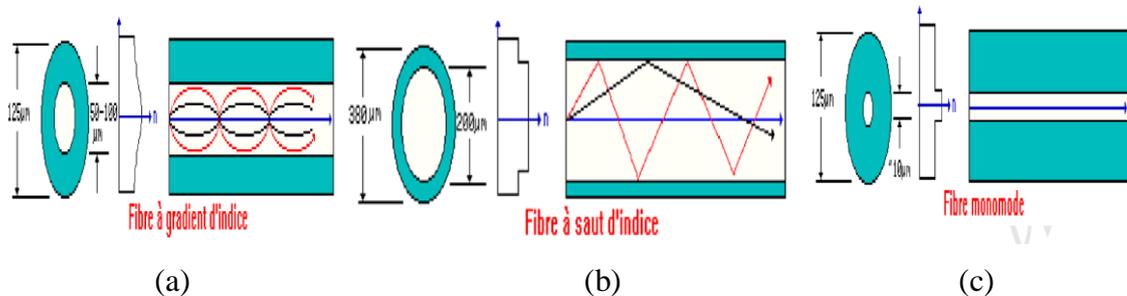
# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique



**Figure 1.6:** Schéma d'un câble à fibre optique.

Ce moyen de transmission peut être classifié en 2 catégories : multimode et monomode, la première est moins coûteuse, utilisée dans des liaisons de courte distance, elle utilise la diode électro-luminiscente (LED) comme émetteur optique, ce type de fibre est caractérisé par la propagation de plusieurs modes le long de la fibre, si ces derniers arrivent au même temps on parle d'une fibre multimode à gradient d'indice, sinon on dit que la fibre est à saut d'indice.

la deuxième catégorie (fibre monomode) est utilisée par des opérateurs de télécommunication pour des longues et très longues distances car elle est caractérisée par un diamètre du cœur très faible, d'une façon à permettre uniquement la propagation du rayonnement centrale, en utilisant généralement la diode laser comme émetteur électro-optique, donc ce type de fibre est plus cher, car elle est caractérisé par une bande passante très élevée et un phénomène d'atténuation très faible [6].



**Figure 1.7:** Schéma des fibres optiques **a** : multimode à gradient d'indice, **b** : multimode à saut d'indice et **c** : monomode

Malgré les performances de ces fibres optiques, les signaux qui les traversent subissent des perturbations lors de la propagation. Les différents types de pertes sont liés à des effets linéaires ou non linéaires.

Les effets linéaires englobent les phénomènes d'atténuation et de dispersion qui se présente comme suit :

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

## 5.1. Atténuation :

L'atténuation dans la fibre optique dépend de la nature de cette dernière (monomode ou multimode), elle influe sur la puissance du signal transmit et traduit son affaiblissement et sa diminution au cours de sa propagation due aux phénomènes d'absorption [7].

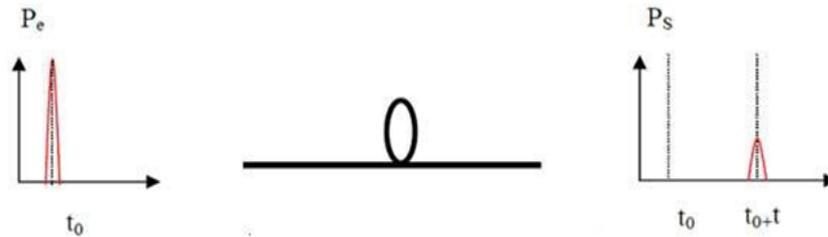


Figure 1.8: l'effet de l'atténuation.

## 5.2. Dispersion modale (intermodale) :

Ce type de dispersion est dû à la différence des distances parcourue par les différents modes (signaux) et la différence des vitesses de ces derniers.

Ce phénomène existe dans les fibres multimode à saut d'indice, contrairement aux fibres multimode à gradient d'indice qu'il a éliminé car dans ce type de fibre les rayons (mode) proches de l'axe principale de la fibre se propagent avec une faible vitesse et ce qui sont loin de l'axe sont accéléré d'une façon à permettre à tous les modes d'arrivé au même temps à la sortie de la fibre [7].

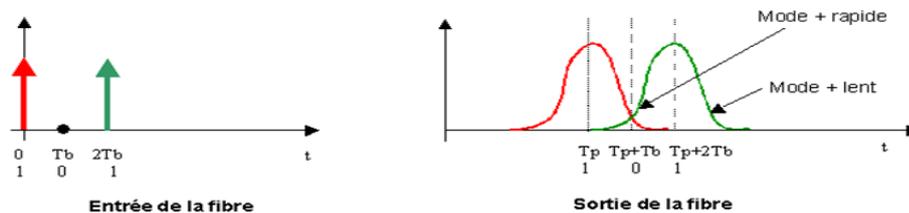


Figure 1.9: le phénomène de dispersion intermodale.

## 5.3. Dispersion chromatique (intra modale) :

Elle concerne les fibres monomodes que les multimodes, due principalement à l'émetteur car chaque source lumineuse présente un étalement spectrale non nul, dans le cas d'un élargissement

## Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

important, les différentes longueurs d'onde émises par la source vont se propager le long de la fibre avec des durées différentes provoquant ainsi une dispersion [7].

La dispersion totale est la somme des dispersions due au matériau causée par le fait que l'indice de réfraction du verre n'est pas le même pour toutes les longueurs d'onde et la dispersion du guide d'onde qui est lié à la contribution de la géométrie du guidage de la fibre [6] [8].

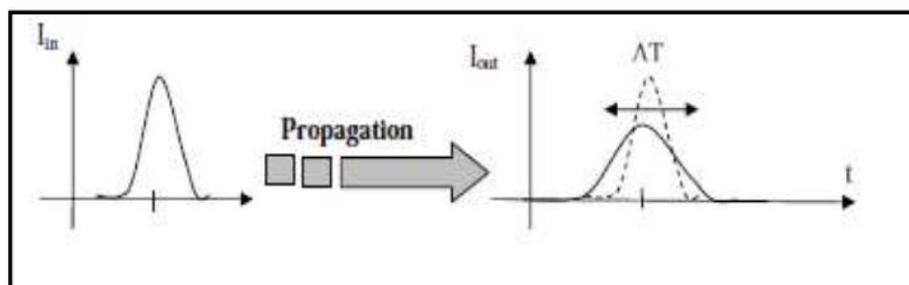


Figure 1.10: dispersion chromatique.

Il existe aussi des effets non-linéaires qui sont des effets parasites qui dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées, parmi ces effets on retrouve l'effet de Kerr qui consiste à la variation (augmentation) de l'indice de réfraction du matériau en fonction de l'intensité du signal optique, l'effet de RAMAN qui est l'effet le plus connu des effets non linéaire, il s'agit de l'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau, ce phénomène apparaît lorsque la puissance optique dépasse un certain seuil [9].

### 6. Bloc de réception :

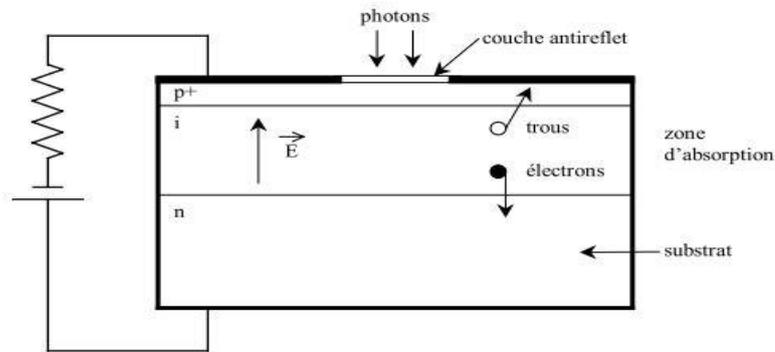
Le bloc de réception est le module finale d'une liaison optique, il consiste à transformer le signal optique reçu en un signal électrique, afin d'extraire l'information envoyer grâce à des photosdetécteurs, généralement la photodiode PIN est la plus utiliser.

#### 6.1. La photodiode PIN :

Pour obtenir un photodétecteur plus efficace il faut une combinaison électrons-trous, où les photons sont absorbés dans une couche I sans aucune lumière ainsi les couches traversée par la lumière P ou N soient avec une épaisseur faible.

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

La photodiode PIN est réalisée en trois parties de semi-conducteur, la couche I à grande résistivité est placée entre deux couches fortes N et P afin que les photons incidents sont absorbés seulement par la couche I [2].



**Figure 1.11:** Structure d'une photodiode PIN.

## 6.2. La photodiode avalanche APD:

La photodiode APD est une photodiode PIN où en réalisant une amplification de puissance, qui permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse faible.

Les photodiodes à avalanche sont meilleures grâce à leurs performances, leurs gains importants et leurs temps de réponse, mais elle est plus coûteuse et difficile à utiliser [3].

## 7. Avantage d'une fibre optique :

- Bande passante très large et importante de 1GHZ pour 1Km.
- La sécurité et la confidentialité.
- Une vitesse de propagation assez élevée (fibre optique monomode).
- Un taux d'erreur faible.
- un faible poids par rapport aux câbles électriques.
- Un faible coût (fibre multimode saut d'indice).
- Facilité de mise en œuvre.

## 8. Domaine d'application :

- Transmission de données numériques à haut débit.
- Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.

# Chapitre 1 : généralités sur la transmission optique

---

- Réseaux locaux en environnement bruités.

## 9. Conclusion :

Ce chapitre a permis d'étudier le principe d'une liaison optique et de présenter les différents composants d'une chaîne de transmission avec leurs fonctionnements, et leurs rôles non négligeables dans le support de transmission de l'information. On a défini les caractéristiques et les pertes d'une fibre et les différentes techniques de multiplexages pour une bonne qualité de transmission.

Pour bien approfondir dans notre étude nous allons présenter la technique de multiplexage optique OCDMA.

# Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

## 1. Introduction

Il existe plusieurs techniques de multiplexage pour transporter l'information dont l'OCDMA, qui nécessite une grande capacité et une grande vitesse dans le réseau de communication optique dans le but d'utiliser une même grande bande passante pour plusieurs utilisateurs avec une sécurité et un niveau faible d'atténuation.

Pour cela nous évaluons les performances de système optique à accès multiple par répartition de codes (OCDMA) en concentrant notre étude sur sa présentation et ses caractéristiques.

## 2. Principe d'éclatement de spectre

La technique d'étalement de spectre est un moyen de transmission d'un signal donné qui repose sur l'élargissement de sa bande spectrale, ce qui lui permet une meilleure reconnaissance en réception [10].

L'étalement de spectre consiste à transformer le signal de façon à multiplier la largeur de son occupation spectrale par une quantité nommée gain de codage [11].

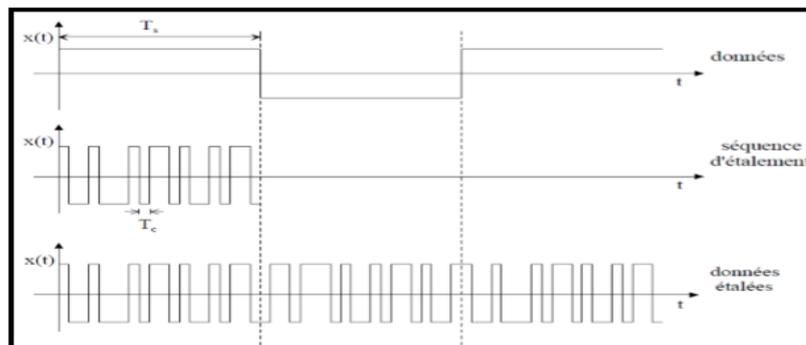


Figure 2.1 : étalement d'une séquence de donnée

### Pour quoi « étaler » le spectre ?

D'après le théorème de Shannon et Harley concernant la capacité du canal de communication:

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.1)$$

C : la capacité maximal d'un canal en bit en bit par seconde (bit/s ou bps).

B : la bande passante du canal en Hertz.

## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

S/N : le rapport signal sur bruit.

Alors on peut donc augmenter la capacité maximal en agissant sur la bande passante du canal (B) d'une façon linéaire et/ou au rapport signal sur bruit d'une façon logarithmique [11].

### 3. L'OCDMA : de radiofréquence à l'optique

Les concepts de base d'CDMA optique sont les mêmes pour CDMA radiofréquence tel qu'il est affecté à chaque utilisateur un code qui permet de les différencier et d'identifier les récepteurs destinataires, mais leurs implémentations est différentes, elle est due à la différence des deux milieux de propagation, les effets qui perturbent ces deux derniers sont le canal optique (dispersion chromatique et les effets non linaires) et le canal radio (atténuation et multi trajets) [10] [12].

### 4. Présentation du système OCDMA

L'OCDMA (Optical code division multiple Access) est une technique de multiplexage qui devient de plus en plus attrayante dans le domaine des télécommunications optiques pour but de surmonter les limites des systèmes d'accès TDMA et WDMA en termes de capacité de multiplexage, de débit et de flexibilité [10] [12].

Le système OCDMA permet le partage des données d'une manière simultanée et asynchrone, en utilisant sur le support de transmission une large bande passante ( $T_h$ ), qui consiste à repartir la puissance du signal émit sur une largeur de bande plus grande, pour cela on dit que la CDMA optique est basée sur la technique d'étalement de spectre [1] [13] [14].

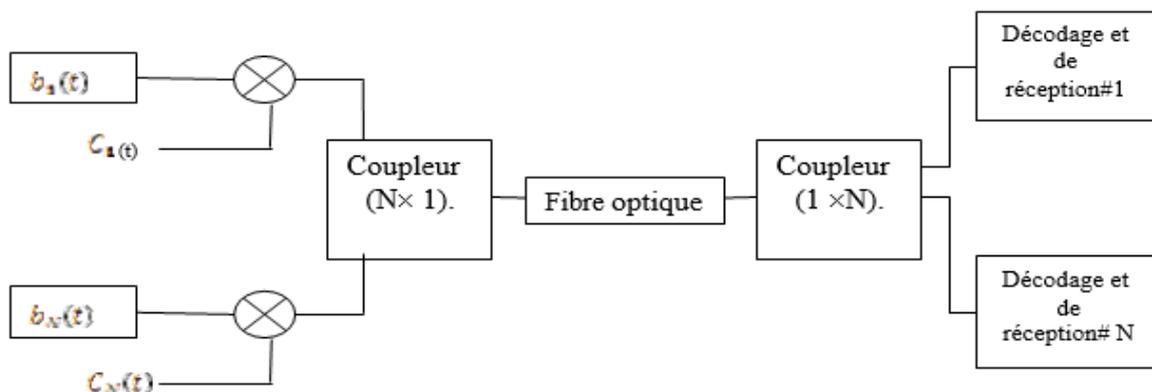


Figure 2.2 : Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique.

## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

---

### 5. Classification des systèmes OCDMA

La classification des systèmes OCDMA est liée à la nature du code généré, la bande passante offerte par chaque source ainsi à sa propriété de cohérence [10].

#### 5.1 Système OCDMA cohérent

Il est considéré que l'information codée à transmettre est portée par l'amplitude du signal transmit et par sa phase optique, le signal lumineux peut être positif ou négatif et son étalement peut s'effectuer en utilisant des codes bipolaires (-1 et 1) (code de Gold, code de Walsh, code de Hadamard), cette bipolarité permet aux codes d'être orthogonaux lors d'une transmission synchrone des données [10] [12].

#### 5.2 Système OCDMA incohérent

Il est simple, moins coûteux et facile à mettre en œuvre. Dans ce cas les informations codées utilisent la puissance du signal transmit alors on ne détecte qu'une quantité positive pour cela les codes utilisés sont des codes unipolaires (0 et 1) dont on peut citer : les codes optiques orthogonaux « OOC » et les codes « PC » [15] [16] [17] [18].

Les codes unipolaires utilisés ne sont pas orthogonaux ce qui provoque une limitation des performances du système causée par l'interférence d'accès multiple (IAM) entre les données émises par les différents utilisateurs du système [17]

### 6. Techniques de codage OCDMA

Le signal optique peut être codé par des codes qui peuvent être à la fois fréquentiel, temporel et spatial puis il est basé sur les polarisations et la phase.

Dans cette section on va présenter quelques techniques de codage qui ont plus d'intérêt dans la littérature par leurs possibilités d'implémentation et leurs efficacités [17] [18].

#### 6.1 L'OCDMA par encodage temporel :

Dans un système incohérent DS-OCDMA (l'OCDMA à séquence directe) l'étalement spectral consiste à multiplier les données binaires à émettre dans le canal optique avec le code signature unipolaire spécifique à chaque utilisateur par modulation de la puissance optique émise  $\{0,+1\}$ , de

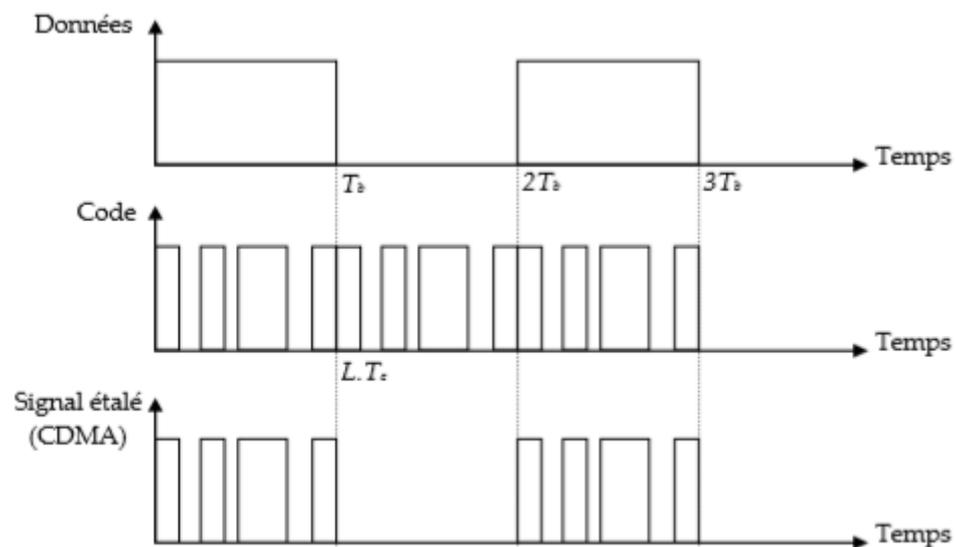
## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

façons à pouvoir extraire les données du signal reçu à la réception avec le code d'utilisateur désiré [18].

Cette multiplexation peut être réalisée :

- Électriquement : puis une conversion du signal électrique en optique pour le transmettre sur la fibre.
- Optiquement : la source optique émette une impulsion lorsque la donnée à transmettre est un '1'.

En effet le temps bit de donnée à transmettre est divisé en un certain nombre de chips [18] [19].



**Figure 2.3** : un exemple de codage DS-OCDMA

Les données codées des différents utilisateurs seront transmises simultanément sur la fibre optique.

À la réception, si le niveau de la puissance reçu est inférieure au seuil de décision à niveau suffisamment élevé et inférieur au pic d'autocorrélation, il sera un bit « 0 », si non dans le cas contraire, la puissance à l'entrée du détecteur est supérieure au seuil de décision, il sera décidé un « 1 » [20].

## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

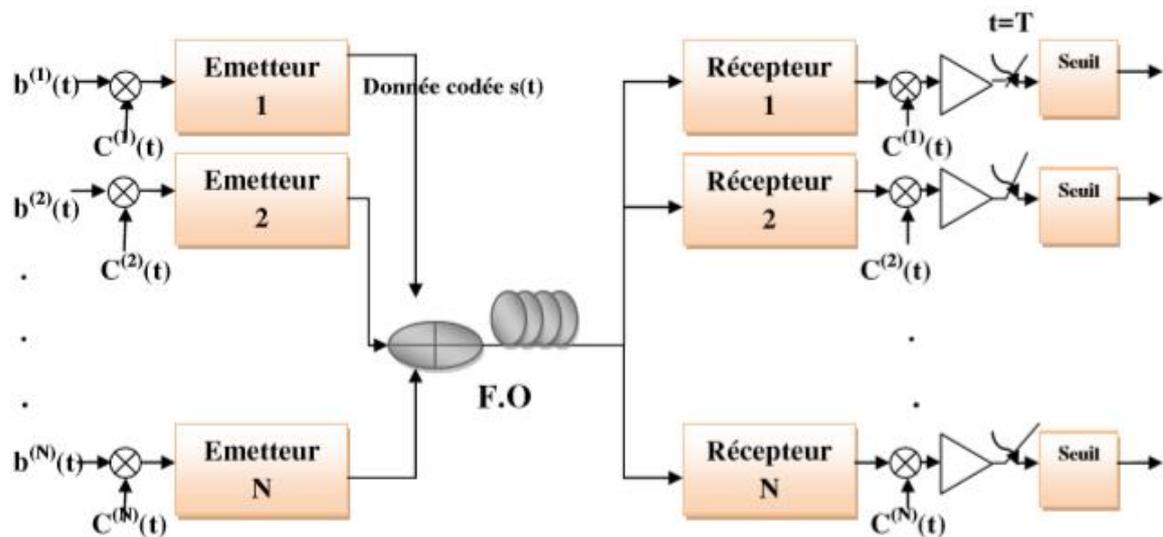


Figure 2.4 : schéma synoptique d'un système DS-OCDMA

### 6.2 OCDMA par encodage spectral de phase :

L'encodage spectral de phase (SPE) du système OCDMA utilise des sources cohérentes à des impulsions courtes, la source MLL produit des impulsions d'une manière cyclique donc le système optique est périodique où ses composantes spectrales sont encodées à des phases particulières, la figure (2.5) représente le schématique du SPE-OCDMA dont on voit que au décodeur correspondant, les phases appropriées sont appliquées et l'impulsion originale est recouverte (U1 après décodeur U1). 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 [17].

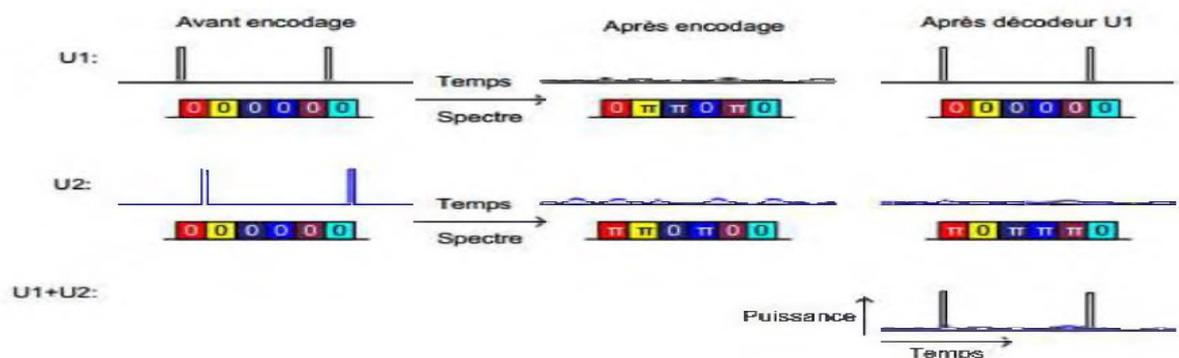


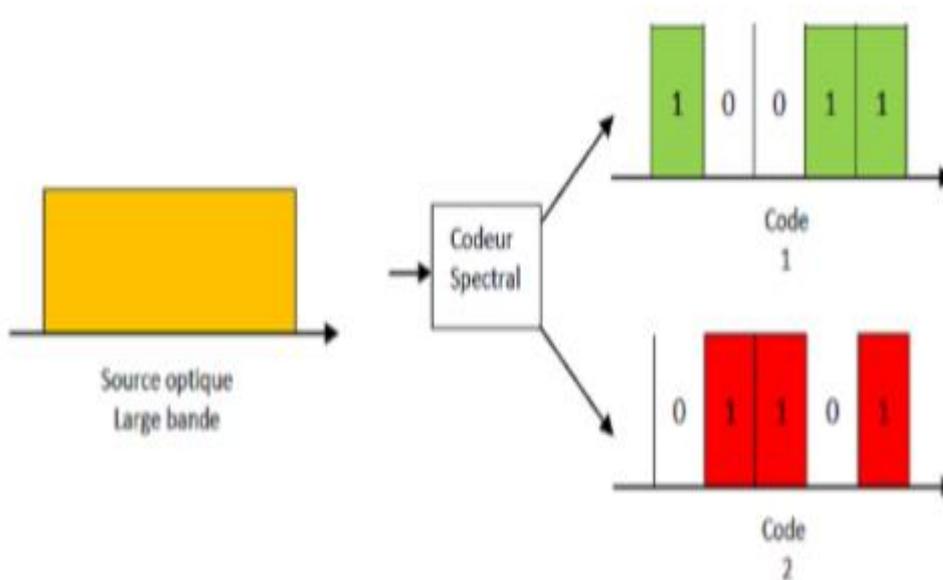
Figure 2.5 : Présentation schématique du SPE-OCDMA

## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

### 6.3 OCDMA par encodage spectrale d'amplitude :

L'idée de réaliser un autre système d'OCDMA est d'utiliser un encodage spectrale d'amplitude (SAC), aussi appelé encodage en fréquence (FE) qui est similaire à l'encodage temporel à l'exception des composantes de fréquence qui sont divisées en fente spectrales selon lequel les composantes temporels qui sont divisées en temps-chip. Avec cette méthode chaque utilisateur a son propre empreinte qui est un code spectral au quel on attribue un nombre fixe de longueur d'onde bien spécifique en commun avec les autres usagés [1] [17] [18].

dont nous allons bien détailler dans le chapitre 3.



**Figure2.6 :** technique de codage spectrale en SAC-OCDMA.

### 6.4 OCDMA hybride ou en 2D

Pour améliorer les performances et aboutir à une implantation réaliste dans le contexte des réseaux d'accès optiques, il y'a une autre technique qui est la technique hybride ou en (2D), cette dernière est effectuée par étalement à la fois en temporel et en longueur d'onde, contrairement au codage 1D qui se fait temporellement ou en spectrale [21] [22].

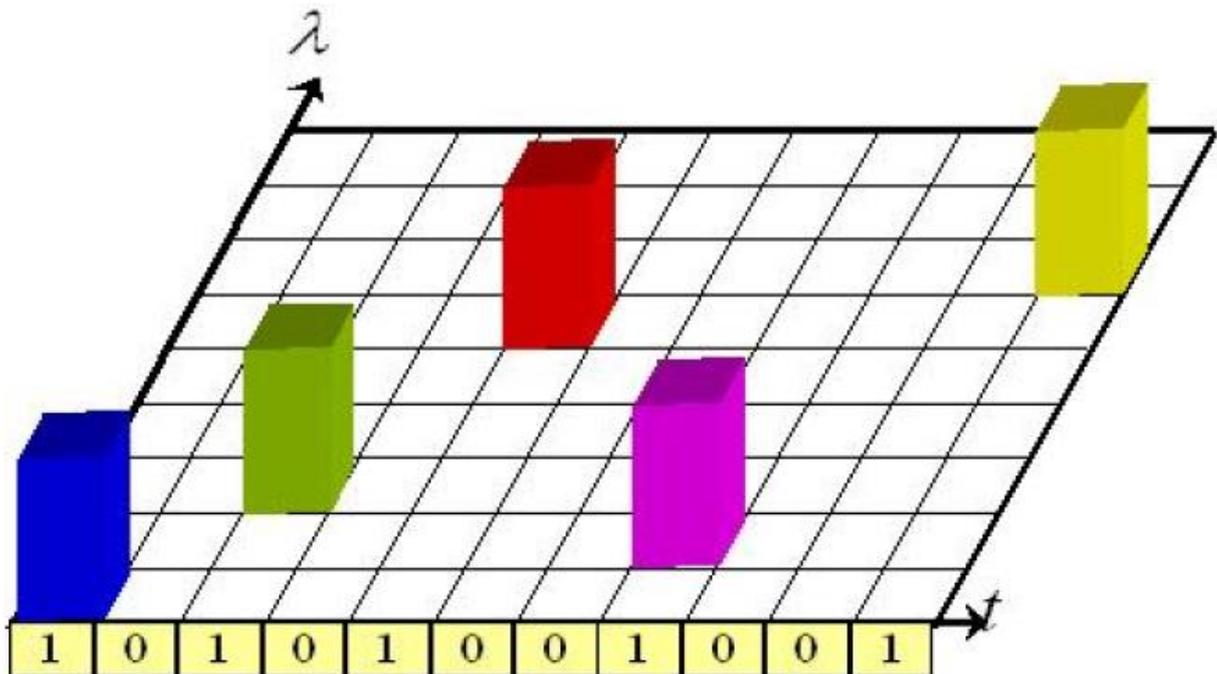


Figure 2.7 : OCDMA en 2D

### 7. Les codes d'OCDMA

Pour réaliser un système d'OCDMA il faut bien choisir la famille de code, qui est considérée comme une base, car elle impose des effets sur les performances du système, et son choix sert à minimiser les IAM et le bruit de battement (BB).

Les codes optiques sont construits de façon à minimiser l'inter-corrélation ( $\lambda_c$ ) entre les mots de codes et de maximiser l'autocorrélation ( $\lambda_a$ ) du code avec lui-même afin d'obtenir un rapport signal/bruit important.

Un code optique est défini par le triplet  $(L, W, N_B)$  où  $L$  est la longueur de code,  $\omega$  est le poids de code qui correspond au nombre de « 1 » et  $N_B$  est le nombre d'utilisateur [12] [20].

### 8. Le bruit d'OCDMA

Dans l'OCDMA les données sont encodées pour être envoyées sur un seul canal optique, à la réception, le récepteur combine le signal reçu avec le code d'utilisateur désiré pour extraire l'information mais il trouve des limitations qui présentent des bruits durant sa transmission, se sont comme suit [17] :

## Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code

---

### 8.1. Bruit d'interférence

Dis bruit d'interférence à accès multiple (MAI) où les utilisateurs partagent le même spectre optique, Alors pour minimiser l'interférence provenant par la puissance des autres utilisateurs il faut que les codes soient quasi-orthogonaux.

Quand les signaux des différents utilisateurs sont reçus, le récepteur récupère celui de l'utilisateur exigé où il trouve une petite fraction dans la puissance qui représente une difficulté, ce signal décodé est une impulsion et l'énergie détectée en dehors de cette impulsion est rejetée

L'OCDMA utilise la détection équilibrée ou l'étalement temporel à fin d'éliminer ce bruit.

### 8.2. Bruit d'intensité

Les utilisateurs utilisent la même bande optique, ils interfèrent entre eux d'une manière aléatoires où ils peuvent se batte créant un bruit de battement ou bien d'intensité relative à la puissance qui peut être éliminé par une détection équilibrée.

## 9. Les avantages d'OCDMA

- **Large couverture** : un grand nombre d'usagé disponible.
- **Les dépenses** : le laser est en moins prix.
- **Pas de synchronisation** : pas de protocole pour empêcher les impacts.
- **Réseau tout optique** : où le trafic est concentré avec un multiplexage non compliqué.
- **Autres options** : la négligence des effets linéaires dans les sources incohérents.
- **La protection** : contre les bruits, les interférences et le piratage, ces avantages autorisent les applications militaires et les systèmes de localisation par satellite [23] [24].

## 10. Conclusion

L'augmentation des besoins de transmission des données, exige des techniques d'étalement de spectre telles que le CDMA optique, qu'on a évoqué dans ce chapitre où on a présenté son fonctionnement, ses différentes techniques de codages (SPE-OCDMA et SAC-OCDMA et DS OCDMA) et ses avantages.

Pour approfondir dans notre étude, on a choisi d'étudier l'encodage de l'amplitude spectral SAC-OCDMA dans le prochain chapitre

## **Chapitre 2 : Les systèmes optiques à Accès multiple par répartition de code**

---

# Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

## 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous focalisons notre étude sur un seul type d'OCDMA à savoir l'encodage d'amplitude spectral (SAC). Pour cela on présentera dans un premier temps ce système et ses principes de base, puis on critiquera les bruits présents dans cette technique.

Afin d'approfondir notre étude, on présentera les détails du code MS et les détections appliquées à la réception.

## 2. Présentation du système SAC-OCDMA

Dans un système SAC-OCDMA où les sources optiques sont des sources incohérentes, les utilisateurs partagent la même bande passante avec une empreinte ou un code unique pour chacun d'eux ou on attribue à chaque code une combinaison de longueur d'onde bien spécifique [25].

## 3. Principe de base de la technique SAC-OCDMA

Dans cette section, nous allons visualiser les moyens pour exécuter l'encodage d'un canal avec la technique du SAC-OCDMA. Les différentes signatures spectrales ne sont pas orthogonales entre elles, c'est-à-dire que deux signatures spectrales propres ont des fréquences en commun pour cela il est impossible de soustraire les données par un simple filtrage optique, tel que :

### 3.1. Utilisation de réseaux de Bragg

Un réseau de Bragg ou réflecteur de Bragg utilisé dans des guides d'onde (fibre optique), consiste en une variation périodique de l'indice de réfraction afin de limiter des phénomènes d'interférences et d'obtenir un composant sélectif spectral, il permet de supprimer une bande de fréquences qui n'est pas contenue dans le code SAC-OCDMA. Il est donc possible de réaliser un montage SAC-OCDMA à base de réseaux de Bragg.

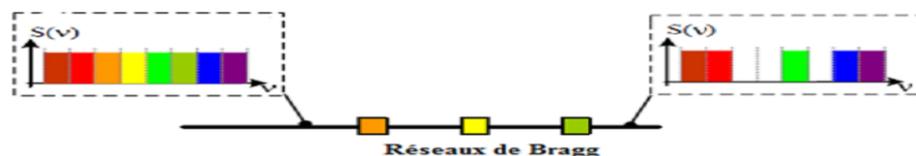


Figure 3.1 : Réseaux de Bragg utilisés pour encodage SAC-OCDMA.

# Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

## 3.2. Encodage à l'aide d'un démultiplexeur et multiplexeur optique

C'est une technique assez simple et qui est la plus utilisée à ce jour. Le démultiplexeur (DEMUX) consiste à diviser la bande fréquentielle de la LED en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale, à la sortie de DEMUX chaque utilisateur rassemblera ses longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale à l'aide d'un multiplexeur (Le nombre des signatures spectrales du démultiplexeur égal à l'entrée du multiplexeur), mais dans cette méthode aucune longueur d'onde ne peut être commune entre les utilisateurs [25] [26].

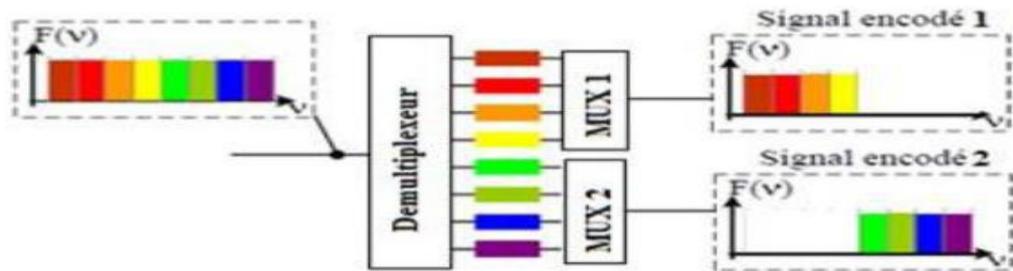


Figure 3.2 : Encodage pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeurs.

## 4. Bruit en SAC-OCDMA incohérent

Dans les systèmes utilisant des sources incohérentes, on observe des bruits lors de la détection d'un signal incohérent qui limite ses performances. Ces bruits sont :

### 4.1. Bruit thermique

Ce bruit est dû à l'agitation thermique des porteurs de charges dans la jonction de la photodiode, Il suit une statistique gaussienne, à la sortie du photo-détecteur il introduit une variance :

$$\sigma_{TH}^2 = \frac{4K_b T_n B}{R_e} \quad (3.1)$$

Avec :

$K_b$  est la constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-3} \text{J.k}^{-1}$ ).

$T_n$  la température de bruit de réception.

$R_e$  la résistance de la charge du système de photo-détection en  $[\Omega]$ .

$B$  est la bande passante du récepteur.

La puissance de ce bruit ne varie pas avec la tension moyenne  $\bar{v}$ , il est donc le bruit dominant à base puissance optique [27].

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

### 4.2. Bruit de grenaille (shot noise)

Il est dû à la création aléatoire des paires électron-trou dans la photodiode, il obéit à la statistique de poisson avec une variation :

$$\sigma_{SN}^2 = 2eIB \quad (3.2)$$

$$I = \mathfrak{R}P_{sr} W/L \quad (3.3)$$

Avec :

$\mathfrak{R}$  : Le rendement de photodiode.

$e$  : est la charge d'électron ( $-1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ).

$P_{sr}$  : est la puissance d'émission.

$I$  : est le courant à la réception.

Donc la puissance de ce bruit est proportionnelle à la tension moyenne  $V$ , elle augmente de manière linéaire en fonction de la puissance optique reçue [27].

### 4.3. Bruit d'intensité induit par la phase PIIN

Le signal émis par une source thermique large bande est la somme de plusieurs champs électriques, où l'amplitude et la phase sont aléatoires créant des battements entre les différentes composantes fréquentielles, qui provoque sur la valeur de  $V$  d'une manière aléatoire, cela implique que la puissance de ce bruit est proportionnelle à  $V^2$ , il augmente rapidement par rapport au signal utile donc il impose une saturation des performances [26] [27].

$$\sigma_{PIIN}^2 = BI^2\tau_C \quad (3.4)$$

$\tau_C$  : Le temps de cohérence de la source de lumière.

## 5. Conception et développement du code MS (multi-service)

### 5.1. La construction du code

Dans un système OCDMA, les paramètres ( $L$ ,  $W$ ,  $\lambda_a$ ,  $\lambda_c$ ) sont nécessaire dans les codes, où ( $L$ ) est la longueur du code, ( $W$ ) est le poids, ( $\lambda_a$ ) est l'auto-corrélation et ( $\lambda_c$ ) est la corrélation croisée, pour distinguer la séquence spectrale de l'utilisateur désiré à la présence des autres, il faut

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

satisfaire à deux propriétés. Premièrement, il faut que l'auto-corrélation ( $\lambda_a$ ) soit en maximum pour différencier le signal reçue du bruit introduit.

On a la séquence du code  $X = x_1x_2x_3 \dots x_L$  , sa fonction d'auto-corrélation égal à :

$$\lambda_a = \sum_{i=1}^L x_i x_i \quad (3.5)$$

Deuxièmement, la corrélation croisé maximum entre deux code se situe entre  $0 \leq \lambda_c \leq 1$  et quand  $\lambda_c \leq 1$  ce code élimine les MAI et bloque les PIIN.

On a les deux séquences du code  $X = x_1x_2x_3 \dots x_L$  et  $Y = y_1y_2y_3 \dots y_L$  , leurs fonction de la corrélation croisé est égal à:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^L X_i Y_i \quad (3.6)$$

Et dans le code MS, le système SAC-OCDMA est basé sur une matrice caractérisée par le poids du code et le nombre d'utilisateurs dans la matrice de base  $N_B$  qui est égal à  $W$ , ainsi sa corrélation croisée idéale qui est égal à  $\lambda_c \leq 1$  et la longueur de code ( $L$ ) qui peut être calculée comme suit:

$$L_B = \sum_{i=1}^W i - \sum_{i=1}^{W-N_B} i \quad (3.7)$$

$$L = \frac{N}{N_B} L_B \quad (3.8)$$

La matrice de base pour le code MS est de  $N_B \times L$ , où les éléments prenant la valeur «0» ou «1» représentent des chips, il est construit à l'aide des équations et des méthodes mathématiques qui peuvent être facilement mis en œuvre.

En utilisant la programmation des logiciels, on déduit les étapes suivantes qui expliquent la construction de ce code :

- **Étape 1 :** Soit  $P_W$  la position de  $W^{ième}$  «1» dans le nouveau de code où  $w = \{1, 2, 3, \dots, W\}$  les positions des codes sont dans la relation suivante :

$$P_W = \begin{cases} 1 & , W = 1 \\ P_{(W-1)} + (W - 1) & , W > 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Et les autres positions qui ne contiennent pas de « 1 » sont remplacées par « 0 ».

- **Étape 2 :** soit  $C_{ij}$  la position dans un code où  $i = \{1, 2, 3, \dots, N_B\}$ ,  $j = \{1, 2, \dots, L_B\}$  ainsi  $C_i = \{C_{i1}, C_{i2} \dots \dots, C_{iL_B}\}$  et  $C_i = \{C_{i-1}, C_{i-2}, \dots, C_1\}$  soient les mots de codes précédent. Pour ordonner la séquence du code  $C_i$  il faut trouver du premier mot de code le premier «1» dans la

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

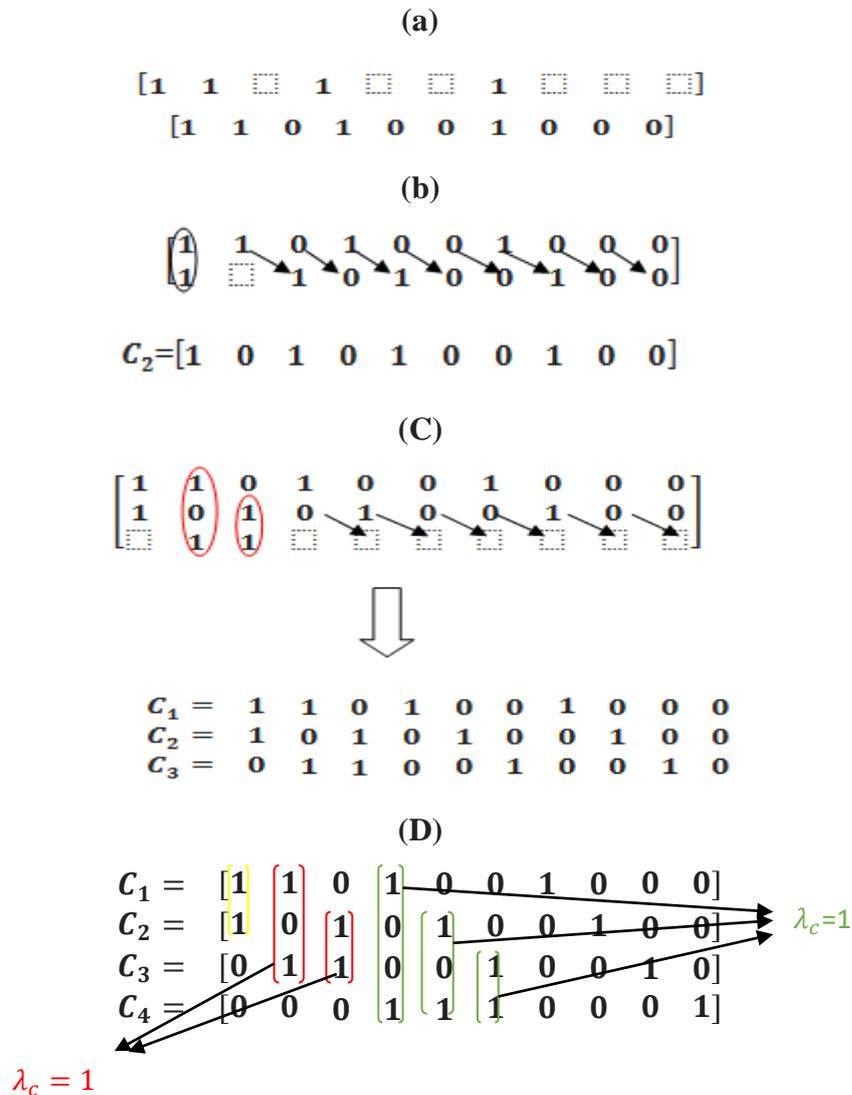
position qui égal à la corrélation croisé avec le deuxième mot de code, cette position est la  $C_{ij}$  par la suite, les positions des autres valeurs binaires sont obtenu en décalant les bits du code précédent à droite, les espaces vides du code sont remplis par «0».

• **Étape 3 :** Répétez les étapes 2 à la suite des codes jusqu'à ce que la séquence de code de base  $C_B$  générée soit égale au nombre maximal d'utilisateurs  $N_B$  [29] [30] [31].

**Exemple :** Supposons que le poids de code du système OCDMA est égal à 4 alors, le nombre maximum d'utilisateurs (NB) égal à 4, alors la longueur L pour ce code est calculée comme suit :

$$L_B = \sum_{i=1}^4 i - \sum_{i=1}^{4-4} i = [4 + 3 + 2 + 1] - 0 = 10$$

La construction du code utilisant les algorithmes proposés pour cet exemple sont illustrées dans la figure (3.4) de (a) à (d) respectivement :



**Figure 3.3:** Construction de la matrice de base  $C_B$  du code MS pour  $W = 4$ .

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

Les code  $C_1$   $C_2$   $C_3$  et  $C_4$  donnent la matrice  $C_B$  :

$$C_B = \begin{bmatrix} C_1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C_2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ C_3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ C_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 5.2. Technique de mappage

Une technique de mappage est utilisé pour obtenir un grand nombre d'abonnés ( $N_B$ ) avec une valeur  $W$  fixe. Dans cette technique, la matrice de base ( $C_B$ ) est répété par  $M = N/N_B$  fois, comme la matrice suivante:

$$C(M) = \begin{bmatrix} C_B(1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_B(2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_B(3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_B(M) \end{bmatrix}$$

Par conséquent, le nombre d'utilisateurs est étendu de  $M \times N_B$  où  $M$  est le nombre de séquences de mappage et  $N_B$  sont étendus en diagonale. De plus. En supposant que le nombre total d'utilisateurs requis est  $N_{max}$  avec un poids de code de  $W$ , le nombre de mappage  $M$  peut être aussi calculé comme suit:

$$M = \frac{N_{max}}{W} \quad (3.10)$$

Si le résultat de l'expression est un entier, il y aura  $M$  mappage de la matrice de base avec  $N_B = W$ , sinon le nombre de mappage pour une telle matrice sera  $\frac{N_{max}}{W}$  avec une valeur supérieure et le nombre d'utilisateurs pour la dernière matrice de mappage restante est de  $N_{Br}$  égal à :

$$N_{Br} = N_{max} - W \frac{N_{max}}{W} \quad (3.11)$$

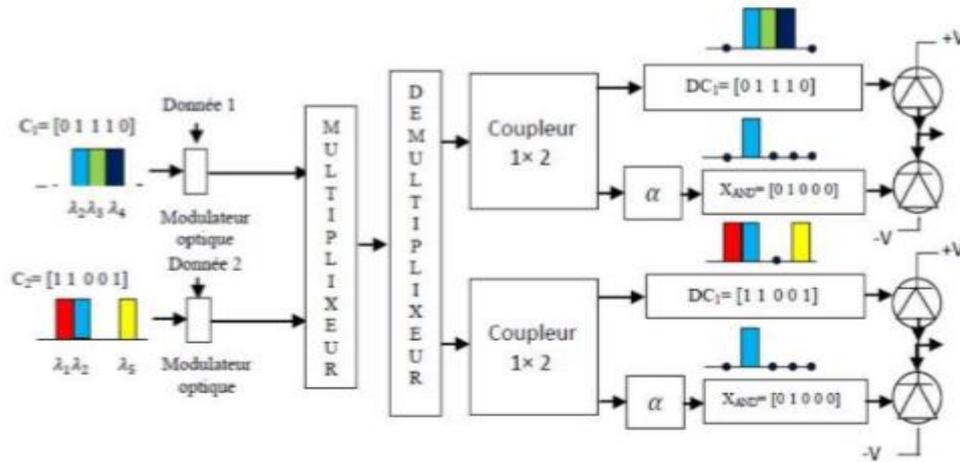
### 6. Techniques de détection

À la réception, toutes les données des utilisateurs seront réunies, pour extraire la donnée de chaque utilisateur il faut utiliser son code propre, pour cela il existe des méthodes de détection sont :

# Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

## 6.1. Méthode de détection AND

La technique de soustraction AND a été utilisée comme méthode de détection à la réception d'une liaison optique, qui a pour principe de diviser le signal optique reçu en deux parties, l'une vers la branche supérieure pour un signal d'utilisateur X qui a une valeur de corrélation croisée avec la branche inférieure, qui doit être en elle-même un résultat de corrélation croisée entre X et Y résultant de l'opération AND [26] [28].



**Figure 3.4:** schéma synoptique de la détection de soustraction AND.

### • L'analyse mathématique du code MS par technique de détection AND

Dans l'analyse des performances, pour calculer le taux d'erreur (BER) en utilisant l'approximation gaussienne, en tenant compte des bruits qui sont pris en considération (bruit thermique, bruit de grenaille et le bruit d'intensité induit par la phase).

La variance du photo-courant dû à la détection d'une lumière thermique non polarisée, produite par émission spontanée, qui peut être exprimé par la suite :

$$\langle \sigma^2 \rangle = 2eIB + BI^2\tau_C + \frac{4K_b T_n B}{R_e} \quad (3.12)$$

Le premier terme indique le bruit de grenaille, le deuxième représente l'effet du bruit d'intensité induit par phase et le troisième qui est l'effet du bruit thermique, avec ( $\tau_C$ ) le temps de cohérence de la source de lumière exprimé dans l'équation suivante:

$$\tau_C = \frac{\int_0^\infty G^2 d\nu}{\left[ \int_0^\infty G d\nu \right]^2} \quad (3.13)$$

Avec :  $G(\nu)$  est la densité spectrale de puissance (SPD) de la source,

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

Un idéal système SAC-OCDMA est composé avec des spectres de source lumineuse plates sur la largeur de la bande, cette source est idéalement non polarisée. Chaque utilisateur a un flux de bits synchronisé ainsi, la puissance reçue est identique pour chaque utilisateur [30] [31].

Supposons que  $C_n(i)$  soit le  $i^{\text{ème}}$  élément de la  $n^{\text{ème}}$  d'une nouvelle séquence de code et que les propriétés du code proposé aux bras supérieurs et inférieurs du récepteur équilibré puissent être définis comme suit :

$$\sum_{i=1}^L C_n(i)C_l(i) = \begin{cases} W, & \text{pour } n = l \\ 1, & \text{pour } n \neq l \\ 0, & \text{pour } n \neq l \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{dans le même secteur} \\ \text{et} \\ \text{dans les différentes secteur} \end{array} \quad (3.14)$$

Et :

$$\sum_{i=1}^L C_n(i)(C_l(i) \cdot C_n(i)) = \begin{cases} N_B - 1 & \text{pour } n = l \\ 1 & \text{pour } n \neq l \\ 0 & \text{pour } n \neq l \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{dans le même secteur} \\ \text{et} \\ \text{dans les différentes secteur} \end{array} \quad (3.15)$$

Les deux conditions ci-dessus l'opération AND de  $C_n(i)C_l(i)$  est valable que pour  $n \neq l$  et  $n, l \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$  Cependant, la corrélation croisée de  $C_n(i)(C_l(i) \cdot C_n(i))$  est valable pour  $n = l$  et  $n \neq l$ , alors que la corrélation croisée de  $C_i(i)C_l(i)$  est  $W$  pour  $n = l$ .

La densité PSD des signaux optiques reçus peut être écrite ainsi dans (3.15) :

$$r(\nu) = \left[ \frac{P_{sr}}{\Delta\nu} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i) \left\{ u \left[ \nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L} (-L - 2i - 2) \right] - u \left[ \nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} \right]$$

Où  $P_{sr}$  est la puissance effective au niveau du récepteur d'une source à large bande,  $d_n$  est le bit de données du  $n^{\text{ème}}$  utilisateur qui est «1» ou «0» et  $C_n$  est le  $i^{\text{ème}}$  élément de la  $n^{\text{ème}}$  séquence de code MS.

$$\text{Pris : } \left\{ u \left[ \nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L} (-L + 2i - 2) \right] - u \left[ \nu - \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2L} (-L + 2i) \right] \right\} = \left\{ \left( u \frac{\Delta\nu}{L} \right) \right\} \quad (3.16)$$

Avec  $\nu_0$  est la fréquence optique centrale et  $\Delta\nu$  est la largeur de la bande passante d'une source optique en Hertz.

Et  $u(\nu)$  est la fonction de pas d'unité égal a :

$$u(\nu) = \begin{cases} 1, & \nu \geq 0 \\ 0 & \nu < 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

Puis la densité PSD au niveau des photos détecteurs  $PD_1$  et  $PD_2$  peut être écrits ainsi:

$$\int_0^\infty G_1 d\nu = \int_0^\infty r(\nu) d\nu \quad (3.17)$$

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^\infty \left[ \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i) C_l(i) \left\{ u \left[ \frac{\Delta v}{L} \right] \right\} \right] dv \\
 &= \frac{P_{sr} \Delta v}{\Delta v L} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i) C_l(i) \\
 \int_0^\infty G_1 d_v &= \frac{P_{sr} W}{L} d_l + \frac{P_{sr}}{L} \sum_{n=1, n \neq l}^{N_B} d_n
 \end{aligned}$$

Et :

$$\begin{aligned}
 \int_0^\infty G_2(v) d_v &= \int_0^\infty \left[ \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i) (C_l(i) \cdot C_n(i)) \left\{ u \left[ \frac{\Delta v}{L} \right] \right\} \right] dv \quad (3.18) \\
 &= \frac{P_{sr} \Delta v}{\Delta v L} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i) (C_l(i) \cdot C_n(i)) \\
 \int_0^\infty G_2(v) d_v &= \frac{P_{sr} (N_B - 1)}{L} d_l + \frac{P_{sr}}{L} \sum_{n=1, n \neq l}^{N_B} d_n
 \end{aligned}$$

Soit  $I_1$  et  $I_2$  le photo-courant sur les broches 1 et 2 respectivement. Le photo-courant  $I$  est donc donné par:

$$\begin{aligned}
 I = I_1 - I_2 &= \Re \left[ \int_0^\infty G_1(v) dv - \int_0^\infty G_2(v) dv \right] \quad (3.19) \\
 &= \frac{\Re P_{sr} (W - N_B + 1)}{L}
 \end{aligned}$$

Où  $\Re$  est la sensibilité des photodétecteurs donnée par  $\Re = (\eta e)/(h\nu_0)$  avec :

$\eta$ : Est l'efficacité quantique.

$e$ : Est la charge de l'électron.

$h\nu_0$ : Est l'énergie des photons où  $h$  est la constante de Planck.

La puissance de bruit de grenaille (shot noise) peut être définie comme suit:

$$\langle \sigma_{SH}^2 \rangle = 2eB(I_1 + I_2) \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2eB \Re \left[ \int_0^\infty G_1(v) dv + \int_0^\infty G_2(v) dv \right] \\
 &= 2eB \Re \left[ \left( \frac{P_{sr} W}{L} d_l + \frac{P_{sr}}{L} d_l \sum_{n=1, n \neq l}^L d_n \right) + \left( \frac{P_{sr} (N_B - 1)}{L} d_l + \frac{P_{sr}}{L} d_l \sum_{n=1, n \neq l}^L d_n \right) \right] \\
 \langle \sigma_{SH}^2 \rangle &= \frac{2eB \Re P_{sr} (W + 3N_B - 3)}{L} \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

En prenant l'approximation suivante :  $\sum_{i=1}^N C_n(i) \approx \frac{NW}{L}$

Alors la puissance de bruit PIIN peut être exprimée comme suit:

$$\langle \sigma_{PIIN}^2 \rangle = BI_1^2 \tau_{C1} + BI_2^2 \tau_{C2} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} &= B\mathfrak{R}^2 \left[ \int_0^\infty G_1^2(v)dv + \int_0^\infty G_2^2(v)dv \right] \\ &= B\mathfrak{R}^2 \frac{P_{sr}^2}{L\Delta v} \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} d_n C_n(i) \right] \cdot \left[ \sum_{m=1}^{N_B} d_m C_m(i) \right] \right\} \\ &\quad + B\mathfrak{R}^2 \frac{P_{sr}^2}{L\Delta v} \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \cdot C_n(i) \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} d_n C_n(i) \right] \cdot \left[ \sum_{m=1}^{N_B} d_m C_m(i) \right] \right\} \\ &= \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2}{L\Delta v} \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} d_n C_n(i) \right] \cdot \left[ \sum_{m=1}^{N_B} d_m C_m(i) \right] \right\} \\ &\quad + \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \cdot C_n(i) \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} d_n C_n(i) \right] \cdot \left[ \sum_{m=1}^{N_B} d_m C_m(i) \right] \right\} \\ &\cong \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2}{L\Delta v} \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \frac{NW}{L} \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} C_n(i) \right] \right\} + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2}{L\Delta v} \sum_{i=1}^L \left\{ C_l(i) \cdot C_n(i) \frac{NW}{L} \cdot \left[ \sum_{n=1}^{N_B} C_n(i) \right] \right\} \\ &\cong \left\{ \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2}{L\Delta v} \cdot \frac{NW}{L} \cdot \sum_{n=1}^{N_B} \left[ \sum_{i=1}^L C_n(i) C_l(i) \right] \right\} + \left\{ \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2}{L\Delta v} \cdot \frac{NW}{L} \cdot \sum_{n=1}^{N_B} \left[ \sum_{i=1}^L C_n(i) C_l(i) \cdot C_n(i) \right] \right\} \\ &= \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [W + (N_B - 1)] + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [(N_B - 1) + (N_B - 1)] \\ &\langle \sigma_{PIIN}^2 \rangle = \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [W + 3N_B - 3] \end{aligned}$$

Ainsi Le bruit thermique est défini par :

$$\langle \sigma_{TH}^2 \rangle = \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (3.23)$$

Par conséquent, la puissance du bruit totale est :

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

$$\langle \sigma^2 \rangle = \frac{2eB\Re P_{Sr}(W+3N_B-3)}{L} + \frac{B\Re^2 P_{Sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [W + 3N_B - 3] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (3.24)$$

Notant que la probabilité de transmettre le bit «1» à tout moment pour chaque utilisateur est (1/2) alors la puissance de bruit totale est :

$$\langle \sigma^2 \rangle = \frac{eB\Re P_{Sr}(W+3N_B-3)}{L} + \frac{B\Re^2 P_{Sr}^2 NW}{2L^2 \Delta v} [W + 3N_B - 3] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \quad (3.25)$$

Par conséquent, le SNR du système SAC-OCDMA utilisant le code proposé peut être déterminé à l'aide des opérations mathématiques décrites ci-dessous:

$$SNR = \frac{I^2}{\langle \sigma^2 \rangle} = \frac{(I_1 - I_2)^2}{\langle \sigma^2 \rangle} \quad (3.26)$$

$$SNR = \frac{\frac{\Re^2 P_{Sr}^2 (W - N_B + 1)^2}{L^2}}{\frac{eB\Re P_{Sr}(W+3N_B-3)}{L} + \frac{B\Re^2 P_{Sr}^2 NW}{2L^2 \Delta v} [W+3N_B-3] + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \quad (3.27)$$

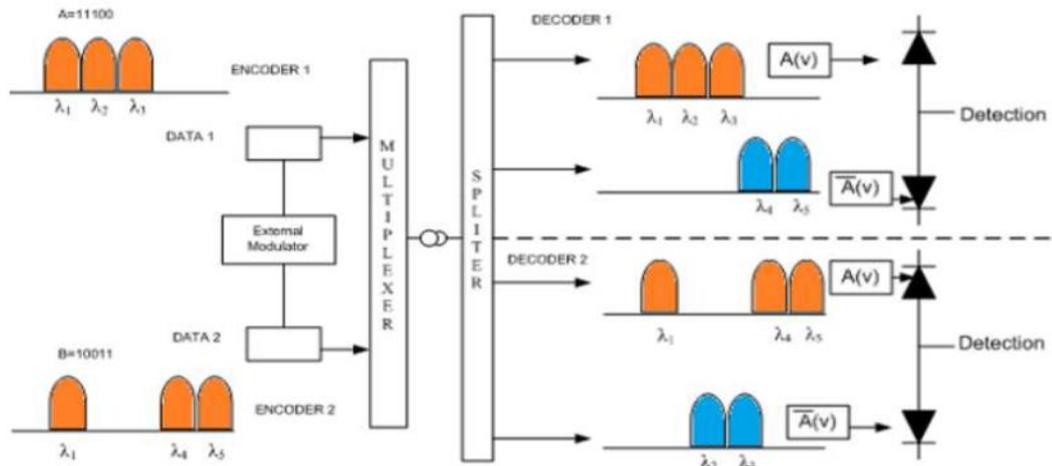
Pour le BER estimé peut être calculé en utilisant l'approximation gaussienne, qui permet une analyse simplifiée des performances du système comme :

$$BER = 2erfc \sqrt{\frac{SNR}{8}} \quad (3.28)$$

### 6.2. Soustraction complémentaire (NAND)

Elle est composée d'une partie de transmission similaire à celle de la détection spectrale directe (SDD) dans les deux cas l'encodage se fait avec MUX ou FBG et d'une partie de réception est constitué de deux branches complémentaires où la branche supérieure à la même structure que le codeur au moment de la transmission tandis que la branche inférieure est le complément du décodeur supérieur, les signaux décodés sont alors détecté par un récepteur équilibré, qui exécute et élimine les MAI [30] [31].

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA



**Figure 3.5:** Représentation schématique de Technique de la Soustraction complémentaire.

- **L'analyse mathématique du code MS par technique de détection NAND**

Pour la branche supérieure.

$$\sum_{i=1}^L C_n(i)C_l(i) = \begin{cases} W, & \text{pour } n = l \\ 1, & \text{pour } n \neq l \end{cases} \quad (3.29)$$

Pour la branche inférieure :

$$\sum_{i=1}^L C_n(i)\overline{C_l(i)} = \begin{cases} L - W, & \text{pour } n = l \\ 0, & \text{pour } n \neq l \end{cases} \quad (3.30)$$

Calcul de la PSD :

$$\int_0^\infty G_1 d_\nu = \frac{P_{Sr}W}{L} d_l + \frac{P_{Sr}}{L} \sum_{n=1, n \neq l}^{N_B} d_n \quad (3.31)$$

Et :

$$\int_0^\infty G_2(\nu) d_\nu = \frac{P_{Sr}(L-W)}{L} d_l + \frac{P_{Sr}}{L} \sum_{n=1, n \neq l}^{N_B} d_n \quad (3.32)$$

Soit  $I_1$  et  $I_2$  le photocourant sur les broches 1 et 2 respectivement. Le photocourant  $I$  est donc donné par:

$$I = \frac{\Re P_{Sr}(2W-L)}{L} \quad (3.33)$$

La puissance de bruit de grenaille (shot noise) peut être définie comme suit:

$$\langle \sigma_{SH}^2 \rangle = \frac{2eB\Re P_{Sr}(3L-2W)}{L} \quad (3.34)$$

En prenant l'approximation suivante :  $\sum_{i=1}^N C_n(i) \approx \frac{NW}{L}$

Alors la puissance de bruit PIIN peut être exprimée comme suit:

$$\langle \sigma_{PIIN}^2 \rangle = BI_1^2 \tau_{C1} + BI_2^2 \tau_{C2} \quad (3.35)$$

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

$$\begin{aligned}
 &= B\mathfrak{R}^2 \left[ \int_0^\infty G_1^2(v)dv + \int_0^\infty G_2^2(v)dv \right] \\
 &= \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [W + (L - W)] + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [(L - W) + (L - W)] \\
 \langle \sigma_{PIIN}^2 \rangle &= \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [3L - 2W] \tag{3.36}
 \end{aligned}$$

Le bruit thermique est défini par :

$$\langle \sigma_{TH}^2 \rangle = \frac{4K_b T_n B}{R_L} \tag{3.37}$$

Par conséquent, la puissance de bruit totale est :

$$\langle \sigma^2 \rangle = \frac{2eB\mathfrak{R} P_{sr}(3L-2W)}{L} + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{L^2 \Delta v} [3L - 2W] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \tag{3.38}$$

Notant que probabilité de transmettre le bit «1» à tout moment pour chaque utilisateur est (1/2) :

$$\langle \sigma^2 \rangle = \frac{eB\mathfrak{R} P_{sr}(3L-2w)}{L} + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{2L^2 \Delta v} [3L - 2W] + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \tag{3.39}$$

Par conséquent, le SNR du système SAC-OCDMA utilisant le code proposé peut être déterminé à l'aide des opérations mathématiques décrites ci-dessous:

$$SNR = \frac{\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 (2W-L)^2}{L^2} \frac{1}{\frac{eB\mathfrak{R} P_{sr}(3L-2w)}{L} + \frac{B\mathfrak{R}^2 P_{sr}^2 NW}{2L^2 \Delta v} [3L-2W] + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \tag{3.40}$$

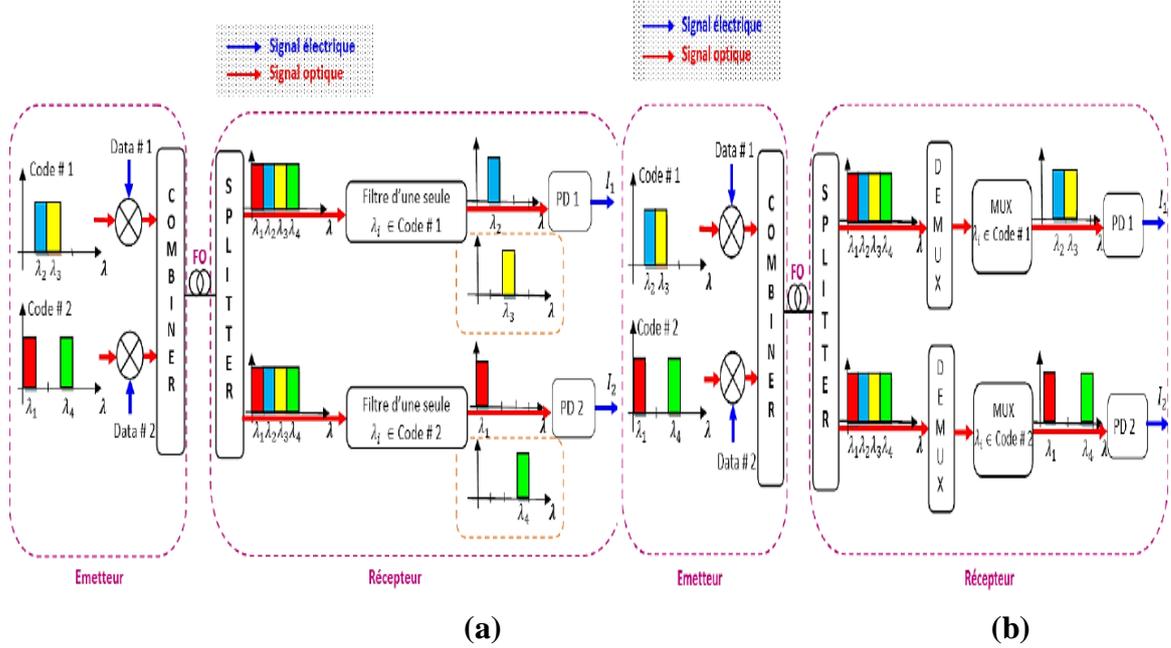
$$BER = 2erfc \sqrt{\frac{SNR}{8}} \tag{3.41}$$

### 6.3. Méthode de détection spectrale directe (SDD)

C'est un cas particulier de la détection balancé avec  $\lambda c = 0$  donc  $\alpha = 0$  car elle est basée sur une corrélation croisée nulle entre les codes, pour cela elle est composée d'une seule branche de décodeur, elle récupère l'information par l'un des « chips » en partie (a) où la totalité du code en partie (b). L'interférence entre utilisateurs MAI et le bruit d'Intensité (PIIN) n'existe plus, est plus simple dans la mise en œuvre et l'exécution [25] [27] [31].

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

Cette technique est parfaitement capable d'éliminer les impacts d'IAM et de PIIN, et de réduire la complexité du récepteur et d'améliorer les performances du système SAC-OCDMA incohérents grâce à la division de spectre de la séquence de code utilisé [2] [30].



**Figure 3.6:** Méthode de détection spectrale directe a : d'une longueur d'onde  
b: avec la totalité des longueurs d'ondes.

- **L'analyse mathématique du code MS par technique de détection directe**

Dans cette analyse des performances, le bruit thermique et le bruit grenaille ont été pris en compte par contre le bruit PIIN est ignoré. En raison de l'absence des puces superposées au récepteur dans une telle technique de détection, le bruit PIIN peut être ignoré. Par conséquent, pour le calcul du BER, la puissance de bruit totale du photo-détecteur peut être exprimée comme suit:

$$\langle \sigma^2 \rangle = \langle \sigma_{SH}^2 \rangle + \langle \sigma_{TH}^2 \rangle \quad (3.42)$$

Et les propriétés du code MS basé sur la technique DD peuvent être définies :

$$\sum_{i=1}^L C_n(i)C_l(i) = \begin{cases} W - N_B + 1 & , \text{pour } n = l \\ 0 & , \text{pour } n \neq l \end{cases} \quad (3.43)$$

Il est important de noter que les mêmes hypothèses qui ont été utilisées pour analyser le code MS dans cette technique de détection sont les mêmes que dans la détection AND. Ainsi, L'intégration de la PSD au photo-détecteur, PD du  $i^{ième}$  récepteur pendant une période peut s'écrire comme suit:

$$\int_0^\infty G(v)dv = \int_0^\infty \left[ \frac{P_{Sr}}{\Delta v} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \sum_{i=1}^L C_n(i)C_l(i) \left\{ u \left[ \frac{\Delta v}{L} \right] \right\} \right] dv \quad (3.44)$$

## Chapitre 3 : La technique d'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA

---

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_{sr}}{\Delta\nu} \frac{\Delta\nu}{L} \sum_{n=1}^{N_B} d_n \cdot (W - N_B + 1) \cdot l \sum_{i=1}^L d_n \cdot 0.l \\
 &= \frac{P_{sr}(W - N_B + 1)}{L} d_l
 \end{aligned} \tag{3.45}$$

Pour le bruit de grenaille, la puissance peut être définie comme suit:

$$\langle \sigma_{SH}^2 \rangle = \frac{2eB\Re P_{sr}(W - N_B + 1)}{L} \tag{3.46}$$

Donc en notant que la probabilité de transmettre le bit «1» à tout moment pour chaque utilisateur est (1/2) :

$$\langle \sigma^2 \rangle = \frac{eB\Re P_{sr}(W - N_B + 1)}{L} + \frac{4K_b T_n B}{R_L} \tag{3.47}$$

Par conséquent, le SNR du système SAC-OCDMA par la technique directe est :

$$SNR = \frac{\frac{\Re^2 P_{sr}^2 (W - N_B + 1)^2}{L^2}}{\frac{eB\Re P_{sr}(W - N_B + 1)}{L} + \frac{4K_b T_n B}{R_L}} \tag{3.48}$$

$$BER = 2erfc \sqrt{\frac{SNR}{8}} \tag{3.49}$$

### 7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons développé l'un des codes qui existent dans un système SAC-OCDMA en étudiant sa construction et ses propriétés et les trois techniques de détection appliqué pour récupérer les informations codées, pour cela on a donné une brève explication de la technique d'encodage et de décodage.

Le chapitre suivant montre la correspondance entre la théorie et la pratique pour un système SAC-OCDMA.

### 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'évolution des performances du système SAC-OCDMA en utilisant le code (MS) avec les trois techniques de détections que nous avons présenté dans le chapitre 3, pris en considération les trois critères pour juger et estimer les performances de ce système qui sont le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire et le facteur de qualité.

Nous avons travaillé avec le logiciel « OptiSystem 7.0 » qui nous permet de simuler et réaliser ces trois chaînes de transmission à l'aide de sa bibliothèque de composante.

### 2. Présentation du logiciel OptiSystem

Optisystem 'Optical communication system design software' est un logiciel de simulation qui nous permet d'analyser, tester et d'optimisation n'importe quel traitement du signal avec un système basé sur une modélisation de communication par fibre optique, il est composé d'une interface de travail qui contrôle la disposition des composants pour une liaison optique et des modèles ainsi des graphes de présentation cette interface est composé de plusieurs parties :

- **Une bibliothèque :** est basé sur des différentes composantes.
- **Une zone de travail (Éditeur de layout) :** permet d'acheminé les différentes composantes de la bibliothèque pour configurer une liaison optique.
- **une boîte à outils :** elle permet d'ajouté des différentes diapositives (texte, cercle, ligne ...) dans l'éditeur pour une bonne conception [14].

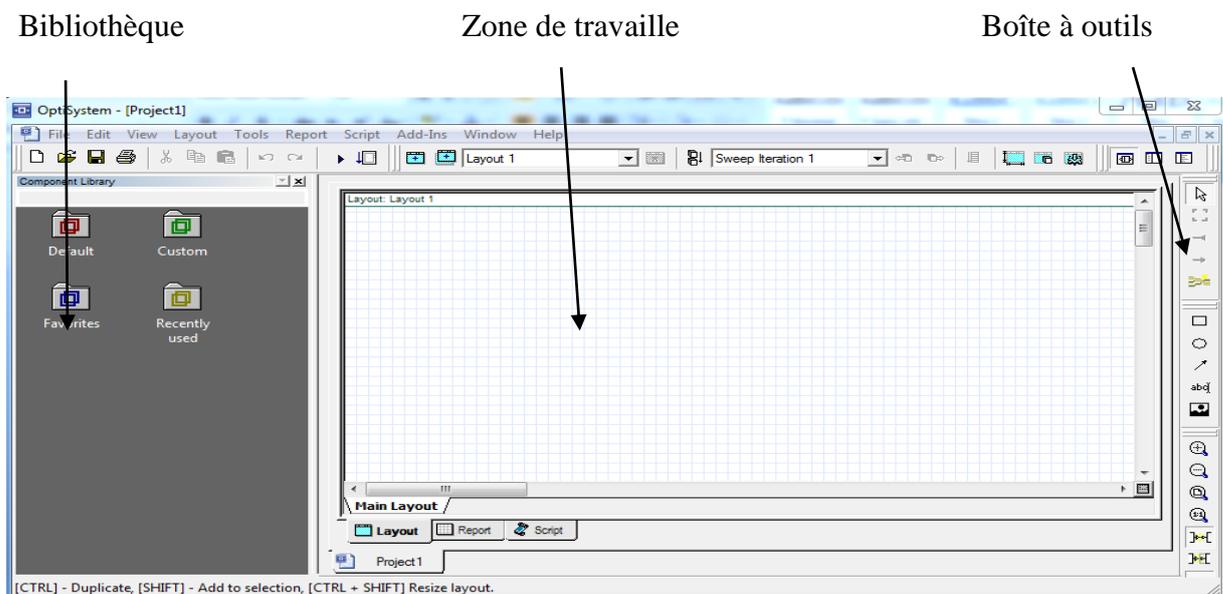


Figure 4.1: L'interface de travail sur OptiSystem.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

### 3. Présentation de la liaison optique

La figure ci-dessous montre le système SAC-OCDMA implémenté dans le logiciel du OptiSysteme, en utilisant le code MS avec deux utilisateurs et un poids  $W$  égal à 4, dans une bande fréquentielle  $C$  pour but de démontrer et d'optimiser les performances de ce système.

Le bloc d'émission a pour but de convertir le signal électrique d'information à un signal optique, pour ce fait, nous avons injecté les données électriques qui permettent de produire le courant qui entre dans le laser, à partir des deux blocs de générateur PRBS ( Pseudo Random Bit Sequence Generator ) et le générateur NRZ ( Non Return to Zero) dont les valeurs  $I_{\min}$  et  $I_{\max}$  pour les données à transmettre 0 et 1 respectivement. Pour implémenter le code de chaque utilisateur, on a combiné les quatre longueurs d'onde propre pour chacun d'eux au niveau du laser avec un multiplexeur afin de construire sa séquence spectrale, cette dernière va être modulée par le modulateur Match-Zehnder avec la séquence générée auparavant. Ensuite, la combinaison de deux signaux de deux utilisateurs sera réalisée à l'aide d'un combineur de puissance, puis le transférer via une fibre optique, pour transmettre les informations sur des longues distances.

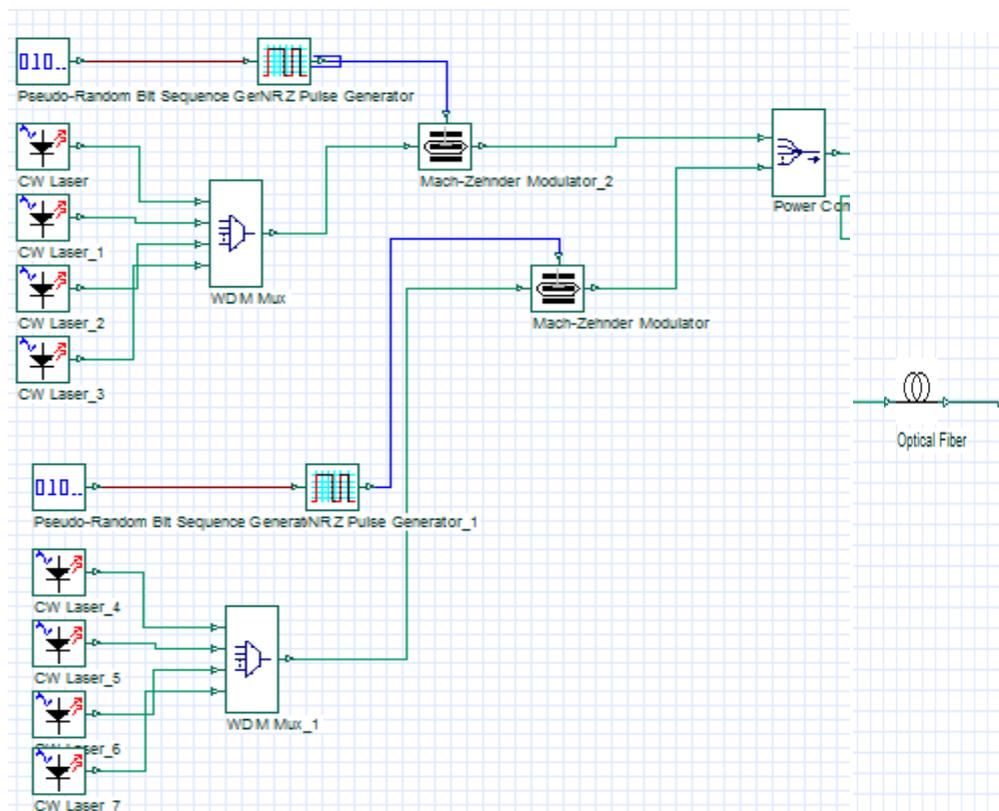


Figure 4.2: bloc émission et canal optique de la transmission optique

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

Dans le bloc de réception, un coupleur (Fork 1x2) divise le signal reçu, afin d'être décodé par de différents types de détection à base d'un réseau de fibres de Bragg. Dans notre cas, on a utilisé trois technique de détection, à savoir la détections directe, AND et NAND afin de récupérer les longueurs d'ondes émises.

Le signal en sortie est converti en signal électrique par le biais d'une photodiode PIN, passé par le filtre de Bassel passe bas afin d'éliminer les différents bruits. L'analyse et l'interprétation des résultats est faite grâce à un BER Analyser.

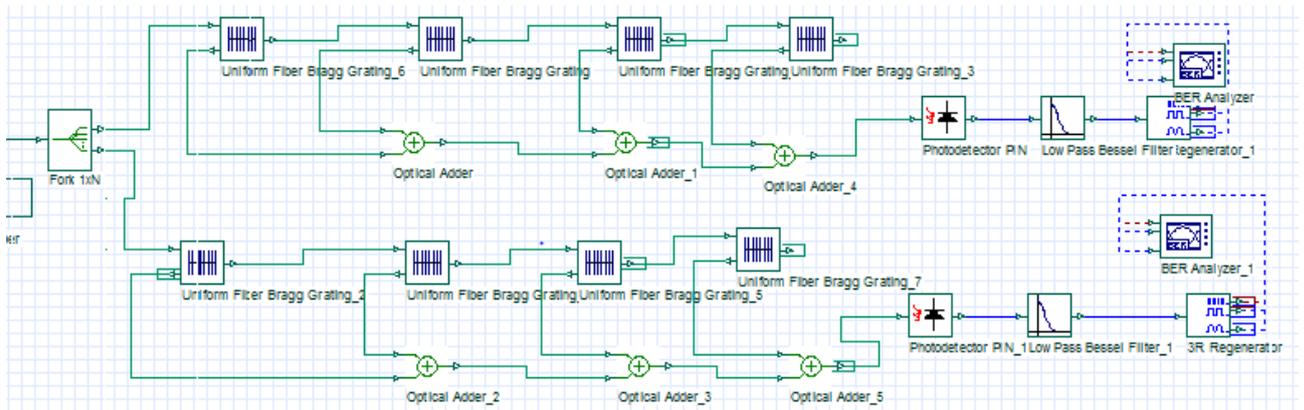


Figure 4.3: bloc réception de la transmission optique.

### 4. Critères d'analyse d'une liaison SAC-OCDMA

Ils existent plusieurs critères pour évaluer la qualité d'une liaison optique à savoir :

#### 4.1. Facteur de qualité

Le facteur de qualité ou le facteur Q est le rapport signal sur bruit électrique du signal mesuré à l'entrée du canal du récepteur, il contient le signal utile ainsi le bruit dû à l'ensemble des éléments durant la transmission. Le signal utile est représenté par les niveaux moyens ( $\mu_1$  et  $\mu_0$ ) du symbole 0 et 1, ainsi le bruit représente les déviations des puissances autour de ces niveaux moyens. On définit donc le facteur Q par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\langle \sigma_1 \rangle + \langle \sigma_2 \rangle} \quad (4.1)$$

Où  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  les variances des probabilités des symboles «1» et «0».

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

### 4.2. Taux d'erreurs binaires (BER)

Il suffit de comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, et de compter les erreurs (le nombre de fois d'un « 0 » est détecté pour un symbole « 1 » émis, vice versa) il prend les valeurs dans l'intervalle 0 et 1 plus le signal est de bonne qualité plus il rapproche de 0 ou inversement. On le définit par :

$$\text{BER} = \frac{\text{le nombre de bits erronés}}{\text{le nombre de bits transmis}} \quad (4.2)$$

Aussi qualité il est relié avec le facteur de qualité de dans la supposition où la puissance des symboles est gaussienne par :

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \left[ \text{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (4.3)$$

Avec erfc est la fonction erreur complémentaire définit par:

$$\text{erfc} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-y^2) dy \quad (4.4)$$

### 4.3. Diagramme de l'œil

C'est la meilleure façon pour visualiser et juger la qualité d'un signal dans le domaine électrique, il représente le degré de superposition et de synchronisation de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Plus le diagramme de l'œil est fermé Plus le facteur Q du signal diminue comme cela a été expliqué en haut ce qui peut être traduit par le bruit qui accompagne le signal lors de la détection.

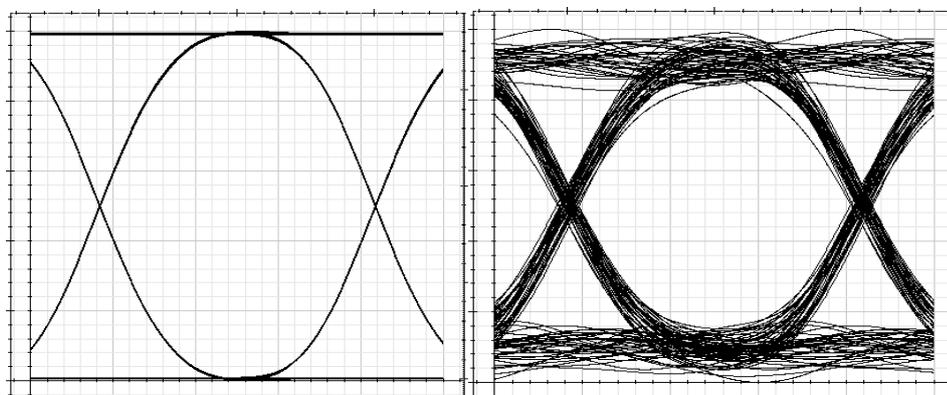


Figure 4.4: Diagrammes de l'œil.

### 5. Analyse des performances du système

Dans cette partie on va varier les différents paramètres afin de déduire les performances de ce système, l'analyse fréquentielle et temporelle sont présentées dans l'annexe A.

#### 5.1. La variation de la distance

Dans cette partie, on va étudier l'effet de la variation de la longueur de la fibre de 10Km jusqu'à 80Km sur les performances du système, en fixant le débit à 622Mbps et la puissance à 0dBm. Les résultats obtenus sont en fonction du BER, Q facteur et le diagramme de l'œil.

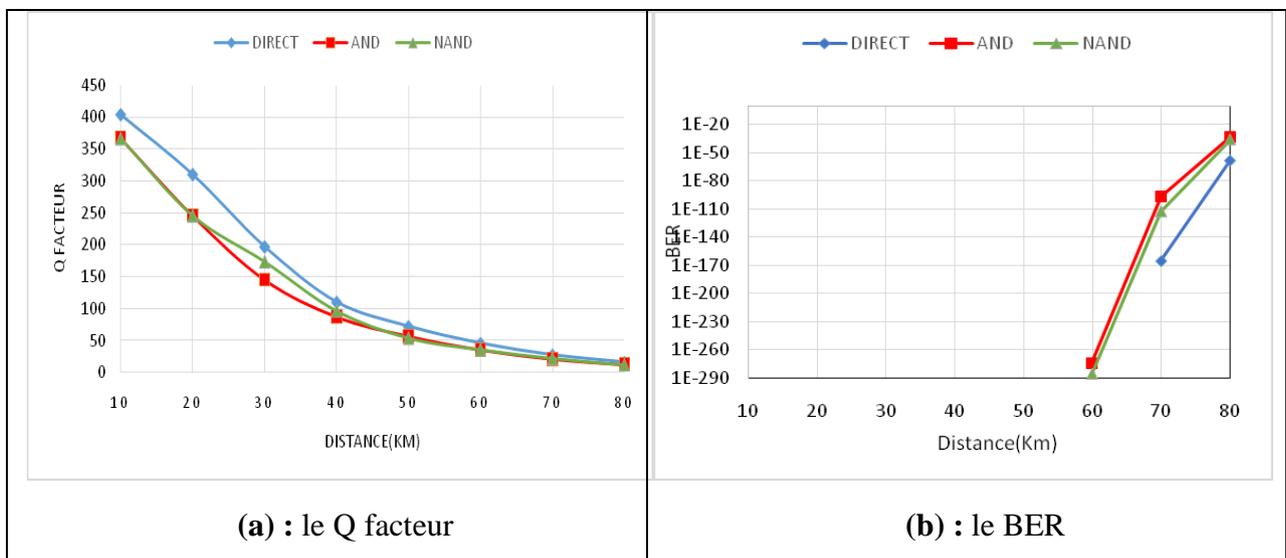


Figure 4.5: Q facteur et BER en fonction de la distance pour les trois détections.

La figure (4.5) illustre l'effet de l'augmentation de la longueur de la fibre optique sur la dégradation des performances de la liaison simulée en termes de BER et Q facteur. D'après la même figure on remarque que les distances inférieures à 50Km ne sont pas affichées sur le graphe ceci est dû au BER qui est nul donc le Q facteur est représenté par des valeurs supérieures ou égales à 50Km, cela prouve la robustesse des trois techniques de décision qui élimine l'inter-corrélation existante dans le code MS. Mais chaque technique a ses propres limites car à partir d'une longueur de fibre supérieure ou égale à 60Km le BER apparaît pour les deux techniques (AND et NAND) qui présentent presque des résultats identiques, contrairement à la technique directe qui a résisté jusqu'à 70Km, les différentes dégradations enregistrées sont la conséquence des effets linéaires et non linéaires interagissant avec le signal propagé sur des distances conséquentes.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

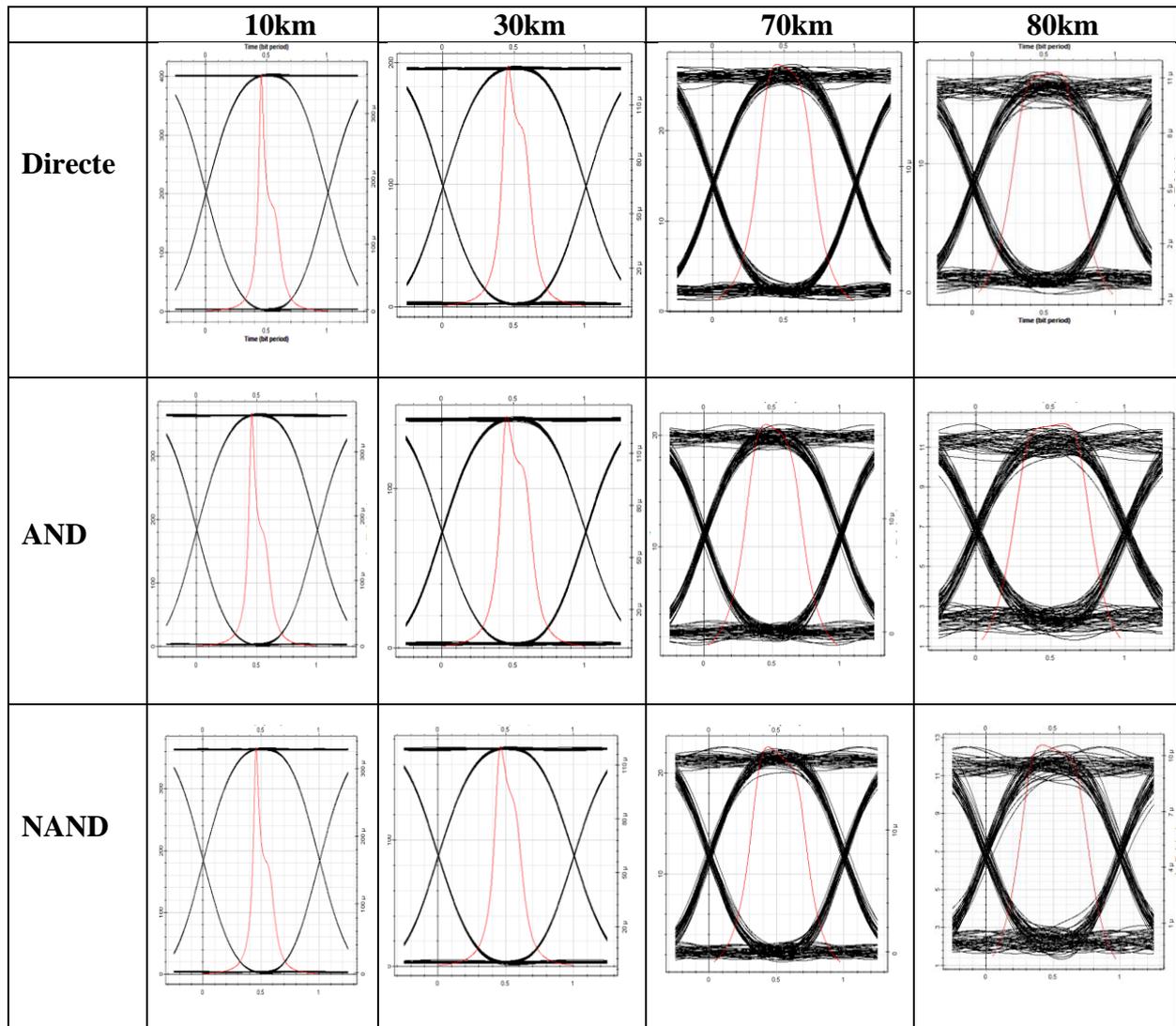


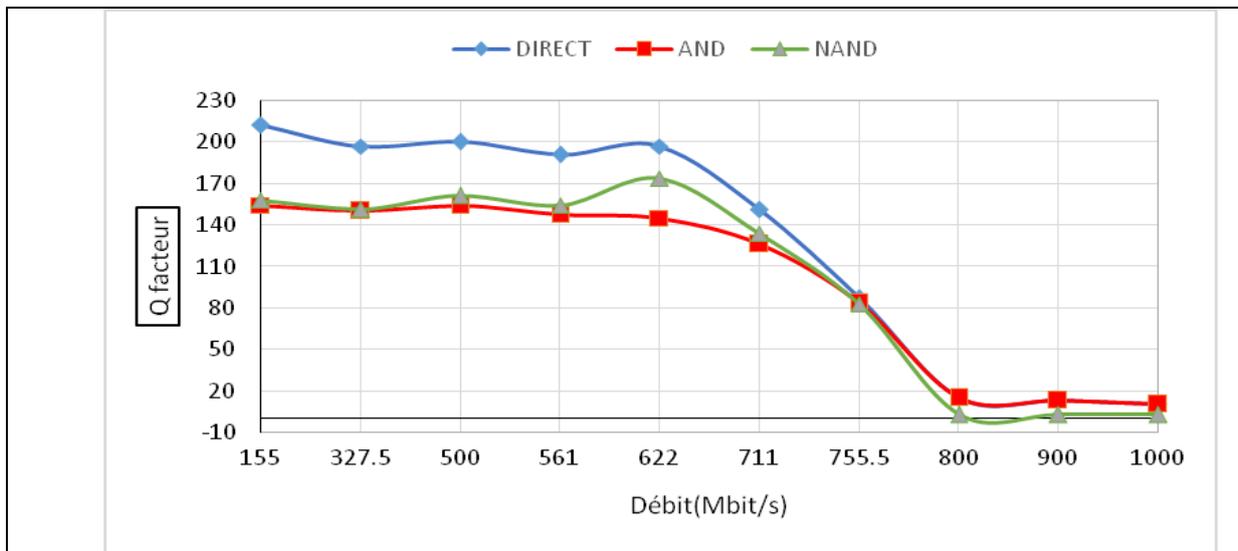
Figure 4.6: Diagramme de l'œil des techniques de détection en fonction de la distance.

La figure (4.6) Représente les diagrammes de l'œil des trois techniques de détection (directe, AND, NAND), afin de visualiser la représentation qualitatif du système selon les distances choisies. On remarque clairement lors de l'utilisation des distances inférieures à 50 Km, les trois techniques présentent un diagramme de l'œil ouvert et les bits transmis sont en parfaite superposition, ce qui n'est pas le cas lors d'utilisation des distances supérieur à 60Km, où le diagramme de l'œil s'est déformé à cause de dégradation de la qualité du signal transmis.

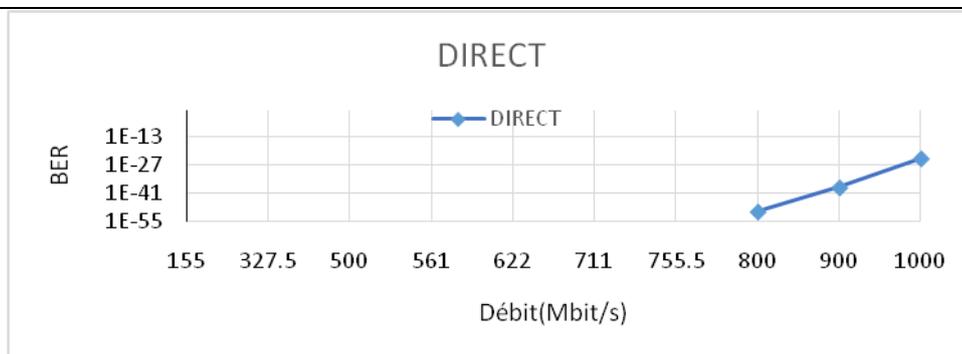
## Chapitre 4 : Simulations et résultats

### 5.2. La variation du débit

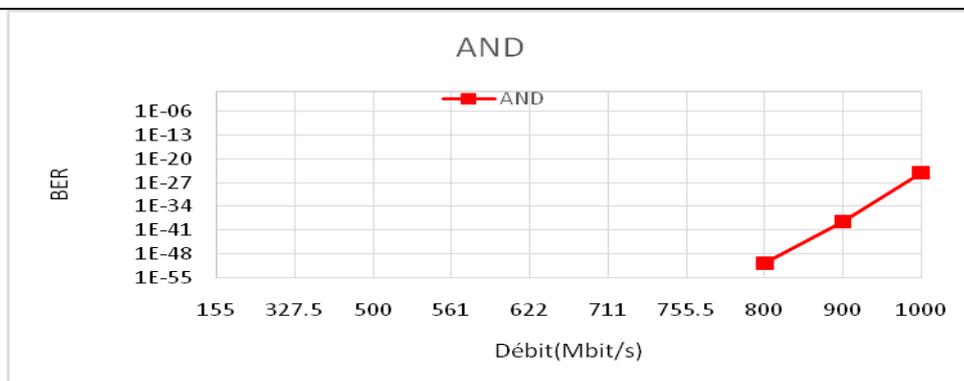
Dans cette partie, on va étudier l'effet de la variation du débit de 155Mbits/s jusqu'à 1Gbits/s sur les performances du système, en fixant la distance à 30Km et la puissance à 0dBm. Les résultats obtenus sont en fonction du BER, Q facteur et le diagramme de l'œil.



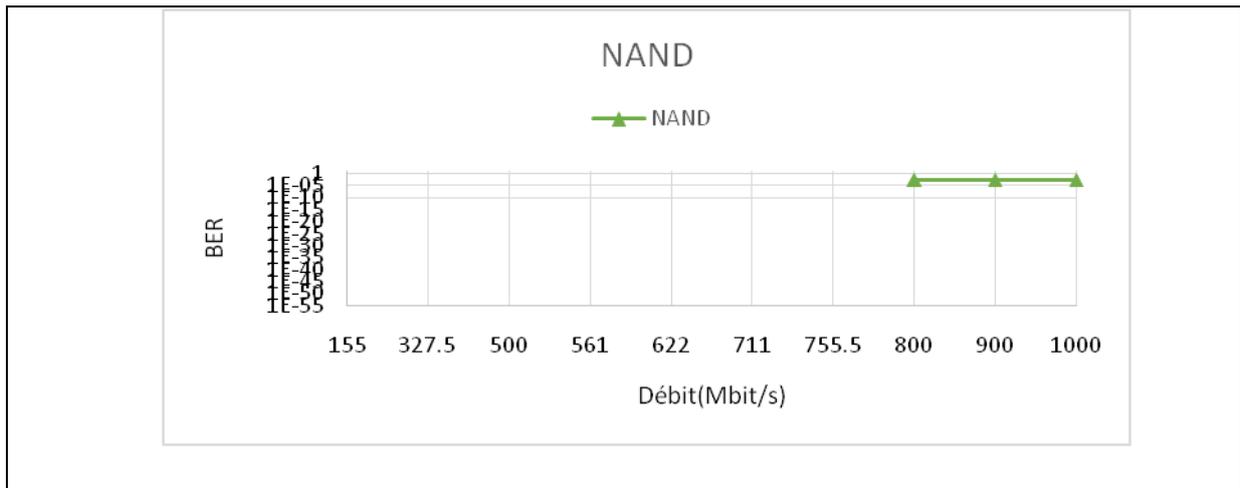
(a) : le Q facteur



(b) : le BER



## Chapitre 4 : Simulations et résultats

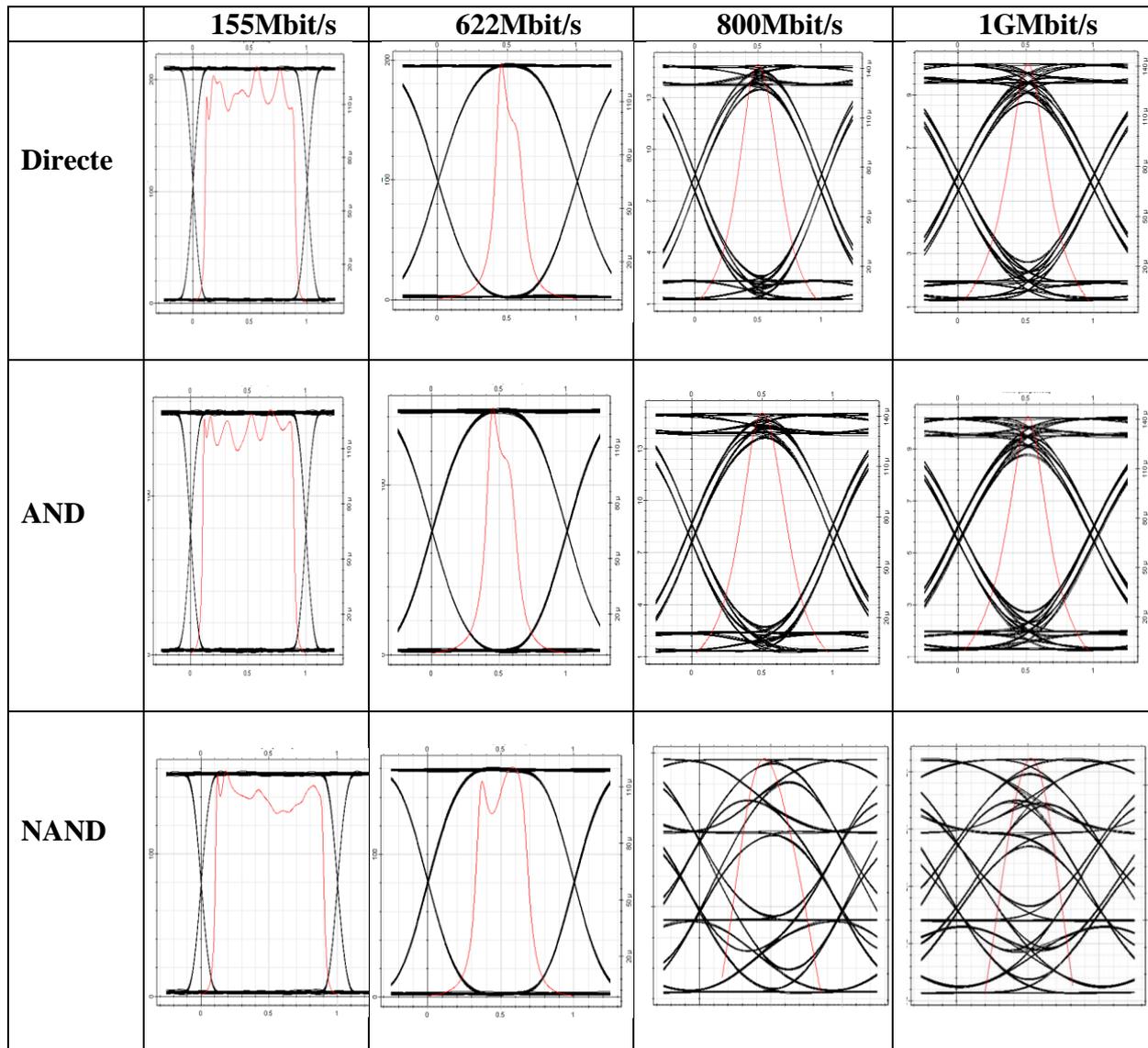


**Figure 4.7:** Q facteur et BER en fonction du débit pour les trois détections.

La figure ci-dessus montre l'effet de l'augmentation du débit sur la résistance des techniques de décision (directe, AND et NAND) du système en terme de Q facteur et BER, chaque technique présente des différentes performances, telles que pour les débits inférieurs ou égaux à 755Mbps le Q facteur enregistré est supérieur à 100 et le BER, ce qui indique que le débit à ce niveau n'influe pas sur la qualité du signal transmit.

Au-delà de ce débit on remarque l'apparition du BER et une forte dégradation de Q facteur, jusqu'à 800Mbits/s ou ce dernier reprend sa stabilité mais à une valeur moindre.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats



**Figure 4.8:** diagramme de l'œil en fonction du débit pour (0dBm, 30km).

Les différents diagrammes de l'œil représentés dans la figure (4.8) montrent la qualité des signaux récupérés à la réception avec les trois techniques de décision étudiées dans le chapitre trois. D'après la même figure on constate que les diagrammes de l'œil illustrés sont plus ouverts au débit inférieur ou égal à 622Mbps mais ils subissent une fermeture au-delà de ce débit donc la qualité des signaux récupérés est dégradée. Les différentes dégradations enregistrées sont causées par l'interférence inter-symbole entraînée par l'augmentation des débits qui nécessite de prendre ce paramètre en considération afin d'améliorer les performances des techniques de décision.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

### 5.3. La variation de la puissance

La puissance joue un rôle très important dans les systèmes de télécommunication, pour cela nous allons baser sur ce paramètre afin d'obtenir des meilleurs résultats pour les trois techniques de décision (directe, AND, NAND).

On va étudier l'effet de la variation de la puissance de 0dBm jusqu'à -18dBm sur les performances du système, en fixant la distance à 30 Km et le débit à 622Mbps. Les résultats obtenus sont en fonction du BER, Q facteur et le diagramme de l'œil.

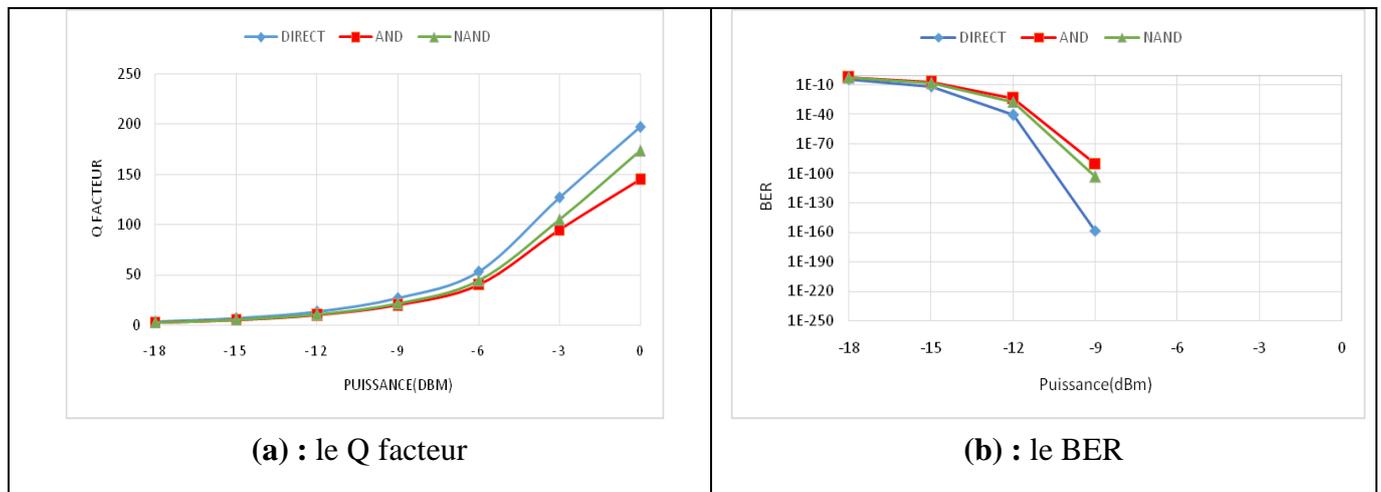
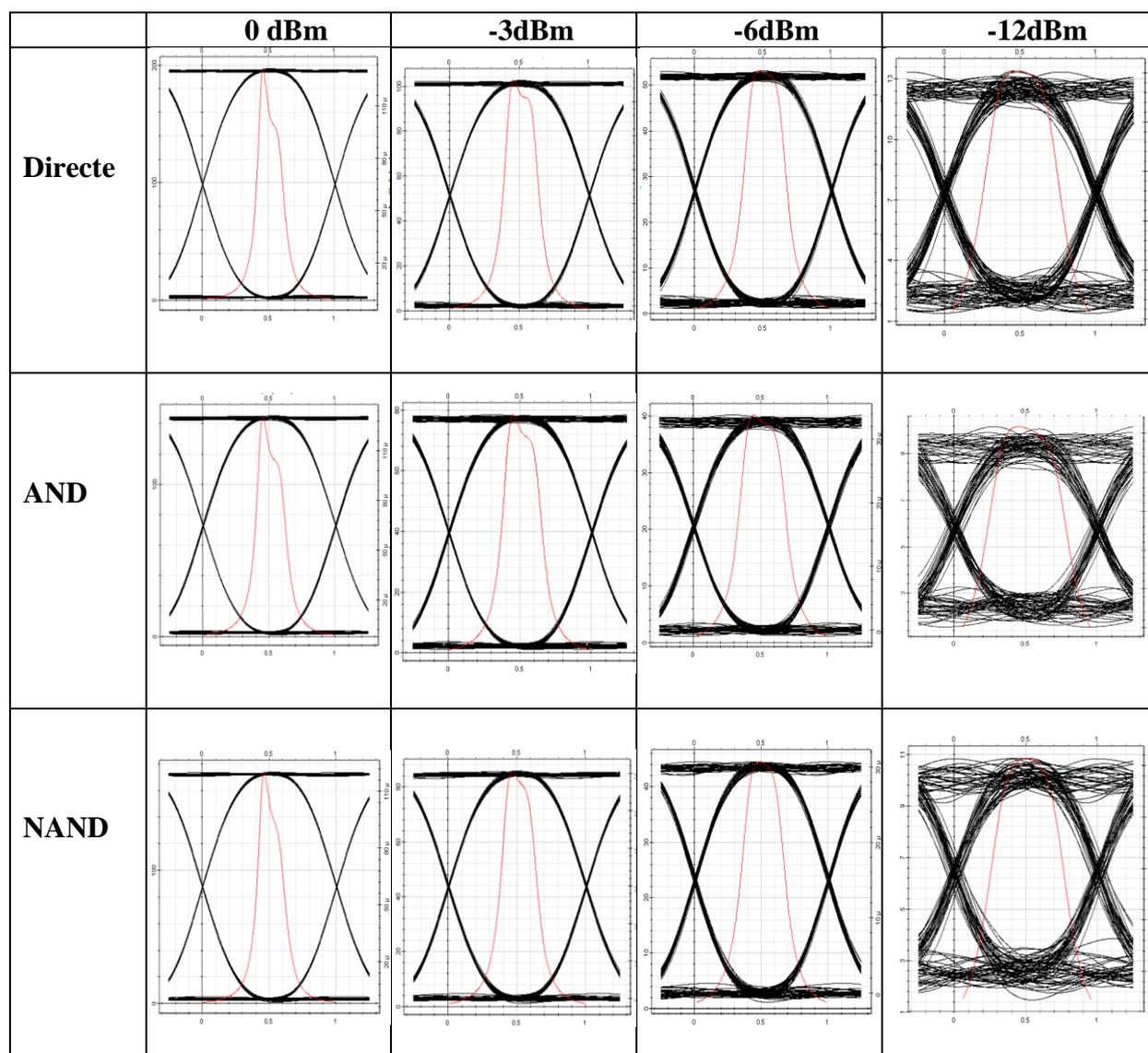


Figure 4.9: Q facteur et BER en fonction de la puissance pour les trois détections.

Dans cette partie nous avons varié la puissance de la source optique, pour évaluer son influence sur le facteur de qualité(Q) et le BER pour les trois techniques de détection (AND, NAND, directe), nous remarquons sur les courbes de la figure (4.9) que le BER des trois détections est inversement proportionnel à la puissance optique, surtout pour la technique directe qui marque une grande décroissance par rapport aux deux autres techniques qui réfléchissent des résultats presque similaires, dont les deux courbes sont presque superposées, l'allure des courbes obtenues montrent que les valeurs idéales des puissances optiques sont supérieures à (-9 dBm), cependant on remarque que le facteur Q pour les trois techniques est presque identique dans l'intervalle de -18 à -6, puis il commence à augmenter pour atteindre une valeur maximale 197,126 pour la technique directe qui est la plus performante et 145.125 et 173.834 pour AND et NAND respectivement. Les valeurs non désirées sont justifiées par les bruits et les interférences MAI dans la source optique.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats



**Figure 4.10:** diagramme de l'œil en fonction de la puissance pour (622Mbit/s, 30km).

La figure (4.10) prouve les résultats quantitatifs précédents des trois techniques, on remarque que plus la puissance augmente plus le diagramme est ouvert et la qualité du signal agrandit ceci se traduit par la diminution des effets des bruits et les MAI.

### 6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié par simulation le comportement du système de codage d'amplitude spectral d'OCDMA utilisant un code MS de 2 utilisateurs avec les trois techniques de détection (AND, NAND, directe) qu'on a traité dans le chapitre 3, en se basant sur les réseaux de Bragg comme décodeurs pour le signal optique incohérent, en tenant compte des bruits qui provoquent la diminution des performances du système.

## Chapitre 4 : Simulations et résultats

---

Les résultats tirés de cette simulation démontrent l'intérêt de l'utilisation de la détection directe qui donne une meilleure qualité du signal à la réception, prouvé sur le facteur Q et le BER par analyse quantitative et sur le diagramme de l'œil par analyse qualitative.

### Conclusion générale

Vu la nécessité et l'augmentation des besoins d'utilisateurs pour transmettre les données avec un grand débit et plus de sécurité, il existe plusieurs techniques d'accès pour répondre à ces besoins, telle que la technique d'étalement de spectre qui est le CDMA optique. Elle représente la solution possible pour ces besoins, néanmoins une dégradation des performances du système ainsi que la non-récupération des données à la réception peuvent être causées par des facteurs tels que les interférences d'accès multiple (MAI) et les bruits. Pour améliorer cette technique d'accès, plusieurs recherches ont été faites dans l'objectif est de la rendre plus performante.

Parmi ces recherches, plusieurs techniques ont été introduites, telle que l'encodage spectrale d'amplitude (SAC : Spectral Amplitude Coded), qui est considéré comme une option appropriée pour répondre aux exigences des usagers tout en assurant une bonne qualité de service avec un faible coût.

L'objectif de notre travail est d'étudier les différentes techniques de détection pour le SAC-OCDMA à savoir la technique directe, AND et NAND pour but de déterminer la bonne détection qui donne des meilleures performances et qui élimine les interférences d'accès multiple (MAI), avec évaluation de ses performances dans la liaison optique, en utilisant le code multi-service (MS) qui présente l'avantage de générer des mots-codes d'une manière souple en définissant des codes de base variables avec un poids de code fixe. Il est appelé code multiservice en raison de sa flexibilité dans la production de différents ensembles de mots-codes adaptés aux applications multiservices.

Pour évaluer les performances de ce système avec les trois techniques de détection réalisées par le logiciel OptiSysteme 7.0, on a pris en considération les trois critères à savoir le BER, le facteur Q et le diagramme de l'œil en variant la distance de la fibre, le débit binaire et la puissance de l'émetteur, et on suit l'influence de ces derniers sur la qualité du signal transmis. On a constaté qu'une dégradation des performances de la liaison résulte de l'augmentation de la longueur de la fibre et du débit binaire, celle-ci est due aux effets linéaires et non linéaires interagissant avec le signal propagé sur des distances conséquentes de la fibre amenant à la saturation de cette dernière, contrairement à la puissance de la source on a opté à l'idée de la diminuer afin de trouver une puissance convenable pour le code MS utilisé dans les trois détections.

## Conclusion générale

---

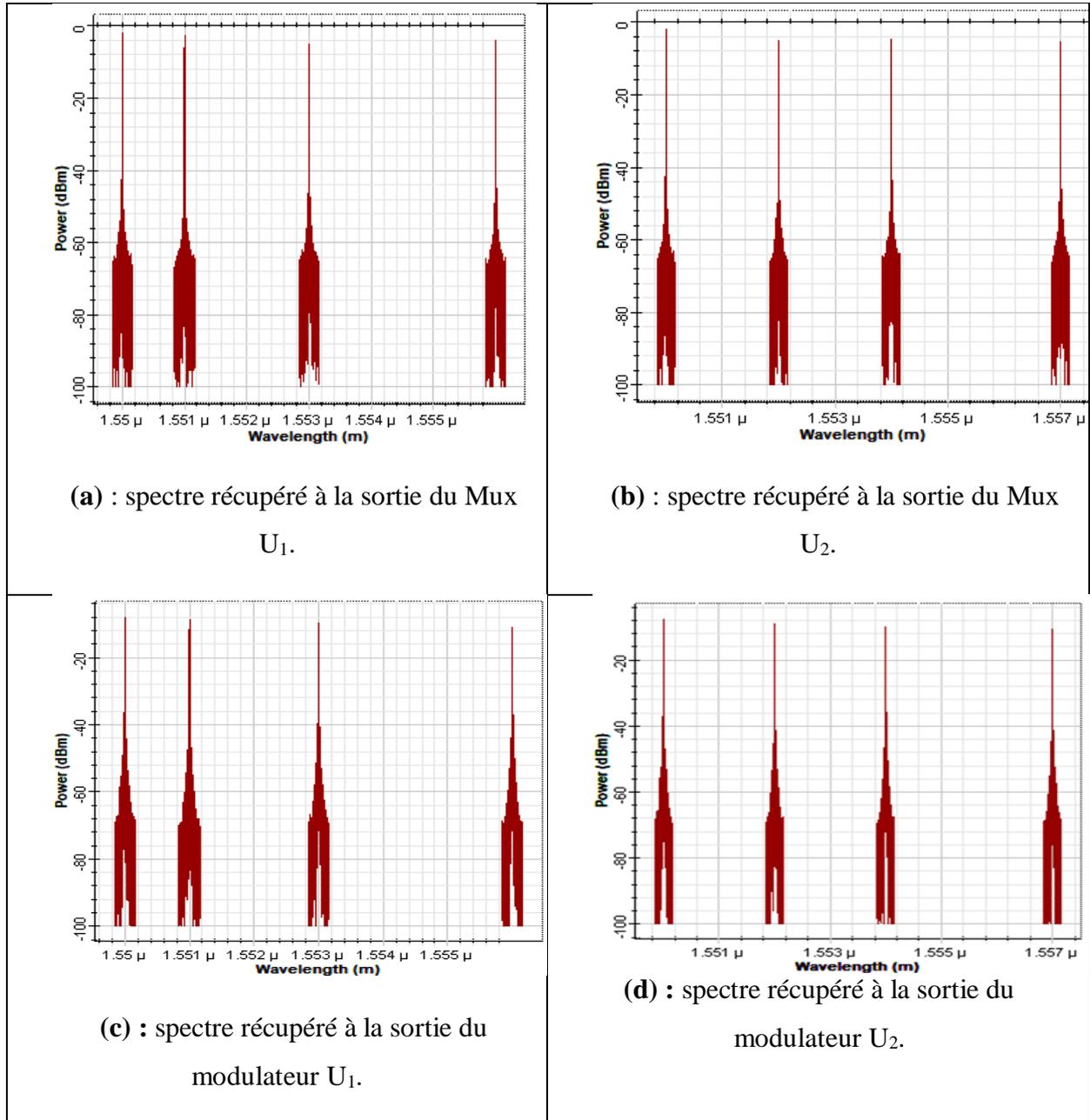
Les résultats obtenus indiquent clairement que la technique DIRECT de détection pour le SAC-OCDMA est la plus performante car elle offre une meilleure prestation en termes de BER, de facteur Q et de diagramme de l'œil.

Comme suite à ce travail, plusieurs perspectives peut être portées pour approfondir dans notre travail, tandis d'augmenter le nombre des utilisateurs et ainsi la longueur de la fibre avec une implémentation d'un amplificateur pour but d'améliorer la puissance des signaux à la réception.

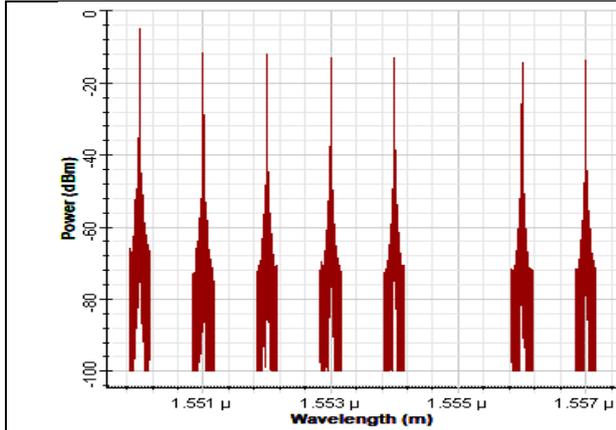
# Annexe A

## 1. Analyse fréquentielle

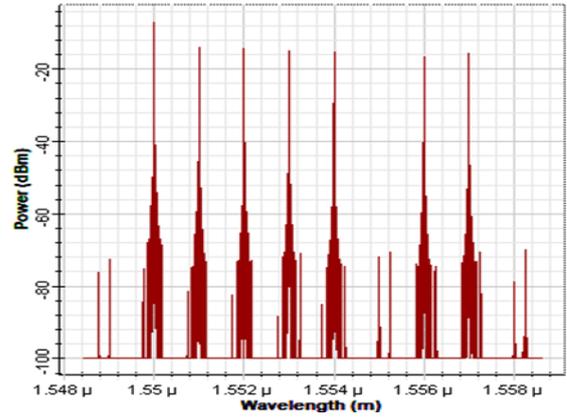
visualisation fréquentielle à la sortie des différentes composantes :



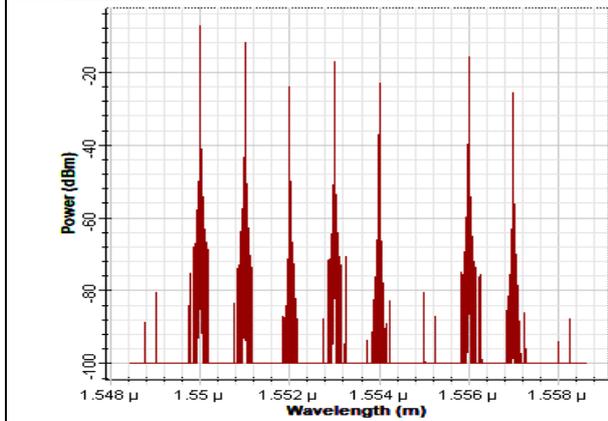
# Annexe A



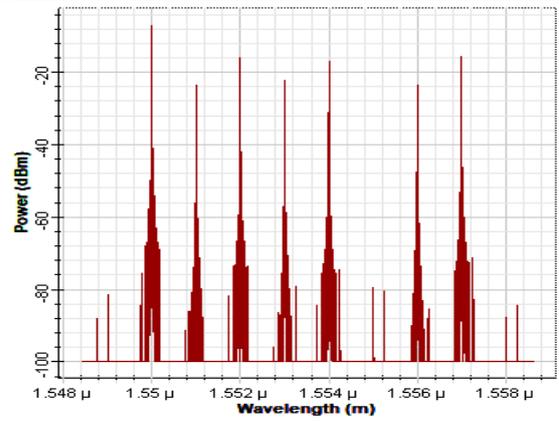
(e) : spectre récupéré à la sortie du combiner.



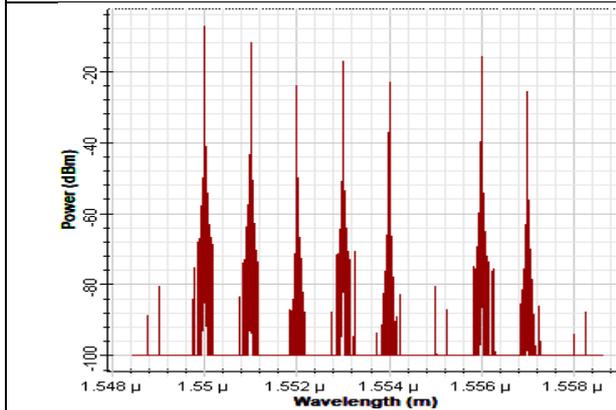
(f) : spectre récupéré à la sortie de la fibre



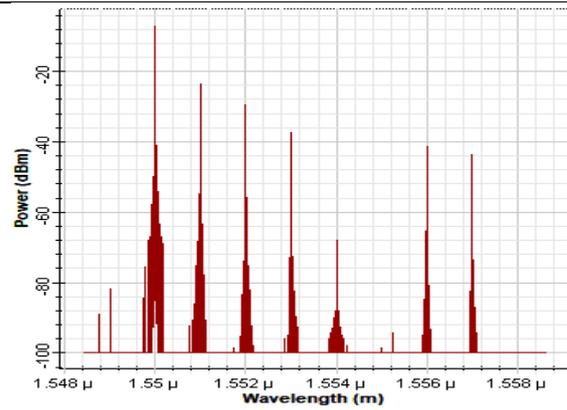
(g) : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection directe  $U_1$ .



(h) : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection directe  $U_2$ .

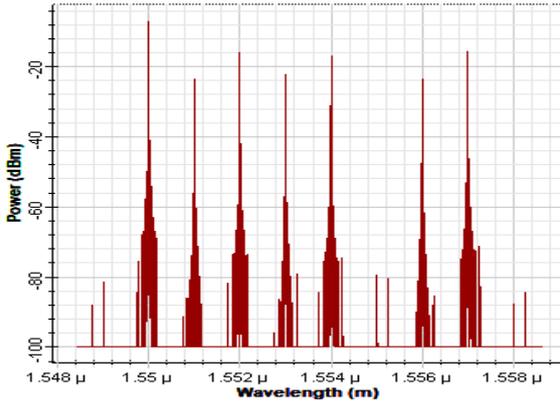


(i) : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection AND dans le bras supérieur  $U_1$ .

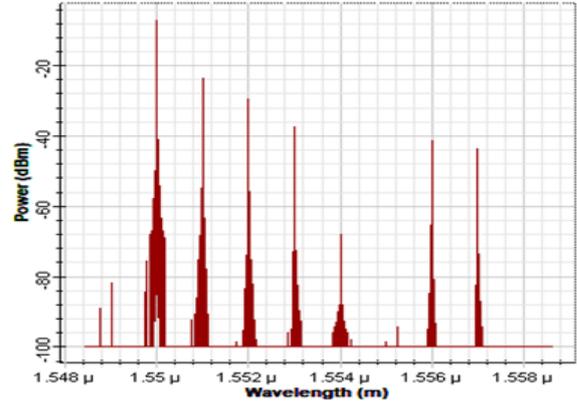


(j) : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection AND dans le bras inférieur  $U_1$ .

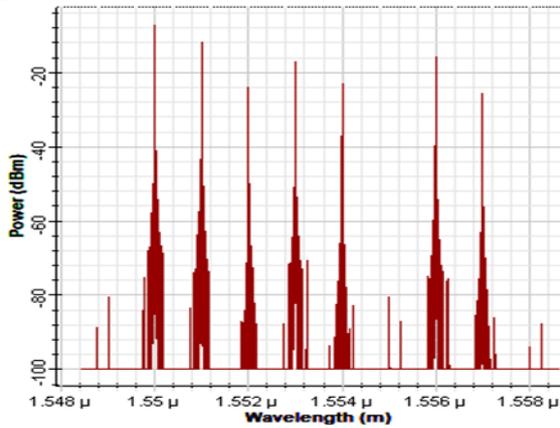
# Annexe A



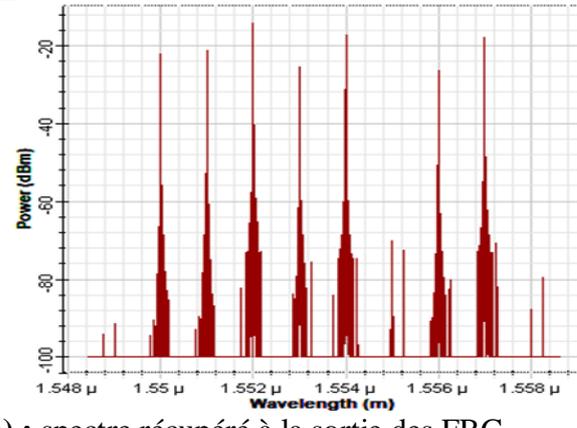
**(k)** : spectre récupéré a la sortie des FBG dans la détection AND dans le bras supérieur  $U_2$ .



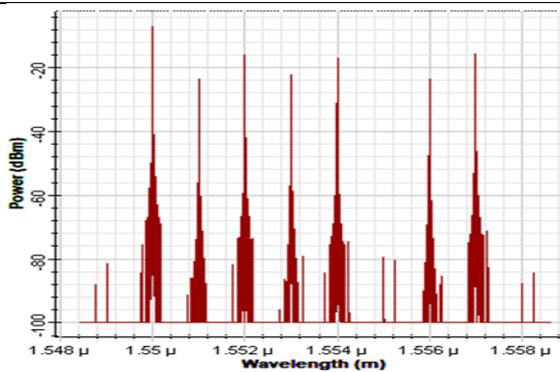
**(l)** : spectre récupéré a la sortie des FBG dans la détection AND dans le bras inférieur  $U_2$ .



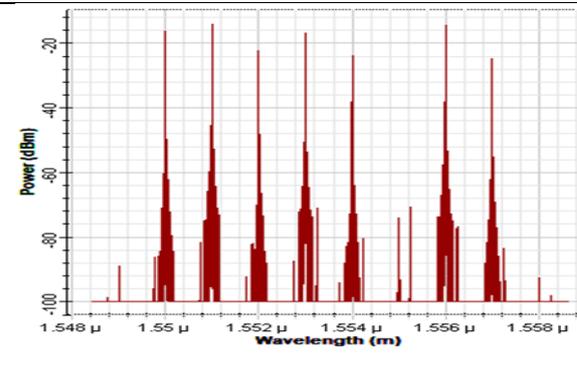
**(m)** : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection NAND dans le bras supérieur  $U_1$ .



**(n)** : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection NAND dans le bras inférieur  $U_1$ .



**(o)** : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection NAND Dans le bras supérieur  $U_2$



**(p)** : spectre récupéré à la sortie des FBG dans la détection NAND dans le bras inférieur  $U_2$ .

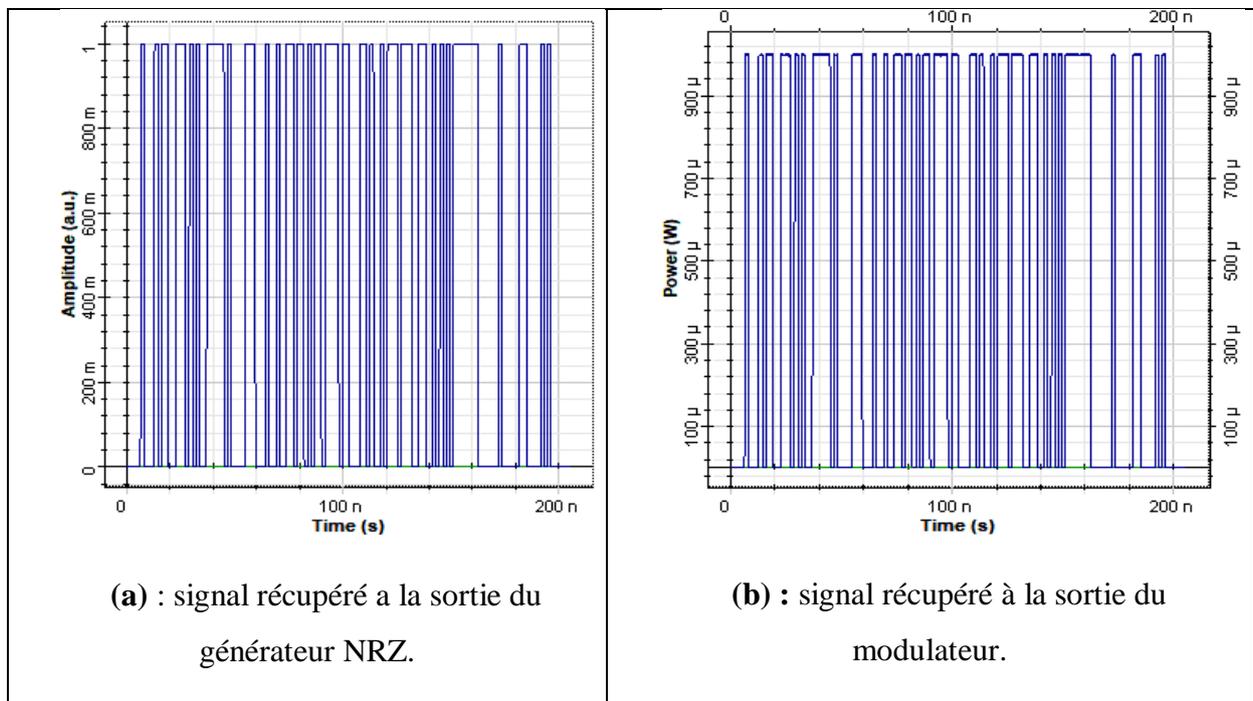
# Annexe A

**Figure4.5:** Analyse spectrale de la chaine de transmission.

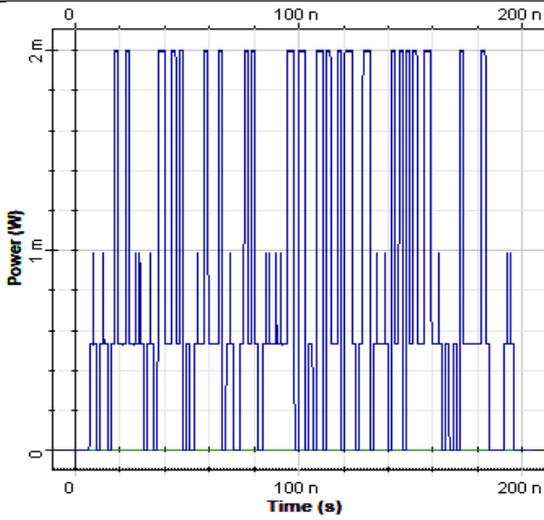
D'après le spectre (a) et (b) de la figure (4.5) qu'on a récupéré à la sortie des multiplexeurs de chaque utilisateur, on remarque qu'ils sélectionnent les longueurs d'onde destinées à chaque usagé avec une puissance prés définie, cette dernière diminue lors de sa propagation dans la chaine simulée et cela revient aux pertes liées au différents composants utilisés. De plus, on remarque que les spectres des deux utilisateurs sont regroupés via le power combiner indiqué sur la figure4. (e), après leurs modulation par le code de chaque utilisateur. A la sortie de la fibre, on observe que les signaux sont distordus à cause des phénomènes linéaires et non linéaires rencontrés au cours de leur propagation, mais grâce aux techniques de détection utilisées basées sur les fibres de Bragg, la récupération du spectre de chaque utilisateur est représenté selon les méthodes développées au chapitre trois.

## 2. Analyse temporelle

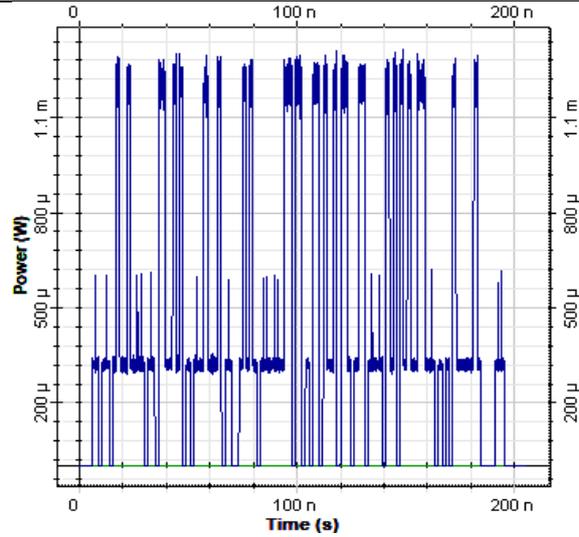
visualisation temporelle à la sortie des différentes composantes :



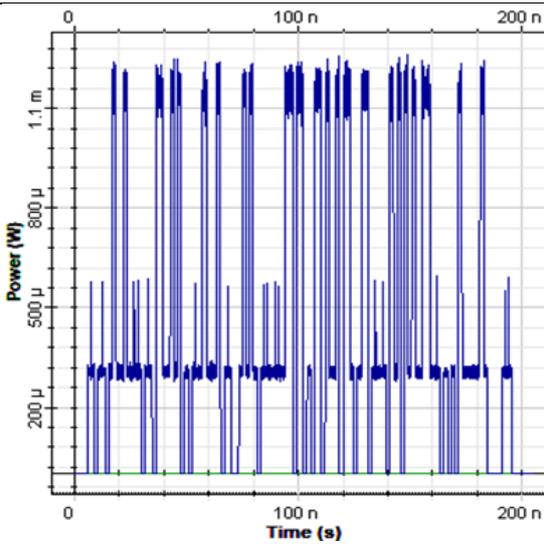
# Annexe A



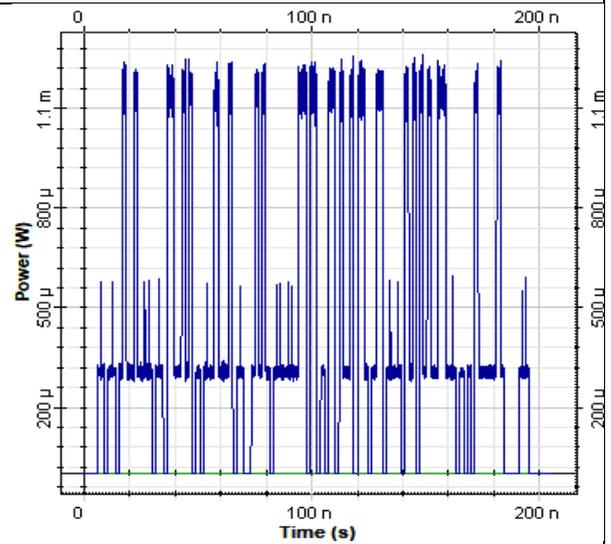
(c) : signal récupéré à la sortie du combiner dans le bras inférieur de la détection NAND.



(d) : signal récupéré a la sortie d'une fibre optique dans la détection directe.

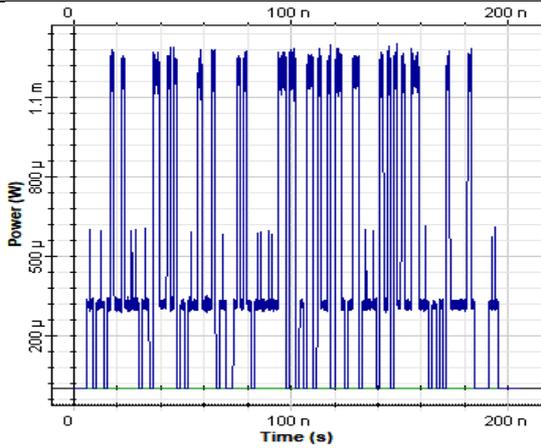


(e) : signal récupéré a la sortie des FBG dans la détection directe.

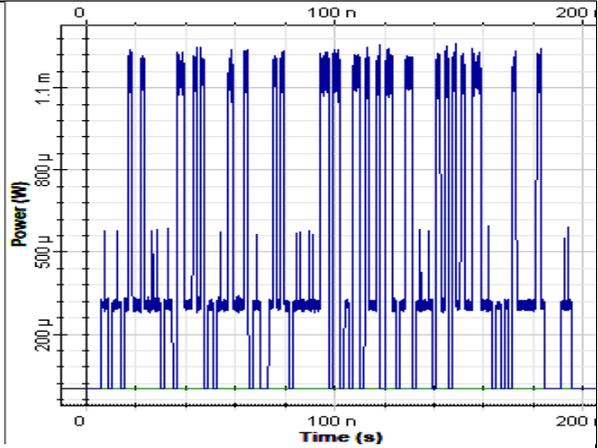


(f) : signal récupéré à la sortie des FBG bras supérieur dans la détection AND.

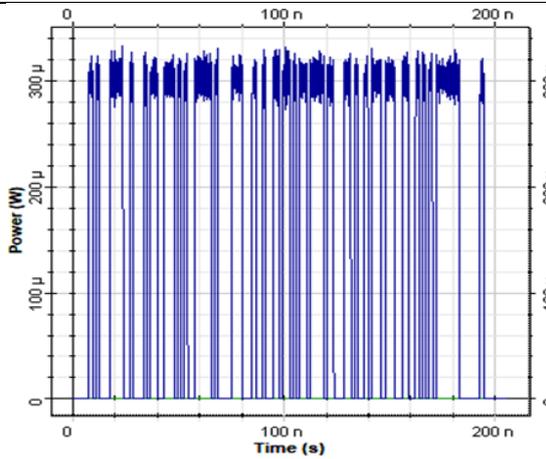
# Annexe A



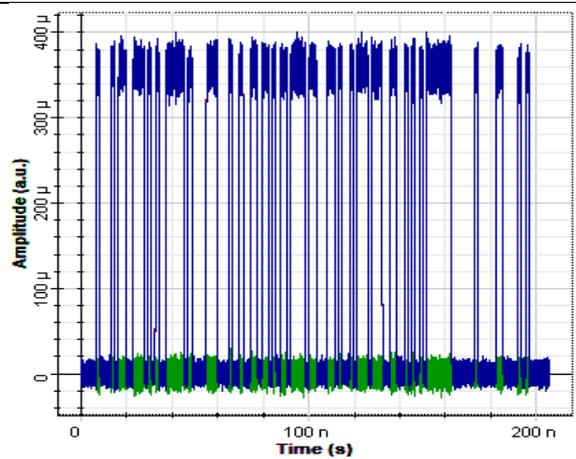
**(g)** : signal récupéré a la sortie des FBG bras inferieur dans la détection AND.



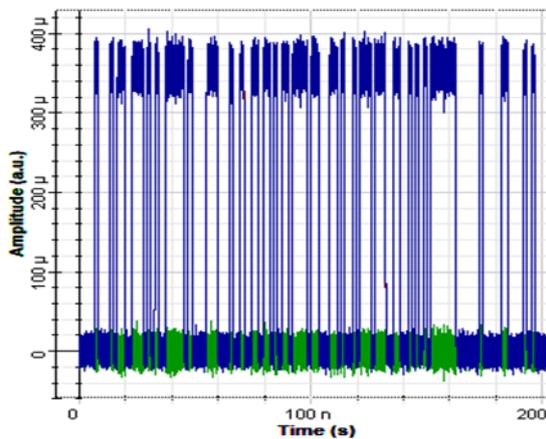
**(h)** : signal récupéré a la sortie des FBG dans le bras supérieur dans la détection NAND.



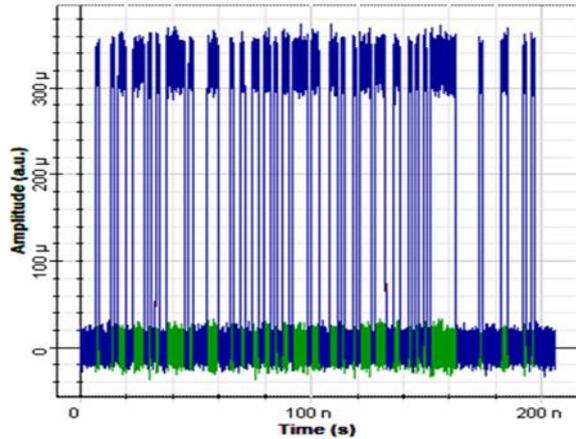
**(i)** : signal récupéré a la sortie des FBG



**(j)** : signal récupéré à la sortie de la PIN

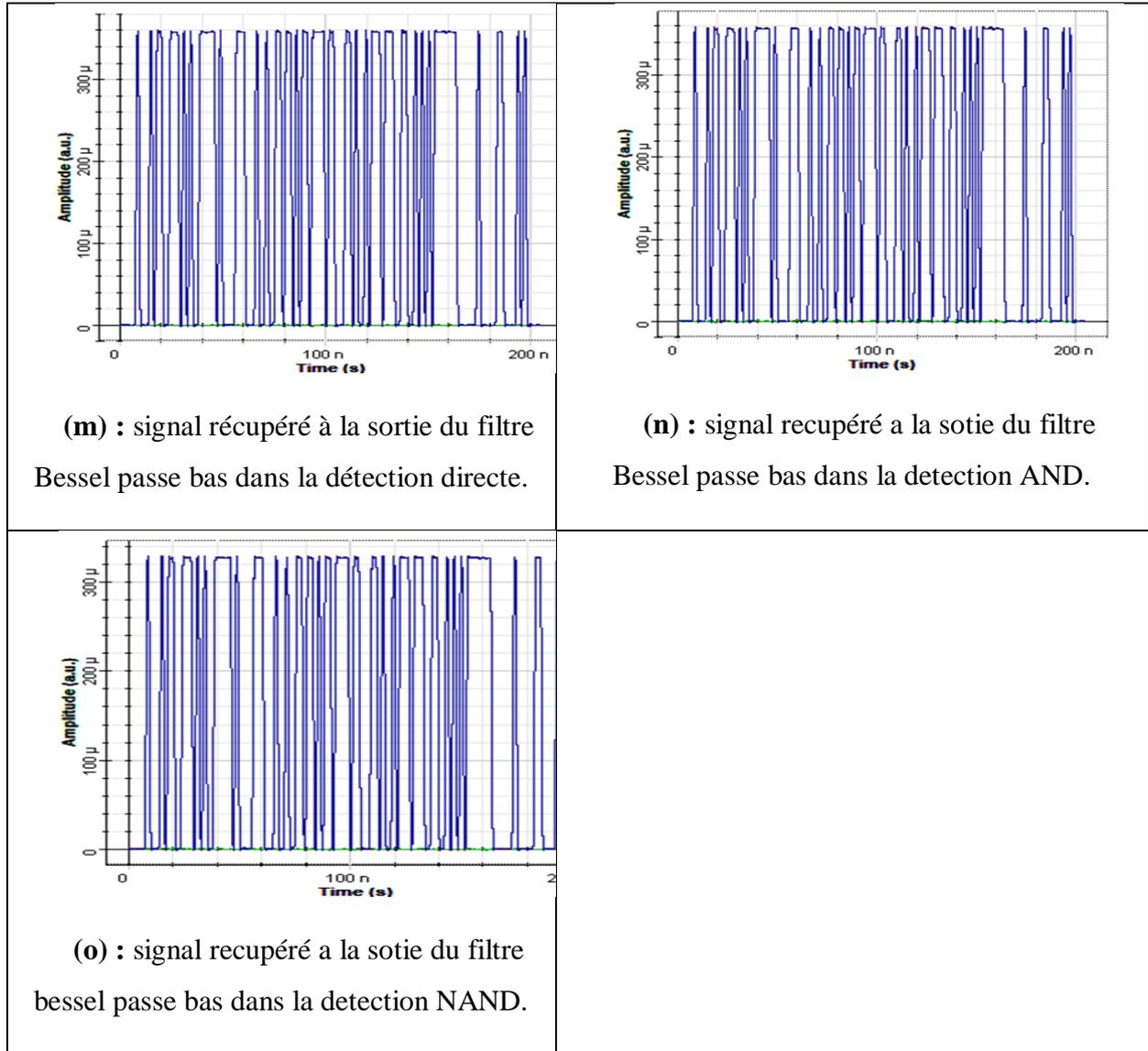


**(k)** : signal récupéré a la sortie de la PIN dans la détection AND.



**(l)**: signal récupéré à la sortie de la photodiode PIN dans la détection NAND.

## Annexe A



**Figure 4.6:** Analyse temporelle de la chaîne de transmission.

D'après la figure (4.6 (a) et (b)) montre le signal électrique des données correspond au premier utilisateur récupéré à la sortie du générateur NRZ ainsi le signal optique à la sortie du modulateur, on note que ce signal suit attentivement le signal précédent avec une légère diminution dûe aux pertes du modulateur. A la sortie du combiner le signal optique (c) récupéré est totalement changé à cause des impulsions rassemblées des deux utilisateurs après leurs modulation avec le code utilisé (MS).

A la sortie de la fibre et aux fibres de Bragg illustrés dans la figure (4.4 (d) à (i)) on aperçut que le signal sortant a subit des fluctuations à cause des effets linéaires et non linéaires

## **Annexe A**

---

rencontrés au cours de sa propagation, à la sortie de la photodiode PIN, le signal du premier utilisateur est récupéré par un réseau de fibre de Bragg en se basant sur une configuration adaptée à la technique de détection souhaitée, d'une manière à éliminer les bruits accompagnés lors de sa propagation. A la figure (4. De (m) à (o)) le signal du premier utilisateur est bien récupéré avec une atténuation de puissance

### Références bibliographiques

[1] Victor Girondin, thèse de doctorat « Étude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe », l'université Pierre et Marie Curie, 2016.

[2] BENZERDJEB. C et SELKA.S, mémoire fin d'étude « encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA », Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013.

[3] LOUAZANI.M et MEDDANE.S, mémoire fin d'étude (étude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'onde), université de Tlemcen, 2017.

[4] FSAIFES.I, thèse de doctorat « Encodage et Décodage Temporels "Tout Optique" à Réseaux de Bragg pour l'Accès Multiple », École Doctorale d'Informatique Télécommunications et Électronique de Paris, 2007.

[5] AWWAD.E, thèse de doctorat « Emerging Space-Time Coding Techniques for Optical Fiber Transmission Systems (Techniques Émergentes de Codage Espace-Temps pour les Systèmes de Communications Optiques) », TELECOM Paris Tech, 2015.

[6] AMARI.C, mémoire de fin d'étude « optimisation des paramètres d'une liaison optique », Université de Bejaia, 2013.

[7] GRAINI.L, thèse de doctorat « application des similarités dans les systèmes de télécommunications par fibre optique à très haut débit », Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.

[8] CHERBI.L, thèse de doctorat « propagation et caractérisation des fibres optiques », Ecole Nationale Polytechnique, 2007.

[9] REDJDAL.K, mémoire fin d'étude « étude d'une chaîne de télécommunication optique », Université de Bejaia, 2013.

## Références bibliographique

---

- [10] MORELLE.M, thèse de doctorat «codage en 2 dimensions pour les systèmes de communications optique CDMA(OCDMA) application aux transmissions multimédia », université de Limoges, 2008.
- [11] KANDOUCCI.C, thèse de doctorat « contribution à l'étude des codes optiques 2D : Application au CDMA optique », université Djilal-Liabes Sidi Bel-Abbès, 2017.
- [12] BOUDAOUDE.R, mémoire fin d'étude « contribution à l'étude des performances et limitations d'une liaison CDMA optique haut débit », université ABOUBAKR BELKAID Tlemcen, 2010.
- [13] DRIZ.S, thèse de doctorat « Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », Université DJILLALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes, 2018.
- [14] HEYFA.A et BEN AOUMEUR.M, mémoire fin d'étude « etude et simulation du système SAC-OCDMA utilisant la technique SPD », université Moulay Taher Saida, 2018.
- [15] AYOUTTE.S, thèse de doctorat « « systèmes optiques a accès multiple par répartition de codes : étude des performances et de l'impact du bruit d'intensité », Université de laval Québec, 2007.
- [16] ARBI.H et BOUAMOUD.M, mémoire fin d'étude « Codage ZCC en 3dimensions pour les systèmes de communication optique SAC-OCDMA », université Taher Moulay-Saida, 2017.
- [17] GHALEM.R et HAFSI.K, mémoire fin d'étude « analyse du système de transmission radio mobile MC-DC-CDMA, 2016.
- [18] BOUREGAA.M, thèse doctorat « étude et caractérisation de composants tout optique pour l'accès multiple », 2015.
- [19] CHIRIFI.A, thèse de doctorat « Analyse et evaluation des performances de la modulation multi porteuses dans la transmission d'information », université Abdelhaid Ibn Badis de Mostganem, 2017.
- [20] DJEFFAL.N, thèse de doctorat « marches quantiques généralisées pour l'algorithmique quantique appliquées à un routeur optique du type WDM », université Frère Mentouri Constantine, 2016.
- [21] CORDETTE.S, thèse de doctorat « contium de fréquences optiques pour application OCDMA », université Telecom Paris Tech, 2010.

## Références bibliographique

---

- [22] ZOUINE.Y, thèse de doctorat « contribution par la simulation système a l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », université de limoges, 2005.
- [23] LARBI N, thèse de doctorat « détection multiutilisateurs dans le contexte de communication mobile : exploitation de la combinaison OFDM/CDMA », université des sciences et de technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2015.
- [24] Leslie.A.Rusch (Recherche en CDMA optique (Code Division Multiple Access), université Laval Québec, pp 67.
- [25] ABDELHAMID.C, thèse de doctorat « Analyse Et Évaluation Des Performance De la Modulation Multi porteuses dans La Transmission d'information », Université Abdelhaid Ibn Badis de Mostaganem, 2016.
- [26] Chaabane Chaouche.H, mémoire fin d'étude « Calcule exact du SNR et BER pour les systèmes SAC-OCDMA », Université Dr Tahar Moulay – SAIDA, 2017.
- [27] DRIZ.S, thèse de doctorat «Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », Université DJILLALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes, 2018.
- [28] RABHI.S et ELYAHYA.A, mémoire fin d'étude « Encodage 3D pour les systèmes CDMA optique », université du Said, 2018.
- [29] MajidH.Kakae, Saleh.Seyedzadeh, Hilal.Adnan.Fadhil, Siti.Barirah.AhmadAnas et Makhfudzah.Mokhtar, « Optics&LaserTechnology », pp49–55, 2014.
- [30] Saleh Seyedzadeha, Farzad Pour Rahimiana, Ivan Gleska, Majid H. Kakaeb, «Variable Weight Multi-Service OCDMA Code for Optical Domain Prioritization», 2017.
- [31] HAYAS.K, mémoire fin d'étude « development of multiservice code family for spectral amplitude coding-optical code division multiple access systems», 2013.

## Résumé

Dans ce travail, on s'est intéressé à l'étude des différentes techniques de détection dans un système SAC-OCDMA.

Dans la première partie, nous avons décrits la liaison de transmission optique et les différentes techniques de multiplexage, ensuite on a consacré la deuxième partie à la technique utilisée dans les systèmes à accès multiple OCDMA (Optical Code Division Multiplexing Access).

Dans la troisième partie, on a étudié le système SAC-OCDMA avec les différentes techniques de détection (directe, soustraction AND et la soustraction complémentaire NAND) en utilisant le code MS (multi-service).

Dans la dernière partie, on a utilisé le logiciel OptiSystem pour simuler et optimiser les différentes techniques de détection avec le code MS pour analyser les performances du ce système. On constate que la technique directe est la meilleur en termes de BER, facteur Q et le diagramme de l'œil.

**Mots clés :** le système SAC-OCDMA, le code MS, la technique directe, la technique de soustraction AND, la technique de soustraction complémentaire NAND.

## Summary

In this work, we studied the different detection techniques in a SAC-OCDMA system.

In the first part, we described the optical transmission link and the various multiplexing techniques, then we devoted the second part to the technique used in Optical Code Division Multiplexing Access (OCDMA) multiple access systems.

In the third part, we studied the SAC-OCDMA system with the different detection techniques (direct, AND subtraction and NAND complementary subtraction) using the MS (multi-service) code.

In the last part, OptiSystem software was used to simulate and optimize the different detection techniques with MS code to analyze the performance of this system. It is found that the direct technique is the best in terms of BER, Q factor and the eye diagram.

**Key words:** SAC-OCDMA system, MS code, direct technique, AND subtraction technique, NAND complementary subtraction technique.