

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique**

**Université de Saïda Dr MOULAY Tahar**



**Faculté de Technologie  
Département d'Electronique**

**Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention de diplôme de master en télécommunication  
Spécialité : Système des Télécommunications**

**Thème :**

---

**Code d'étalement adaptés pour  
les systèmes optiques**

---

Présenté par :

FLITI Badra  
Addadi Rofeida

Soutenu le 25 juin 2019

Devant le jury composé de :

A. GARADI	Maitre de Conférence Class A	Président
N. CHAMI	Maitre Assistant Class A	Examineur
A. BOUARFA	Maitre de Conférence Class B	Encadreur

**Année universitaire 2019\_2020**



*Dédicace*

*Merci Allah de m'avoir donné (a capacité décrire et de réfléchir, la Force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et Ce Bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum "*

*Je dédie ce travail à :*

*A mes très chers parents, Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance jusqu'à ce jour.*

*A Ma soeur, mes chers frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.  
A tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des meilleurs moments et gardé de très bons souvenirs.*

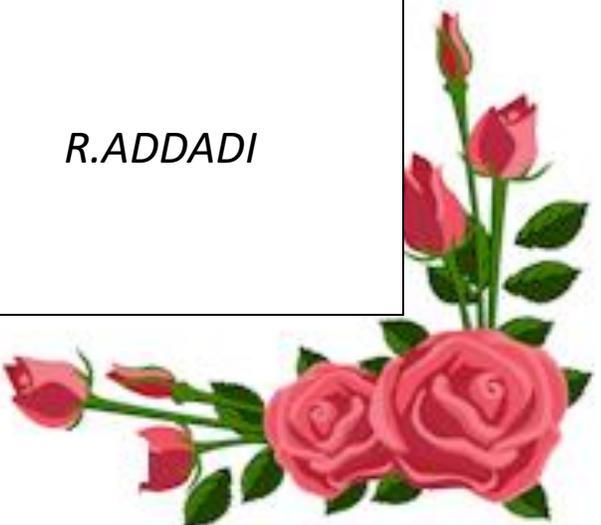
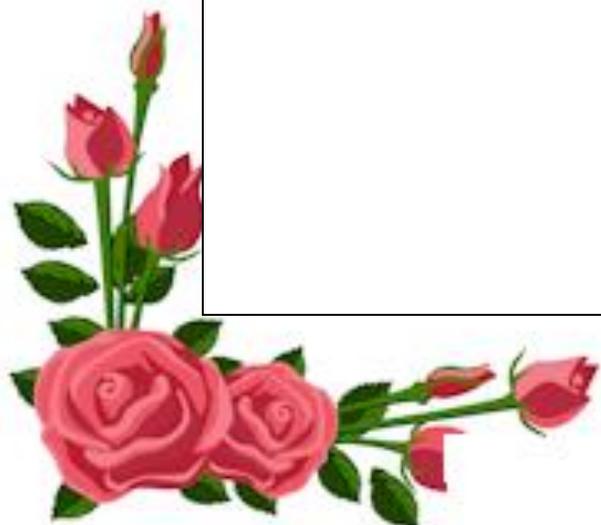
*Aux petits poussins : ARIDJE , FARAH , ASSIL ,  
BASMA.*

*A Toute ma famille ADDADI*

*A Toute personne que j'ai aimée*

*A ma binôme FLITI BADRA et sa famille.*

*R.ADDADI*





*Dédicace*

*A l'aide du dieu et grâce a la prière de ma mère. Je dédie  
cet événement marquant de ma vie à mon père  
'AllahYerhmo' décédé avec lequel je n'aurais pas le  
plaisir de partager  
cet événement mais qui est et qui restera a jamais dans  
mon cœur.*

*J'ai pu terminer ce modeste travail Je dédie ce mémoire  
: a ma cher trésor ma mère.*

*A mes chères soeurs et ma famille*

*A l'exemple de l'amitié et fidélité :IKRAM et sa famille.*

*A ma binôme Addadi Rofeida.*

*Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de  
réussite et de*

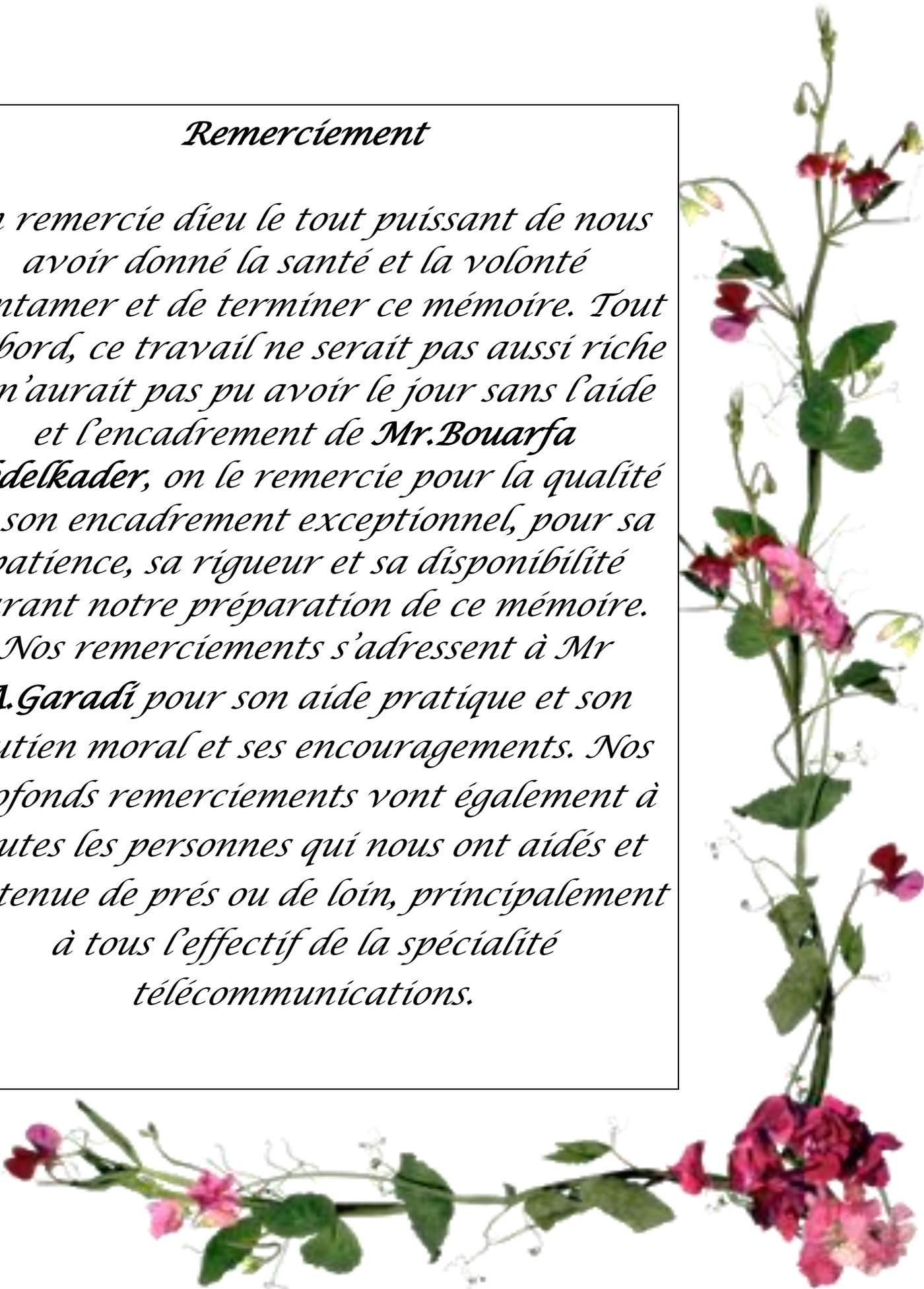
*sérénité, je vous exprime à travers ce travail mes  
sentiments de fraternité et d'amour*

**B.FLITI**



## *Remerciement*

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr. Bouarfa Abdelkader**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Nos remerciements s'adressent à **Mr A. Garadi** pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements. Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin, principalement à tous l'effectif de la spécialité télécommunications.*



## Tables des matières

Dédicace	
Remerciement	
Liste des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

### *Chapitre I : Généralités*

I-1/ Introduction.....	4
I-2-Présentation d'une chaîne de transmission optique.....	4
I-3- La partie d'émission :.....	4
I-3-1- Les sources optiques : .....	5
I-3-1-1-La diode électroluminescente LED.....	5
I-3-1-2-La diode LASER .....	6
I-3-2- La modulation.....	7
I-3-2-1-La modulation directe .....	7
I-3-2-2-La modulation externe.....	8
I-3-3- Les coupleurs optiques :.....	8
I-4- la fibre optique.....	9
I-4-1-Description .....	9
I-4-2- Les différents types de fibres optiques.....	9
I-4-2-1-Les fibres multi-modes.....	10
I-4-2-2-Les fibres monomodes.....	10
I-4-3- Les effets linéaires et non linéaires de la fibre optique .....	11
I-4-4 -Avantage et inconvénients des fibres optiques.....	12
I-4-4-1-Les avantages de la fibre optique.....	12
I-4-4-2-Les inconvénients de la fibre optique.....	12
I-5-Récepteur optique .....	13
I-5-1- Le photo-détecteur :.....	13
I-5-1-1-La photodiode PIN .....	13
I-5-1-2-La photodiode à avalanche .....	14

# Tables des matières

I-5-2-Le filtre .....	14
I-5-3-Le circuit de décision.....	15
I-6-Les techniques d'accès multiple.....	15
I-6-1- Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) .....	15
I-6-2- Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA) .....	16
I-6-3- Accès multiple par répartition en longueur d'onde.....	16
I-6-4- Accès multiple par répartition de Code (CDMA) .....	17
I-7-Conclusion.....	18

## Chapitre II : SAC-OCDMA

II-1-Introduction.....	19
II-2- CDMA pour les transmissions optiques.....	19
II-3- Les différentes techniques de l'OCDMA.....	19
II-3-1- Cohérent-incohérent .....	20
II-3-2-Modulation directe-saut de fréquence-saut de temps.....	20
II-3-3- Temporel – spectral .....	20
II-3-4- Unidimensionnel – multidimensionnels.....	21
II-4-Les catégories d'OCDMA.....	21
II-4-1- Les méthodes d'encodage temporel.....	21
II-4-2- Les méthodes d'encodage spectral.....	21
II-5- Définition du SAC-OCDMA .....	21
II-6-Les méthodes d'encodage dans les systèmes SAC-OCDMA.....	22
II-6-1 Encodage avec masque d'amplitude.....	22
II-6-2 Encodage avec l'utilisation d'AWG.....	23
II-6-3-Utilisation de réseaux de Bragg .....	24
II-6-4-Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques .....	24
II-7-Décodage en SAC-OCDMA.....	25
II-7-1- Détection balancée par la méthode complémentaire .....	25
II-7-2-Méthode de détection spectrale directe.....	26
II-7-3-Méthode de détection dite « AND soustraction».....	27
II-8- Bruit en SAC-OCDMA incohérent.....	29
II-8-1- Le bruit de grenaille .....	29
II-8-2 : Bruit thermique .....	29
II-8-3Bruit d'intensité .....	30

# Tables des matières

II-9-Les codes SAC-OCDMA incohérents.....	30
II-9-1-Les paramètres utilisés dans les codes.....	30
II-9-2- Les différents codes utilisés en SAC-OCDMA incohérent.....	30
II-9-2-1- Le code multi-diagonal (MD).....	31
II-9-2-2- Code DEU (diagonal eigen-value unity).....	32
II-9-2-2-1- Étapes de la construction du code DEU.....	32
II-10- modification du code DEU (MDEU Modified diagonal eigen-value unity).....	35
II-10-1-Étapes de la construction du code MDEU.....	35
II-10-2- Analyse mathématique de la structure codeur/décodeur pour le code MDEU.....	37
II-11- Conclusion.....	38

## Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

III-1- Introduction.....	40
III-2-Calcul de la probabilité d'erreur .....	40
III-2-1- Expression du BER .....	40
III-2-2 Calcul du photo-courant $I^2$ .....	40
III-2-3 : Calcul de la variance du bruit .....	41
III-3-Simulation du système SAC-OCDMA.....	44
III-3-1-Configuration SAC-OCDMA .....	45
III-3-1-1-La Source lumineuse blanche .....	46
III-3-1-2-Calcul des paramètres de simulation .....	47
III-3-1-3-Coté émission.....	48
III-3-1-3-1-Démultiplexeur WDM.....	48
III-3-1-3-2-Multiplexeur WDM .....	49
III-3-1-4- La fibre optique .....	50
III-3-1-5- Le filtre optique de Bessel .....	50
III-3-1-6- Le photo-détecteur .....	51
III-3-1-7- Le seuil de décision .....	51
III-3-1-8- Le BER.....	52
III-3-1-9-Le diagramme de l'œil.....	54
III-3-1-10- Modification des distances.....	54
III-4-Conclusion .....	57
Conclusion générale .....	58

## **Tables des matières**

---

Références bibliographiques.....	59
Résumé.....	62

### Liste des figures

Figure I.1 : Schéma d'une liaison optique.....	4
Figure I.2 : Structure d'un émetteur optique.....	5
Figure I.3 : Diodes électroluminescentes.....	5
Figure I.4 : Emission spontanée.....	6
Figure I.5: diode laser.....	6
Figure I.6:schéma des processus d'absorption et de l'émission stimulée.....	7
Figure I.7 : Modulation directe.....	7
Figure I.8 : Modulation externe.....	8
Figure I.9 : couplage entre deux fibres.....	9
Figure I.10: Constitution d'une fibre optique.....	9
Figure I.11 : Fibre multi modes à saut d'indice.....	10
Figure I.12 : Fibre multi modes à gradient d'indice.....	10
Figure I.13 : Fibre monomode.....	11
Figure I.14: Dispersion chromatique.....	11
Figure I.15: schéma d'un récepteur.....	13
Figure I.16: jonction PN.....	14
Figure I.17: jonction PIN.....	14
Figure I.18: LA technique TDMA.....	15
Figure I.19 : La technique FDMA.....	16
Figure I.20:Accès multiple par répartition en longueur d'onde.....	17
Figure I.21 : Accès multiple par répartition de Code (CDMA).....	17
Figure II.1 : Schéma général d'une liaison OCDMA.....	19
Figure II.2:Classification des différentes techniques OCDMA.....	20
Figure II.3 : Technique de codage spectrale en SAC-OCDMA.....	22
Figure II.4 : Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude.....	23
Figure II.5 Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG.....	23
Figure II.6 : Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA...24	
Figure II.7:Encodage SAC-OCDMA à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeurs....25	
Figure II.8 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code $i$ .....	26
Figure II.9 : Méthode de détection spectrale directe.....	27
Figure II.10 : Méthode de détection AND soustraction.....	28
Figure II.11 : Structure codeur/décodeur pour le code MDEU.....	37

## Liste des figures

---

Figure III.1 : SNR en fonction du nombre d'utilisateurs .....	43
Figure III.2 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs.....	44
Figure III.3 : Configuration SAC-OCDMA sous optisystem 7.0.....	45
Figure III.4 : Séquence de données.....	46
Figure III.5 : Configuration du générateur PRBS.....	46
Figure III.6 : La bande de la source lumineuse.....	47
Figure III.7 : Paramètres de simulation.....	48
Figure III.8 : Les 12 longueurs d'ondes.....	48
Figure III.9 : La technique d'encodage du premier utilisateur.....	49
Figure III.10 : Signature spectrale des différents codes.....	49
Figure III.11 : Puissance optique avant après émission.....	50
Figure III.12 : Sorties du filtre de Bessel du premier utilisateur .....	50
Figure III.13 : Le signal électrique à la sortie du photo-détecteur.....	51
Figure III.14 : Le seuil de décision.....	51
Figure III.15 : Le signal électrique après filtrage de mis en forme.....	52
Figure III.16 : Evolution du BER durant le temps bit.....	53
Figure III.17 : Evolution de facteur Q durant le temps bit.....	53
Figure III.18: Diagramme de l'œil.....	54
Figure III.19: Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 1 dans différentes distances 20,25,30,35 km.....	55
Figure III.20: Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 2 dans différentes distances 20,25,30,35 km.....	56
Figure III.21: Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 3 dans différentes distances 20,25,30,35 km.....	56
Figure III.22: Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 4 dans différentes distances 20,25,30,35 km.....	57

# Liste des tableaux et des abréviations

---

## Liste des tableaux

Tableau II.1 : matrice DEU.....	32
Tableau II.2 Modèles de codes DEU pour ( $W = 4$ et $N = 8$ ).....	34
Tableau II.3 Modèles de code DEU modifié pour ( $W = 4$ et $N = 8$ ).....	36
Tableau III.1 : Paramètres utilisés dans le calcul numérique.....	43
Tableau III.2 Code DEU modifié.....	44

## Liste des abréviations

**TDMA:** Time Division Multiple Access.

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access.

**WDMA:** Wavelength Division Multiplexing Access.

**CDMA:** Code Division Multiple Access.

**OCDMA:** Optical Code Division Multiple Access.

**DS:** Direct Sequence.

**FH:** Frequency Hopping.

**TH:** Time Hopping.

**SAC:** Spectral Amplitude Coding.

**TPE:** Temporal Phase Encoded.

**SPE:** Spectral Phase Encoding.

**AWG:** Arrayed Waveguide Grating.

**PIN:** Positive-Intrinsic-Negative.

**LED:** Light Emitting Diode.

**DEU:** Diagonal Eigen-value Unity.

**PIIN:** Phase Induced Intensity Noise.

**DW:** Double Weight.

**MDW:** Modified Double Weight.

**ZCC:** Zero Cross Correlation.

**MAI:** Multiple Access Interference.

**MD:** Multi Diagonal.

**BER:** Bit Error Rate.

**SNR:** Signal to Noise Ratio.

**DSP :** Densité Spectrale de Puissance.

**PRBS:** Pseudo-Random Binary Sequence.

## Liste des tableaux et des abréviations

---

**NRZ:** Non Return to Zero.

**MDEU:** Modified Diagonal Eigen-value Unity.

### **Introduction Générale:**

Les systèmes de communications ont beaucoup évolué ces dernières années, surtout les systèmes sans fil, et de plus en plus la nécessité d'utilisation d'une grande vitesse de transmission de données s'imposent. Mais la technologie existante a des contraintes pour suivre la progression de la vitesse de transmission nécessaire ; plusieurs méthodes et techniques ont vu le jour pour remédier à ce problème. Afin d'arriver à des performances élevées dans l'environnement à trajets multiples [1]. Plusieurs techniques d'accès sont nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de grande vitesse et de grande capacité de communications dans les réseaux optiques comme la répartition en fréquence (FDMA), la répartition dans le temps (TDMA), la répartition par les longueurs d'ondes et la répartition par code (CDMA), qui permettent à plusieurs utilisateurs de partager la même bande passante de la fibre optique.

Parmi les différentes techniques d'accès optique, l'accès multiple par répartition de code optique (OCDMA) est de plus en plus attrayante dans le domaine de toutes les communications optiques, plusieurs usagers peuvent accéder au réseau simultanément et asynchrone en raison du niveau élevé de sécurité de la transmission, vu la large bande passante et les faibles pertes, il peut donc faciliter la réalisation de nombreux services tels que la transmission des vidéos haute qualité [2]. Afin de réaliser la fonction de codage et de décodage dans les réseaux d'accès, l'intégration de nouveaux composants optiques permet à priori de réduire le coût et la complexité des systèmes de transmission, car il n'est plus nécessaire d'utiliser des convertisseurs électrique/optique et optique/électrique. En fonction des spécifications des dispositifs utilisés, le codage peut être unidimensionnel, en temps ou en fréquence, bidimensionnel en combinant le temps et la fréquence en même temps. L'OCDMA est un domaine de recherche émergent qui offre de nombreux avantages par rapport aux autres techniques d'accès multiple existants tels que TDMA, FDMA et WDMA. OCDMA fonctionne sur la base d'une transmission asynchrone où la transmission peut être exécutée à tout moment sans aucune coordination nécessaire de synchronisation. Il a une capacité de rejet d'interférence c'est-à-dire de supprimer l'interférence à bande étroite. Avec l'amélioration de la sécurité de réseau, le signal original de données est élargi dans le domaine fréquentiel sans acquérir la puissance dans le domaine fréquentiel en conséquence la puissance de la densité spectrale est faible et difficile à être détectée. Il offre également la possibilité d'utilisation d'une largeur de bande efficace, la flexibilité des

## Introduction Générale:

---

réseaux d'accès à 2 grande vitesse avec un accès bas de latence, la tâche dynamique de largeur de bande, la capacité smart sur demande, la commande de réseau simplifiée et la commande accrue de qualité du service de flexibilité [3].

En OCDMA, la source optique est l'un des dispositifs clé, grâce à leurs faible coût et leurs capacité de fournir un large spectre, les sources large bande sont largement utilisées. Les travaux effectués dans le cadre de ce mémoire concernent la simulation sous Optisystem version 7 d'un système de transmission basé sur l'encodage de l'amplitude spectrale à réseaux de Bragg pour l'accès multiple par répartition de codes optiques (SAC-OCDMA), le manuscrit est structuré en trois chapitres [4].

Le chapitre 1 est consacré à la présentation de la chaîne de transmission par le support essentiel de transmission considéré étant la fibre optique, il s'est donc avéré nécessaire de détailler ses caractéristiques physiques afin de se focaliser ensuite sur les avantages, puis l'étude des différentes techniques de multiplexages (FDMA, TDMA, WDMA, CDMA), nous nous intéressons au CDMA et plus particulièrement à son développement en optique. Le chapitre 2 constitue à l'étude de le principe de base de la technique d'encodage et décodage de système SAC-OCDMA, et les bruits en SAC-OCDMA incohérents (Bruit thermique, Bruit de grenaille 'Shot noise' et Bruit d'intensité 'PIIN'), et les codes SAC-OCDMA incohérents, et on détailait la construction et la modification du code DEU (Diagonal Eigen-value Unity).

Le chapitre 3 porte sur la simulation sous OptiSystem, d'un système SAC-OCDMA avec l'utilisation du code MDEU, avec quatre utilisateurs actifs. Le but de notre travail concerne la simulation sous OptiSystem.7.0 d'une liaison SAC-OCDMA optique utilisant le code MDEU (Modified Diagonal Eigen-value Unity).

***Chapitre I :***  
***Généralités***

## I-1-Introduction:

Les télécommunications optiques ont connu un développement considérable ces dernières années, car elles permettent de transmettre une grande quantité d'information et sont sensibles aux perturbations électromagnétiques. On trouve des fibres optiques pour toutes les liaisons à grandes ou moyenne distance.

Le rôle des technologies de télécommunications optiques est de transmettre des données avec des débits très élevés.

Dans ce chapitre, nous allons faire une description de la chaîne de communications optiques, dont nous allons présenter les éléments constitutifs de cette chaîne et décrire leurs rôles et leurs fonctionnements. Nous commençons par la description de l'émetteur, puis on passe au support de transmission (la fibre optique) l'élément essentiel pour la transmission de données. Puis on voit la présentation des éléments du récepteur optique. On termine avec la description des différents types d'accès multiple qui peuvent être appliqués dans une liaison de transmission optique.

## I-2-Présentation d'une chaîne de transmission optique :

Les systèmes de télécommunications, se basent sur trois parties fondamentales : la partie d'émission, le canal de transmission et la partie de réception [5].

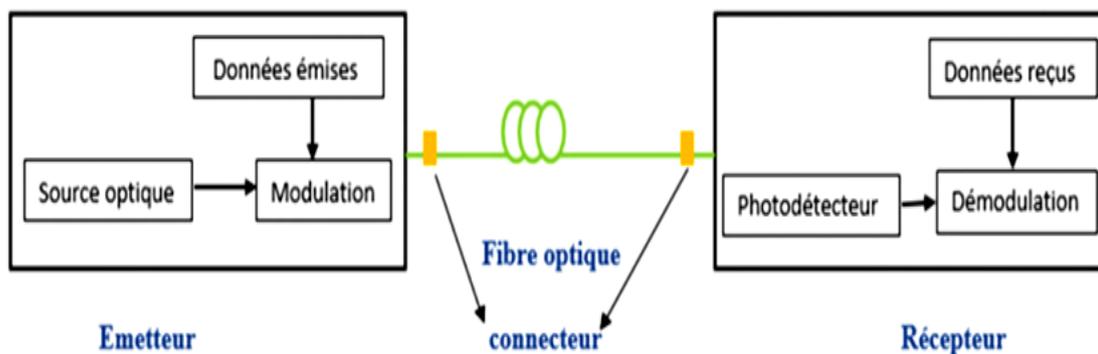


Figure I.1 : Schéma d'une liaison optique

## I-3- La partie d'émission :

La partie d'émission optique se compose de trois éléments : une source optique, un modulateur et un coupleur optique [5].

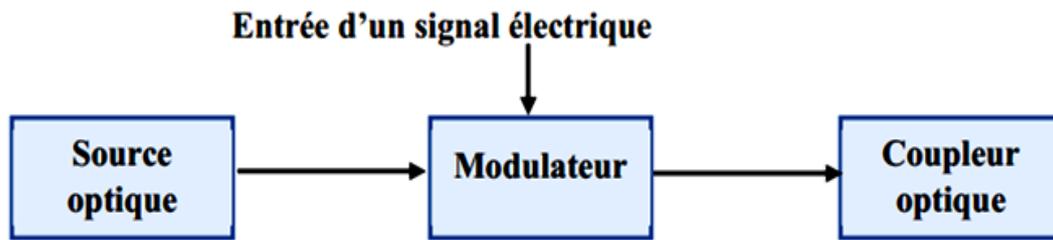


Figure I.2 : Structure d'un émetteur optique.

### I-3-1- Les sources optiques :

La source optique doit être suffisamment puissante et émettre un rayonnement au spectre étroit. Il est possible d'utiliser soit une diode électroluminescente (LED) ou une diode LASER. Ces sources sont des composants actifs sert à convertir une énergie électrique en une énergie optique pour un bon couplage avec la fibre [5].

#### I-3-1-1-La diode électroluminescente LED :

La diode LED (Light Emitting Diode) est une source incohérente et poly-chromatique, utilisée pour des communications réservées aux liaisons à courte distance et qui ne nécessitent pas une très grande bande passante. Elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif [6].



Figure I.3 : Diodes électroluminescentes

#### Le fonctionnement de LED :

La diode électroluminescente est un cristal semi-conducteur possédant deux couches dopée de cette manière : une couche P positive possédant des trous et une couche N négative possédant des électrons libres. La diode émet de la lumière par émission spontanée qui correspond à la transition d'un électron d'un niveau supérieur à un niveau inférieur accompagné d'une émission d'un photon d'une manière aléatoire [7].

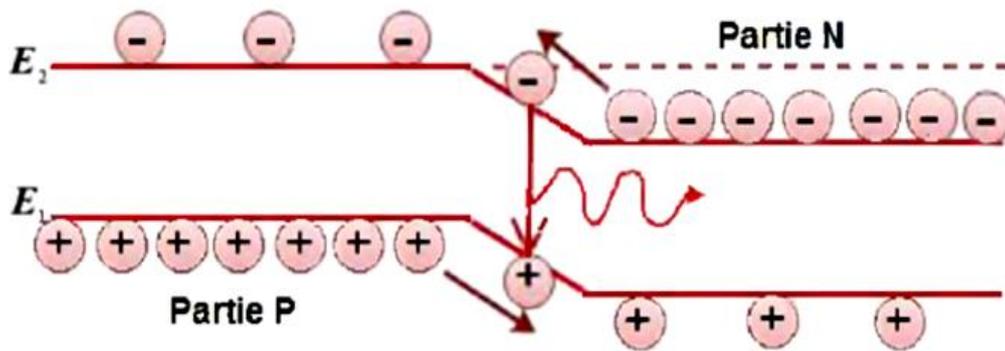


Figure I.4 : Emission spontanée.

### I-3-1-2-La diode LASER :

Une diode LASER est un composant optoélectronique à base de matériaux semi-conducteurs qui gère la lumière monochromatique et cohérente en se basant sur trois processus fondamentaux qui sont l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée. Pour obtenir l'effet LASER, il est nécessaire de favoriser l'émission stimulée comme l'indique l'acronyme dont le mot issu « Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation ».

Deux conditions doivent être réalisées pour favoriser cette émission stimulée et ainsi obtenir l'effet LASER.

- \* Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique.
- \* Il faut avoir suffisamment de photons incidents [8].

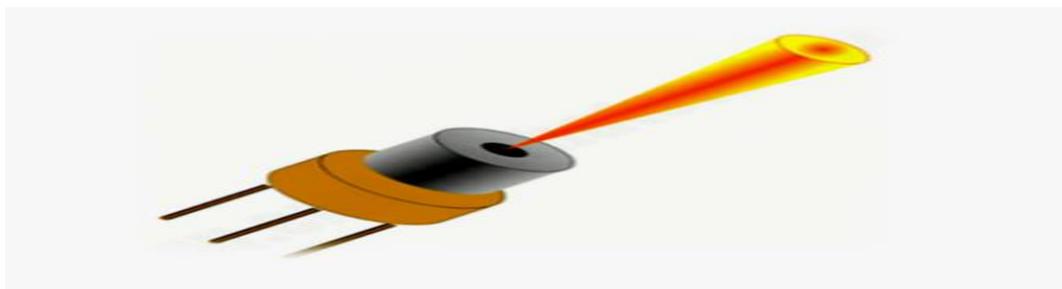


Figure I.5: diode laser

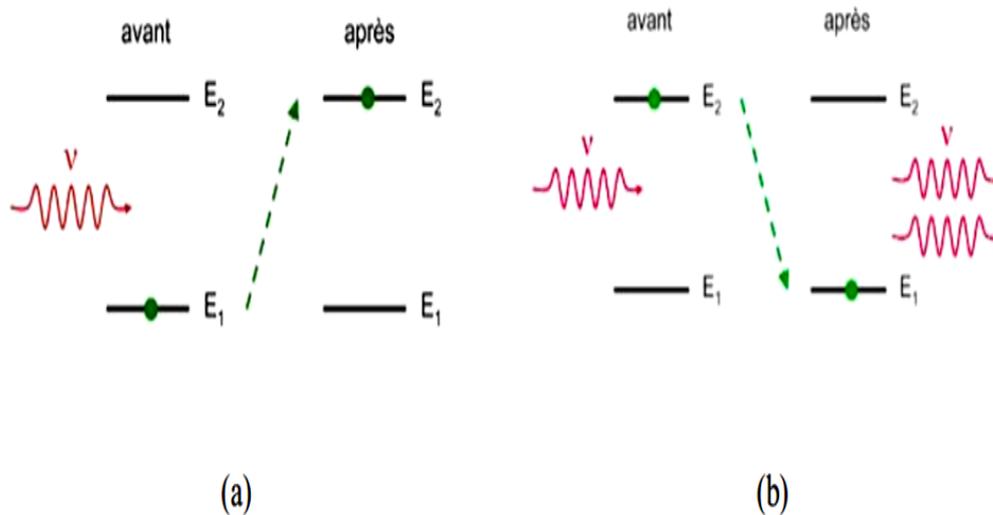


Figure I.6: schéma des processus d'absorption(a) et de l'émission stimulée (b)

**I-3-2- La modulation :**

La modulation est une fonction essentielle pour transmettre les informations dans les systèmes optiques ; elle consiste à convertir le signal électrique au signal optique en haut vitesse. Pour réaliser la modulation d'émission il y'a deux technique principale :

**I-3-2-1-La modulation directe :**

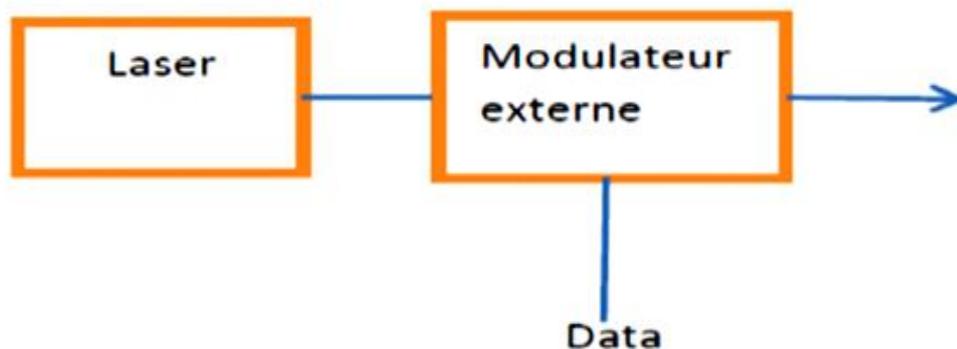
Elle consiste à inscrire les données sur l'alimentation du laser, c'est-à-dire sur le courant injecté dans le laser à semi-conducteur, pour moduler en amplitude le signal émis par celui-ci [9].



Figure I.7 : Modulation directe.

### I-3-2-2-La modulation externe :

Cette modulation consiste à graver les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser opéré en courant continu et non le courant d'alimentation du laser. Ainsi les défauts liés à la modulation directe qui sont imposés au laser ne seront plus présent dans le signal optique [9].



**Figure I.8 : Modulation externe.**

### I-3-3- Les coupleurs optiques :

Un coupleur à fibre optique est un dispositif qui distribue la lumière d'une fibre principale en une ou plusieurs fibres de branchement et permette de combiner et séparer des faisceaux fibrés. Il transforme les signaux en termes de puissance et ne permettent pas, par exemple, d'isoler certaines fréquences comme le ferait un multiplexeur optique. Les coupleurs les plus fréquemment utilisés en optique présentent :

- \* Une entrée et deux sorties : structure « 1 par 2 », ou en « Y », appelée tee coupler, coupleur en té [10].
- \* Ou bien deux entrées et deux sorties : structure « 2 par 2 », ou en « X », appelée star coupler, coupleur en étoile.

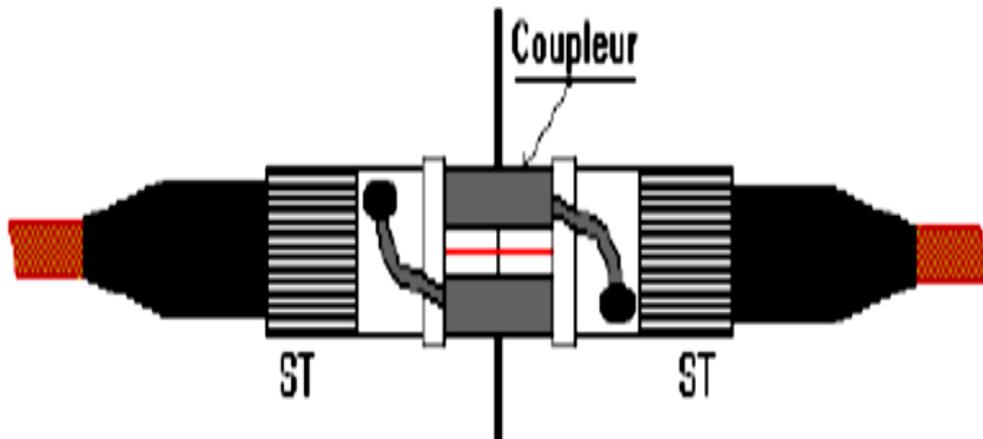


Figure I.9 : couplage entre deux fibres.

## I-4- la fibre optique :

### I-4-1-Description :

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique cylindrique formée de :

- \* Un cœur cylindrique transparent dont l'indice peut être constant ou variable continûment de la distance à l'axe.
- \* Une gaine en forme de couronne cylindrique, d'indice légèrement inférieur à celui du cœur.
- \* Un revêtement en plastique est utilisé pour protéger la fibre contre les facteurs externes (humidité, attaque chimique) [11].

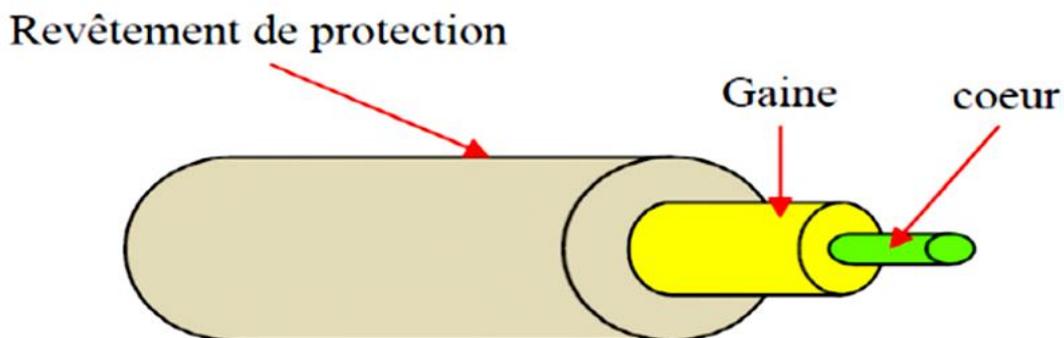


Figure I.10: Constitution d'une fibre optique.

### I-4-2- Les différents types de fibres optiques:

Les fibres optiques sont classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde : les fibres monomodes et fibres multi modes [12].

## I-4-2-1-Les fibres multi modes:

Pour ce type, la lumière se propage suivant plusieurs modes, elle peut suivre plusieurs trajets à l'intérieur du cœur (dent de scie, sinusoïdale). Leur diamètre du cœur en micro mètre de 50 à 62.5 et de la gaine 125  $\mu\text{m}$ . On a deux types de fibre optique multi mode : à saut d'indice et à gradient d'indice [12].

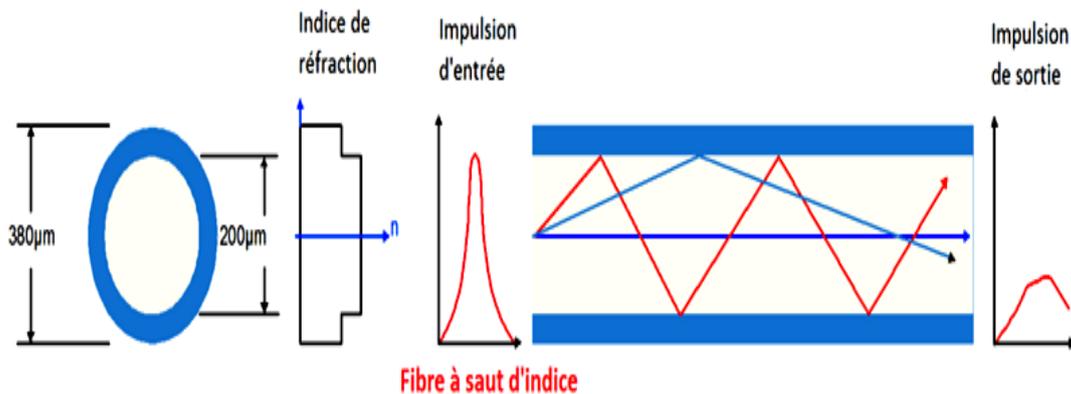


Figure I.11 : Fibre multi modes à saut d'indice.

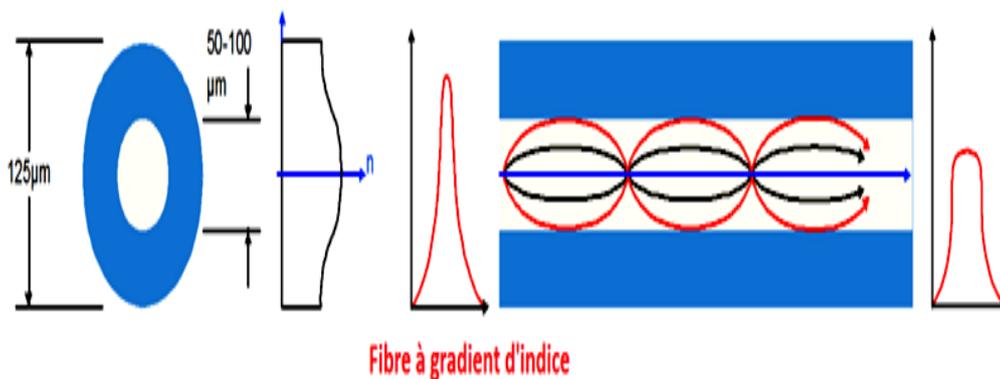


Figure I.12 : Fibre multi modes à gradient d'indice.

## I-4-2-2-Les fibres monomodes:

Leur diamètre du cœur est très petit de 9  $\mu\text{m}$  et de diamètre de gaine 125  $\mu\text{m}$ , il n'y a qu'un seul mode de propagation de la lumière [13].

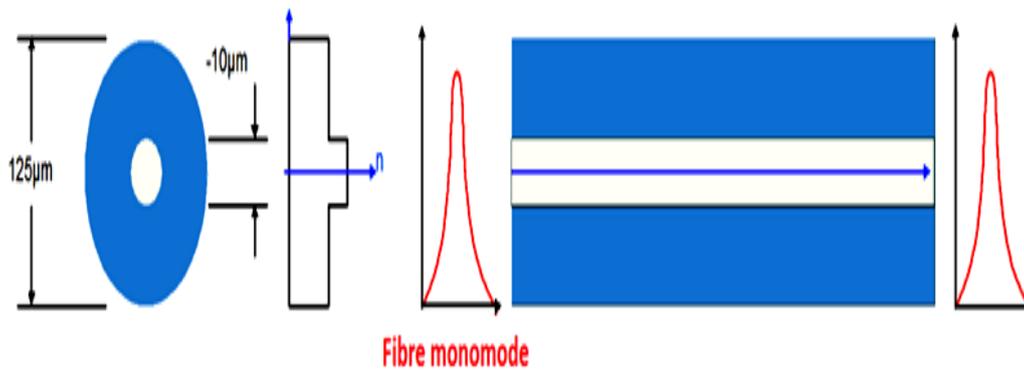


Figure I.13 : Fibre monomode.

### I-4-3- Les effets linéaires et non linéaires de la fibre optique :

Malgré les performances avérées des fibres optiques, les signaux qui les traversent subissent des pertes telles que les effets linéaires (l'atténuation, la dispersion) et les effets non linéaires (l'effet de Kerr et l'effet de Raman) [14].

\***Atténuation** : elle correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime en décibels (dB), l'atténuation de la fibre optique est faible.

\***Dispersion** :

a) **Dispersion chromatique** : elle provoque la déformation du signal durant sa propagation dans la fibre, elle se traduit par l'élargissement des impulsions.

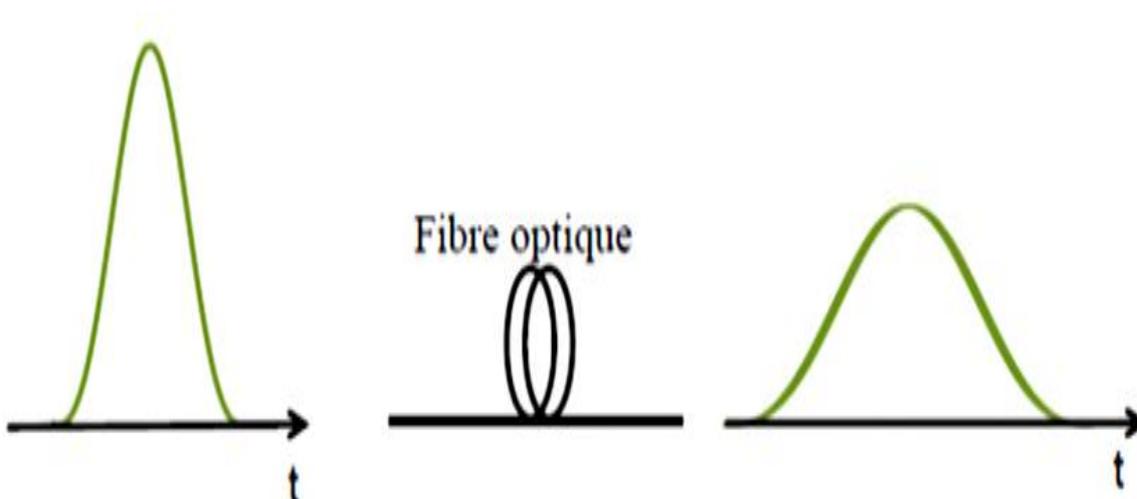


Figure I.14: Dispersion chromatique.

**b) Dispersion modale :** elle provient de la différence de temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus. Ce phénomène affecte que sur les fibres multi modes. Il n'existe pas dans les fibres optiques monomode qui possède un cœur très fin.

**\*Effet Kerr :** est le fait que l'indice de réfraction de la silice dépend de la puissance optique transmise [14].

**\*Effet Raman :** il s'agit d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau [14].

### **I-4-4 -Avantage et inconvénients des fibres optiques :**

#### **I-4-4-1-Les avantages de la fibre optique :**

\*La fibre optique offre des débits 100 fois plus élevés que le réseau actuel en cuivre.

\*Elle permet de transporter une grande quantité de données sur de très longues distances, sans atténuation significative du signal.

\*Elle possède aussi l'avantage d'être naturellement insensible à des perturbations électriques extérieures, ce qui garantit une meilleure qualité de service internet.

\*Grâce à sa fiabilité, les familles peuvent profiter simultanément de tous les usages multimédias (internet, smart phone, TV HD, etc.).

\*En ce qui concerne les entreprises, la fibre est utile pour leurs réseaux à longue ou moyenne distance [15].

#### **I-4-4-2-Les inconvénients de la fibre optique :**

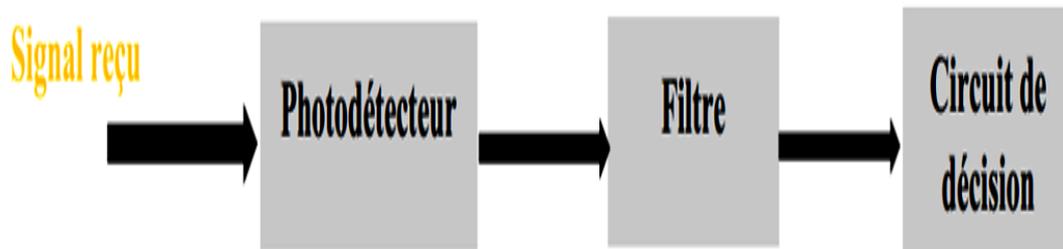
\*La fibre optique coûte cher à déployer.

\*Les répéteurs sont nécessaires pour amplifier le signal, si la distance entre l'émetteur et le récepteur est trop longue.

\*La fibre optique est une matière fragile. Il faut la manier avec délicatesse par des professionnels [15].

### **I-5-Récepteur optique :**

Le récepteur est un dispositif qui fait la conversation du signal optique en un signal électrique. Afin d'assurer un bon fonctionnement de ce module, nous allons présenter les principaux équipements qui s'intègrent lors de la réception des données [16].



**Figure I.15: schéma d'un récepteur.**

### **I-5-1- Le photo-détecteur :**

Le photo-détecteur est un dispositif responsable de la conversion du signal lumineux en un signal électrique en minimisant les déformations et dégradations. Les photos-détecteur sont classées en: celles qui n'ont aucun gain interne PIN, et celles qui ont un gain interne AVALANCHE [16].

### **I-5-1-1-La photodiode PIN :**

La photodiode PIN est un composant semi-conducteur. Elle est composée d'une zone intrinsèque intercalée entre une région fortement dopée P et une autre fortement dopée N. Ce qui permet de diminuer le dopage de N afin d'augmenter le courant électrique générer par la jonction PN [17].

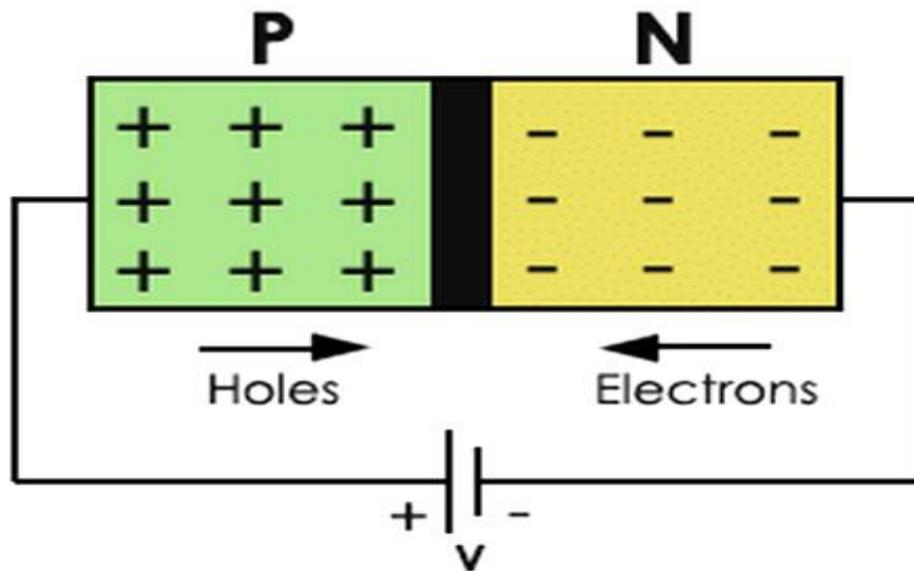


Figure I.16: jonction PN

**I-5-1-2-La photodiode à avalanche :**

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort pour une puissance lumineuse affaiblie [16].

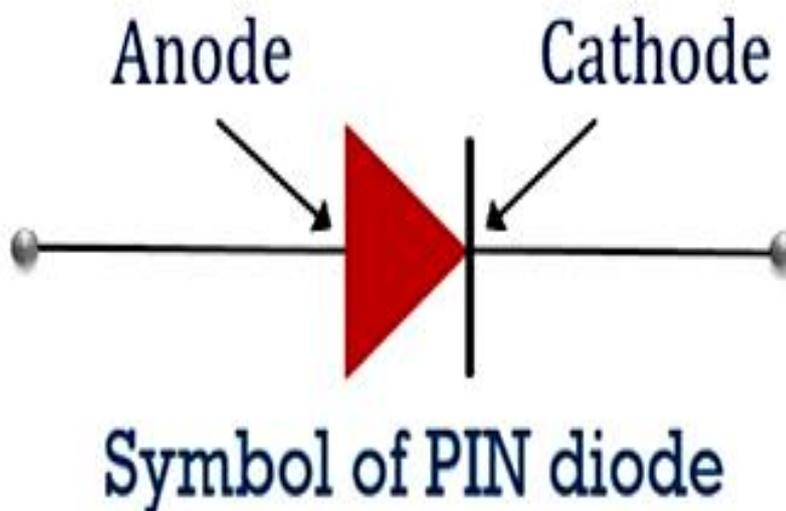


Figure I.17: jonction PIN

**I-5-2-Le filtre :**

Le signal en sortie de la photodiode est accompagné du bruit, afin de le minimiser, un filtrage numérique est nécessaire dans une bande qui soit le plus petit possible [9].

### **I-5-3-Le circuit de décision :**

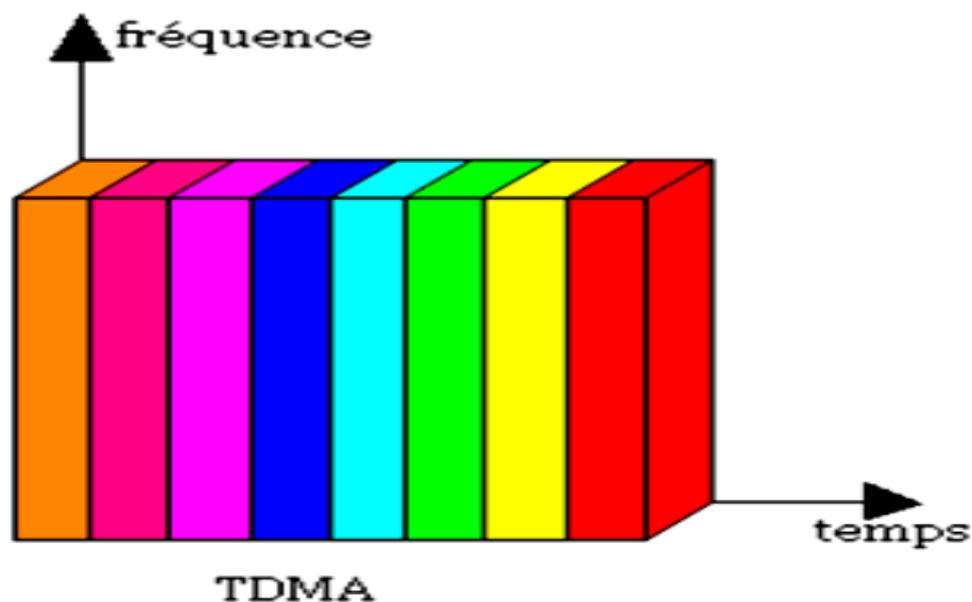
Son rôle est de comparer le signal de données à un certain seuil d'amplitude, puis de décider le niveau correspondant du signal si c'est « 1 » ou « 0 » à fin d'assurer une récupération parfaite de données transmises [9].

### **I-6-Les techniques d'accès multiple:**

Sont des techniques de multiplexage déjà mises en place dans les réseaux radiofréquences ou les systèmes optiques, ont le rôle d'augmenter la capacité des réseaux et d'optimiser l'utilisation des ressources fréquentielles, différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition. Les différentes techniques de multiplexage sont : l'accès multiple à répartition dans le temps, l'accès multiple par répartition de fréquences, l'accès multiple par répartition en longueur d'onde et l'accès multiple par répartition de Code [18].

#### **I-6-1- Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA):**

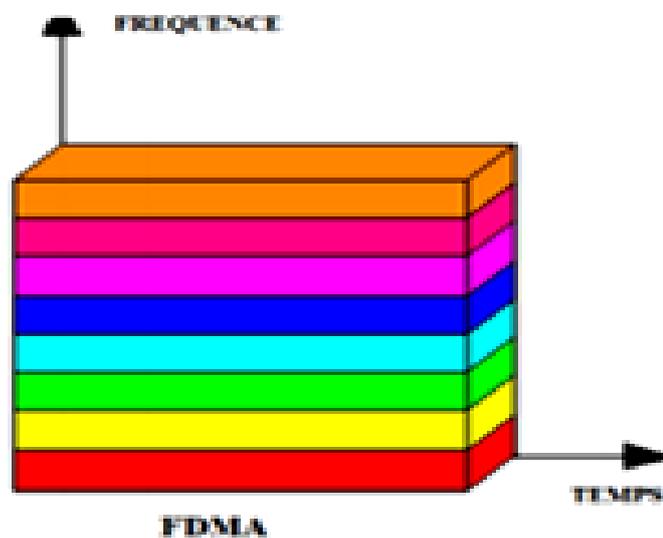
Dans le système TDMA, chaque canal occupe un créneau temporel pré-assigné, chacune de ces durées correspondant à un temps pendant lequel un utilisateur peut transmettre ses données. La technique TDMA nécessite une synchronisation entre les différents utilisateurs communiquant [18].



**Figure I-18: LA technique TDMA**

### **I-6-2- Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA):**

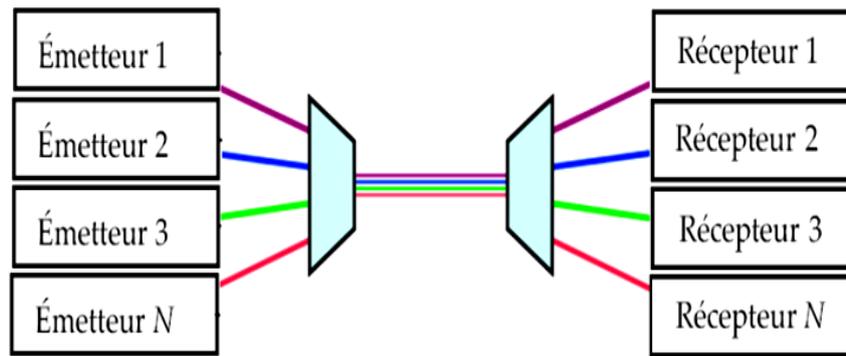
Dans l'accès multiple par répartition en fréquence FDMA, il s'agit d'un découpage en bande de fréquence de manière à attribuer une partie du spectre à chaque utilisateur. De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une bande de fréquences distincte. L'ensemble est juxtaposé et transmis sur un même canal de transmission. En réception, un filtre sélectif accordé sur la bande de fréquence de l'utilisateur désiré permet de récupérer les données. Un exemple de la technique d'accès multiples par répartition en fréquence FDMA dite orthogonale en optique [18].



**Figure I-19 : La technique FDMA**

### **I-6-3- Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA):**

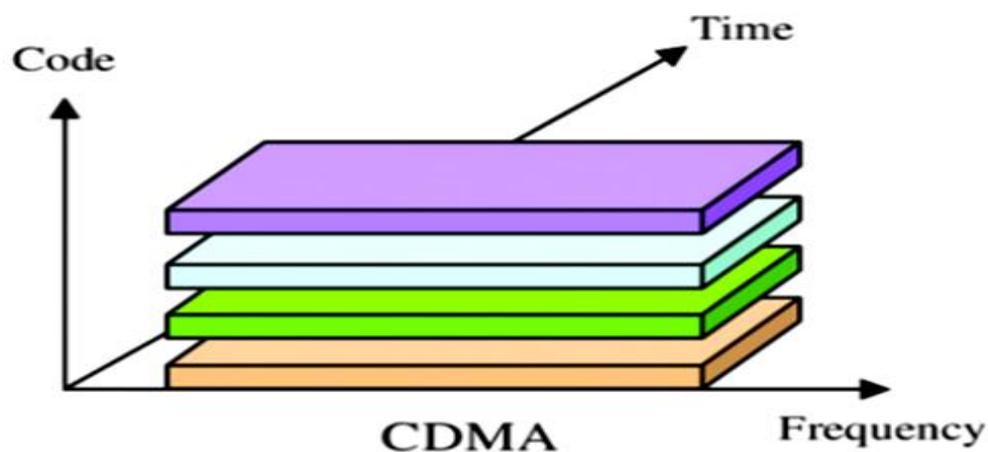
Le multiplexage en longueur d'onde, aussi appelé Wavelength Division Multiplexing (WDM) est une transposition du multiplexage en fréquence dans les systèmes de communications optiques. Dans les systèmes WDMA, chaque canal occupe une bande passante optique étroite ( $\geq 100$  GHz) autour d'une longueur d'onde ou d'une fréquence centrale. La méthode WDMA requiert l'utilisation d'un nombre de longueurs d'ondes important (égal au nombre d'utilisateurs communiquant) [26].



**Figure I-20 : Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA)**

### **I-6-4- Accès multiple par répartition de Code (CDMA):**

Le CDMA est une technique de transmission appelée spectre étalé. Dans cette technique, les ressources réseau sont partagées entre les utilisateurs auxquels est affecté un code au lieu d'un créneau temporel comme dans la TDMA ou une longueur d'onde comme dans la WDMA ou encore une fréquence dans la FDMA. Dans cette technique, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles temporels. Il s'agit, dans ce cas, d'affecter à chaque utilisateur un code particulier permettant de différencier ses données de celles des autres utilisateurs, cela permet de transmettre des informations en évitant d'interférer avec les messages provenant d'autres utilisateurs. Les séquences de codes utilisées dans les systèmes CDMA sont composées d'une série d'impulsions nommées "chips" afin d'être distinguées des "bits" qui composent une séquence de données [19].



**Figure I-21 : Accès multiple par répartition de Code (CDMA)**

### **I-7-Conclusion :**

Ce chapitre présente une description complète d'une chaîne de transmission optique, en détaillant en premier lieu la partie émission, la partie du support de transmission qui est la fibre optique en citant ses différents types et ces avantages et par la suite la partie réception. On a également cité les différents types d'accès multiple qui peuvent être appliqués dans une liaison de transmission optique. Ce chapitre a pour but d'apporter toutes les informations nécessaires à la compréhension du chapitre suivant qui sera porté sur le SAC-OCDMA.

***Chapitre II :***  
***SAC-OCDMA***

## II-1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons La classification des systèmes OCDMA basée sur le principe de fonctionnement, les différentes catégories de l'OCDMA et plus particulièrement les méthodes d'encodage et de décodage en amplitude du système SAC-OCDMA.

Nous parlerons dans un premier temps des différentes approches de l'OCDMA et les principes de base de la technique SAC-OCDMA : l'encodage et le décodage du signal, ensuite, nous analyserons les différents types de bruit présents dans ce genre de système, et en finalisant ce chapitre par l'étude des codes DEU (Diagonal Eigen-value Unit) et la modification de code (MDEU).

## II-2- CDMA pour les transmissions optiques :

L'OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une technique d'étalement de spectre qui consiste à attribuer à chaque utilisateur transmettant des données par la fibre optique un code d'étalement ou une signature propre à lui qui permet d'identifier le récepteur destinataire [20]. Le schéma général d'une liaison OCDMA est illustré dans la figure II-1.

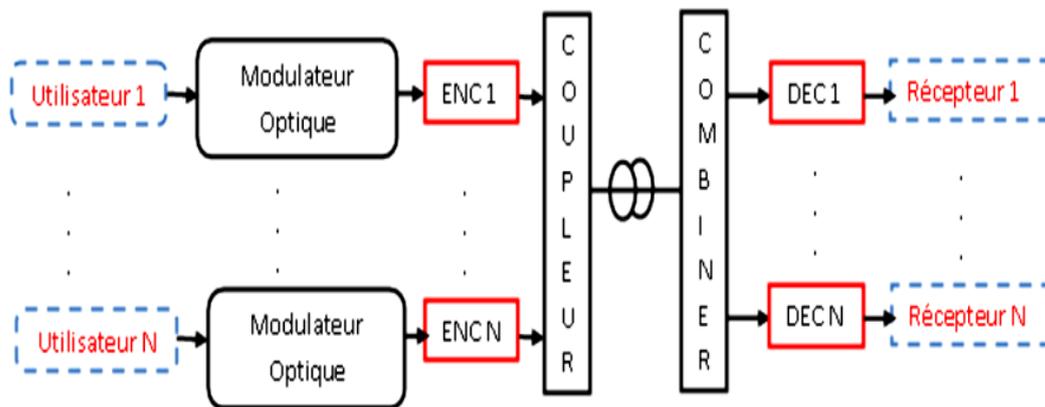
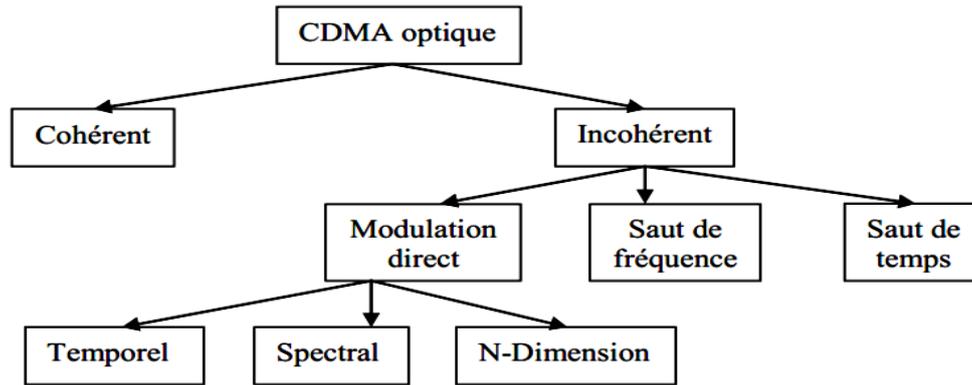


Figure II.1 : Schéma général d'une liaison OCDMA

## II-3- Les différentes techniques de l'OCDMA :

Le système OCDMA peut être divisé dans deux catégories :

1. Système cohérent.
2. Système incohérent [21].



**Figure II.2 : Classification des différentes techniques OCDMA**

### **II-3-1- Cohérent-incohérent :**

Dans un système cohérent le code d'un utilisateur donné est généralement réalisé par le codage de phase du champ de signal optique. Dans ce cas le code utilisé est bipolaire (composés de -1 et +1).

Le système incohérent se fonde typiquement sur le code modulé par amplitude. Ce système ne détecte que de puissance. Dans ce cas le code est unipolaire (composés de 0 et de 1). [21]

### **II-3-2-Modulation directe-saut de fréquence-saut de temps :**

\* DS-CDMA (direct sequence CDMA): les données sont directement modulées par le code, on procède à une multiplication entre la donnée à transmettre et le code de l'utilisateur correspondant.

\*FH-CDMA (Frequency Hopping CDMA) : les données ne sont pas émises sur une fréquence porteuse fixe, mais sur des fréquences différentes qui changent périodiquement.

\*TH-CDMA par saut de temps (Time Hopping CDMA): la transmission de la donnée n'est pas faite de manière continue, une séquence pseudo-aléatoire définit la position temporelle de la donnée à transmettre.

### **II-3-3- Temporel – spectral :**

\*OCDMA temporel : la donnée est multipliée par un code temporel, c'est-à-dire un code dont la variation est temporelle.

\*OCDMA spectral : un code spectral donné est envoyé pour une donnée "1", et rien pour une donnée "0".

## **II-3-4- Unidimensionnel – multidimensionnels :**

L'augmentation du nombre d'utilisateurs présente une limitation dans le système d'accès multiple par répartition en code optique (OCDMA) unidimensionnel (1D). Afin de surmonter cet inconvénient, plusieurs chercheurs ont proposé une approche de codage à deux dimensions 2D (ou plus), ce qui implique d'utiliser simultanément deux dimensions (ou plus) pour coder les informations [19].

## **II-4-Les catégories d'OCDMA :**

Les systèmes OCDMA mettent en œuvre à la fois les dimensions spectrale et temporelle pour effectuer l'encodage.

### **II-4-1: Les méthodes d'encodage temporel :**

\*L'encodage à séquence directe (DS-OCDMA: Direct Séquence OCDMA): Dans cette technique chaque bit de données est directement modulé en amplitude par la séquence d'un code (on procède à une multiplication entre le bit de données à transmettre et le code de l'utilisateur correspondant).

\* L'encodage temporel en phase (TPE-OCDMA : Temporal Phase Encoded OCDMA) : Cette technique consiste à effectuer une modulation de la phase du champ optique portant les données utilisateurs [22].

### **II-4-2: Les méthodes d'encodage spectral:**

\*L'encodage spectral en amplitude (SAC ; Spectral Amplitude Coding) : La méthode d'encodage est une modulation d'amplitude du spectre des données des utilisateurs.

\*L'encodage spectral en phase (SPE-OCDMA : Spectral Phase Encoding OCDMA): Celui-ci consiste en une modulation de la phase dans le domaine spectral des données des utilisateurs [22].

## **II-5- Définition du SAC-OCDMA :**

Dans un système SAC-OCDMA chaque usager a son propre code spectral qui constitue son empreinte de façon à ce que cette dernière soit unique comme l'illustre la figure II.3 [3].

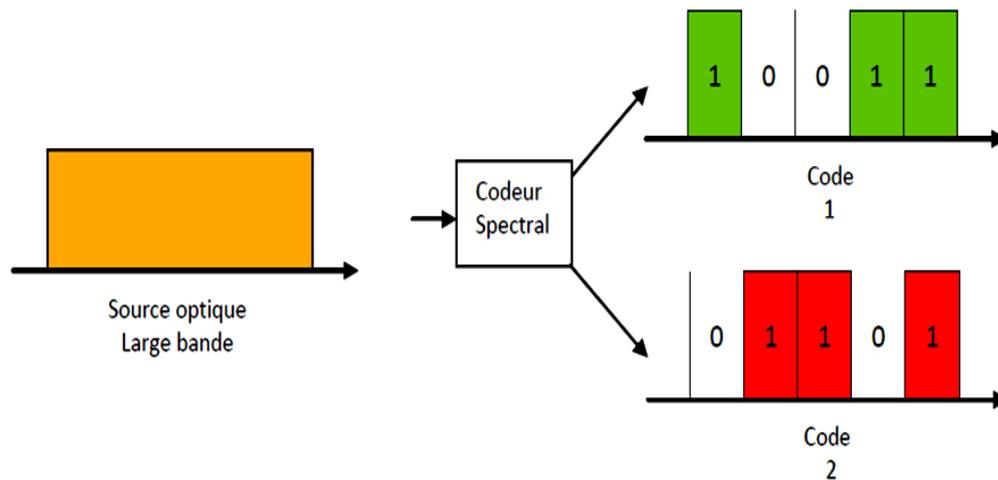


Figure II.3 : Technique de codage spectrale en SAC-OCDMA

## II-6-Les méthodes d'encodage dans les systèmes SAC-OCDMA :

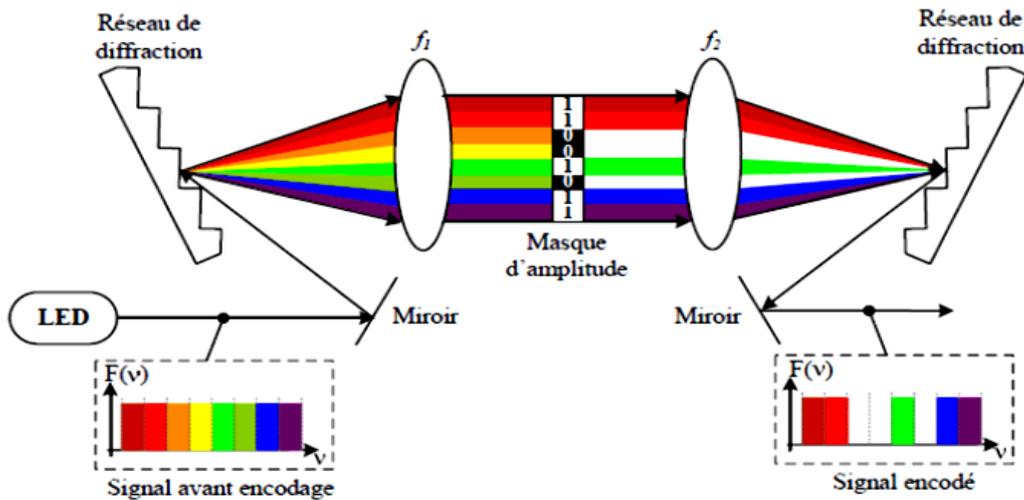
### II-6-1 Encodage avec masque d'amplitude :

Cette première méthode a été proposée en 1990. Cette méthode contient deux réseaux de diffraction et un masque d'amplitude qui est inséré dans un plan orthogonal à l'axe de propagation.

\*Le premier réseau de diffraction sert à séparer les différentes composantes fréquentielles venant du LED, et à cause d'une lentille  $f_1$  où se place le premier réseau de diffraction, le point image à l'infini sera rejeté.

\*Le masque d'amplitude permet de supprimer les composantes spectrales voulues.

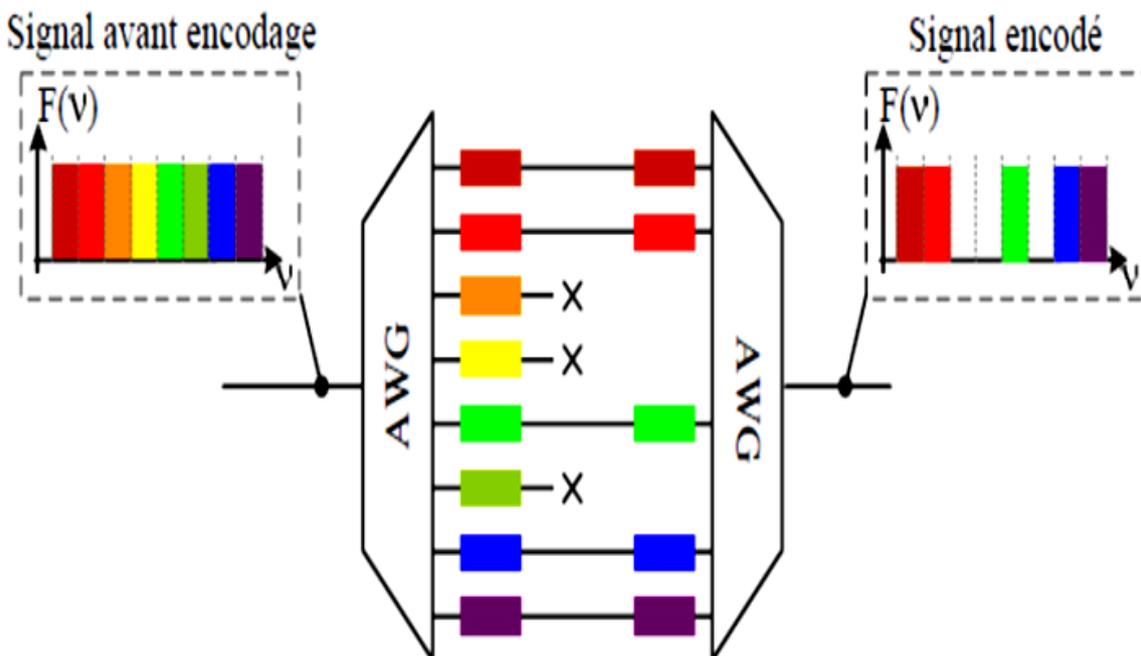
\* les composantes spectrales restantes seront recombinaées par une autre lentille  $f_2$  associée au deuxième réseau de diffraction comme présenté dans la figure II.4 [3].



**Figure II.4 : Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude**

**II-6-2 Encodage avec l'utilisation d'AWG (Arrayed Waveguide Grating ou réseau sélectif planaire) :**

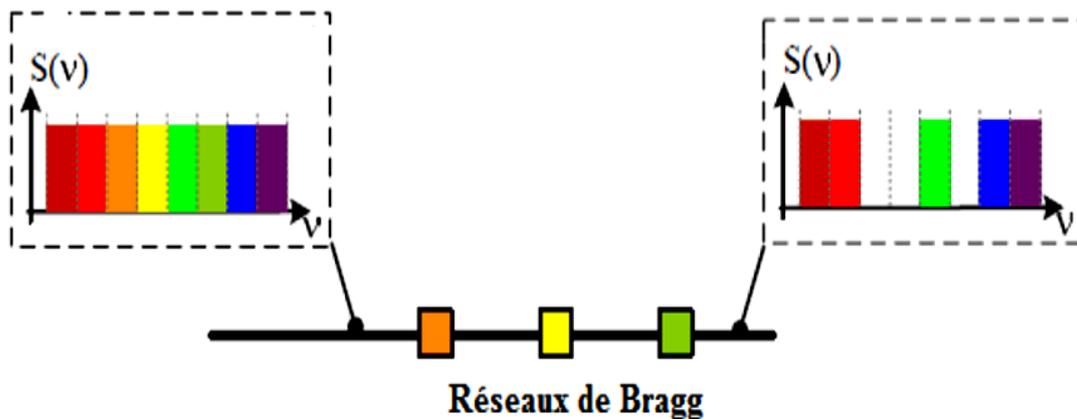
Cette technique est intéressante dans les systèmes WDM, pour obtenir un code spectral en utilise une cascade de deux AWG<sub>s</sub> (1×N, N×1). À la sortie de chaque branche du premier AWG, nous retrouvons une tranche spectrale déterminée puis en branchant quelques fibres aux N entrées du deuxième AWG, comme il est montré dans la figure II-5 [3].



**Figure II.5 Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG**

## II-6-3-Utilisation de réseaux de Bragg :

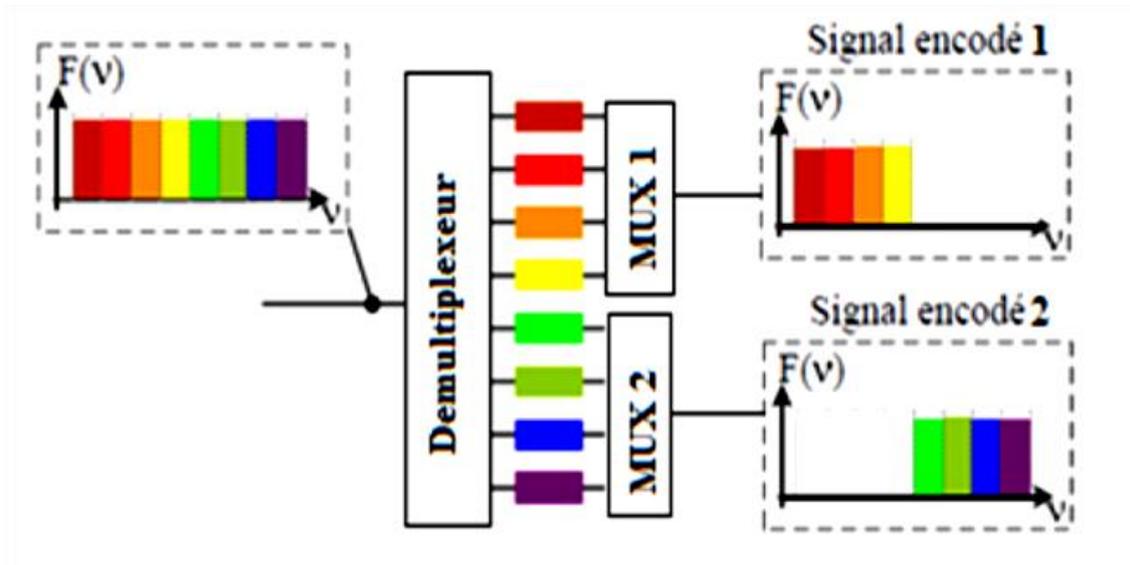
Afin de créer des phénomènes d'interférences et ainsi d'obtenir un composant sélectif en spectre, le réseau de Bragg consiste en une variation périodique de l'indice de réfraction (du cœur de la fibre dans notre cas). Chacun des réseaux de Bragg permet de supprimer une bande de fréquences qui n'est pas contenue dans le code SAC-OCDMA, comme le montre la figure II.6 [3].



**Figure II.6 : Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA**

## II-6-4-Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques :

Cette technique est la plus utilisée, le spectre large bande de la LED est divisée en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale à la l'aide d'un démultiplexeur  $1 \times N$ . A la l'aide des multiplexeurs, chaque utilisateur pourra rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale a partir des sorties du DEMUX comme l'illustre la figure II.12 (Le nombre d'entrées du multiplexeur est égal au nombre de longueurs d'onde qui constituent la signature spectrale) [3].



**Figure II.7 : Encodage SAC-OCDMA pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeurs**

**II-7-Décodage en SAC-OCDMA :**

Il existe trois principales méthodes :

**II-7-1- Détection balancée par la méthode complémentaire :**

Nous présentons à la figure II.8 La structure d'un décodeur pour un système SAC-OCDMA permettant de détecter le signal de l'utilisateur i. Cette structure est composée d'un coupleur 1 × 2 et de deux bras :

\*bras supérieur: où un décodeur  $DC_i$  est inséré, sa réponse spectrale est identique au code  $C_i$  utilisé à l'émission.

\*bras inférieur: contient un décodeur complémentaire et un atténuateur  $\alpha$  est également inséré pour ajuster la détection balancée avec précision. Il est calculé comme le montre l'équation (II.1).

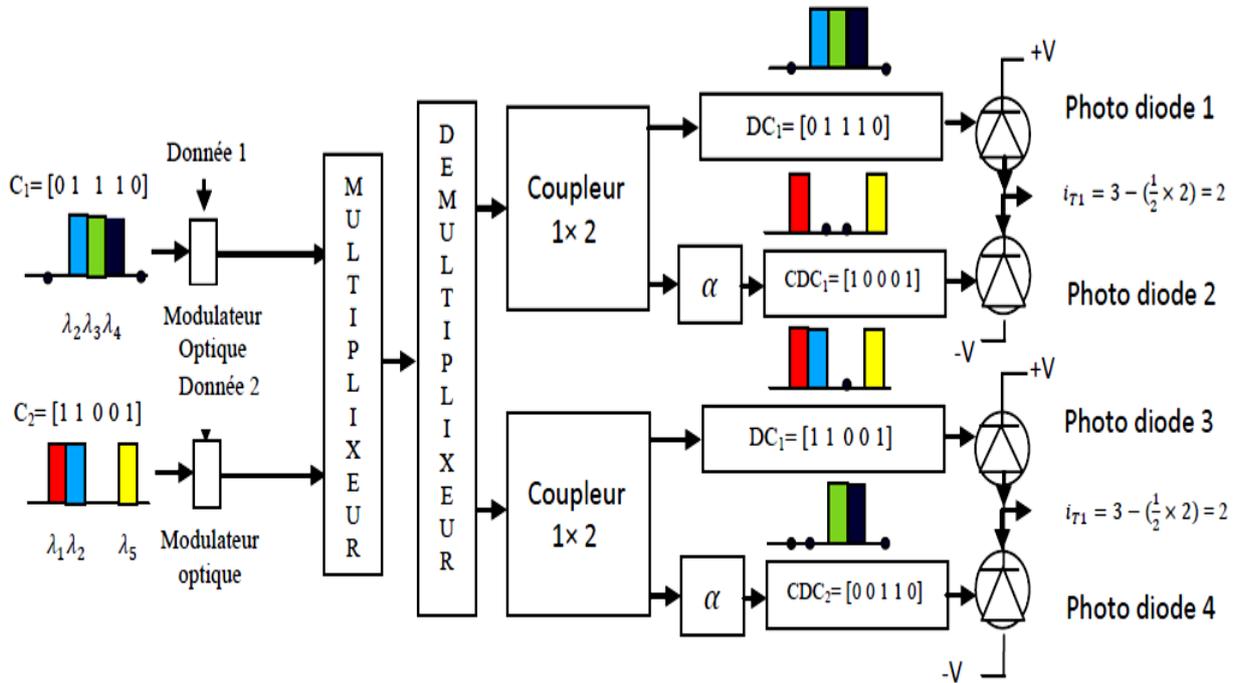
$$\alpha = \frac{\lambda_c}{w - \lambda_c} \quad (II.1)$$

Avec :

$w$  : le poids du code (nombre de 1 qu'il contient).

$\lambda_c$  : la corrélation croisée (nombre de 1 commun entre les codes).

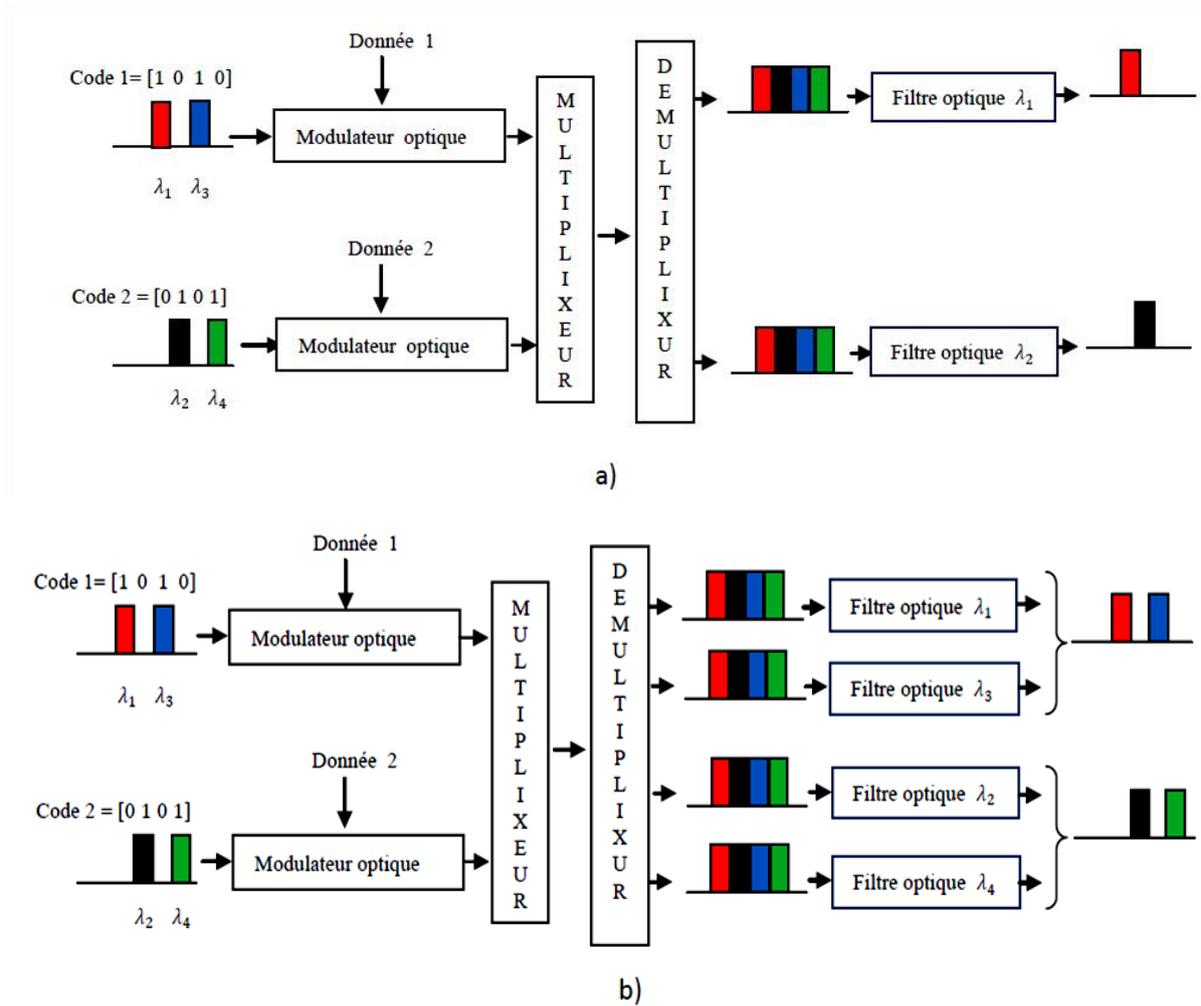
Cela signifie simplement que son code spectral sera le complément binaire de celui du décodeur  $i$  [23].



**Figure II.8 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code  $i$**

### II-7-2-Méthode de détection spectrale directe :

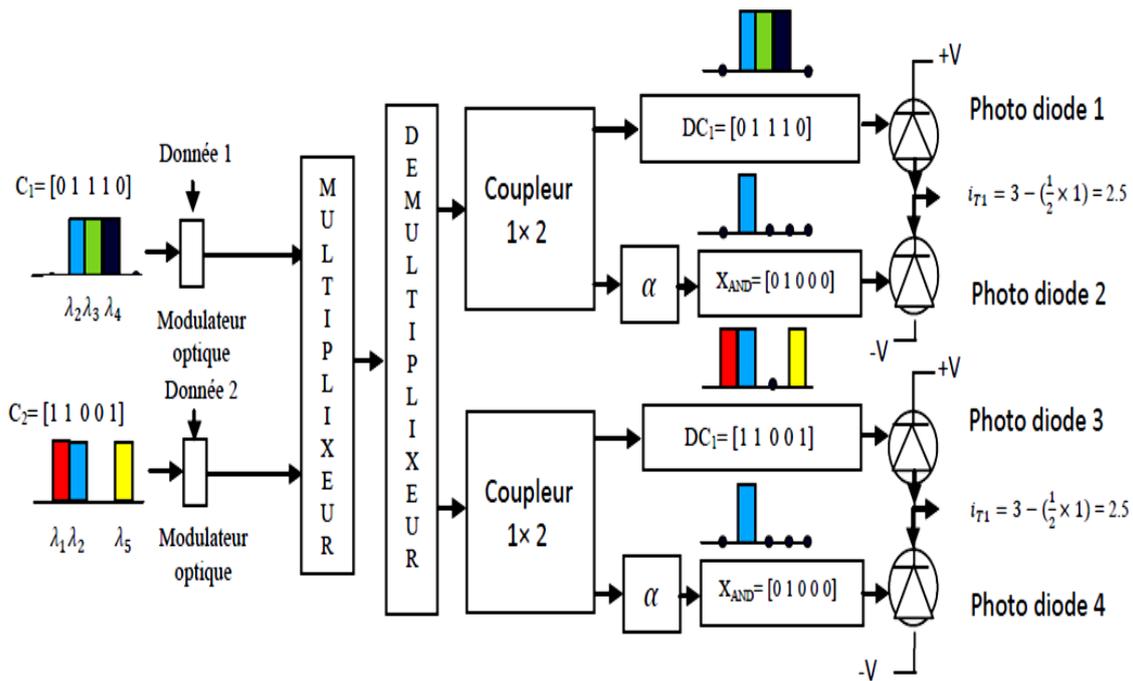
C'est une technique similaire à la première technique, mais avec  $\lambda_c = 0$  donc une seule branche de décodeur et de détecteur est nécessaire,  $\alpha = \frac{0}{W-0}$ , ce qui correspond à une suppression de la deuxième branches, ceci est réalisable pour la simple raison que l'information est suffisamment récupérable par l'un des « chips » (voir figure II.9 a) ou la totalité du code (voir figure II.9 b) [23].



**Figure II.9 Méthode de détection spectrale directe a) d'une longueur d'onde b) avec la totalité des longueurs d'ondes**

**II-7-3- Méthode de détection dite « AND soustraction » :**

Dans cette méthode, le signal reçu passe à travers un coupleur 1 × 2 dans le bras supérieurs on trouve un décodeur DC<sub>i</sub> dont la réponse spectrale est identique à celui du code C<sub>i</sub> utilisé à l'émission. Dans le deuxième bras, un décodeur AND est inséré comme il est illustré à la figure II.10, à sa sortie, on obtient un code résultant de l'intersection des différents codes.



**Figure II.10 : Méthode de détection AND soustraction**

L'utilisation d'une photodiode balancée permet d'obtenir la soustraction des photocourants issus des deux photodiodes distinctes [23]. Dans la Figure II.8, on a :

Le code de l'utilisateur 1 est :  $C_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$ .

Le code de l'utilisateur 2 est  $C_2 = [1 \ 1 \ 0 \ 1]$ .

Les deux bras sont :

a) Cas de l'utilisateur 1 :

$DC_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$  et  $X_{AND} = C_1 \cap C_2 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$  (puisque seulement deux utilisateurs sont actifs).

b) Cas de l'utilisateur 2 :

$DC_2 = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$  et  $X_{AND} = C_2 \cap C_1 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$  (puisque seulement deux utilisateurs sont actifs). Au niveau du détecteur, de la soustraction des photo-courants générés sur chacune des photodiodes, on obtient :

$$\text{Totale} = i_{PD1} - i_{PD2}.$$

Dans notre cas, on a:  $i_{\text{Totale}} = 2.5$ .

## **II-8- Bruit en SAC-OCDMA incohérent :**

Lors de la détection d'un signal incohérent on observe trois bruits principale sont :

Le bruit thermique, le bruit de grenaille et le bruit d'intensité [23].

### **II-8-1- Le bruit de grenaille :**

Ce bruit est dû au caractère aléatoire de la création de paires électron-trou dans la photodiode. Il obéit à une statistique de Poisson. La variance  $\sigma_{SN}$  de ce bruit poissonnier est définie par [23] :

$$\sigma_{sh}^2 = 2.e.B. i_k \quad (II.2)$$

Avec :  $i_k = R.P_{sr}.W/L$ .

e : la charge d'électron.

R : rendement de photodiode =  $\eta. e / h. \nu_0$ .

$\eta$  : efficacité quantique.

h: constante de Planck ( $m^2kg$ ).

$\nu_0$  : la fréquence centrale.

W : poids (nombre du 1 dans chaque code).

L : longueur du code.

$P_{sr}$  : la puissance démission (dBm).

$i_k$  : le courant du  $K_{ième}$  utilisateur à la réception.

### **II-8-2- Bruit thermique :**

Ce bruit est dû à l'agitation thermique des porteurs de charges dans la jonction de la photodiode. L'expression de la variance du bruit thermique a pour valeur :

$$\sigma_{th}^2 = 4.k_b T_n.B/R_e \quad (II.3)$$

$k_b$  : constante de Boltzmann =  $1,3806503.10^{-23}$ .

$T_n$  : température en kelvin (k).

B : bande passante (Hz).

$R_e$  : résistasse de la charge( $\Omega$ ) [23].

## **II-8-3-Bruit d'intensité :**

Ce bruit est induit par la phase PIIN dû à la nature quadratique de la détection, le signal émis par une source thermique large bande est la somme d'une infinité de champs électrique dont l'amplitude et la phase sont Aléatoires. Pour supprimer le PIIN, la valeur de linter-corrélation devrait être maintenue petite le plus possible ou probablement égal à zéro [23].

## **II-9-Les codes SAC-OCDMA incohérents:**

Dans cette partie nous allons présenter les différents paramètres nécessaires pour définir un code, pour passer ensuite à la présentation des différents codes dans les systèmes SAC-OCDMA incohérent.

### **II-9-1-Les paramètres utilisés dans les codes:**

Les différents paramètres utilisés lorsque l'on parle d'un code sont :

\* la longueur : longueur du code (L).

\* le poids du code (w) : le nombre de « 1 » contenu dans ce code.

\*la corrélation croisée : En considérant deux séquences de code de la même famille  $C_m$  et  $C_n$ , les fonctions d'auto-corrélation et d'inter-corrélation sont données par:

$$C_{m,m}(s) = \sum_{i=0}^{L-1} C_m(i) \cdot C_m(i-s) \begin{cases} = w & \text{si } s = 0 \\ \leq \lambda \alpha & \text{si } 1 \leq s \leq L-1 \end{cases} \quad (\text{II-4})$$

$$C_{m,n}(s) = \sum_{i=0}^{L-1} C_m(i) \cdot C_n(i-s) \leq \lambda c \text{ si } 0 \leq s < L-1 \quad (\text{II-5})$$

\*la cardinalité ( $\xi$ ) : La cardinalité  $\xi$  est tout simplement le nombre d'utilisateurs maximum qu'un code peut supporter. Ce paramètre est important, car lors du choix d'une famille de code, il faut s'assurer que  $\xi$  soit la plus élevée possible et, autant que faire ce peut, égale ou supérieure à la longueur L du code [21].

### **II-9-2- Les différents codes utilisés en SAC-OCDMA incohérent:**

Il y a deux catégories des codes utilisés en SAC-OCDMA:

\* Des codes à corrélation croisée nulle appelé code multi-diagonal (MD)

\*Des codes à corrélation croisée égale à 1 appelé code DEU (digonal eigen-value unity).

## **II-9-2-1- Le code multi-diagonal (MD):**

Pour éliminer le PIIN dans le système SAC-OCDMA, nous allons utiliser un code à corrélation croisée nulle appelé code multi-diagonal (MD) [24].

### **Critère de construction des codes MD:**

La construction de code MD doit satisfaire aux critères suivants:

- \*Le code doit être unique pour chaque utilisateur.
- \*Le code doit avoir une inter-corrélation nulle.
- \* Le nombre d'utilisateurs doit être flexible et peut être augmenté à n'importe quel nombre.
- \* Le poids doit être flexible et peut être aussi facilement augmenté.
- \* Le code doit être pratique et peut être mis en œuvre en utilisant des dispositifs optiques.

### **Technique de construction du code MD :**

Le code MD est représenté dans une matrice de taille  $(k \times L)$  et caractérisé par les paramètres  $L$ ,  $w$  et  $\lambda_c$ , où  $L$  est la longueur du code,  $W$  le poids du code,  $k$  le nombre des utilisateurs et  $\lambda_c$  la corrélation croisée. Cette matrice tout simplement contient des matrices d'identité  $I_k$  de telle façon le nombre de ces matrices égale au poids du code et la longueur de sa matrice égale a :  $L=K \times W$ .

La matrice du code MD S'écrit comme :

$$MD = [I_{k1}; I_{k2}; \dots; I_{kw}]$$

#### **Exemple :**

Construire une matrice du code MD dont les paramètres sont :  $k=4$ ,  $W=3$  donc  $L=k \times W=4 \times 3=12$

$$MD = [I_{k1}, I_{k2}, I_{k3}] = \begin{bmatrix} 1000 & 1000 & 1000 \\ 0100 & 0100 & 0100 \\ 0010 & 0010 & 0010 \\ 0001 & 0001 & 0001 \end{bmatrix}$$

$I_{4,1} \quad I_{4,2} \quad I_{4,3}$



**Étape 1:** Calculer les positions de l'unité dans le super diagonale successif (PSSD).

\* Compensation de la valeur de W et r qui donne  $(1,1 \times 4 - (1 + 4 - 3))$ ,  $(1,1 \times 4 - (1 + 4 - 4))$ ,  $(1,1 \times 4 - (1 + 4 - 5))$  et il est égal à  $(1,2)$ ,  $(1,3)$ ,  $(1,4)$ . Où  $r = 1, 2, 3, \dots, N$  désigne le nombre de lignes [9].

Pour  $W = 4$  et  $N = 8$ , les entrées suivantes sont calculées sur la base de l'équation (II.4) comme suit:

Pour  $\Rightarrow r = 1$ ; PSSD =  $(1, 2)$ ,  $(1,3)$ ,  $(1,4)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 2$ ; PSSD =  $(2,5)$ ,  $(2,6)$ ,  $(2,7)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 3$ ; PSSD =  $(3,8)$ ,  $(3,9)$ ,  $(3,10)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 4$ ; PSSD =  $(4,11)$ ,  $(4,12)$ ,  $(4,13)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 5$ ; PSSD =  $(5,14)$ ,  $(5,15)$ ,  $(5,16)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 6$ ; PSSD =  $(6,17)$ ,  $(6,18)$ ,  $(6,19)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 7$ ; PSSD =  $(7,20)$ ,  $(7,21)$ ,  $(7,22)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 8$ ; PSSD =  $(8,23)$ ,  $(8,24)$ ,  $(8,25)$ .

**Étape 2:** Calculer les positions d'unité en diagonale principale (MD).

$$PMD = [r, (W-1) r - (W-2)] \quad (II-7)$$

Pour  $W = 4$  et  $N = 8$ , les entrées suivantes sont calculées en fonction de l'équation (II.5) comme suit:

Pour  $\Rightarrow r = 1$ ; PMD =  $(1,1)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 2$ ; PMD =  $(2,4)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 3$ ; PMD =  $(3,7)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 4$ ; PMD =  $(4,10)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 5$ ; PMD =  $(5,13)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 6$ ; PMD =  $(6,16)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 7$ ; PMD =  $(7,19)$ .

Pour  $\Rightarrow r = 8$ ; PMD =  $(8,22)$ .

**Étape 3:** Calculez la longueur  $L = N(W - 1) + 1$ .

$W = 4$  et  $N = 8$ ,  $L = 8(4 - 1) + 1 = 25$ .

**Étape 4:** Calculer la dimension de la matrice DEU  $N \times L$ .

$N = 8$  et  $L = 25 \Rightarrow$  La dimension de la matrice DEU est de  $8 \times 25$ .

**Étape 5:** Remplissez les positions  $(MD)_k$  et  $(SSD)_k$  dans la matrice DEU avec "1" et remplissez les emplacements vides avec "0" à  $L - W$ .

En appliquant l'étape 5, remplir la position de SSD et MD obtenue aux étapes 1 et 2 avec "1" à 4 places ( $W = 4$ ) et remplir les places restantes avec "0" à 21 places ( $L - W = 25 - 4 = 21$ ) dans la matrice DEU. Le tableau (II.2) montre un exemple de modèles de code DEU pour  $W=4$  et  $N = 8$  en utilisant les étapes ci-dessus.

$C_1$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_2$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_3$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
$C_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
$C_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
					MD								SSD											

**Tableau II.2 Modèles de codes DEU pour ( $W = 4$  et  $N = 8$ ).**

## **II-10-modification du code DEU (MDEU : Modified diagonal eigen-value unity):**

Dans notre travail, on a fait une modification du code DEU de telle façon que le code sera cyclique et chaque utilisateur a une inter-corrélation avec deux utilisateurs. Cette modification sur le code nous a permis de réduire la longueur du code par rapport au code DEU présentés par H.Y.Ahmed, K.S. Nizar.

### **II-10-1- Étapes de la construction du code MDEU:**

**Etape 1 :** calculer les positions des "1" pour chaque utilisateur dans la matrice MDEU et calculer la longueur  $L=K(W-1)$ .

**Etape 2 :** supprimer la dernière colonne de la matrice MDEU et déplacer le dernier 1 à la première colonne du dernier utilisateur

**Exemple :** ( $W=4, k=8$ ), construire un code MDEU de longueur L

**Etape 1 :** calculer la longueur L et les positions des 1 pour chaque utilisateur :

$$*L=k(W-1)=8(4-1)=24.$$

\*pour les positions des "1" : on va utiliser dans chaque colonne  $(i-1)(w-1)+1$ , cette boucle sert à positionner les 1 l'un après l'autre pour chaque utilisateur en respectant le poids du code.

Ou : i présente le nombre de ligne.

User1 :  $i=1 \rightarrow (1-1)(4-1)+1=1$  donc on va positionner les "1" à partir de la première colonne jusqu'à ce que le nombre de poids est terminé.

User2 :  $i=2 \rightarrow (2-1)(4-1)+1=4$  donc on remplit la deuxième ligne avec 1 selon le poids à partir de la 4<sup>ème</sup> colonne.

User3 :  $i=3 \rightarrow (3-1)(4-1)+1=7$  donc on remplit la troisième ligne avec 1 en respectant le poids à partir de la 7<sup>ème</sup> colonne.

User4 :  $i=4 \rightarrow (4-1)(4-1)+1=10$  donc on remplit la quatrième ligne avec 1 en respectant le poids à partir de la 10<sup>ème</sup> colonne.



## II-10-2- Analyse mathématique de la structure codeur/décodeur pour le code MDEU:

Si on note  $c_f(i)$  le  $i^{\text{ème}}$  élément de la séquence du code MDEU, les propriétés de base des codes avec une détection **OR** peut être écrit come suit:

$$\sum_{i=1}^L C_f(i)C_g(i) = \begin{cases} w & ; f = g \\ 1 & ; f = g \pm 2 \\ 0 & ; \text{else} \end{cases} \quad (\text{II} - 8)$$

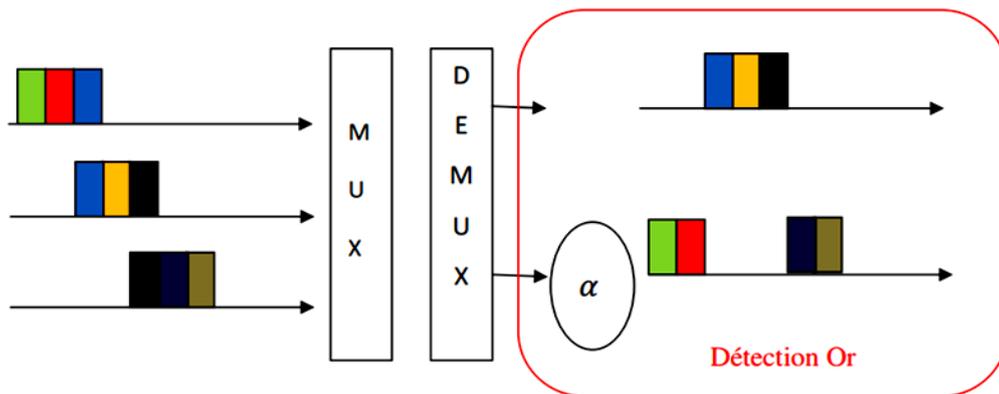
Pour la détection **OR**, la deuxième branche consiste des composants réalisant la fonction suivante:

$$\sum_{i=1}^L C_f(i) \left( \overline{C_g(i)}(C_{g-1}(i). \overline{C_{g-2}(i)}) \right) \text{OR} \left( C_{g+1}(i). \overline{C_{g+2}(i)} \right) = \begin{cases} 0 & ; f = g \\ 2 & ; f = g \pm 1 \\ 0 & ; \text{else} \end{cases} \quad (\text{II-9})$$

Donc, le décodeur base sur la détection **OR**, voir figure (II.11), permet d'éliminé totalement l'interférence crée par les autres utilisateurs, et on obtient l'équation suivante :

$$\sum_{i=1}^L C_f(i)C_g(i) - \sum_{i=1}^L C_f(i) \left( \overline{C_g(i)}(C_{g-1}(i). \overline{C_{g-2}(i)}) \right) \text{OR} \left( C_{g+1}(i). \overline{C_{g+2}(i)} \right) = \begin{cases} w & ; f = g \\ 0 & ; f = g \pm 1 \\ 0 & ; \text{else} \end{cases}$$

(II-10)



**Figure II.11 : Structure codeur/décodeur pour le code MDEU**

**Cas spécial :** dans le calcul de la matrice du décodage, si on trouve une donnée qu'elle n'appartient pas à un utilisateur, on prend la donnée du premier ou dernier utilisateur selon le besoin (par exemple si en veux calculer le décodage d'un utilisateur qui se situe dans la

première partie du code donc on prend le dernier code si on ne trouve pas un code dans le calcul et le contraire est vrai) puisque notre code est cyclique.

## ***II-11-Conclusion:***

Dans ce chapitre on a étudié quelques différents paramètres du système SAC-OCDMA (encodage/décodage, les bruits), puis on a abordé les codes des systèmes SAC-OCDMA incohérents comme le code MD avec une inter-corrélation nulle et les codes DEU avec une inter-corrélation égale à « 1 », puis on a fait une modification sur les codes DEU, cette famille de codes MDEU présente plusieurs avantages : (1) la simplicité de construction des codes. (2) flexibilité dans le choix de poids et le nombre d'utilisateurs. (3) la valeur maximale d'inter-corrélation égale à 1. (4) la structure du codeur/décodeur est simple. (5) une stabilité du code.

***Chapitre III :***  
***Simulation et interprétation des résultats***

### III- Simulation d'un système "Tout-Optique" SAC-OCDMA :

#### III-1-Introduction:

Nous présentons dans ce chapitre, l'évaluation des performances du système SAC-OCDMA avec détection **OR**, en utilisant le code MDEU, en termes de rapport signal à bruit et de taux d'erreur binaire. Afin de s'assurer de l'opération de codage et de décodage une configuration multi utilisateur est utilisée pour la simulation de la chaîne complète. Trois critères de qualité sont utilisés pour mesurer les performances du système SAC-OCDMA ; le taux d'erreur binaire (BER Bit Error Rate), le facteur Q et le diagramme de l'œil du signal. Nous décrivons dans ce qui suit les étapes permettant la détermination de l'expression du rapport signal à bruit (SNR Signal to Noise Ratio), nous exposons ensuite les différents résultats obtenus afin de déterminer les avantages apportés par notre code MDEU [27].

#### III-2-Calcul de la probabilité d'erreur pour un système SAC-OCDMA:

Dans ce paragraphe, nous calculons le BER du système SAC-OCDMA avec détection **OR**, utilisant le code MDEU proposé. Pour le calcul du SNR, nous supposons:

1. La source de lumière est non polarisée, son spectre est plat dans la largeur de bande  $\left[ \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}, \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2} \right]$ , où  $\nu_0$  est la fréquence centrale et  $\Delta\nu$  est la bande de la source en Hertz.
2. Les différents utilisateurs ont la même puissance à la réception.
3. Les trains de bits de chaque utilisateur sont synchronisés.

##### III-2-1 -Expression du BER :

Le taux d'erreur binaire peut être déterminé par [28], [29] :

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

$$\text{Avec:} \quad \text{SNR} = \frac{I^2}{I_{\text{tot}}^2} = \frac{I_1^2 - I_2^2}{I_{\text{tot}}^2} \quad (\text{III-2})$$

##### III-2-2- Calcul du photo-courant $I^2$ :

En prenant en compte tous les bruits, nous avons analysé les effets de bruit de grenaille et de bruit thermique ainsi que PIIN. De (III.8), la densité spectrale de puissance (DSP) au

## Simulation et interprétation des résultats

photo-détecteur 1 et au photo-détecteur 2 du n<sup>ième</sup> récepteur (f, g) pendant une période de bit peut s'écrire comme suit:

$$I_1 = R \int_0^{+\infty} G_1(v) dv \quad (III-3)$$

Avec :  $R = \frac{\eta e}{h \nu_0}$  (III-4)

$$\int_0^{+\infty} G_1(v) dv = \int_0^{+\infty} \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{f=1}^N d_f \sum_{i=1}^L C_f(i) C_g(i) \text{rect}(i) dv \quad (III-5)$$

où  $P_{sr}$  est la puissance effective d'une source à large bande au récepteur, N est les utilisateurs actifs et L est la longueur du code MDEU,  $d_f$  est le bit de données du N<sup>ième</sup> utilisateur qui est "1" ou "0", et  $u(v)$  est la fonction d'échelon unité exprimée comme:

$$\text{rect}(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad \text{et} : \int_0^{+\infty} \text{rect}(i) dv = \frac{\Delta v}{L}$$

$$\int_0^{+\infty} G_1(v) dv = \int_0^{+\infty} \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{f=1}^N d_f \sum_{i=1}^L C_f(i) C_g(i) \frac{\Delta v}{L}$$

$$\int_0^{+\infty} G_1(v) dv = \frac{P_{sr}}{L} \sum_{f=1}^N d_f \sum_{i=1}^L C_f(i) C_g(i)$$

$$\int_0^{+\infty} G_1(v) dv = \frac{P_{sr}}{L} \sum_{f=1}^N d_f \sum_{i=1}^L C_f(i) C_g(i) + \frac{P_{sr}}{L} \sum_{f=1}^N d_f \sum_{i=1}^L C_f(i) C_{g\pm 1}(i)$$

$C_g(i)$  : représente le code de l'utilisateur désiré g.

En utilisant les propriétés du code MDEU pour obtenir un photo-courant pur après le processus de soustraction sur les photo-détecteurs:

$$I^2 = I_1^2 - I_2^2$$

$$I^2 = R^2 \left[ \int_0^{+\infty} G_1(v) dv - \int_0^{+\infty} G_2(v) dv \right] \quad (III-9)$$

$$I^2 = R^2 \left[ \frac{P_{sr}^2 w^2}{L^2} d_f + 4 \frac{P_{sr}^2}{L^2} \right]$$

$$I^2 = \frac{R^2 P_{sr}^2 K^2}{w^2} d_f \quad (III-10)$$

### **III-2-3 -Calcul de la variance du bruit:**

La variation du bruit est donnée comme suit :

$$I^2_{tot} = I_{PIIN}^2 + I_{shot}^2 + I_{thermal}^2 \quad (III-11)$$

## Simulation et interprétation des résultats

Où  $I^2_{\text{tot}}$  est la puissance de bruit totale;  $I^2_{\text{shot}}$  est la variance du bruit de grenaille;  $I^2_{\text{PIIN}}$  est le bruit d'intensité induit par la phase (PIIN);  $I^2_{\text{thermal}}$  est le bruit thermique voir chapitre II. Alors, l'équation. (III.11) devenue:

$$I^2_{\text{tot}} = B(I_1^2 \tau_{c1} + I_2^2 \tau_{c2}) + 2eBI + \frac{4k_b T_b B}{R_1} \quad (\text{III-12})$$

Donc:

$$1/ I^2_{\text{shot}} = 2eB(I_1 + I_2)$$

$$I^2_{\text{shot}} = 2eBR \frac{P_{\text{sr}}}{L} (w d_f + 2 + 2)$$

$$I^2_{\text{shot}} = 2eBR \frac{P_{\text{sr}}}{L} (w d_f) \quad (\text{III-13})$$

$$2/ I^2_{\text{PIIN}} = B(I_1^2 \tau_{c1} + I_2^2 \tau_{c2}) \quad (\text{III-14}) \quad \text{avec } \tau_c = \frac{\int_0^{+\infty} G^2(v) dv}{[\int_0^{+\infty} G(v) dv]^2}$$

$$I^2_{\text{PIIN}} = BR^2 \frac{P_{\text{sr}}^2 N W}{\Delta v L} [2w] \quad (\text{III-15})$$

En remplaçons les équations (III.13) et (III.15) dans l'équation (III.12) pour obtenir l'équation de la variance de bruit :

$$I^2_{\text{tot}} = BR^2 \frac{P_{\text{sr}}^2 W}{\Delta v L K} [w] + 2eBR \frac{P_{\text{sr}}}{L} (2w d_f) + \frac{4k_b T_b B}{R_1} \quad (\text{III-16})$$

L'équation du SNR pour détection **OR** sera alors le rapport des équations (III-10), (III-16) :

$$\text{SNR} = \frac{I_1 - I_2}{I^2} = \frac{\frac{R^2 P_{\text{sr}}^2 k^2}{w^2} d_f}{BR^2 \frac{P_{\text{sr}}^2 N}{\Delta v L k} [w+4] + 2eBR \frac{P_{\text{sr}}}{L} (2w d_f) + \frac{4k_b T_b B}{R_1}} \quad (\text{III-17})$$

Où  $P_{\text{sr}}$  est la puissance effective d'une source large bande au récepteur,  $e$  est la charge électronique,  $B$  est la bande passante équivalente électrique du récepteur en [Hz],  $k_b$  est la constante de Boltzmann,  $T_b$  la température absolue du récepteur,  $R_1$  est la résistance de charge du récepteur,  $\Delta v$  est la largeur de bande de la source optique  $w$ ,  $N$  et  $L$  sont respectivement le poids du code, le nombre d'utilisateurs et la longueur du code, comme étant les paramètres de notre code DEU. Le taux d'erreur binaire (BER) est calculé à partir du SNR en utilisant l'approximation gaussienne [30], [31].

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\text{SNR}}{8}} \quad (\text{III-18})$$

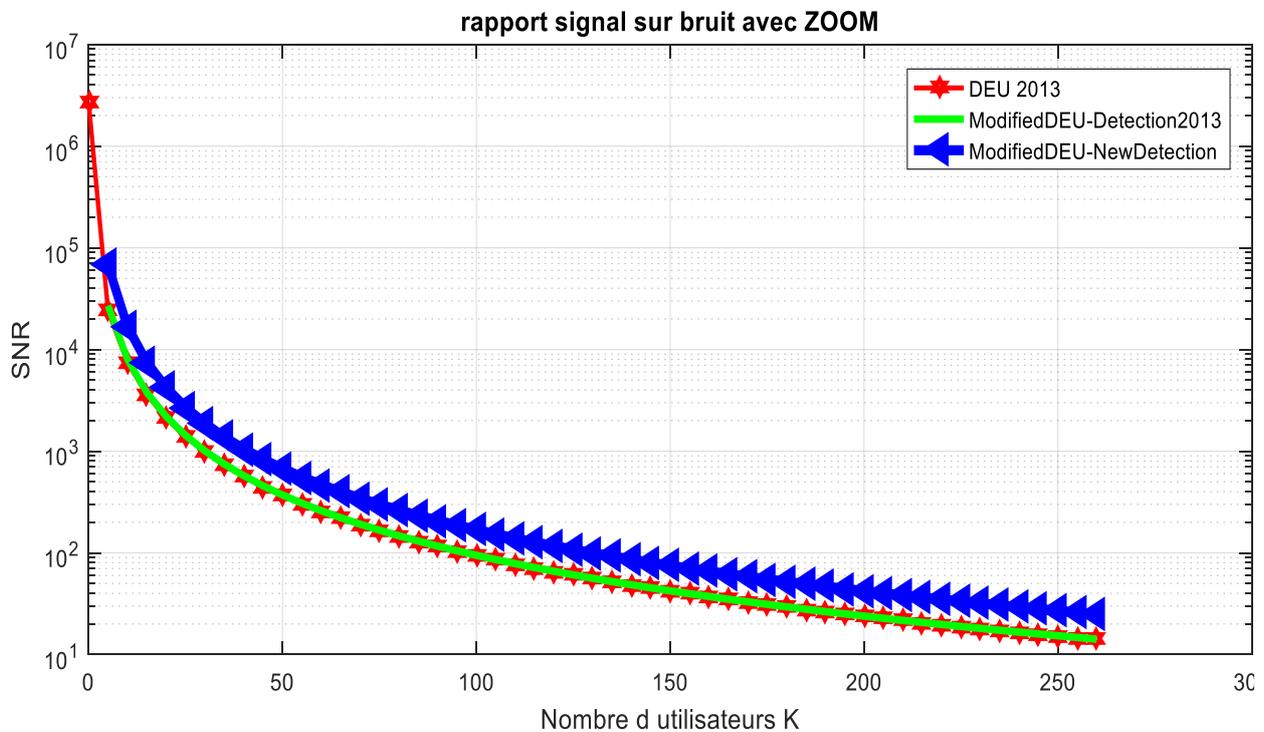
## Simulation et interprétation des résultats

Les performances de notre code MDEU obtenus sont données aux figures [III.1] et [III.2], les paramètres utilisés dans notre calcul numérique sont listés dans le tableau (III.1) suivant :

$\eta$	Rendement quantique	0.6
$V_0$	La fréquence centrale	193.4 THz
$h$	Constante de Plank	$6.62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg /s}$
$P_{sr}$	Puissance d'émission	-10 dBm (10 <sup>-4</sup> W)
B	Bande passante électrique à la réception	466.5 Mhz
$T_b$	Température de bruit au niveau du Récepteur	300 K
E	La charge d'électron	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
$k_b$	Constante de Boltzmann	$1.3806503 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$
$R_l$	Résistance de charge	1030 $\Omega$
$W$	Poids du code	4

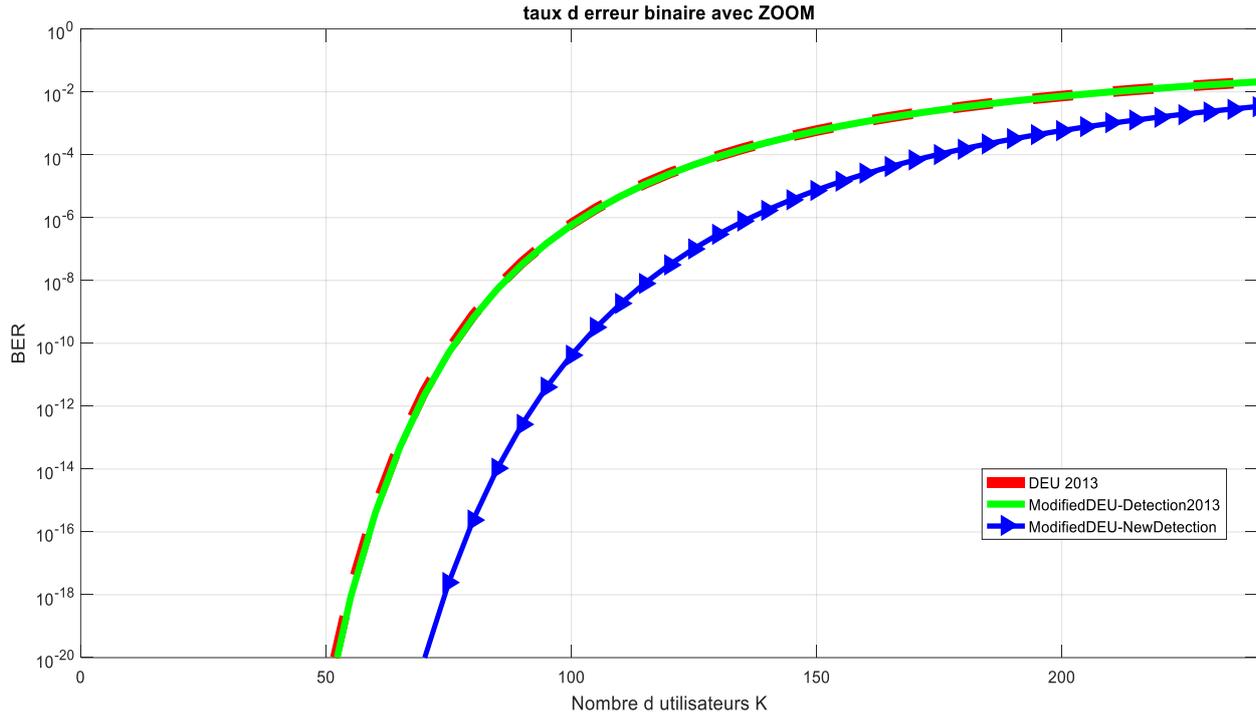
**Tableau III.1 : Paramètres utilisés dans le calcul numérique**

Les figures [III.1] et [III.2] illustre la relation existante entre le SNR et le BER en fonction du nombre d'utilisateurs actifs pour les codes DEU.



**Figure III.1 : SNR en fonction du nombre d'utilisateurs**

## Simulation et interprétation des résultats



**Figure III.2 BER en fonction du nombre d'utilisateurs**

En termes de SNR et de BER, les figures [III.1] et [III.5] montrent respectivement que les performances de notre nouveau code MDEU est meilleurs que les codes DEU. La différence constatée due principalement à la longueur du code  $L$ . Le BER maximum accepté qui est de  $10^{-9}$  est obtenu pour 100 utilisateurs actifs.

### **III-3- Simulation du système SAC-OCDMA :**

Pour compléter ce travail une deuxième partie de simulation à l'aide logiciel Optisystem7.0, qui est un outil innovant permettant de réaliser des chaines de transmission optiques à l'aide de schémas à blocs. Une configuration a été simulée en considérant quatre utilisateurs. Les codes utilisés, issus de la méthode de constructions de notre code DEU sont donnés dans le tableau (III.2) [32].

C1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

# Simulation et interprétation des résultats

Tableau III.2 Code DEU modifié

## III-3-1-Configuration SAC-OCDMA :

Dans cette phase un système SAC-OCDMA transmettant quatre données étalées avec la signature spectrale des trois utilisateurs C1, C2, C3 et C4 voir tableau (III.2) à été simulé. La figure (III.3) présente la configuration SAC-OCDMA.

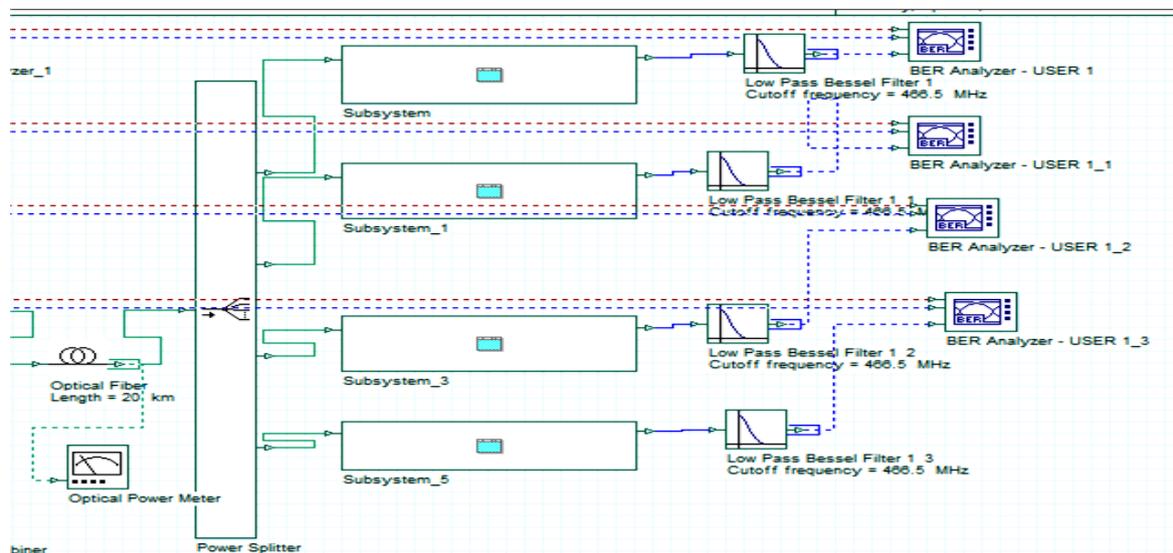
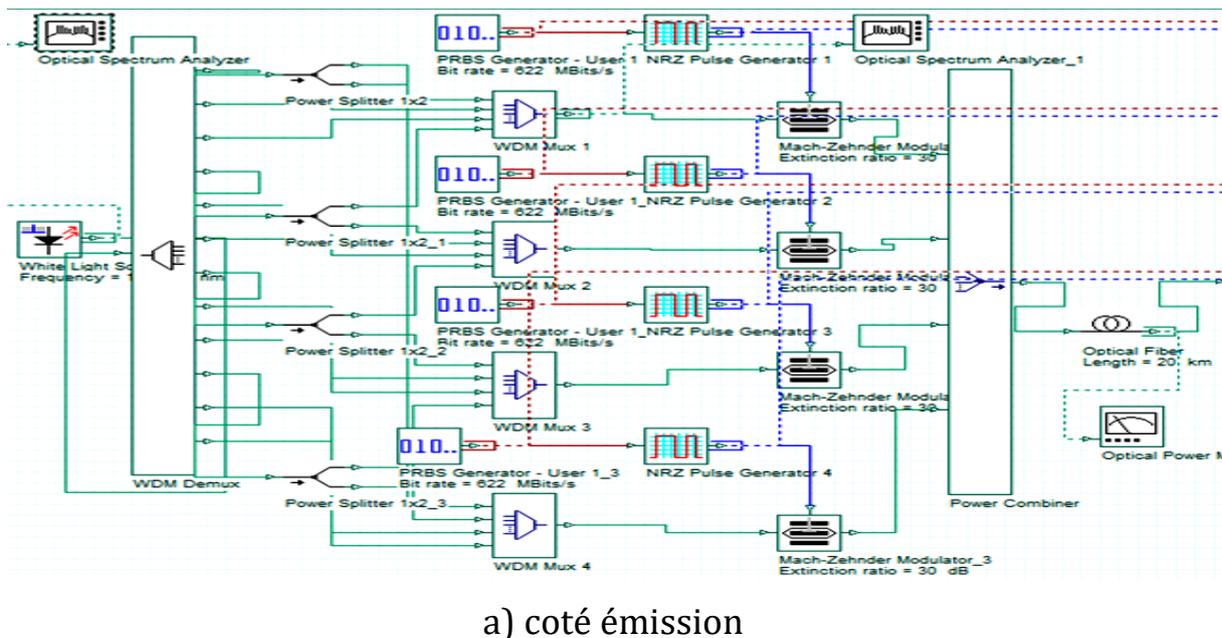
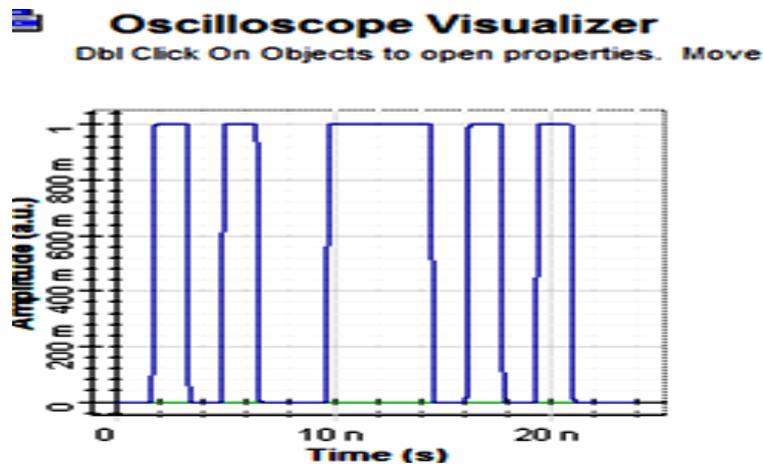


Figure III.3 : Configuration SAC-OCDMA sous optisystem 7.0

Les deux blocs, Le générateur PRBS (Pseudo Random Bit Sequence Generator) et le générateur NRZ (Non Return to Zero), délivre une séquence de bits de débit,  $D_b = 622$

## Simulation et interprétation des résultats

Mbit/s, de façon aléatoire avec une équiprobabilité entre les '0' et les '1' ( $P(0) = P(1) = \frac{1}{2}$ ) (voir figure III.4).



**Figure III.4 Séquence de données.**

Le générateur PRBS permet le réglage de (voir figure III.5):

\*Débit binaire des données (data bit rate),  $D_b = 622$  Mbits/s. le temps bit est :

$$T_b = \frac{1}{D_b} \approx 1.60 \text{ ns.}$$

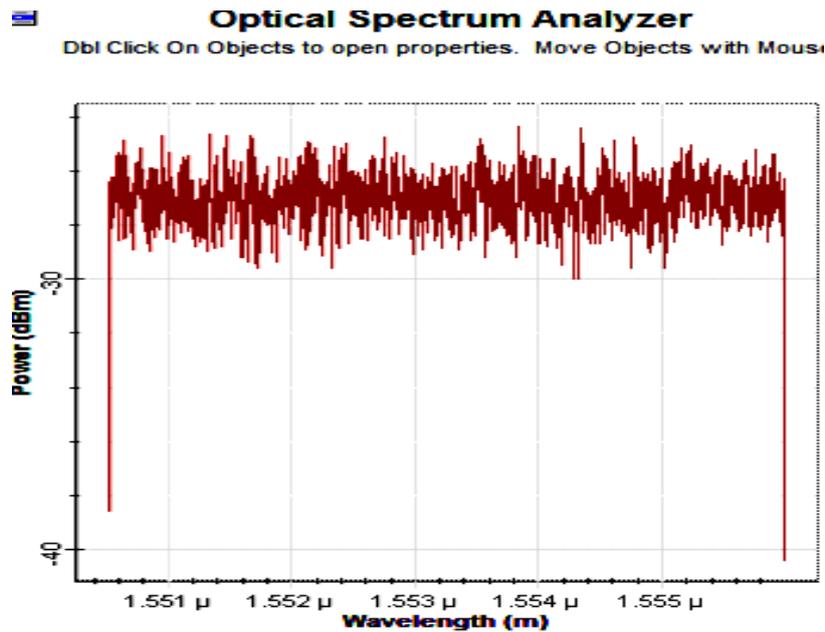
- Les données de chaque utilisateur sont générées de façon aléatoire avec une équiprobabilité entre les '0' et les '1' ( $P(0) = P(1) = \frac{1}{2}$ ).

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Bit rate	622	Mbits/s	Normal
<input type="checkbox"/>	Operation mode	Probability		Normal
<input type="checkbox"/>	Order	$\log(\text{Sequence length})/\log(5)$		Script
<input type="checkbox"/>	Mark probability	0.5		Normal
<input type="checkbox"/>	Number of leading zeros	1		Normal
<input type="checkbox"/>	Number of trailing zeros	1		Normal

**Figure III.5 : Configuration du générateur PRBS**

### **III-3-1-1- La Source lumineuse blanche (White Light Source) :**

Pour généré la bande nécessaire, on utilise une source lumineuse blanche fournissant une bande de 5.5 nm. Cette bande va de 1550 nm à 1555.5 nm (voir figure III.6).



**Figure III.6 : La bande de la source lumineuse**

La longueur d'onde centrale du spectre considéré à l'émission est :

$$\lambda_{\text{centrale}} = \frac{1550 \text{ nm} + 1555.5 \text{ nm}}{2} = 1552.75 \text{ nm}$$

Le code est composé de 12 longueurs d'onde (voir tableau III.2), autrement dit, nous devons disposer de 12 ondes de largeur  $\Delta\nu = \frac{5.5 \text{ nm}}{12} = 0.45 \text{ nm} \approx 0.5 \text{ nm}$

### **III-3-1-2-Calcul des paramètres de simulation :**

La bande considérée est égale au paramètres «Sample Rate, paramètre spécifié dans le logiciel ». Ce paramètre est calculé comme suit :

- Calcul de la bande  $B_L$  en Hz de la source optique (Sample rate) Sachant que  $\lambda = \frac{c}{f}$ , 'c' étant la vitesse de la lumière  $\Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$ , selon la bande considérée on a :

$$\Rightarrow f_{\text{max}} = \frac{c}{\lambda_{\text{min}}} = \frac{3 \times 10^8}{1550 \times 10^{-9}} = 193.54 \text{ THz.}$$

$$\Rightarrow f_{\text{min}} = \frac{c}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{3 \times 10^8}{1555.5 \times 10^{-9}} = 192.86 \text{ THz.}$$

Donc :

$$B_L = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 680 \text{ GHz.}$$

En introduisant la bande de la source (sample rate, voir figure III.7), les différents paramètres de simulation sont calculés automatiquement par le logiciel.

## Simulation et interprétation des résultats

Simulation			
Signals			
Spatial effects			
Noise			
Signal tracing			
Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set sample rate		Normal
Reference bit rate	<input type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	10625000000	Bits/s	Normal
Time window	2.409411764706e-008	s	Normal
Sample rate	680000000000	Hz	Normal
Sequence length	256	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	16384		Normal

**Figure III.7 Paramètres de simulation**

### III-3-1-3-Coté émission :

#### III-3-1-3-1-Démultiplexeur WDM :

Un démultiplexeur optique est placé après la source optique afin de diviser la bande passante en 12 longueurs d'ondes (Figure III.8).

Main				
Channels				
Ripple				
Simulation				
Noise				
Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Frequency[0]	1550	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[1]	1550.5	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[2]	1551	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[3]	1551.5	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[4]	1552	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[5]	1552.5	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[6]	1553	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[7]	1553.5	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[8]	1554	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[9]	1554.5	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[10]	1555	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency[11]	1555.5	nm	Normal

**Figure III.8 : Les 12 longueurs d'ondes**

Afin que la simulation soit la plus proche possible de la réalité, certaines contraintes doivent être prises en considération. Pour cela les paramètres suivants, identiques à ceux existants dans le domaine de l'industrie, sont utilisés :

\* Atténuation = 0.2 dB/km.

## Simulation et interprétation des résultats

\*Dispersion = 16.75 PS/nm /km.

\*Courant d'obscurité des photodiodes = 5 nA.

\*La DSP du bruit thermique =  $10^{-23}$  W/Hz.

\*Fibre optique de longueur 20 km.

### **III-3-1-3-2-Multiplexeur WDM :**

Pour chaque utilisateur, un multiplexeur regroupe un ensemble de longueurs d'ondes dans le but de constituer la signature spectrale du code. Pour notre système SAC-OCDMA, chaque code contient 4 longueurs d'ondes. La signature spectrale est ensuite modulée avec la donnée binaire (Figure III.9).

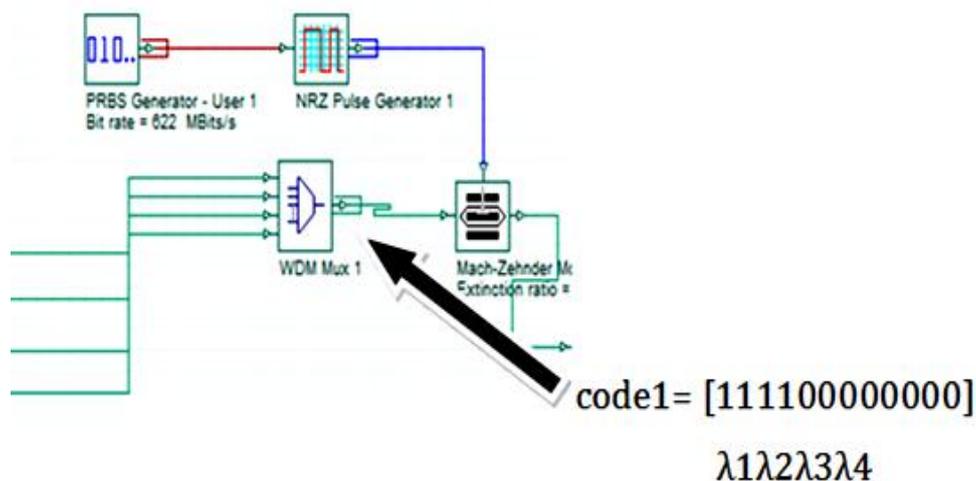


Figure III.9 La technique d'encodage du premier utilisateur

Les séquences de code construit par les multiplexeurs auront, la forme illustrée dans la figure (III.10).

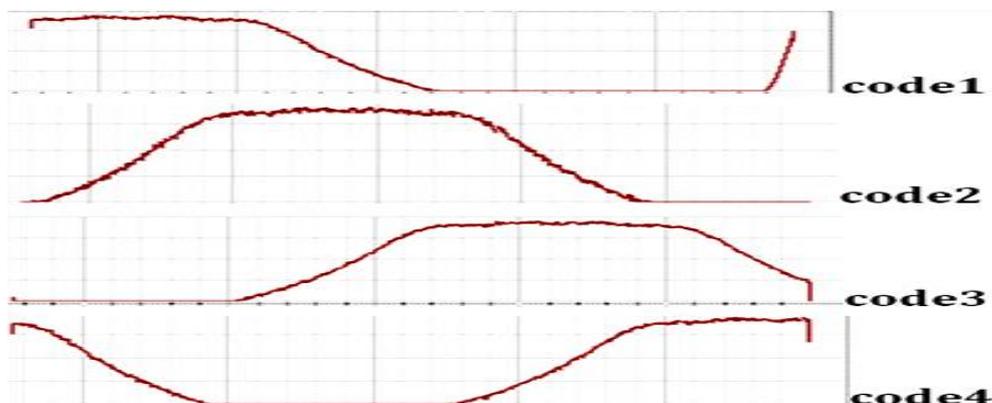


Figure III.10 Signature spectrale des différents codes.

## Simulation et interprétation des résultats

### III-3-1-4-La fibre optique:

La fibre utilisée introduit une atténuation de 0.2 dB/km, pour une longueur de 20 km, pour une longueur de 20 km on aura une atténuation de 4 dB ( $20 \text{ km} \times 0.2 \text{ dB/km}$ ).



Figure III.11 : Puissance optique avant après émission

### III-3-1-5- Le filtre optique de Bessel:

A la réception, deux branches sont insérés, chacun des deux branches contient des filtres optiques de Bessel dans la première branche les filtres réalisant les longueurs d'onde désirés et dans le deuxième réalisant la détection **OR**, voir figure (III.3) et figure (III.12).

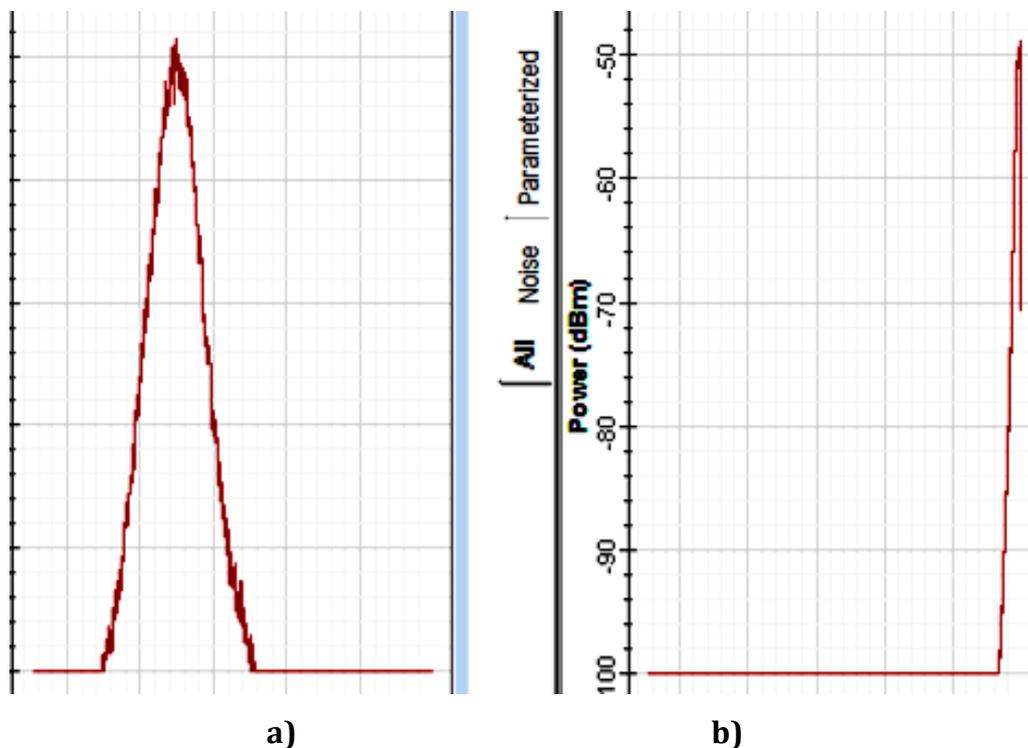


Figure III.12 : Sorties du filtre de Bessel du premier utilisateur

a) branche supérieur b) branche inferieur

### III-3-1-6- Le photo-détecteur:

A la réception, un photo-détecteur est inséré pour détecter la signature spectrale reçu, c'est la détection **OR**, la puissance reçu est ensuite convertie en un signal électrique voir figure (III.13).

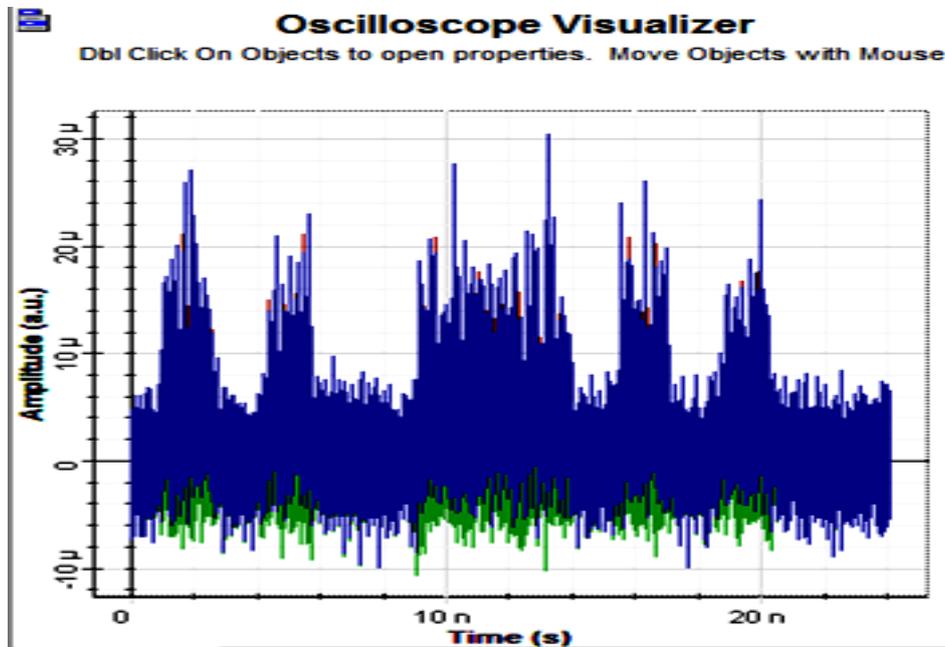


Figure III.13 : Le signal électrique à la sortie du photo-détecteur.

Après conversion électrique, un filtre de Bessel passe bas fait office de filtre de mise en forme afin de donner au signal une forme qui facilitera l'opération de décision.

### III-3-1-7- Le seuil de décision:

Le bloc 'BER analyser' calcule le seuil de décision voir figure (III.14). ainsi ce bloc nous permet de visualiser certaines courbes qui permettent d'évaluer le système tel que celle du BER, du facteur Q ainsi que le digramme de l'œil.

Analysis	
Max. Q Factor	7.95882
Min. BER	8.56987e-016
Eye Height	2.97012e-006
Threshold	2.45292e-006
Decision Inst.	0.594875

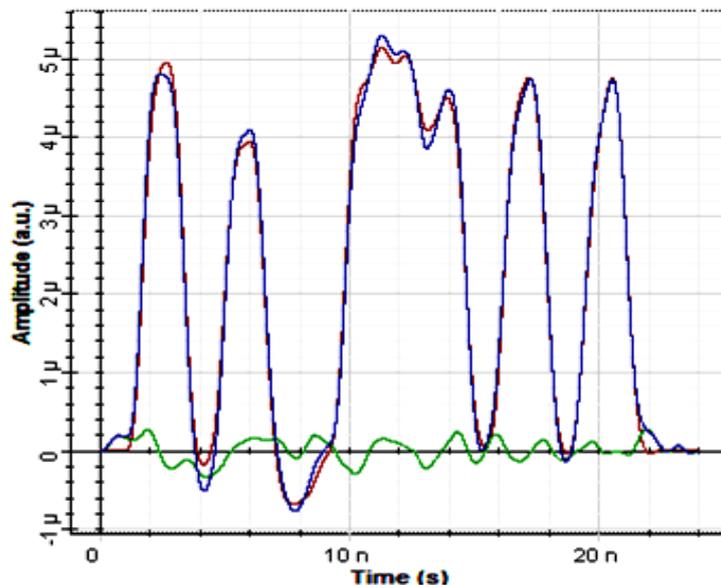
Figure III.14 : Le seuil de décision

## Simulation et interprétation des résultats

Le calcul de seuil de décision est réalisé par la relation suivante:

$$S = \frac{i_0 + i_1}{2}$$

Où  $i_0$  et  $i_1$  sont les courants associés respectivement aux bits 0 et 1. Ils ont des valeurs variables en fonction du temps dû à l'altération du canal de transmission. Il est à préciser que chaque bit contient 64 échantillons, chacun de ces échantillons aura une amplitude différente au cours du temps bit. La figure (III.15) représente le signal électrique reçu.

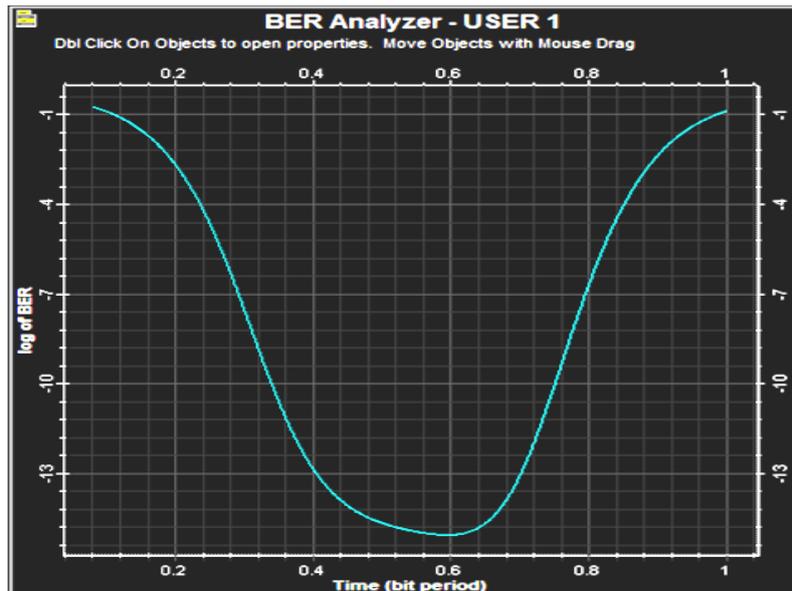


**Figure III.15 : Le signal électrique après filtrage de mise en forme**

La valeur du seuil de décision ( $s = 2.45292 \cdot 10^{-6}$ ) peut donc être représentée en fonction du temps bit comme le montre la figure (III.15). Le seuil optimal de décision pour l'utilisateur se situe toujours à une valeur proche du milieu entre  $i_0$  et  $i_1$ . Cela est due au fait que la séquence binaire émise suit un codage NRZ.

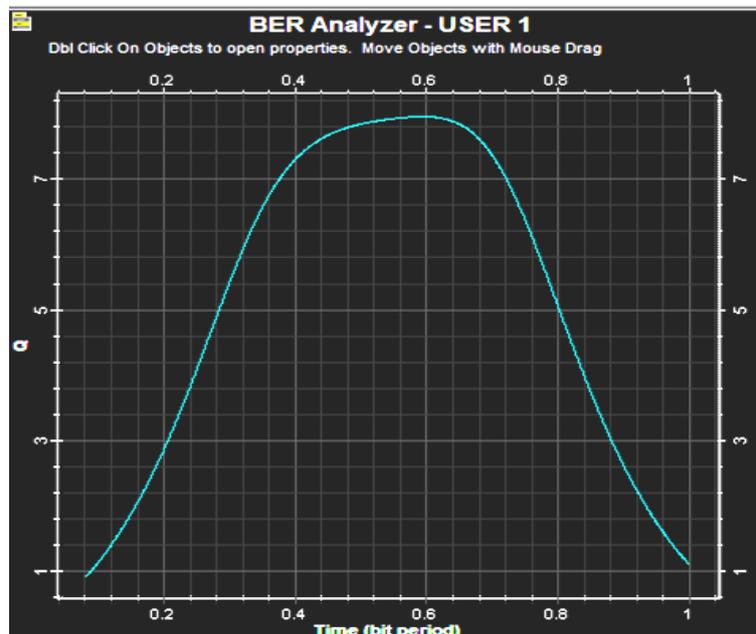
### **III-3-1-8- Le BER :**

Dans la figure (III.16), on peut lire la valeur du BER minimale obtenue, relatif au seuil minimum, qui est de  $8.56987 \times 10^{-16}$  ( $\log(\text{BER}) = -15.06$ ). Cette valeur est inférieure à  $10^{-9}$  acceptée pour la transmission optique.



**Figure III.16 : Evolution du BER durant le temps bit**

Pour obtenir un BER inférieur à  $10^{-9}$ , le nombre de bits transmis doit être au moins  $10^{10}$ , il n'est plus envisageable d'utiliser des méthodes de comptages d'erreurs pour évaluer les performances des systèmes. Dans ce cas, le BER est estimé par l'intermédiaire du facteur de qualité Q. La figure (III.17), illustre la variation du facteur Q durant le temps bit, la valeur retenue est celle correspondante au seuil minimum. Dans le cas étudié, le facteur Q obtenue est supérieur à la valeur minimale acceptable qui est 7 ( $Q=7.95882$ ).



**Figure III.17 : Evolution de facteur Q durant le temps bit**

### III-3-1-9-Le diagramme de l'œil:

## Simulation et interprétation des résultats

L'ouverture verticale du diagramme l'œil indique une bonne résistivité du système étudié au bruit et l'ouverture horizontale indique la sensibilité à un décalage de l'instant d'échantillonnage.

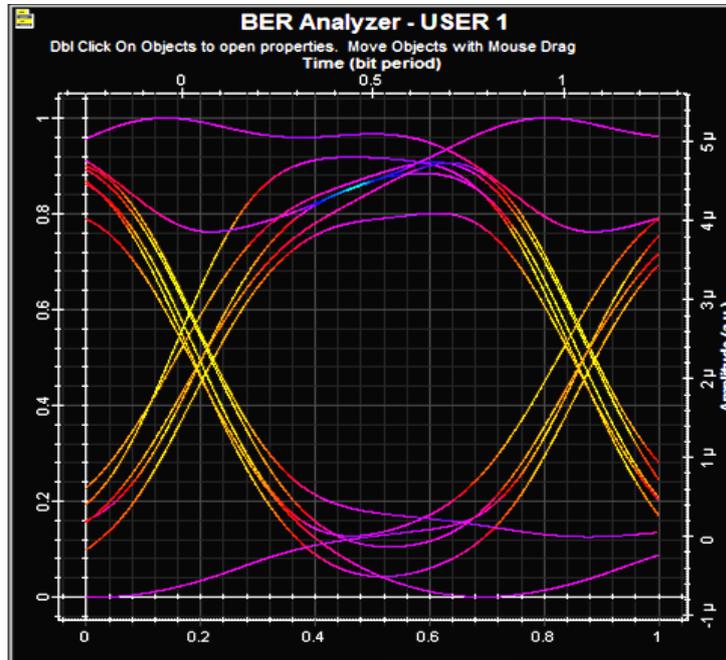


Figure III.18 : Diagramme de l'œil.

### III-3-1-10-Modification des distances :

Dans cette partie, on va faire la simulation du système SAC-OCDMA pour les débits 20Km, 25Km, 30Km et 35Km. Les résultats obtenus sont les suivants :

# Simulation et interprétation des résultats

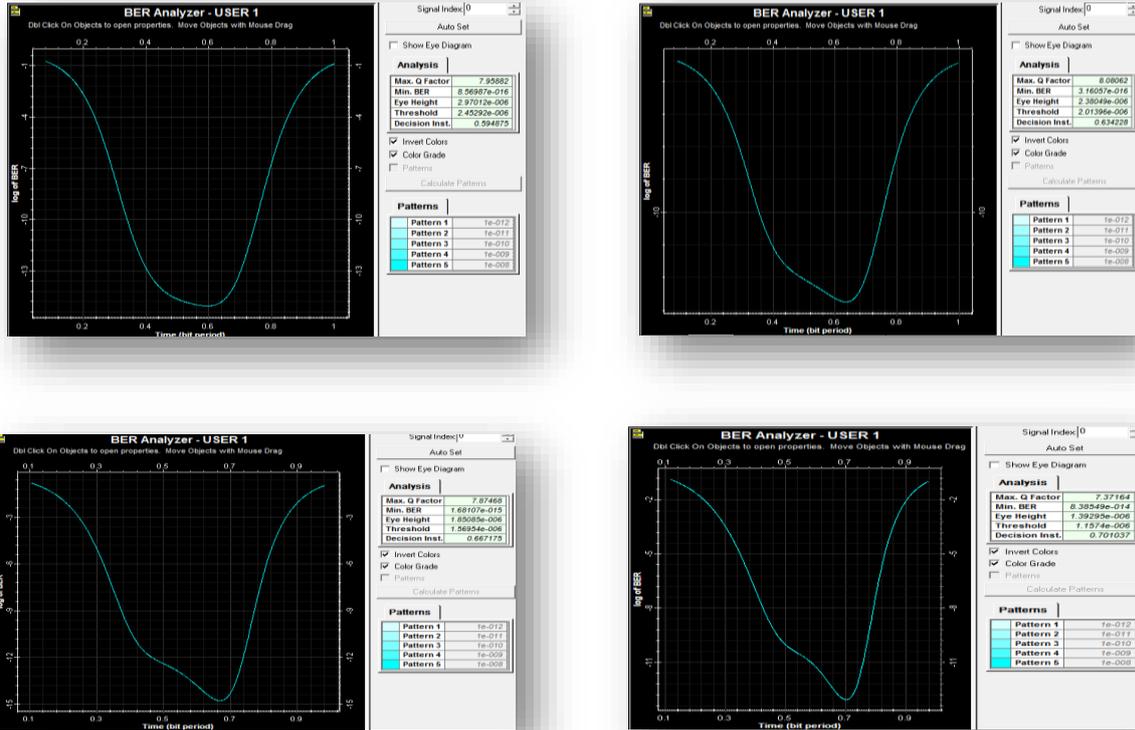
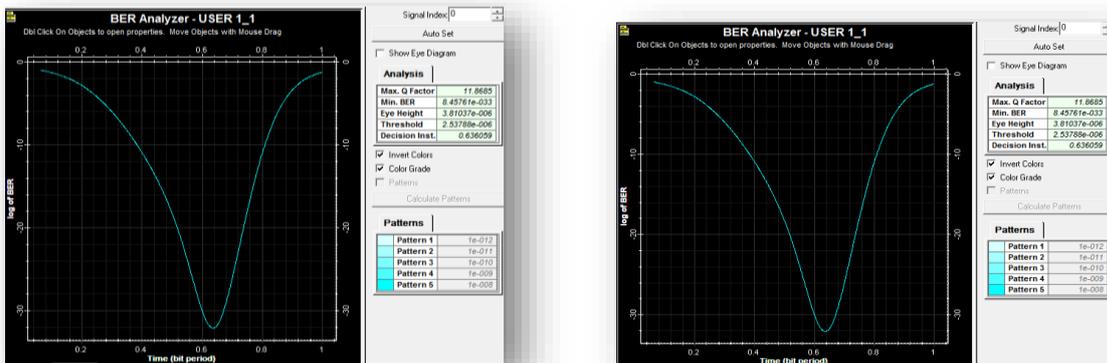


Figure III.19: l'Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 1 dans différentes distances 20, 25, 30, 35 km.



# Simulation et interprétation des résultats

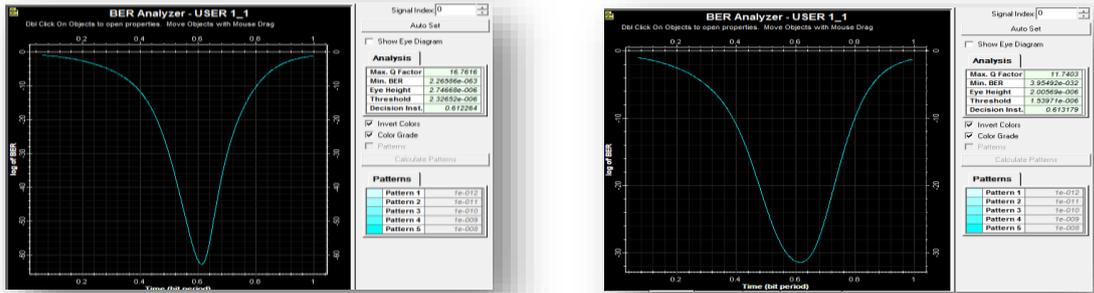


Figure III.20 : L'Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 2 dans différentes distances 20, 25, 30, 35 km

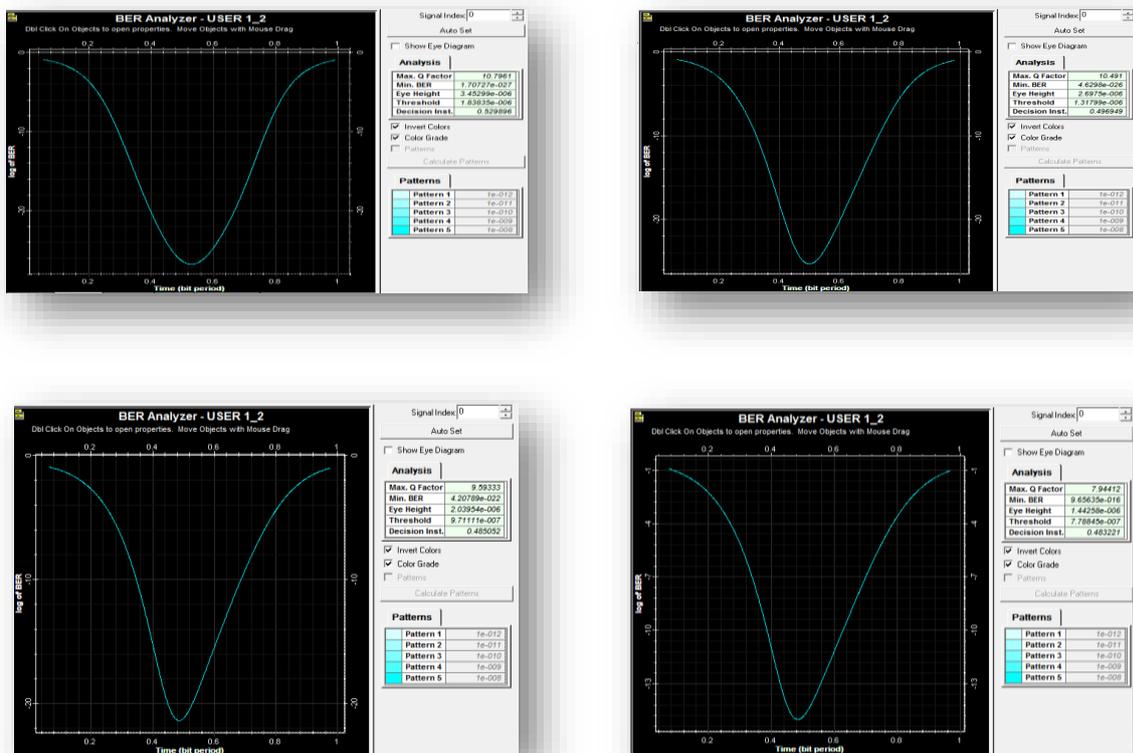
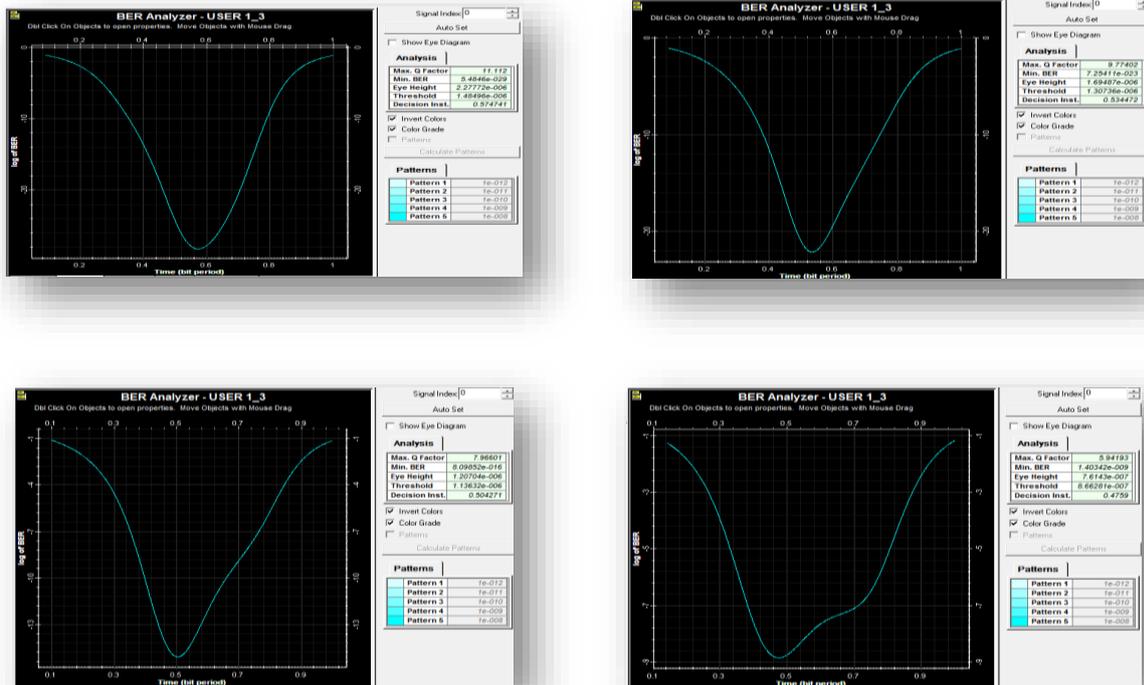


Figure III.21: L'Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 3 dans différentes distances 20, 25, 30, 35 km.

# Simulation et interprétation des résultats



**Figure III.22: L'Evolution du BER durant le temps bit d'utilisateur 4 dans différentes distances 20, 25, 30, 35 km.**

D'après les résultats obtenus, on remarque que la valeur du BER est démunie quand la distance de la fibre augmente donc notre système est valable pour les distances égale ou inférieur à 35 km.

## **III-4-Conclusion:**

Dans ce chapitre, l'évaluation des performances du système SAC- OCDMA avec détection **OR**, utilisant le code MDEU, en termes de rapport signal à bruit et du taux d'erreur binaire a été effectuée. Il est à noter que l'expression analytique du SNR, pour une détection **OR**, a été établie en se basant sur des approches précises. Afin de s'assurer de l'opération de codage et de décodage, une configuration de transmission de signaux SAC-OCDMA basées sur les codes étudiés, ont été implémentées sous le logiciel Optisystem 7.0.

L'effet MAI et PIIN ont été mise en œuvre par les trois critères de qualité ; le BER, le facteur Q et le diagramme de l'œil. Les résultats obtenus permettent de considérer le nouveau code MDEU comme code de référence pour le système SAC-OCDMA à détection **OR**.

### Conclusion générale:

L'objet du travail décrit dans ce mémoire concerne la problématique de la transmission sur fibres optiques. Le support essentiel de transmission considéré étant la fibre optique, il s'est donc avéré nécessaire de détailler ses caractéristiques physiques afin de se focaliser ensuite sur les avantages et inconvénients liés à son fonctionnement. Pour ces besoins de transmission optique, il est également nécessaire de s'intéresser aux différentes techniques d'accès multiples exploitées dans les domaines radiofréquence et optique.

Notre étude se focalise sur l'évaluation des performances du système SAC-OCDMA avec détection **OR**, en utilisant le code MDEU (Modified Diagonal Eigen-value Unity), les différents utilisateurs qui émettent simultanément leurs données interfèrents uns avec les autres. Cette interférence entre les différents utilisateurs appelée MAI (Multiple Access Interference) est la principale cause de dégradation des performances d'un système de réception. De ce fait, il est nécessaire d'étudier les récepteurs permettant de diminuer ou d'annuler ces interférences d'accès multiples.

Dans le premier chapitre, nous nous sommes intéressés principalement à la description de la chaîne de communications optiques et aux différentes notions de multiplexage et de techniques d'accès multiples utilisées dans les systèmes de communications optiques, ainsi les Techniques de Codage OCDMA.

Dans le second chapitre, nous avons basées sur le principe du codage spectral d'amplitude, les différentes techniques de détections ainsi que les bruits engendrés par le système, les familles de code utilisées en OCDMA ; et les codes DEU ont été présentées, et on a pu plus détailler les codes DEU et les modifié.

Dans le dernier chapitre, la simulation d'une chaîne de SAC-OCDMA avec détection **OR** à été réalisée pour 4 utilisateurs actifs où on a utilisé le code MDEU sous logiciel optisystem 7.0 avec un débit binaire de 1.5 Gbits/s. Les résultats obtenus, en termes de BER et de diagramme de l'œil, nous ont permis de confirmés l'impact résultant des interférences d'accès multiples. Le travail est achevé par une optimisation du nombre d'utilisateurs dans un système SAC-OCDMA avec détection **OR** en préservant une bonne qualité de communication, qui résiste aux différentes perturbations causées par les interférences d'accès multiples.

### Références bibliographiques

- [1] A. Stöhr, K. Kitayama, and D Jäger, "Error Free Full Duplex Optical WDMFDM Transmission using an EA-transceiver", International Topical Meeting on Microwave Photonics MWP'98, Princeton, October 1998.
- [2] Naufal M. Saad, "Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique", Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2005.
- [3] Garadi Ahmed, "Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : Application au système SAC-OCDMA", Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel-Abbes, 2015.
- [4] Benzardjeb Choukri, Selka Soufyane, "Encodage de l'Amplitude Spectrale pour OCDMA", Mémoire de master, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, 2013.
- [5] GRAINI.L, « Applications des similaritons dans les systèmes de télécommunications par fibre optique à très haut débit », Thèse de Doctorat, Université Badjimokhtar Annaba ,2017.
- [6] DELLAL. A et ASSAFI.E. Etude de l'amplification dans les systèmes de transmission par fibre optique : INT&TIC.2010.
- [7] : Simulation De Systèmes De Télécommunications Par Fibre Optique à 40 Gbits/s, Jean-Louis VERNEUIL, université de Limoges, Le vendredi 21 novembre 2003
- [8] VERNEUIL.J. Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2003. 297.
- [9] ZOUINE.Y. Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2005.191.
- [10] Senior, J.M. and M.Y. Jamro, Optical fiber communications: principles and practice2009: Pearson Education.
- [11] BOUDRIOUA.N. Liaison par fibre optique à haut débit. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges :Université de Limoges.2003.297.
- [12] : Optique Et Télécommunication. Alain COZANNET ingénieur au C.N.E.T, Henri MAITRE maîtreassistant à E.N.S.T, Jacques FLEURET Pr à E.N.S.T, Michel ROUSSEAU ingénieur à la compagnie lyonnaise de transmission optique. Eyrolles, paris 1983.

## Références bibliographiques

---

- [13] : Télécom Sur Fibres Optiques. (2<sup>eme</sup> édition revue et augmentée), Pierre LECOY Hermés, Paris, 1992, 1997.
- [14] BOUDRIOUA.N, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD », Thèse de Doctorat, l'Université Paul Verlaine-Metz, 2007.
- [15] : Propagation Et Caractérisation Des Fibres Optiques, CHERBI (épouse BAZI) LYND, École nationale polytechnique, Le 18 octobre 2007.
- [16] KACEMIM et BELLIL.B. Etude et simulation d'une transmission WDM : INT& TIC. Juin 2006.
- [17] Les Fibres Optiques : Supplément D'électromagnétisme Appliqué, Pierre-André Bélanger, Université Laval, Canada
- [18] Maini, A.K. and V. Agrawal, Multiple Access Techniques. Satellite Technology, Second Edition, Second Edition: p. 235-270.
- [19] Ghafouri-Shiraz, H. and M.M. Karbassian, Optical CDMA networks: principles, analysis and applications. Vol. 38. 2012: John Wiley & Sons.
- [20] Saad, N.M., Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique, 2005, Limoges.
- [21] Bouarfa Abdelkader, "Formats de modulation et codes adaptés aux communications numériques optiques à très haut débit", Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel-Abbes, 2018.
- [22] RAHIL Kamilia, TouTou Thinhinane, "Analyse des performances des codes SAC-OCDMA dans la liaison de télécommunications optiques", Mémoire de master, Université Tasdawit Bgayet de Béjaia, 2019.
- [23] Chaabane Chaouche Hicham, "Calcul exact du SNR et BER pour les systèmes SAC-OCDMA", Mémoire de master, Université Moulay Tahar de Saida, 2017.
- [24] Abdenour Heyfa, Ben Aoumeur Mohamed, "Etude Et simulation du système SAC-OCDMA utilisant la technique SPD", Mémoire de master, Université Moulay Tahar de Saida, 2018.

## Références bibliographiques

---

- [25] H.Y. Ahmed, M. Almaleeh, H.A. Fadhil, S.A. Aljunid, A. Babiker, N.M. Saad, "Performance analysis of optical CDMA system using VC code family under various optical parameters", *Journal of Engineering Science and Technology* 7 (2012)303–321.
- [26] BRUYERE .F, « Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », *Revue des Télécommunications d'Alcatel*, 1er trimestre 2002, pp. 27-32.
- [27] M. M. Karbassian "conception et analyse des architectures de propagation de code et d'émetteur récepteur pour réseaux optiques de CDMA". Thèse de doctorat, Université de Birmingham, 2009.
- [28] Ihssan Sh. H, Feras N. Hasoon, Sahbudin Shaari, "Optical CDMA system parameters limitations for AND subtraction detection scheme under enhanced double weight (EDW) code based on simulation experiment". *Optica Applicata*, vol. XL, pp. 669-676, 2010.
- [29] M.S. Anuar, S.A. Aljunid, N.M. Saad, S.M. Hamzah, "New design of spectral amplitude coding in OCDMA with zero cross-correlation", *Optic. Commun*, vol. 282, pp. 2659–2664, 2009.
- [30] Z. Wei, H.M.H. Shalaby, H. Ghafouri-Shiraz, "Modified quadratic congruence codes for Fiber Bragg-Grating-based SAC-OCDMA", *J. Lightwave Technol.* 19(2001) 1274–1281.
- [31] A. Gumaste, T. Antony, "DWDM Network Designs and Engineering Solutions", Cisco Press, Indianapolis, 2002.
- [32] HAKKOUM Ilham Khadidja, BOURAS Yassine, "Contribution à l'étude des codes optiques DEU : Application au système SAC-OCDMA", Mémoire de master, Université Moulay Tahar de Saida, 2018.

## Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre des réseaux optiques où la bande passante de la fibre est partagée entre plusieurs usagers. Ce type de réseau conduit à s'intéresser aux techniques d'accès multiple déjà bien connues en communication radiofréquences pour le partage des ressources. L'accès multiple par répartition de code en optique (OCDMA) est considéré aujourd'hui comme une solution attractive.

Dans cette mémoire, nous étudions la technique d'encodage de l'amplitude spectrale pour l'accès multiple par répartition de code en optique (SAC-OCDMA) utilisant les fibres à réseaux de Bragg comme encodeurs, tout en limitant les coûts par l'utilisation de sources à large bande incohérente.

L'objectif de ce travail est de présenter un procédé d'encodage et de décodage dans un système SAC-OCDMA en implémentant des codes optiques. Notre choix s'est porté sur une nouvelle famille de codes DEU (Diagonal Eigen-value Unity). Nous avons aussi évalué le rendement du réseau SAC-OCDMA incohérent face aux différents paramètres qui réduisent l'efficacité du système en termes de taux d'erreur et facteur Q et de diagramme de l'œil et des puissances mesurées en différents points du système.

Le travail est achevé par une optimisation du nombre d'utilisateurs dans un système SAC-OCDMA avec détection **OR**, en préservant une bonne qualité de communication, qui résiste aux différentes perturbations causées par les interférences d'accès multiples (IAM).  
*Mots clés:* SAC-OCDMA, CDMA optique (OCDMA), Encodage/Décodage de l'amplitude spectrale, code MDEU, détection **OR**, IAM (Interférences d'Accès Multiples).

## Abstract

This work is part of optical networks where the bandwidth of the fiber is shared between several users. This type of network leads to interest in multiple access techniques already well known in radio frequency communication for resource sharing. Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) is now considered an attractive solution.

In this thesis, we study the technique of encoding the spectral amplitude for optical code division multiple access (SAC-OCDMA) using Bragg grating fibers as encoders, while limiting the costs by the use of incoherent broadband sources. The aim of this work is to present an encoding and decoding process in an SAC-OCDMA system by implementing optical codes. Our choice fell on a new DEU family (Diagonal Eigen-value Unity). We also evaluated the

performance of the SAC-OCDMA network, which is inconsistent with the various parameters that reduce the efficiency of the system in terms of error rate and Q-factor and eye diagram and powers measured at different points of the system.

The work is completed by optimizing the number of users in an SAC-OCDMA system with OR detection while preserving a good quality of communication, which is resistant to the various disturbances caused by multiple access interference (AMI).

*Key words:* SAC-OCDMA, Optical CDMA (OCDMA), Spectral amplitude encoding / decoding, MDEU code, OR detection, IAM (Multiple Access Interferences).