

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département d'Electronique*

## **Mémoire**

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**FILIERE : Télécommunications**

**Spécialité : Systèmes de Télécommunication**

Par

- **Righi Chiraz**
- **Mihoub Amina**

*Intitulé*

***ETUDE COMPARATIVE DE PERFORMANCES DE DIVERS CODES  
SAC-OCDMA DANS DIFFERENTES LIAISONS OPTIQUES***

*Soutenu le : 19-09-2022*

*Devant le Jury composé de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>HACINE GHARBI abdennour</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>HACINI Latifa</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>MESSALI Zoubeida</i>	<i>Pr</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2021/2022*

# ***Remerciements***

*Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos sincères remerciements et nos profondes reconnaissances à Dieu le toutpuissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier madame HACINI Latifa notre encadreur pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes nos familles et nos ami(e)s et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

## Résumé

---

Dans ce travail, les performances du système SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding-Optical Code Division Multiple Access) sont étudiées à la fois dans les scénarios d'optique en espace libre (FSO) et de systèmes à fibre optique (OFS) en se concentrant sur différents types de codes. Les codes ayant une faible inter-corrélation tels que EMD (Enhanced Multi Diagonal) et RD (Random Diagonal), et une inter-corrélation nulle tels que ZCC (Zero Cross Correlation), MD (Multi diagonal) et DW-ZCC (Double Weight-Zero Cross Correlation) sont utilisés. Les résultats de la simulation montrent que les performances des codes SAC-OCDMA dépendent de la liaison de transmission.

## ملخص

في هذا العمل، تتم دراسة أداء نظام SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding-Access Code-) في كل من سيناريوهات الياف بصرية في الفضاء الحر (FSO) وأنظمة الألياف البصرية (OFS) مع التركيز على أنواع مختلفة من الرموز. يتم استخدام الرموز ذات الارتباط المتبادل المنخفض (low inter-correlation) مثل EMD (متعدد الأقطار المحسنة) و RD (قطري عشوائي)، والارتباط البيئي الصفري (zero inter-correlation) مثل ZCC (الارتباط المتقاطع الصفري) و MD (متعدد القطر) و DW-ZCC (الارتباط المزدوج الوزن صفر المتقاطع). تظهر نتائج المحاكاة أن أداء رموز SAC-OCDMA يعتمد على قناة الإرسال.

## Abstract

---

In this work, the performance of the SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding-Optical Code Division Multiple Access) system is studied in both free-space optics (FSO) and optical fiber system (OFS) by focusing on different types of codes. Codes with low inter-correlation such as EMD (Enhanced Multi Diagonal) and RD (Random Diagonal), and zero inter-correlation such as ZCC (Zero Cross Correlation), MD (Multi Diagonal) and DW-ZCC (Double Weight-Zero Cross Correlation) are used. The simulation results show that the performance of the SAC-OCDMA codes depends on the transmission link.

**Sommaire :**

<b>Introduction Général</b> .....	1
<b>Chapitre 1</b>	
I.1.Introduction .....	3
I.2 Chaîne De Transmission Optique .....	3
I.2.1. L'émetteur .....	3
I.2.1.1 Source Optique .....	4
I.2.1.2 Modulation Optique .....	4
I.2.2. Canal de propagation.....	5
I.2.3. Le récepteur .....	5
I.2.3.1 Le PIN .....	6
I.2.3.2 Le ADP .....	6
I.3. Liaison Par Fibre Optique .....	6
I.4.Liaison Optique en Espace Libre (FSO) .....	7
I.4.2 Principe de Fonctionnement de la Technologie FSO .....	8
I.4.3 Les avantages et les inconvénients des liaisons FSO .....	8
I.4.3.1 Les Avantages des FSO .....	8
I.4.3.2 Les Inconvénients des FSO .....	9
I.4.5 Atténuations dans Les Liaisons de Communication FSO .....	9
I.4.5.1 Atténuation par le Brouillard .....	9
I.5. CONCLUSION.....	10
<b>Chapitre 2</b>	
II.1. Introduction .....	12
II.2 SYSTEMES SAC-OCDMA .....	12
II.2.1 Encodage .....	12
II.2.2 Décodage .....	13
II.2.2.1 La détection directe.....	13
II.3 Bruit en SAC-OCDMA incohérent .....	14
II.3.1 Le bruit de grenaille .....	14
II.3.2 Bruit thermique.....	15
II.3.3 Bruit d'intensité induit par la phase PIN.....	15

II.4 Les codes SAC-OCDMA.....	16
II.4.1 Les codes utilisés .....	16
II.4.2.1 Codes à inter-corrélation non nulle .....	16
II.4.2.2 Codes à inter-corrélation nulle .....	19
II.5 Taux d’erreurs binaires .....	21
II.7 Conclusion.....	23
<b>Chapitre 3</b>	
III.1 Introduction.....	24
III.2. Présentation du logiciel OptiSystem .....	24
III.3. Critère de qualité de la transmission optique .....	25
III.3.1. Taux d’erreurs binaires .....	25
III.3.2. Facteur de qualité .....	26
III.3.3. Diagramme de l’œil.....	26
III.4 LES CODES UTILISEES .....	27
III.4.1 Le code EMD .....	27
III.4.2Le code RD .....	28
III.4.3Le code ZCC .....	28
III.4.4Le code MD .....	29
III.4.5 Le code DW-ZCC .....	29
III.5 Paramètres utilisés pour la simulation .....	29
III.6 Schémas de simulation .....	30
III.6.1. Description du système .....	36
III.7. Résultats Et Interprétations .....	37
III.7 .1 Représentation de la Diagramme d’œil .....	37
III.7.2. Etude de performances des codes.....	39
III.8 Résultats Matlab .....	42
III.13 Conclusion .....	43
<b>Conclusion Général.....</b>	<b>44</b>

## Liste des figures

### Chapitre 1

Figure I.1 Configuration de base d'une liaison optique.....	3
Figure I.2 Synoptique du bloc émetteur FSO .....	3
Figure I.3 Modulateurs optiques .....	5
Figure I.4 Synoptique du bloc de réception FSO.....	6
Figure I.5 Structure d'une diode PIN .....	6
Figure I.6 Schéma simplifié d'une fibre optique. ....	7

### Chapitre 2

Figure II.1 Encodage spectral SAC-OCDMA .....	13
Figure II.2 détection directe .....	14

### Chapitre 3

Figure III.1 Interface d'utilisateur graphique (GUI).....	25
Figure III.2 Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ. ....	27
Figure III.3 Schéma bloc du système SAC-OCDMA.....	30
Figure III.4 Liaisons de transmission utilisées sous optisystem (a) Liaison optique en espace libre (b) Fibre optique.....	30
Figure III.5 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code EMD .....	31
Figure III.6 le Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code RD.....	32
Figure III.7 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code ZCC .....	33
Figure III.8 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code MD.....	34
Figure III.9 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code DW-ZCC....	35
Figure III.10 schéma interne du sous-système (codeur).....	36
Figure III.11 Diagramme de l'œil pour une liaison OFS (a) le Code EMD (b) le code RD (c) le code ZCC (d) le code MD (e) le code DW-ZCC.....	37
Figure III.12 BER en fonction de la distance pour différents codes sur une liaison FSO a) temps clair, b) brouillard léger, c) brouillard modéré d) brouillard dense .....	38
Figure III.13 BER en fonction de la distance pour différents codes sur une liaison OFS .....	40
Figure III.14 BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison FSO pour Différents codes.....	41
Figure III.15 BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison OFS pour Différents codes.....	42

Figure III.16 BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison OFS pour  
Différents codes ..... 43

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre III**

Tableau III.1 Longueurs d'ondes utilisées pour le code EMD (7,3,0,3) ..... 28  
Tableau III.2 Longueurs d'ondes utilisées pour le code RD (8,4,1,3) ..... 28  
Tableau III.3 Longueurs d'ondes utilisées pour le code ZCC (12,3,0,4) ..... 28  
Tableau III.4 Longueurs d'ondes utilisées pour le code MD (12,3,0,4) ..... 29  
Tableau III.5 Longueurs d'ondes utilisées pour le code DW-ZCC (12,4,0,3)..... 29

**A**

**APD**: photodiode à avalanche

**ADSL**: Asymmetric Digital  
Subscriber Line

**AWG**: Arrayed Waveguide Grating

---

**D**

**DW-ZCC**: double weight zero cross  
correlation

**DEL**: Diode Electroluminescente

---

**E**

**EDW**: Enhanced Multi Diagonal

---

**F**

**FSO**: free-space optics

**Facteur-Q**: Facteur de qualité

---

**I**

**IWOC**: Indoor Wireless Optical  
Communications

---

**L**

**LOS**: Line-Of-Sight

**LED**: Light-emitting diode

**M**

**MD**: Multi-Diagonaux

**MMS**: Modified Multi-Service

---

**O**

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

---

**P**

**PIN**: La photodiode PIN

---

**R**

**RD**: Random-Diagonal

**RF**: Radiofrequency

---

**S**

**SAC**: Spectral Amplitude Coding

**SAN**: Storage Area Network

---

**T**

**TEB**: Taux d'erreur binaire

---

**Z**

**ZCC** : Zéro Cross Corrélacion



# *Introduction Générale*

Les techniques d'accès sont nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de meilleur débit et de qualité de service. Parmi les différentes techniques d'accès qui existent, l'OCDMA est considérée comme une technique prometteuse pour les futurs réseaux optiques car elle présente les caractéristiques de traitement tout optique, d'accès asynchrone, de haute sécurité et de capacité à la demande. De plus, OCDMA est largement utilisé dans les scénarios d'optique en espace libre (Free Space Optics : FSO) et de systèmes à fibre optique (Optical Fiber Systems : OFS) en tant que technique de multiplexage pour prendre en charge plusieurs utilisateurs.

Dans ce travail, nous avons fait une étude comparative entre quelques codes utilisés en SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding-Optical Code Division Multiple Access) dans deux liaisons différentes (OFS et FSO). Les codes utilisés appartiennent à deux types différents, à savoir les codes à inter-corrélation non nulle (EMD et RD), et les codes à inter-corrélation nulle (ZCC, MD et DW-ZCC). Nous avons utilisé le logiciel Optisystem pour la simulation dont les critères de performance utilisés sont le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil. Les performances de transmission des systèmes sont évaluées en utilisant le détecteur direct pour tous les codes choisis.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons une description du système de communication optique, tout en illustrant le principe de fonctionnement global. Nous avons présenté les principaux composants constitutifs de l'émetteur et du récepteur en donnant les caractéristiques de chaque composant. Nous avons présenté également les deux liaisons optiques dont notre étude est basée à savoir : FSO (Free Space Optics) et l'OFS (Optical Fiber Systems).

La technique SAC-OCDMA est présentée dans le deuxième chapitre. Le principe de fonctionnement, l'utilité de son utilisation et leurs différents types de codage/décodage seront décrits. Nous présentons également les différents bruits qui peuvent exister ainsi que le calcul du BER pour les systèmes SAC-OCDMA. Nous présentons à la fin, les différents codes utilisés dans notre étude.

Dans le troisième chapitre, nous présentons l'ensemble de travail de simulation que nous avons effectué dans le but d'évaluer les performances de différents codes SAC-OCDMA dans deux liaisons différentes. Pour cela, nous utilisons deux logiciels, Matlab et Optisystem. Le premier pour tracer les courbes théoriques et le deuxième pour simuler le fonctionnement. Nous présentons les différents diagrammes de l'œil et le BER pour chaque code, pour effectuer une comparaison entre eux.

Nous finalisons notre mémoire par une conclusion générale où nous résumons le travail proposé.

# *Chapitre I*

*Systèmes et Liaisons de*

*Transmission Optique*

## I.1.INTRODUCTION

L'objectif des systèmes de communication est toujours d'accroître la vitesse et la capacité totale d'information transmise. C'est dans ce but que la technologie de communication optique a été principalement conçue.

Dans ce chapitre, nous présentons la chaîne de transmission optique, en étudiant séparément la partie émission qui concerne la source optique et la modulation du signal, ainsi que la partie réception représentée par la photo-détection et le filtrage. Par la suite nous présentons deux différentes liaisons optiques à savoir, liaison par fibre optique (Optical Fiber System : OFS) et liaison en espace libre (Free Space Optics : FSO)

## I.2 CHAINE DE TRANSMISSION OPTIQUE

Comme illustré par la figure suivante, une liaison optique nécessite un émetteur, un canal de propagation et un récepteur [1].

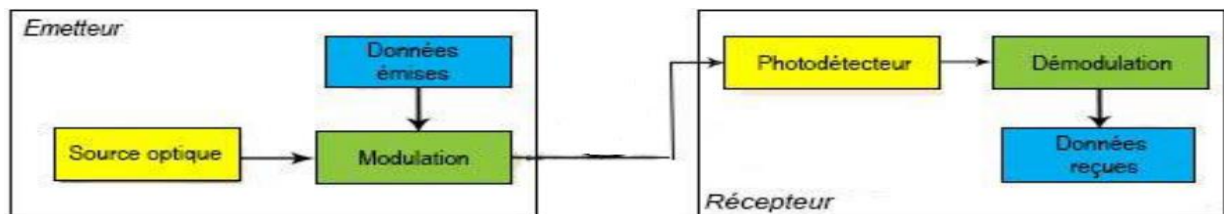


Figure I.1 Configuration de base d'une liaison optique

### I.2.1. L'émetteur

Le bloc émetteur assure la modulation de la source des données sur la porteuse optique. Il converti le signal électrique modulé en un signal optique. Le signal résultant est transmis ensuite vers le récepteur.

Une représentation d'un émetteur de transmission optique est donnée par la figure suivante [2].

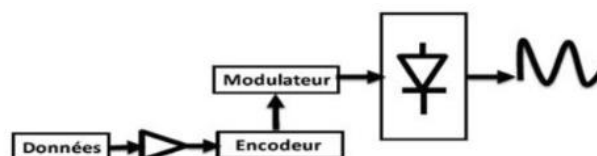


Figure I.2 Synoptique du bloc émetteur optique

On distingue en particulier les émetteurs se basant sur les semi-conducteurs qui se différencient principalement par la longueur d'onde et la puissance du faisceau émis et la rapidité de leur modulation [2].

### **I.2.1.1 Source optique**

Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont couramment utilisées : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes laser.

- **Diode Electroluminescente (DEL)**

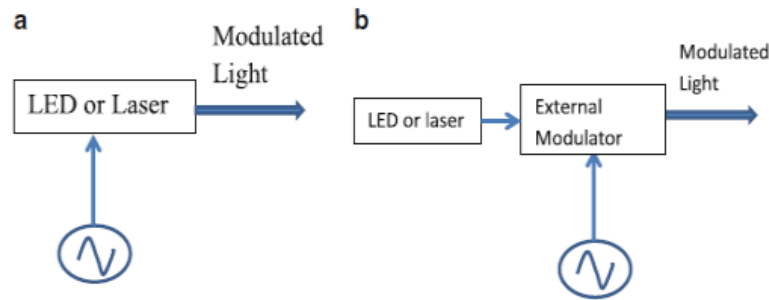
La diode DEL est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. En raison de leur puissance d'émission relativement faible, les DEL sont généralement utilisées pour des applications courtes distances et des bandes passantes de l'ordre de 155 Mb. Elles sont utilisées dans les liaisons optiques sans fil à l'intérieur des bâtiments (Indoor Wireless Optical Communications : IWOC). L'avantage majeur des sources DEL est leur faible coût d'acquisition [2].

- **Diode LASER**

La diode laser présente des avantages significatifs pour les applications longue distance comparée à la diode DEL. L'industrie des systèmes optique sans fil commercial est centrée sur l'utilisation de semi-conducteurs lasers, en raison de leur taille relativement petite, haute puissance, et de la rentabilité. La plupart de ces lasers sont utilisés dans la fibre optique. Dans la plupart des cas, les lasers à semi-conducteurs sont le choix préféré pour les applications qui ont besoin d'une source de lumière de puissance élevée et cohérente pour la conception du système [2].

### **I.2.1.2. La modulation optique [2]**

Afin de transmettre des informations dans les systèmes optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer, c'est ce que l'on appelle une modulation. Cette dernière peut être réalisée de deux manières : interne ou externe comme le montre la figure suivante.



**Figure I.3** Modulateurs optiques. (a) Modulateur interne. (b) Modulateur externe

- Un modulateur interne est celui où les caractéristiques des sources sont directement modifiées en fonction du signal d'information pour produire le signal optique modulé. Ainsi, il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. La modulation d'intensité peut être réalisée en faisant varier le courant de polarisation (figure I.3 (b)).
- La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser (figure I.3 (b)). La modulation est effectuée sur une onde pure et constante et par un composant indispensable : le modulateur externe. Celui-ci est commandé par une tension externe, modulée et représentative de l'information à transmettre.

### I.2.2. Canal de Propagation

Le canal de transmission assure le transport d'une porteuse optique modulée par un signal contenant l'information à véhiculer. Il existe plusieurs canaux de transmission optique, à savoir liaison par fibre optique, liaison en espace libre, liaison sous-marin et inter-satellitaire. Dans notre étude, les liaisons en espace libre (FSO) et celles par fibre optique (OFS) sont considérés.

### I.2.3. Le récepteur

Ce bloc fonctionnel permet essentiellement de récupérer et d'extraire les données transmises du champ optique incident. En pratique, le détecteur possède un champ de vue optique assez petit et le dispositif de réception comporte des filtres qui permettent de ne laisser passer que les longueurs d'onde souhaitées. Une représentation du bloc récepteur de transmission optique est donnée par la figure suivante [2].

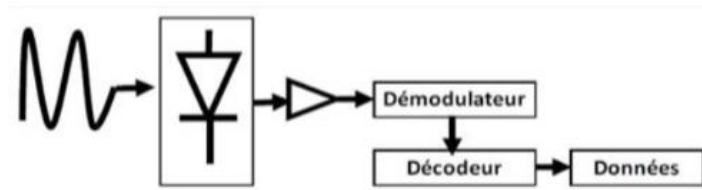


Figure I.4 Synoptique du bloc de réception FSO

En plus des sources de transmission optique, les détecteurs optiques sont aussi d'une grande importance dans la réalisation et le design d'un système optique. Les photodiodes semi-conductrices sont petites, rapides, sensibles et peuvent fonctionner dans des gammes de longueurs d'onde différentes, ce qui font d'elles, les photodétecteurs les plus utilisés dans les systèmes de communications optiques commercialisés [2].

### I.2.3.1. La photodiode PIN

La photodiode PIN est un photodétecteurs dans lequel l'épaisseur de la couche d'appauvrissement peut être modifiée pour générer un photo-courant important. Si l'épaisseur de la couche d'appauvrissement est supérieure, la surface sur laquelle la lumière tombe augmente également. De ce fait, l'efficacité de conversion d'une photodiode augmente et davantage de photo-courant sera généré. La structure de la photodiode PIN est donnée par la figure suivante [3].

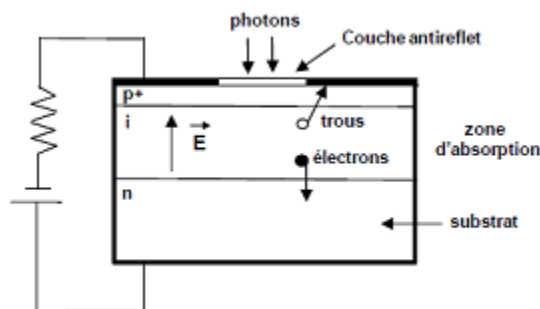


Figure I.5 Structure d'une diode PIN

### I.2.3.2. La photodiode ADP

La photodiode APD (photodétecteur à gain interne) est un composant semi-conducteur d'une structure PIN. C'est un photodétecteur dans lequel davantage de paires électron-trou sont générées en raison de l'ionisation par impact. En faisant croître le champ électrique dans



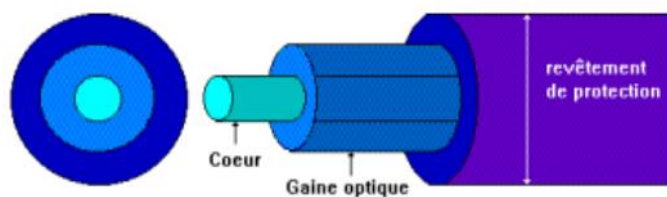
la jonction PIN, l'énergie des porteurs s'élève, jusqu'au point d'ioniser un atome en cas d'impact avec celui-ci. Des ionisations en chaîne se produisent alors et les porteurs se multiplient. Ce phénomène crée un courant électrique conséquent à partir de très peu de photons incidents [3].

### 1.3. LIAISON PAR FIBRE OPTIQUE

Les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de l'évolution des télécommunications optiques en permettant les communications à très longues distance et à très grand débit.

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière sur de très grandes distances. Elle a un grand débit d'informations et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien les signaux de la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques [4].

La fibre optique peut être considérée comme un guide d'ondes. Son principe consiste à confiner une onde lumineuse (appartenant généralement au proche infrarouge) à l'intérieur d'une zone : un cœur cylindrique de Silice entouré par une gaine optique, tous les deux entourés d'une gaine de protection comme le montre la figure I.6 [4].



*Figure I.6* Schéma simplifié d'une fibre optique.

- Le cœur : Composé en silice ( $\text{SiO}_2$ ), il est en verre pure et c'est la couche la plus importante en terme de transmission optique qui permet de guider les informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de perte.

- La gaine optique : Il s'agit d'une couche de verre qui entoure le cœur et fonctionne comme un miroir. Elle permet d'éviter que le signal optique sorte du cœur, et est caractérisé par son indice de réfraction qui est inférieur à celui du cœur.
- La protection : Il s'agit généralement d'une gaine en PVC qui protège le cœur et la gaine optique, et ainsi protéger le signal des différentes perturbations externes. Elle peut également contenir des matériaux de renforcement et un gainage destiné à la protection mécanique et aussi à la flexibilité ainsi que la facilité de la manipulation.

#### **I.4. LIAISON OPTIQUE EN ESPACE LIBRE (FSO)**

La liaison FSO fournit une transmission point à point d'informations de communication à travers l'atmosphère en utilisant les signaux optiques comme porteuses. Elle a attiré l'attention dans l'industrie des télécommunications, en raison de ces nombreux avantages.

Le milieu atmosphérique est très complexe et dynamique pouvant affecter les caractéristiques du faisceau laser émis. Les systèmes FSO sont soumis à un certain nombre de défis liés pour la plupart aux facteurs environnementaux et plus particulièrement aux effets de l'atmosphère sur la propagation du faisceau émis [5].

Chaque système FSO utilise, en plus d'une source optique de haute puissance (par exemple, un laser), un télescope qui transmet la lumière à travers l'atmosphère à un autre télescope qui reçoit les informations. Dans cette partie, nous donnons des généralités sur la technologie FSO, en présentant son principe, ses avantages et ses limites.

##### **I.4.1. Principe de fonctionnement de la Technologie FSO**

Les technologies utilisées dans les systèmes FSO sont presque similaires aux systèmes Radiofréquences classiques. Les systèmes FSO sont conçus pour effectuer une connexion entre deux zones, en visibilité directe LOS (Line-Of-Sight) à un débit très élevé. La FSO permet la transmission de tout type de données avec un débit égal à celui de la fibre optique tout en ayant la souplesse et les avantages d'un réseau radio sans fil. Le principe de base de la technologie FSO consiste en une transmission laser en espace libre dans une partie du spectre lumineux visible ou infrarouge [5].

Le choix de la longueur d'onde dépend fortement des effets atmosphériques, atténuation et bruit de fond. En outre, la disponibilité des émetteurs et des composants du récepteur, la réglementation sur la sécurité des yeux et les coûts ont un impact important sur la sélection de longueur d'onde dans le processus de conception des liaisons FSO [5].

## **I.4.2. Les avantages et les inconvénients des liaisons FSO**

### **I.4.2.1. Les avantages des FSO [5]**

- Coût peu élevé et facilité d'installation.
- Équipements petits et simples
- Large bande ou débit de données élevé
- Fonctionnement sans licence, contrairement aux systèmes radiofréquences.
- La taille réduite du faisceau laser rend la détection, l'interception ou le brouillage très difficile.
- La sécurité intrinsèque des dispositifs FSO, plus élevée que celle des liaisons radioélectriques, permet ainsi de transférer des données sensibles sans codage.

### **I.4.2.2. Les inconvénients des FSO**

Comme cette technologie nécessite une visée directe entre l'émetteur et le récepteur, la liaison est vulnérable à un certain nombre de facteurs [5] :

- L'obstruction physique
- Les conditions météorologiques qui limitent la portée des FSO notamment en cas de brouillard.
- Les effets de scintillations, conséquences des turbulences atmosphériques, qui engendrent des variations de l'indice optique de l'air de façon localisée et temporaire. Lorsque le signal se propage dans l'air, la puissance reçue sur le détecteur varie en raison de ce phénomène ce qui engendre des erreurs d'interprétation des signaux transmis.

## **I.4.3. Atténuations dans les liaisons de communication FSO**

La disponibilité et la fiabilité d'une liaison optique FSO dépend du système utilisé, ainsi que des conditions climatiques et des paramètres atmosphériques tels que la pluie, la

neige, les scintillations, et surtout le brouillard, qui est le plus grand défi dans le déploiement des réseaux optiques sans fil. L'intensité et la durée de ces effets auront une incidence critique sur la fiabilité de la liaison [5]. Dans cette partie, nous présentons juste l'atténuation due au brouillard qui sera utilisée dans notre simulation.

### I.4.3.1. Atténuation par le brouillard

Le brouillard est le facteur d'atténuation le plus critique, notamment dans l'infrarouge, puisque la taille des particules du brouillard est comparable aux longueurs d'onde optiques utilisées dans les systèmes de transmission FSO. L'utilisation de la visibilité est une façon pour calculer l'atténuation causée par le brouillard. Les modèles de Kruse et Kim utilisent cette approche pour prédire cette atténuation.

L'atténuation spécifique pour les modèles de Kim et de Kruse est exprimée par l'équation suivante [5] :

$$\alpha = \frac{3.912}{v} \left( \frac{\lambda}{550nm} \right)^{-q} \quad (I.1)$$

Où,  $v$  représente la visibilité en km,  $\lambda$  est la longueur d'onde en nm et  $q$  est le paramètre lié à la distribution de la taille des gouttelettes. Les valeurs de  $q$  à utiliser dans l'équation sont données comme suit [5] :

Pour le model de Kruse

$$q = \begin{cases} 1.6 & ; V > 50km \\ 1.3 & ; 6km < V < 50km \\ 0.585 & ; V < 6km \end{cases} \quad (I.2)$$

Pour le modèle de Kim

$$q = \begin{cases} 1.6 & ; V > 50km \\ 1.3 & ; 6km < V < 50km \\ 0.16 V + 0.34 & ; 1km < V < 6km \\ V - 0.5 & ; 0.5km < V < 1km \\ 0 & ; V < 0.5km \end{cases} \quad (I.3)$$

La visibilité atmosphérique  $v$  (km), est définie comme étant la distance maximale à laquelle on peut reconnaître un objet noir par rapport au ciel. La visibilité est plus particulièrement définie à des fins météorologiques [5].

## **I.5.CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse des systèmes de transmission optique. Nous avons donné une description détaillée des différents dispositifs utilisés en émission et en réception optique ainsi que les deux liaisons de transmission utilisée dans notre étude ; liaison par fibre optique et liaison en espace libre.

*Chapitre II*  
*Les Systèmes*  
*SAC-OCDMA*

## II.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons le type de codage OCDMA constituant l'axe de notre travail, il s'agit de l'encodage spectral d'amplitude (Spectral Amplitude Coding : SAC). Nous parlons dans un premier temps des principes de base de cette technique à savoir, l'encodage et le décodage du signal. Puis, nous présentons les différents types de bruit présents dans les systèmes basés sur ce genre de codage. Nous présentons ensuite, les méthodes de construction des codes sur lesquels notre étude est basée.

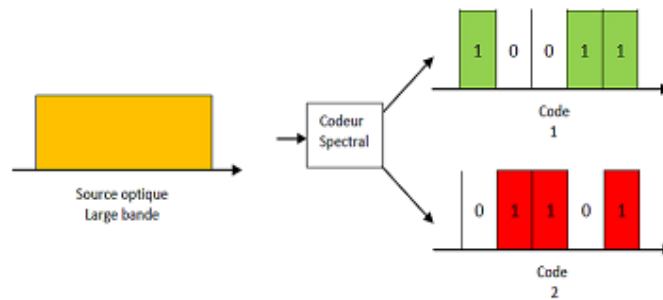
## II.2. SYSTEMES SAC-OCDMA

Dans un système SAC-OCDMA chaque usager se voit attribuer d'une combinaison de longueur d'onde (code spectral) qui constitue sa signature ou son empreinte de façon à ce que cette dernière soit unique.

Le processus d'encodage, pour les systèmes SAC-OCDMA, assigne une empreinte spectrale unique aux données de l'utilisateur. Pour cela la bande de la source optique est partagée. En générale, les différentes signatures spectrales ne sont pas orthogonales entre elles, ce qui fait que deux signatures spectrales distinctes ont des fréquences en commun. Il est donc impossible, en SAC-OCDMA, d'extraire les données contenues dans un canal par un simple filtrage optique [6].

### II.2.1. Encodage

La figure suivante illustre le principe de codage en SAC-OCDMA. Le spectre émis par une source large bande incohérente est subdivisé en  $L$  cases fréquentielles ( $L$  désigne la longueur du code). L'encodage spectral est réalisé sur ces  $L$  tranches spectrales en utilisant un encodeur qui assigne une signature spectrale unique à chaque usager en occupant  $W$  ( $W$  désigne le poids du code) cases fréquentielles parmi les  $L$  disponibles. Pour cette figure, le code choisi est de longueur  $L = 5$ , de poids  $W = 3$ , ces deux paramètres varient selon la famille de code choisie, mais le principe d'encodage reste le même.



**Figure II.1** Encodage spectral SAC-OCDMA

Il existe plusieurs techniques d'encodage des systèmes SAC-OCDMA [6] :

- Encodage avec masque d'amplitude
- Utilisation d'un réseau sélectif planaire (Arrayed Waveguide Grating : AWG)
- Utilisation de réseaux de Bragg
- Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques

## II.2.2 Décodage

Les signaux de tous les utilisateurs sont réunis au niveau du récepteur. Pour chaque utilisateur, un système de décodage SAC-OCDMA a deux rôles principaux : il détecte les données qui lui sont destinées et il rejette les signaux interférents. Pratiquement, il existe plusieurs types de détecteurs, nous citons par exemple [7] :

- Détecteur direct
- Détecteur complémentaire ou balancée
- Détecteur AND
- Détecteur par la photodiode unique (Single Photo Diode detector : SPD)
- Et autres...

Parmi ces détecteurs, nous avons utilisé dans notre étude le détecteur direct pour cela nous allons présenter son principe de fonctionnement :

### II.2.2.1 La détection directe

La détection spectrale directe est considérée comme la technique la plus simple et la moins coûteuse à utiliser.



La figure II.2 représente la structure et le principe du décodeur direct. Le signal optique combiné reçu est divisé et pour chaque utilisateur le signal est décodé en utilisant un code similaire à celui utilisé à l'émission. Une fois que le signal optique de l'utilisateur souhaité est obtenu, il est converti en une forme électrique à l'aide d'un photo-détecteur.

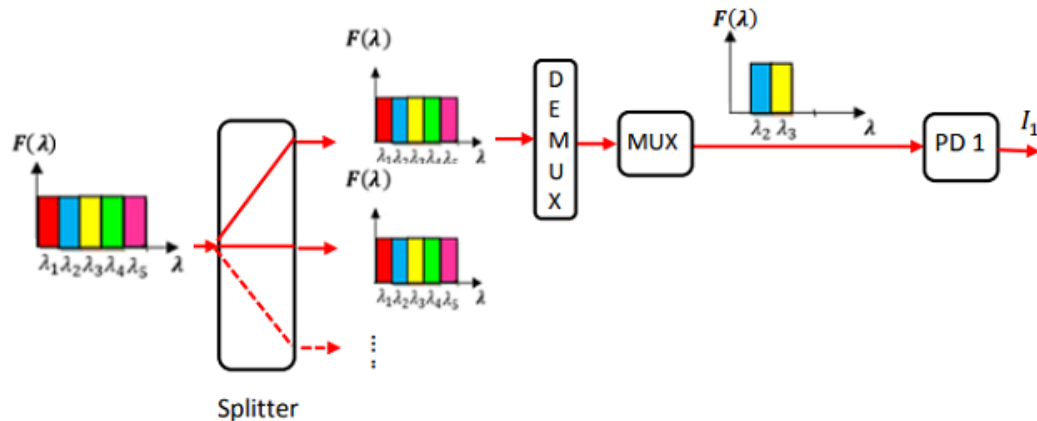


Figure II.2 détection directe

### II.3 Bruit en SAC-OCDMA

Lors de la détection d'un signal optique, trois bruits sont principalement observés dans les systèmes utilisant des sources incohérentes à savoir [7] :

- Le bruit thermique
- Le bruit de grenaille (shot noise)
- Bruit d'intensité induit par la phase (PIIN)

Cette partie présente ces bruits qui limitent les performances des systèmes SAC-OCDMA.

#### II.3.1 Le bruit de grenaille

C'est un bruit proportionnel à la puissance optique reçue par la photodiode. Il résulte de la nature corpusculaire du photo-courant et du caractère aléatoire de la création des paires électron-trou. Ce bruit est inévitable et l'expression de sa variance s'écrit sous la forme :

$$\sigma_{sh}^2 = 2 \cdot e \cdot B \cdot I \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$e$  : la charge d'électron =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  donnez l'unité

$I$  : le courant du  $i^{\text{eme}}$  utilisateur à la réception.

$B$  : bande passante électrique du récepteur

### II.3.2 Bruit thermique

Ce bruit est engendré par la résistance de charge du photorécepteur. Il est dû à l'agitation thermique des charges dans la jonction de la photodiode. Ce bruit introduit une variance  $\sigma_{th}^2$  sur la tension à la sortie du photo-détecteur donnée par [7] :

$$\sigma_{th}^2 = 4K_B T_n B / R_l \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$K_B$  : la constante de Boltzmann

$T_n$  : la température en degré Kelvin

$B$  : bande passante électrique du récepteur

$R_l$  : la résistance de charge.

### II.3.3 Bruit d'intensité induit par la phase (PIIN)

Le bruit PIIN (Phase Induced Intensity Noise) est dû à la nature quadratique de la détection. Son effet est proportionnel à la puissance du photo-courant généré et sa variance s'écrit sous la forme suivante [7] :

$$\sigma_{PIIN}^2 = I^2 \cdot B \cdot \tau_c \quad (\text{II.3})$$

Avec  $\tau_c$  est le temps de cohérence de la source.

Dans les systèmes SAC-OCDMA, le PIIN est fortement lié à l'IAM (Interférences d'Accès Multiples) dû au recouvrement spectral des différents utilisateurs. Le bruit de phase des champs au niveau du photo-détecteur surgit en raison du mélange de deux champs de lumières non-corrélés, d'intensité négligeable qui ont la même polarisation, le même spectre et la même intensité.

Pour supprimer le PIIN, la valeur de l'inter-corrélation devrait être maintenue petite le plus possible ou égal à zéro.

## II.4 LES CODES EN SAC-OCDMA

Les propriétés et les méthodes de génération de code sont parmi les problèmes les plus importants affectant les performances des systèmes SAC-OCDMA.

Une famille de codes est généralement référenciée en la désignant par son nom et l'ensemble  $(L, w, \lambda_c)$  ou de manière plus précise  $(L, w, \lambda_c, N)$ . Avec :

- $L$  : la longueur du code
- $w$  : le poids du code
- $\lambda_c$  : la corrélation croisée
- $N$  : la cardinalité ou nombre d'utilisateurs

Dans ce qui suit, nous présentons les différents codes utilisés dans notre étude.

### II.4.1. Les codes utilisés

Le choix de code approprié à la réalisation d'un système SAC-OCDMA est déterminé en fonction de plusieurs paramètres [8] :

- La capacité de multiplexage
- La taille des séquences de code
- Le poids du code
- La complexité des systèmes de détection associés
- Les performances des codes en termes de fonctions d'auto et d'inter-corrélation

Plusieurs codes de signatures différentes avec des propriétés variées ont été proposés pour les systèmes SAC-OCDMA. Nous citons, dans ce qui suit, les codes utilisés dans notre étude.

#### II.4.1.1 Codes à inter-corrélation non nulle

Pour ce type de codes, l'inter-corrélation est non nulle. Pour notre cas d'étude, nous avons choisi le code vérifiant une inter-corrélation fixe et égale à un ( $\lambda_c=1$ ).

##### a) Le code EMD (Enhanced Multi Diagonal)

Le code EMD est conçu par la combinaison de deux matrices comme suit [8] :

$$EMD = [D_n | C_n]_{N \times L} \quad (\text{II.4})$$

Où  $D_n$  et  $C_n$  représentent respectivement la matrice de données et la matrice de code dans le code EMD. Les propriétés des deux matrices sont décrites, dans ce qui suit, pour la génération de la matrice de code EMD.

➤ **Matrice de données**

La matrice de données  $D_n$  est conçue avec une matrice diagonale  $N \times L$  de façon à ce que :

- La corrélation entre chaque deux lignes est égale à 0.
- Le poids de  $D_n$  est égal à  $W = 1$ .
- La longueur de  $D_n$  est égale au nombre d'utilisateurs.

Ainsi, la forme de base de  $D_n$  en utilisant les propriétés mentionnées ci-dessus peut être écrite comme suit :

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

Le nombre de lignes dans  $D_n$  peut être augmenté. Ainsi, pour 4 utilisateurs,  $D_n$  peut être écrite comme suit :

$$D_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

➤ **Matrice de code**

$C_n$  est une matrice  $N \times J$  ayant les propriétés suivantes :

- La corrélation entre les lignes adjacentes est toujours égale à 1.
- Le poids de  $C_n$  est égal à 2.
- La longueur de  $C_n$  est  $J = [N(w - 2) + 1]$ .

Ainsi, la forme de base de  $C_n$  en utilisant les propriétés mentionnées ci-dessus peut être écrite comme suit :

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

Le nombre de lignes peut être augmenté. Ainsi, pour 4 utilisateurs,  $C_n$  peut être écrite comme suit :

$$C_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

Ainsi, le code EMD pour quatre utilisateurs peut être écrit comme suit :

$$EMD_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 9} \quad (\text{II.9})$$

### b) Le code RD (Random Diagonal)

La conception de ce code peut être effectuée en divisant la séquence de code en deux groupes, qui sont le segment de données et le segment de code [9] :

**Segment de données :** laissez les éléments de ce groupe contenir un seul « 1 » pour maintenir la corrélation croisée nulle au niveau des données. Cette propriété est représentée par la matrice ( $N \times N$ ) où  $N$  représentera le nombre d'utilisateurs envoyé.

$$[Y_1] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

**Segment de code :** la représentation de cette matrice peut être exprimée comme suit ou  $W = 4$

$$[Y_2] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

Où  $[Y_2]$  se compose de deux parties : la partie de la matrice de poids  $[M]$  et la partie de la matrice de base  $[B]$ . La partie de base  $[B]$  qui peuvent être exprimées comme suit :

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad [B] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.12})$$

La partie poids appelée matrice  $[M]$  est responsable de l'augmentation du poids.

Pour  $W=4$ ,  $N=3$  et  $L=8$  le code est donné par la combinaison des deux matrices, comme indiqué par

$$C = [Y_1|Y_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.13})$$

L'équation générale reliant le nombre d'utilisateurs  $N$ , la longueur de code  $L$  et le poids de code  $W$  est donnée par

$$L = N + 2W - 3 \quad (\text{II.14})$$

#### II.4.2.2 Codes à inter-corrélation nulle

Pour éliminer les interférences d'accès multiples (MAI) dans les systèmes SAC-OCDMA, les codes à inter-corrélation nulle ont été développés. Pour ces codes, il n'y a pas de superposition des «1» entre les codes des différents utilisateurs.

##### a) Le code ZCC (Zero Cross Correlation)

En code optique ZCC [13], le code de base est conçu pour le poids  $W=1$  :

$$Z(w=1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

Afin d'augmenter le poids une transformation de code est nécessaire, elle est présentée sous cette forme [10] :

$$Z(w=i) = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Où

A : représente la réplication de la matrice du code précédent où le poids égale à  $w-1$ .

B : est une matrice de taille  $(w \times 2w)$  qui est une combinaison d'une matrice des «1» en diagonale de taille  $(w \times w)$  avec une matrice des «0» de taille  $(w \times 1)$  en alternance entre eux.

C : représente la matrice de «0» de taille  $(1 \times w (w-1))$ .

D : représente la réplication de la matrice  $(1 \times [0 \ 1])$   $w$  fois.

Avec :  $w$  est le poids du code et  $i$  est un nombre entier  $\{1, 2, 3 \dots\}$

Le nombre d'utilisateurs et la longueur minimale du code sont calculés respectivement avec la manière suivante :

$$N_B = w + 1 \quad (\text{II.17})$$

$$L_B = w(w + 1) \quad (\text{II.18})$$

Le nombre d'utilisateur peut être augmenté sans modifier le poids par la technique du mappage qui est présenté comme suit :

$$Z_m = \begin{bmatrix} Z_{m-1} & 0 \\ 0 & Z_{m-1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.19})$$

Les relations entre le degré de mapping  $m$ , le nombre mappé d'utilisateurs  $N$  et la longueur mappée de code  $L$  sont données par :

$$N = 2^m(N_B) \quad (\text{II.20})$$

$$L = 2^m(L_B) \quad (\text{II.21})$$

Pour  $W=3$ , on obtient la matrice suivante pour 4 utilisateurs avec une longueur de  $L=12$ .

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.22})$$

### b) Le code MD (Multi Diagonal)

Le code MD a une construction simple basée sur une matrice d'identité, il a une flexibilité dans le choix du poids du code et du nombre d'utilisateurs, et une propriété de corrélation croisée nulle [10]. La longueur de code est donnée par :

$$L = N * W \quad (\text{II.23})$$

Pour le cas de  $N=4$  utilisateurs et un poids de  $W=3$ , la longueur du code est donc  $L=12$ . La matrice de base sera donnée comme suit [10] et [8] :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.24})$$

### c) Le code DW-ZCC (Double Weight-Zero Cross Correlation)

Le code DW-ZCC reprend le concept de deux codes différents MDW (Modified Double Weight) et ZCC et intègre les avantages potentiels de chacun. La construction est donnée comme suit [11] :

L'emplacement de chaque paire de bits adjacents "1" peut être déterminé par la formule suivante :

$$P''(i) = P(i), P(i) + 1 \quad (\text{II.25})$$

Où  $i = 1, 2, 3, \dots, W/2$  et définit le nombre de paires existantes dans les séquences de code.

Pour chaque utilisateur  $k = [1, 2, N]$ , l'emplacement de la  $i^{\text{ème}}$  paire de bits adjacents "1" est donné par :

$$P_k''(i) = \begin{cases} (k * 2) - 1, k * 2 & \text{for } i = 1 \\ P_k''(i - 1) + [2(K - 1) + 2] & \text{for } i > 1 \end{cases} \quad (\text{II.26})$$

De l'autre côté, les espaces vides entre paires sont occupés par des zéros dont le nombre se calcule ainsi :

$$Z = 2(K - 1) \quad (\text{II.27})$$

Pour un nombre d'utilisateurs égale à 3 et un poids  $W=4$ , le nombre de zéros entre les paires est calculé par (II.29) et est égal à 4. La matrice de code résultante est donc la suivante :

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

## II.5 TAUX D'ERREURS BINAIRES

Pour faciliter l'analyse des performances des systèmes SAC-OCDMA, l'approche gaussienne est généralement utilisée dans le calcul du BER. Dans ce cas d'analyse, le taux d'erreur binaire peut être déterminé par [11] :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{SNR}{8} \right) \quad (\text{II.29})$$

Ainsi, le SNR total résultant du processus de conversion, à la sortie de la photodiode de réception, peut être écrit sous forme



$$SNR = \frac{I^2}{\sigma_{sh}^2 + \sigma_{PIN}^2 + \sigma_{th}^2} \quad (\text{II.30})$$

Le courant incident ( $I$ ) et le temps de cohérence de la source ( $\tau_c$ ) sont donnés par [11] et [10]:

$$I = R \int_0^\infty S(\nu) d\nu \quad (\text{II.31})$$

$S(\nu)$  et  $R = \frac{\eta e}{h\nu_c}$  Représentent respectivement, la DSP dans la bande latérale unique de la source optique, et la sensibilité/réactivité de la Photodiode.

Avec :

$\eta$  : efficacité quantique

$e$ : la charge d'électron,

$h$  : constante de Planck,

$\nu_c$  : la fréquence centrale.

La DSP d'une source optique au niveau du décodeur peut être écrite comme suit :

$$S(\nu) = \frac{P_r}{\Delta\nu} \sum_k^K d_k \sum_{i=1}^L C_k(i) \pi(i) \quad (\text{II.32})$$

Où :  $P_r$  représente la puissance reçue au niveau du récepteur ;  $K$  est le nombre d'utilisateurs actifs ;  $d_k$  représente le bit de donnée du  $k^{\text{ième}}$  utilisateur,  $C_k(i)$ : représentent le  $i^{\text{ième}}$  élément du code du  $k^{\text{ième}}$  utilisateur et  $\pi(i)$  est la fonction porte de la  $i^{\text{ième}}$  impulsion, de largeur  $\Delta\nu$  dans l'intervalle  $[\nu_0 - \Delta\nu/2, \nu_0 + \Delta\nu/2]$ , est exprimé comme suit [11] :

$$\pi(i) = u \left[ \nu - \left[ \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2L} (-L + 2i - 2) \right] \right] - u \left[ \nu - \left[ \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2L} (-L + 2i) \right] \right] \quad (\text{II.33})$$

Avec  $u(\nu)$  est la fonction d'échelon unitaire.

Pour un canal FSO la puissance reçue  $P_r$  est affectée par les conditions géométrique et atmosphérique. Elle est donnée par l'expression suivante [11] :

$$P_r = P_t * \frac{D_r^2}{(D_t + \theta_{div} * l)^2} * 10^{-\gamma * \frac{l}{10}} * \tau_t * \tau_r \quad (\text{II.34})$$

## II.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté, la technique d'accès multiple par repartitions de code optique particulièrement le système à encodage spectral en amplitude SAC-OCDMA. Ce système a présenté plusieurs avantages, tels que la flexibilité de l'attribution de canal, la capacité à fonctionner de manière asynchrone, l'amélioration de la confidentialité et l'incrément de capacité du réseau.

Nous avons présenté ensuite les méthodes de construction de quelques codes, utilisés pour le codage SAC-OCDMA, dont notre étude est basée. Nous avons présenté également les différents bruits qui existent dans les systèmes SAC-OCDMA. A la fin du chapitre, nous avons donné la méthode de calcul du SNR et BER.

# *Chapitre III*

## *Résultats de simulations*

### III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble du travail de simulation que nous avons effectué dans le but d'évaluer les performances d'un système SAC-OCDMA dans deux liaisons différentes (FSO et OFS). Dans un tel système, l'amplitude du spectre optique de la source est codée par des codes spécifiques à chaque utilisateur. La source incohérente apparaît comme un bon candidat pour ce type de codage parce qu'elle présente une bande large.

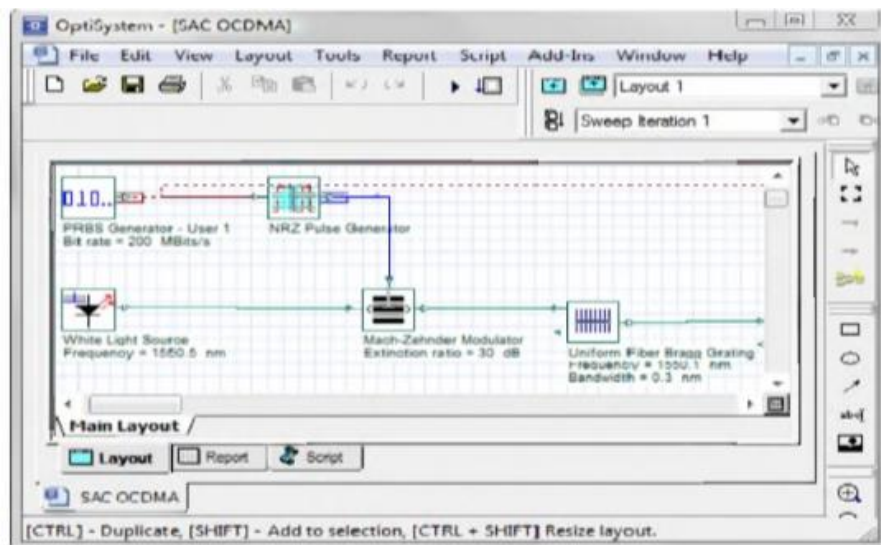
L'objectif de ce chapitre est de présenter une étude comparative entre quelques codes utilisés en SAC-OCDMA à savoir :

- Les codes ayant une faible corrélation croisée tels que : EMD (Enhanced Multi Diagonal) et RD (Random Diagonal).
- Les codes ayant une corrélation croisée nulle tels que : ZCC (Zero Cross Correlation), MD (Multi Diagonal) et DW-ZCC (Double Weight- Zero Cross Correlation).

Les performances de transmission du système sont évaluées en utilisant deux critères de qualité : le taux d'erreur binaire (BER : Bit Error Rate) et le diagramme de l'œil du signal.

### III.2. PRESENTATION DU LOGICIEL OPTISYSTEM

La conception et l'analyse des systèmes de communications optique, comprennent des dispositifs non-linéaires et des sources de bruit non gaussiennes qui sont très complexes et coûteuses en temps, il en résulte que ces tâches ne peuvent désormais être effectuées rapidement et efficacement qu'avec l'aide de nouveaux outils logiciels [12]. Dans notre mémoire nous avons opté pour un logiciel de simulation des systèmes de communications optique innovants qui conçoit, teste et optimise pratiquement n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un large éventail de réseaux optiques, il s'agit d'Optisystem qui est un simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications optiques. Sa vaste bibliothèque de composants actifs et passifs comprend des paramètres réalistes, ces capacités peuvent être étendus facilement avec l'ajout des composants et peuvent être reliés à un large éventail d'outils, une interface complète d'utilisateur graphique (GUI) contrôle la disposition optique des composants, les modèles et ces présentations graphiques (figure III.1)[12].



*Figure III.1* Interface d'utilisateur graphique (GUI)

### III.3. CRITERE DE PERFORMANCE DE TRANSMISSION OPTIQUE

Dans une transmission d'information numérique, le bloc de réception prend des décisions, à partir du signal reçu, pour reconstituer une suite de données qui soit aussi similaire que possible à celle émise. Pour cela, l'organe de décision, composé entre autres d'un comparateur à seuil, assigne à chaque pulse un bit 0 si le niveau du pulse est en dessous du seuil ou un bit 1 si ce niveau est au-dessus du seuil. Cependant, l'atténuation, la dispersion et les différents bruits que subit le signal entraînent des erreurs. Le critère de qualité le plus communément utilisé est le taux d'erreur binaire (BER). Cependant, il est possible aussi de mesurer les performances des transmissions avec le facteur de qualité (Q). Une autre approche, plus qualitative, consiste à tracer le diagramme de l'œil du signal.

#### III.3.1. Taux d'erreurs binaires

La qualité de transmission numérique binaire est intrinsèquement simple à évaluer puisqu'il suffit de comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, et de compter les erreurs c'est-à-dire le nombre de fois d'un « 0 » est détecté pour un symbole « 1 » émis et vice versa. On définit alors le taux d'erreurs binaires ou Bit Error Rate en anglais (BER) correspondant au nombre d'erreurs sur le nombre de bits transmis pendant la durée de la mesure [12] :

$$BER = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{III.1})$$

Le taux d'erreur binaire communément accepté dans le milieu des télécommunications optiques est de  $10^{-9}$ , correspondant à une erreur commise sur un milliard de bits lus.

### III.3.2. Facteur de qualité

Le facteur de qualité est le rapport signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur. Le signal mesuré contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission. Le facteur Q est défini par [12] :

$$Q = \frac{u_1 - u_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (\text{III.2})$$

Avec,  $u_1$  et  $u_0$  représentent les niveaux moyens du signal utile (symboles «1 » et «0»),  $\sigma_1$  et  $\sigma_0$  représentent les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens (bruit) dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesuré.

Dans l'hypothèse où la distribution de puissance des symboles est gaussienne, le facteur de qualité est relié au BER, par la relation suivante [12] :

$$TEB = \frac{1}{2} \left[ \text{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

Où *erfc* est la fonction erreur complémentaire définit par :

### III.3.3. Diagramme de l'œil

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise [13]. Plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus le facteur de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé. (Figure III.2).

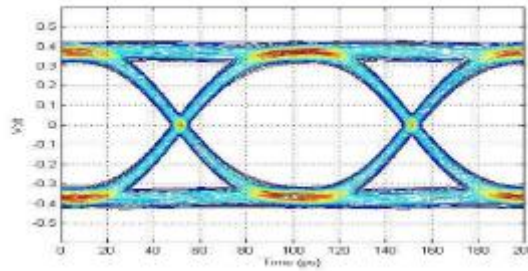


Figure III.2 Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ[16].

### III.4 LES CODES UTILISEES

Le but de notre travail est de faire une étude comparative, que se soit pour liaison en espace libre (FSO) ou une liaison par fibre optique (OFS), entre quelques codes utilisés dans les systèmes SAC-OCDMA. Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre précédent, il existe plusieurs codes qui se différencient par la méthode de génération et surtout par leurs propriétés d'inter-corrélation. Nous avons choisi six codes classés en deux groupes :

- Les codes avec inter-corrélation non nulle ( $\lambda_c=1$ ) : EMD et RD
- Les codes avec inter-corrélation nulle ( $\lambda_c=0$ ) : ZCC, MD et DW-ZCC

Dans ce qui suit, nous présentons en détail chaque code, en donnant la matrice des mots de codes des différents utilisateurs, les longueurs d'ondes correspondantes, ainsi que les schémas de simulation des deux parties, émission et réception.

#### III.4.1 Le code EMD

Comme décrit dans le chapitre précédent, ce code est caractérisé par une corrélation croisée égale à 1.

Les longueurs d'onde correspondantes utilisées, pour quatre utilisateurs sont présentées dans le tableau suivant avec une largeur de chip égale à 0.4 nm.

**Tableau III.1** Longueurs d'ondes utilisées pour le code EMD (7,3,0,3)

Numéro du chip	1	2	3	4	5	6	7
Longueur d'onde(nm)	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6	1552	1552.4
Utilisateur1	1	0	0	0	0	1	1
Utilisateur2	0	1	0	0	1	1	0
Utilisateur3	0	0	1	1	1	0	0

### III.4.2 Le code RD

Ce code est aussi caractérisé par une corrélation croisée égale à 1.

Le tableau suivant représente les longueurs d'onde correspondantes utilisées pour trois utilisateurs.

**Tableau III.2** Longueurs d'ondes utilisées pour le code RD (8,4,1,3)

Numéro du chip	1	2	3	4	5	6	7	8
Longueur d'onde(nm)	1548.8	1549.2	1549.6	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6
Utilisateur1	0	0	1	0	1	1	1	0
Utilisateur2	0	1	0	1	1	0	0	1
Utilisateur3	1	0	0	1	0	1	1	0

### III.4.3 Le code ZCC

Comme décrit dans le chapitre précédent, ce code est caractérisé par une corrélation croisée égale à 0.

La matrice (II.24) est utilisée ici pour la simulation. Elle représente les différents mots du code de  $N=4$  utilisateurs pour un poids  $W = 3$ , et une longueur  $L = 12$

Les longueurs d'onde correspondantes utilisées sont présentées dans le tableau suivant avec une largeur de chip égale à 0.4 nm.

**Tableau III.3** Longueurs d'ondes utilisées pour le code ZCC (12,3,0,4)

Numéro du chip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longueur d'onde(nm)	1547.6	1548	1548.4	1548.8	1549.2	1549.6	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6	1552
Utilisateur1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
Utilisateur2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Utilisateur3	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Utilisateur4	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0



### III.4.4 Le code MD

Les longueurs d'onde correspondantes utilisées sont présentées dans le tableau suivant avec une largeur de chip égale à 0.4 nm.

*Tableau III.4 Longueurs d'ondes utilisées pour le code MD(12,3,0,4)*

Numéro du chip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longueur d'onde(nm)	1547.6	1548	1548.4	1548.8	1549.2	1549.6	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6	1552
Utilisateur1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Utilisateur2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Utilisateur3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Utilisateur4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1

### III.4.5 Le code DW-ZCC

Ce code aussi a une corrélation croisée égale à 0. Les longueurs d'onde correspondantes utilisées sont présentées dans le tableau suivant avec une largeur de chip égale à 0.4 nm.

*Tableau III.5 Longueurs d'ondes utilisées pour le code DW-ZCC (12,4,0,3)*

Numéro du chip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longueur d'onde(nm)	1547.6	1548	1548.4	1548.8	1549.2	1549.6	1550	1550.4	1550.8	1551.2	1551.6	1552
Utilisateur1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Utilisateur2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Utilisateur3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

## III.5 PARAMETRES UTILISES POUR LA SIMULATION

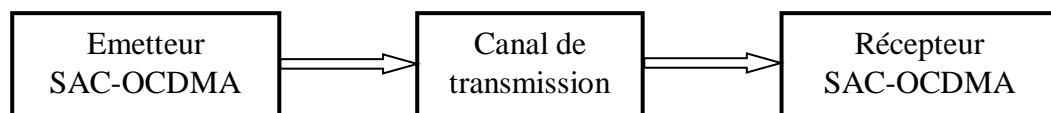
Pour toutes les simulations nous avons utilisé les paramètres et les valeurs de composantssuivantes :

- Région d'exploitation de la Longueur d'onde : [1548 nm - 1555 nm].
- Longueur d'onde centrale de la diode laser : 1550 nm.
- Débit binaire du signal : 1 Gbits/s.
- Format du signal : Non-retour à zéro (NRZ).
- Taux d'extinction du modulateur optique : 30 dB.
- Fréquence de coupure du filtre : 0,75 débit binaire.
- Pour la fibre :

- Dispersion : 16.75 ps/nm/km
- Pour la liaison FSO
  - Diamètre de l'émetteur : 5 cm
  - Diamètre du récepteur : 20 cm
  - Angle de divergence : 2 mrad

### III.6 SCHEMAS DE SIMULATION

Le schéma bloc du système SAC-OCDMA simulé est donné par la figure III.3. Le canal de transmission optique dans notre étude est soit une fibre optique, soit une liaison en espace libre FSO. Ces deux liaisons sont représentées sous le logiciel Optisystem par les composants de la bibliothèque du logiciel donnés par la figure III.4.



*Figure III.3 Schéma bloc du système SAC-OCDMA*



*Figure III.4 Liaisons de transmission utilisée sous optisystem  
(a) Liaison optique en espace libre (b) Fibre optique*

Les cinq figures qui suivent représentent les schémas de simulation, réalisés par Optisystem, du système SAC-OCDMA-FSO pour les différents codes étudiés. Nous donnons la partie émission et celle de réception reliée par une liaison FSO (Figure III.4-a). Pour une liaison OFS, les mêmes schémas seront utilisés en remplaçant la liaison dans les schémas par une fibre optique (Figure III.4-b)

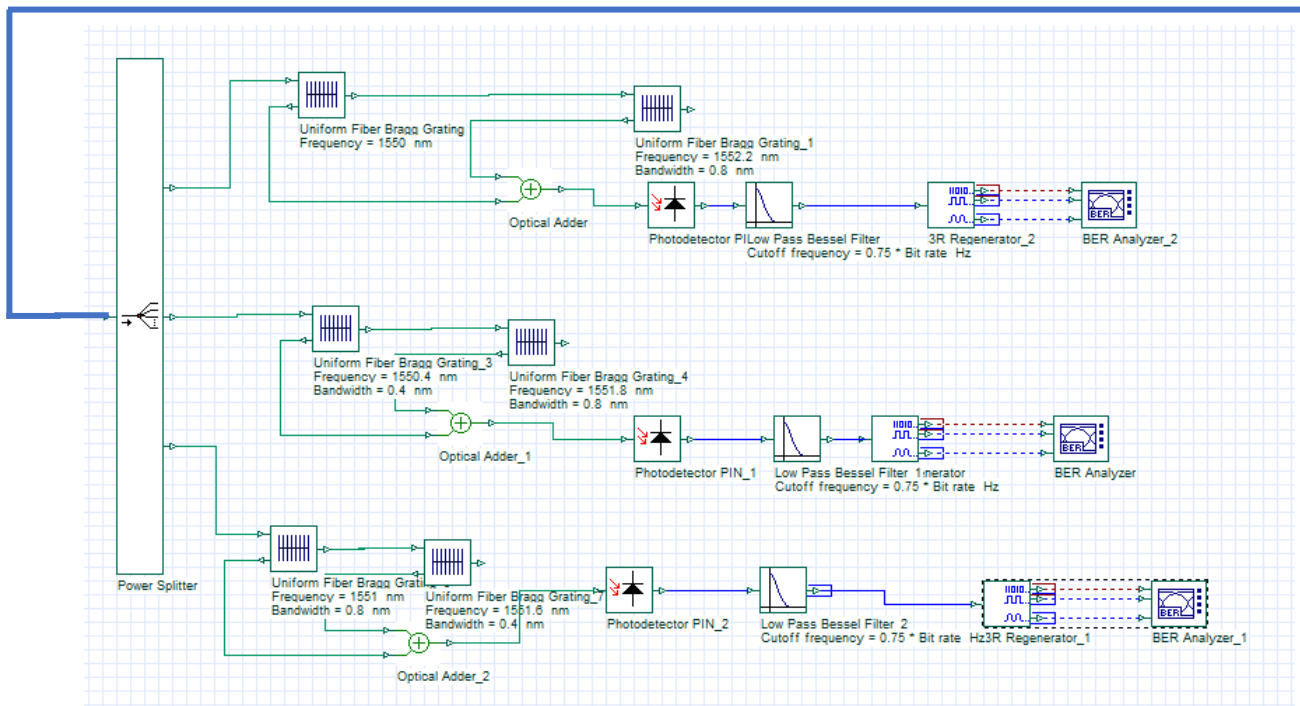
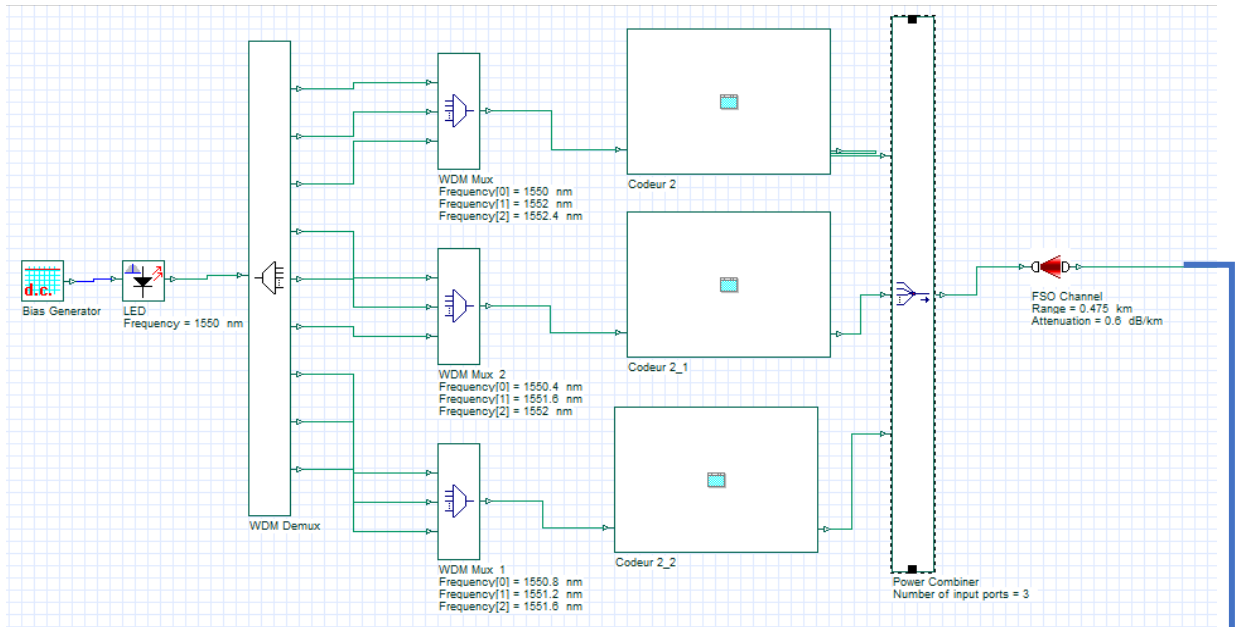


Figure III.5 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code EMD

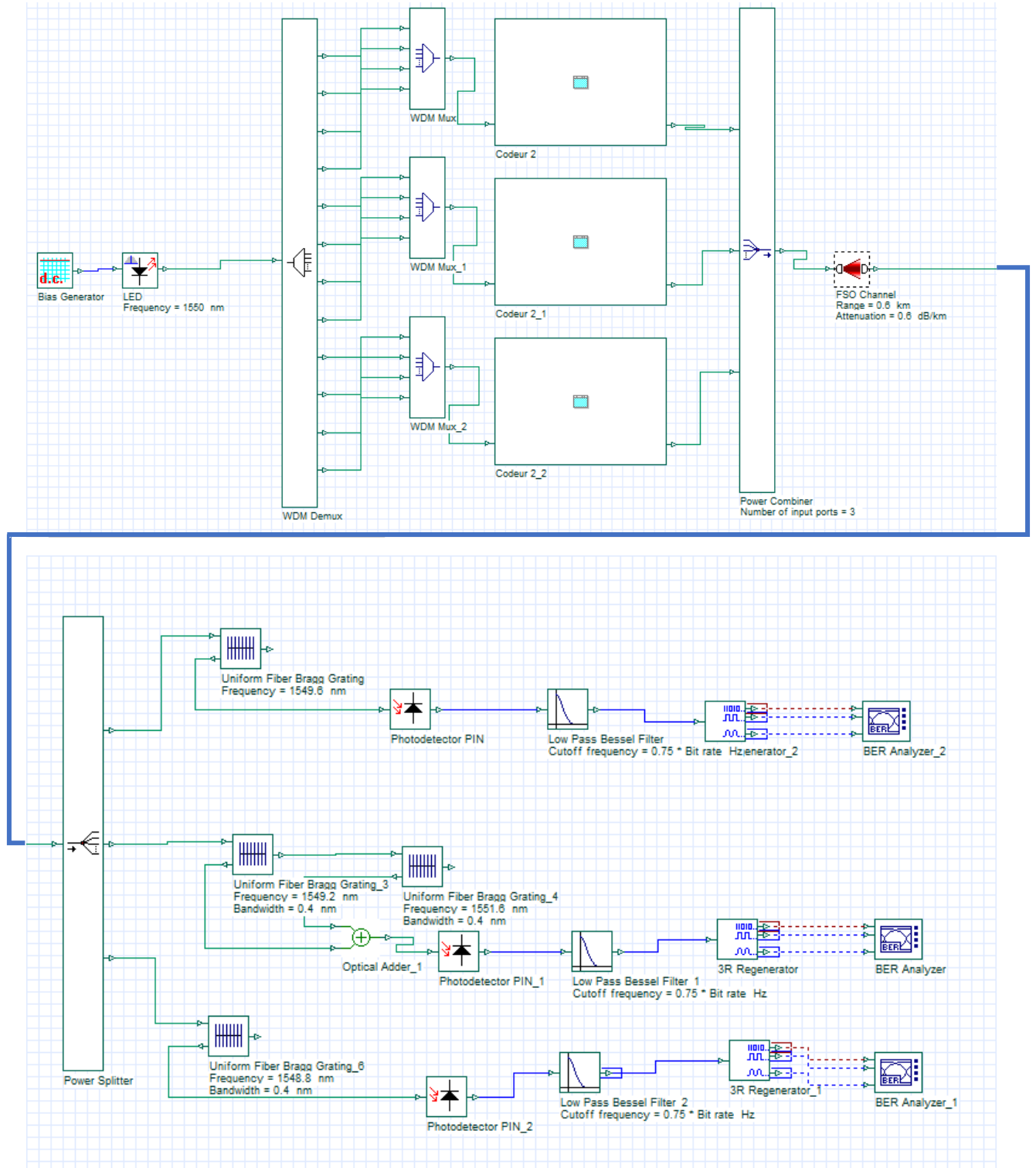


Figure III.6le Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code RD

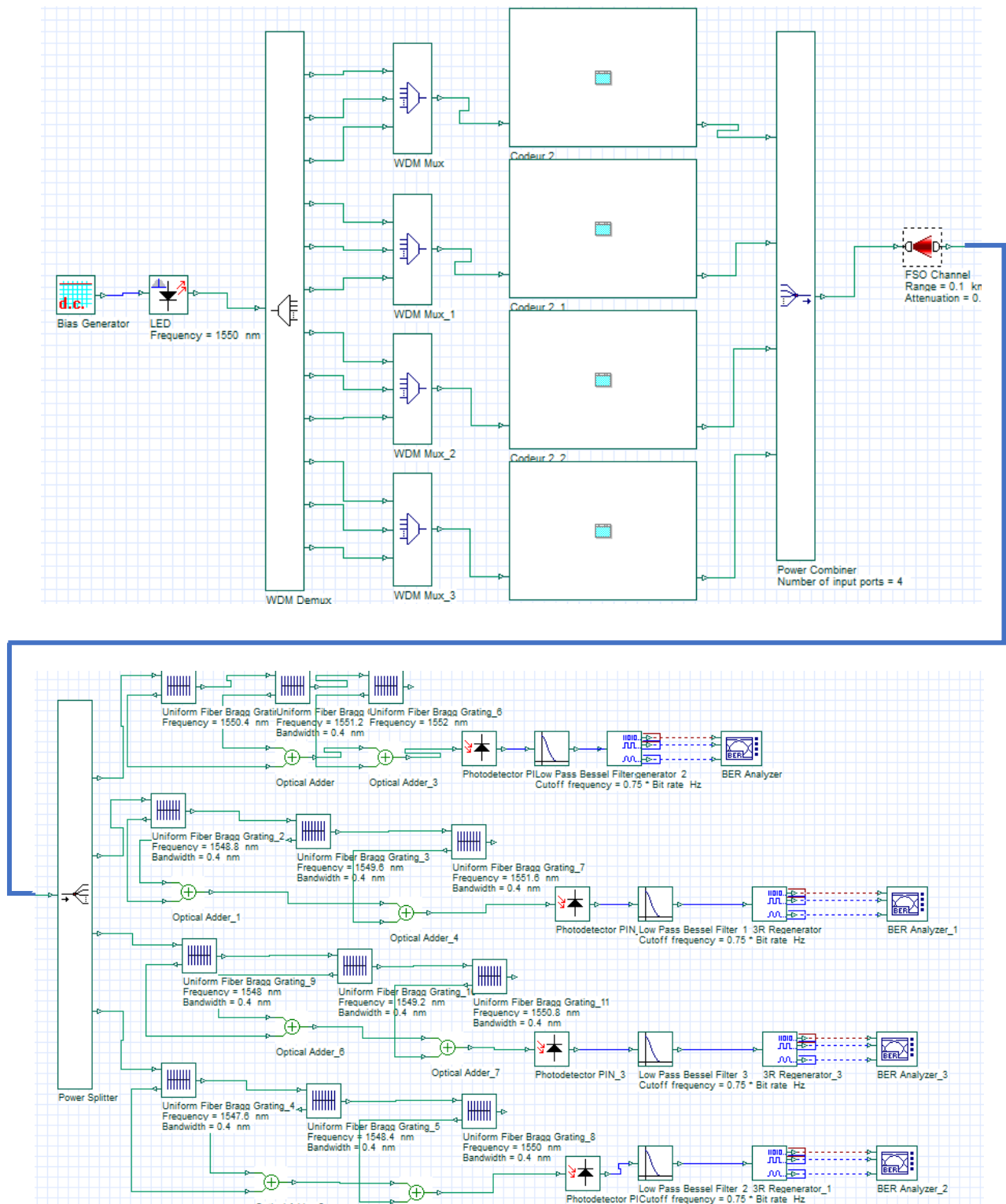


Figure III.7 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code ZCC

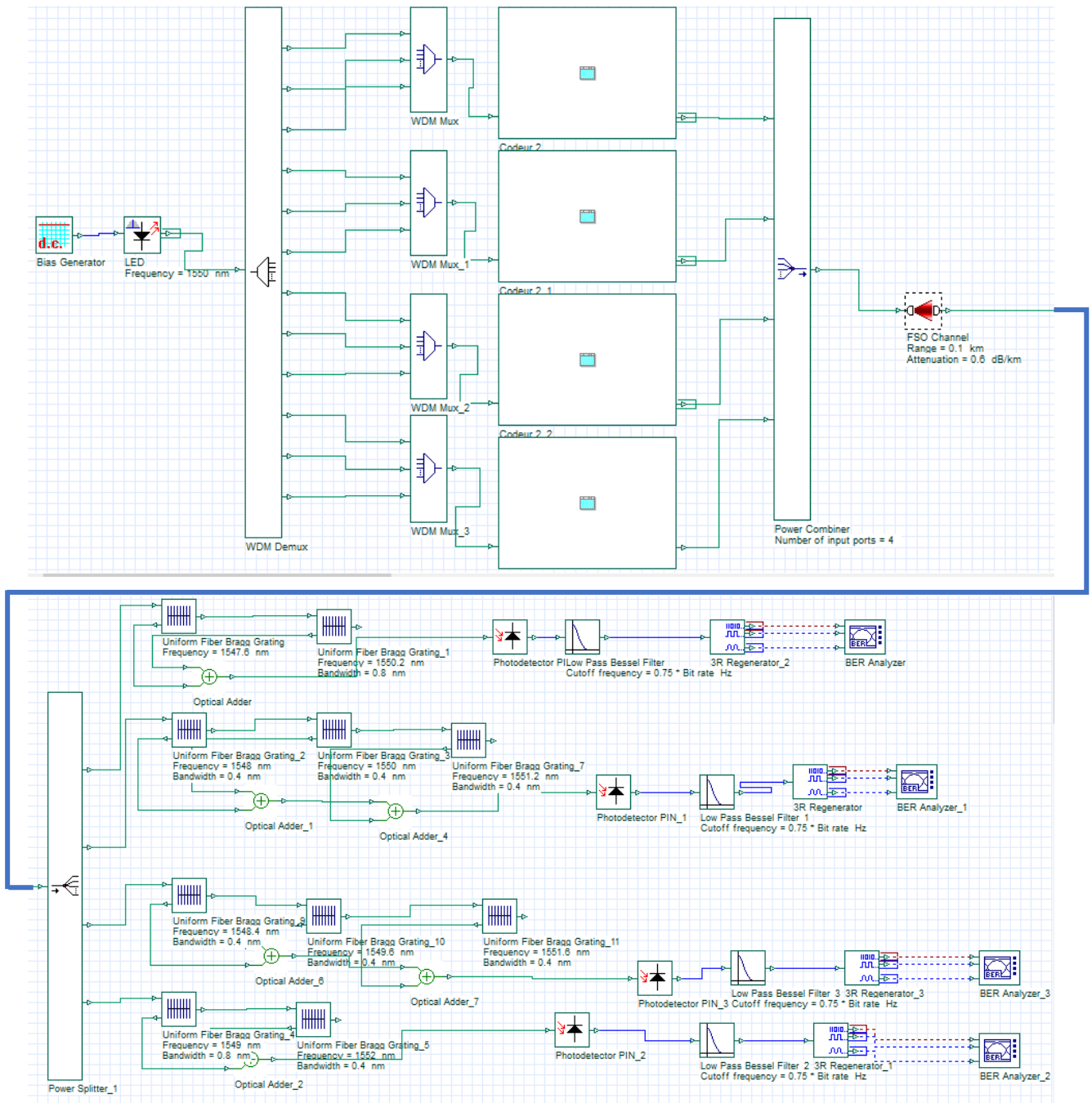


Figure III.8 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code MD

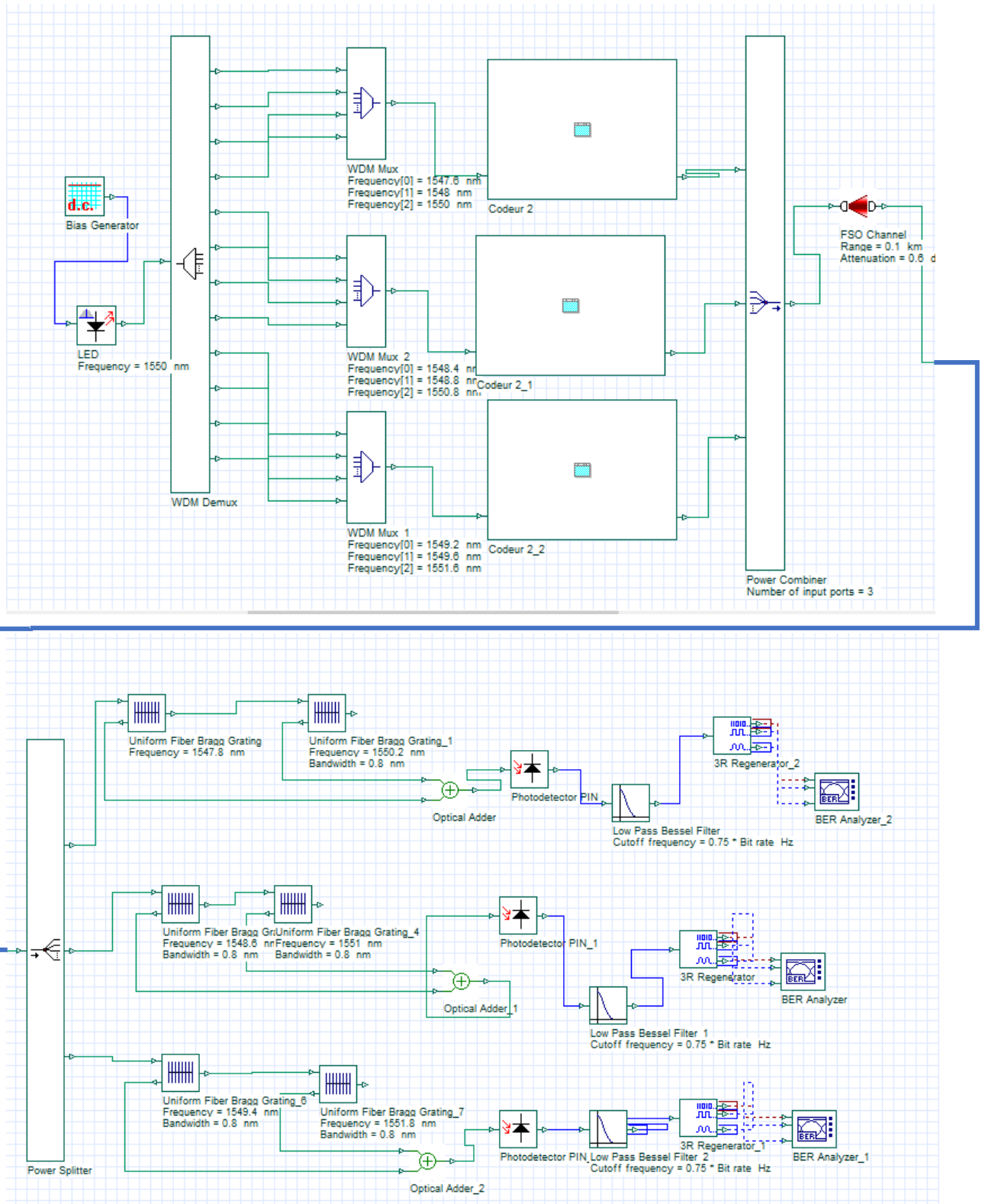


Figure III.9 Schéma de simulation du système SAC-OCDMA-FSO pour le code DW-ZCC

### II.6.1. Description du système

La figure III.10 représente le sous-système nommé « codeur », utilisé dans la partie émission du schéma de simulation.

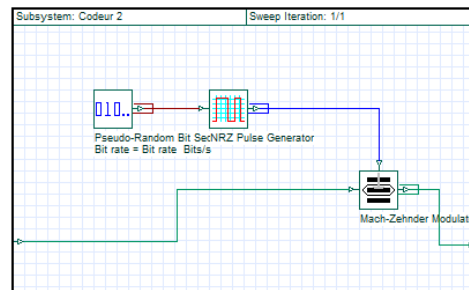


Figure III.10 schéma interne du sous-système (codeur)

Dans la partie émission, une source optique large bande est utilisée, son spectre est divisé en un nombre suffisant de longueurs d'onde (selon le code utilisé) avec un démultiplexeur WDM avec un espacement de 0,4 nm entre les chips. Ensuite, les puissances des longueurs d'onde de chaque mot de code sont combinées par un multiplexeur. Un générateur de séquences de bits pseudo aléatoire (Pseudo Random Bit Séquence : PRBS) produit des données à un débit binaire choisi (1Gbps). Le générateur de signal NRZ est utilisé pour convertir le signal logique produit en signal électrique. Ensuite, les données électriques de chaque utilisateur sont modulées par un modulateur Mach-Zehnder. Enfin, le signal optique ainsi produit est transmis à travers une liaison de transmission optique.

Dans notre étude le détecteur direct est utilisé pour détecter les codes (EMD, RD, ZCC, MD et DW-ZCC) afin d'éliminer les MAI en détectant uniquement les chips qui ne se chevauchent pas. Comme le PIIN est lié au MAI, son effet sur les performances du système est également supprimé. De plus, le coût et la complexité du système sont réduits.

Le fonctionnement du côté récepteur est le même pour tous les codes étudiés. Les différentes séquences de codes modulés sont séparées. Le décodeur dépend de la détection directe, où seules les puces propres sont filtrées car les informations sont supposées être récupérables à partir de chips ne se chevauchant pas, et les puces qui se chevauchent sont rejetées pour éliminer les interférences. Les signaux sont détectés avec un photo-détecteur PIN. Enfin, les signaux entrants sont filtrés à l'aide d'un filtre passe-bas (LPF) pour récupérer le signal d'origine.



### III.7. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### III.7.1 Représentation des diagrammes de l'œil

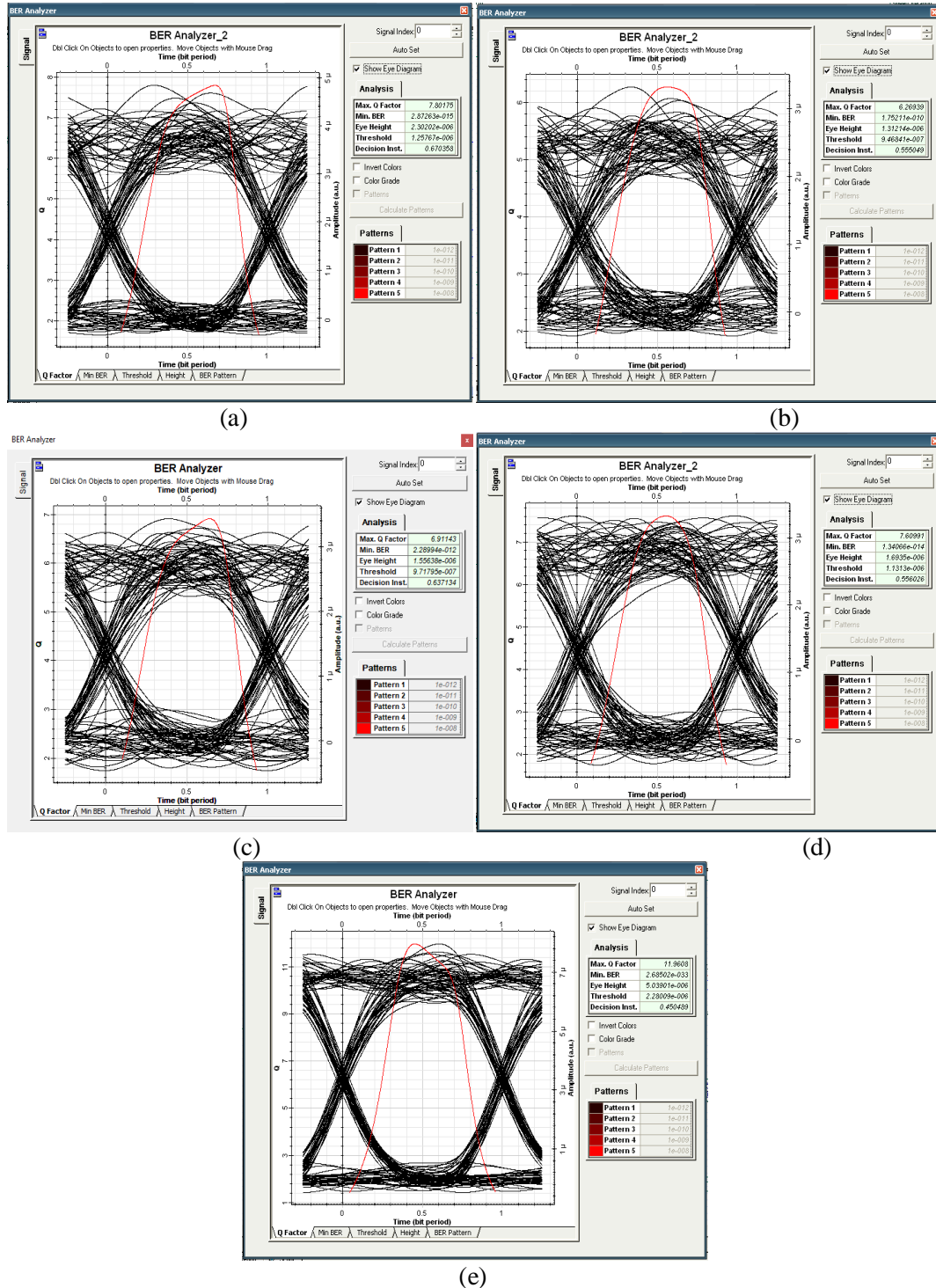
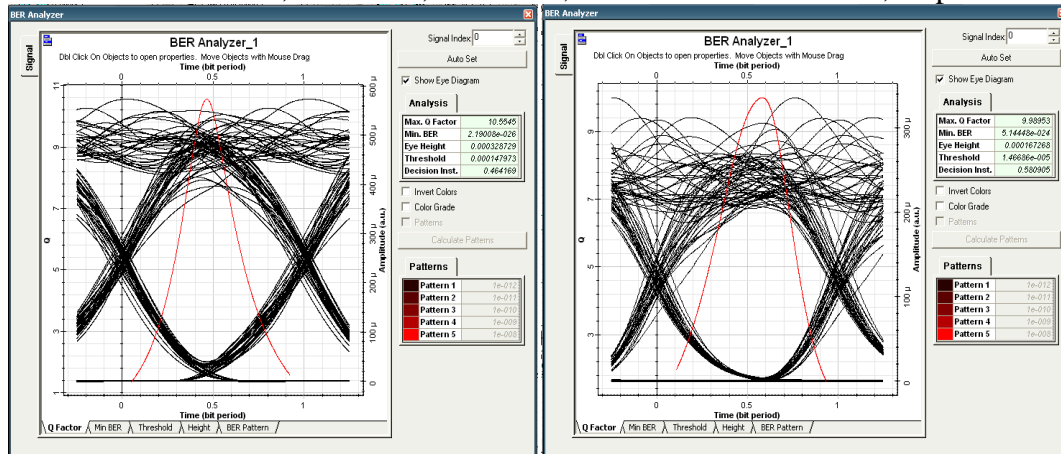


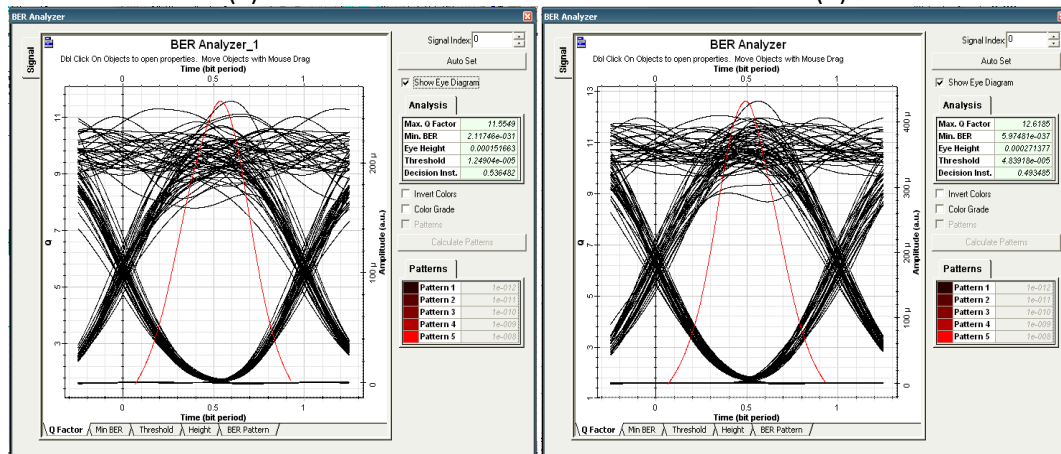
Figure III.11 Diagramme de l'œil pour une liaison FSO  
 a) le Code EMD b) le code RD c) le code ZCC d) le code MD e) le code DW-ZCC f) le code ED

La figure III.11 montre les diagrammes de l'œil pour les codes EMD, RD, ZCC, MD et DW-ZCC dans le scénario FSO sous un temps clair (atténuation de 0,6 dB/Km) à une distance de 1 Km, où le BER =  $1.75 \cdot 10^{-10}$ ,  $2.8710^{-15}$ ,  $2.29 \cdot 10^{-12}$ ,  $21.34 \cdot 10^{-14}$  et  $2.68 \cdot 10^{-33}$ , respectivement.



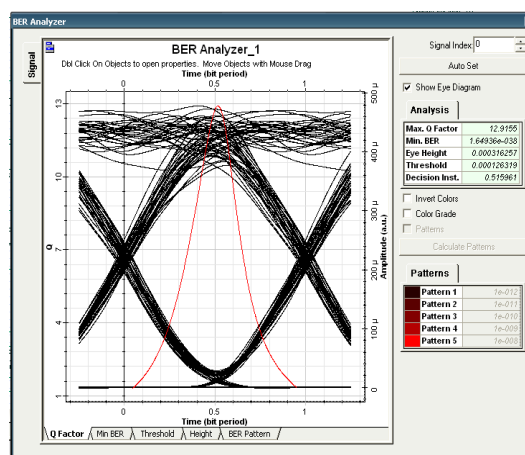
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Figure III.12 Diagramme de l'œil pour une liaison OFS  
 a) le Code EMD b) le code RD c) le code ZCC d) le code MD e) le code DW-ZCC

La figure III.12 montre les diagrammes de l'œil pour les mêmes codes dans le scénario OFS à 40 km, où le BER =  $2.19 \cdot 10^{-26}$ ,  $5.14 \cdot 10^{-24}$ ,  $2.12 \cdot 10^{-31}$ ,  $5.97 \cdot 10^{-37}$  et  $1.65 \cdot 10^{-38}$ , respectivement.

Les deux figures révèlent clairement que les codes d'inter-corrélation nulle offrent de meilleures performances et ont une plus grande ouverture d'œil que ceux des codes d'inter-corrélation faible ( $\lambda_c=1$ ). En revanche, pour les codes à inter-corrélation nulle, le code DW-ZCC donne de meilleures performances que celle des codes MD et ZCC dans les deux scénarios.

### III.7.2. Etude de performances des codes

Les quatre figures qui suivent représentent la variation du BER en fonction de la distance sur une liaison FSO pour les différents codes (EMD, RD, ZCC, MD, DW-ZCC). Les courbes sont obtenues pour différents cas de brouillard donnés par le tableau III.6 avec les atténuations correspondantes.

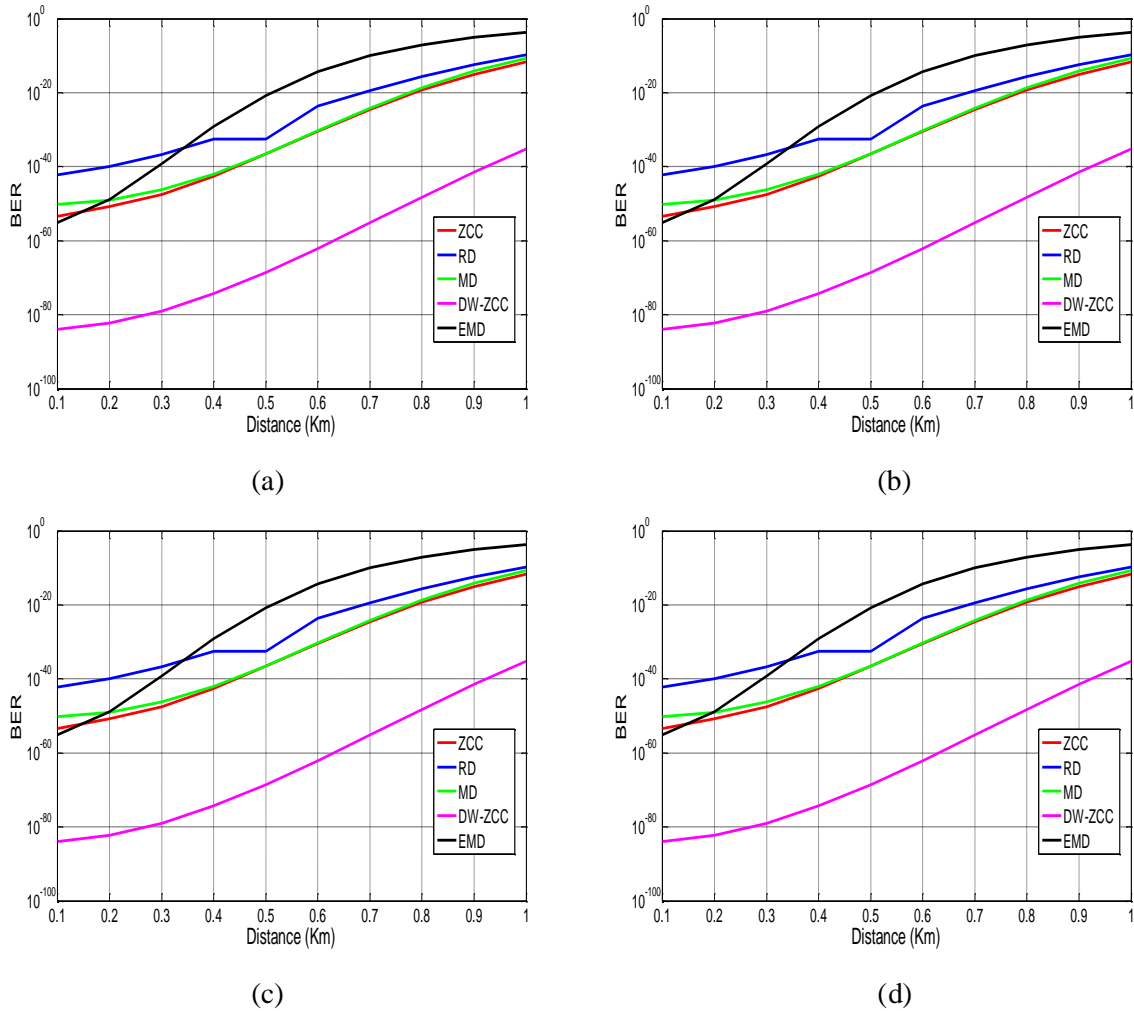
**Tableau III.6** Atténuations des différents brouillards

Type de brouillard	Visibilité (km)	Atténuation (db/km)
Brouillard dense	0,05	339,7920
Brouillard modéré	0,4	42,5160
Brouillard léger	0,6	25,4203
Temps clair	3	0,6

La figure III.13 montre une comparaison entre les performances des codes EMD, RD, ZCC, MD et DW-ZCC dans différentes conditions d'atténuation du brouillard (temps clair, brouillard léger, brouillard modéré et brouillard dense). La simulation est réalisée avec Optisystem. Le bruit généré au niveau des récepteurs est supposé aléatoire et totalement non corrélé.

Cette figure montre le BER en fonction de la distance. On peut facilement voir que plus la distance augmente, le BER augmente dans toutes les conditions de brouillard pour les cinq codes et la qualité du signal se détériore. Ces courbes indiquent également que les codes à inter-corrélation nulle (ZCC, MD et DW-ZCC) donnent de meilleures performances que les codes à faible inter-corrélation (EMD et RD) dans différentes conditions d'atténuation parce que toutes les chips des codes d'inter-corrélation nulle sont détectées, car il n'y a pas de chevauchement entre les séquences de code (plus le nombre de chips détectées est grand, plus

la puissance reçue sera importante). En revanche, pas toutes les chips des codes à faible inter-corrélation sont détectées ; uniquement les chips qui ne se chevauchent pas.



**Figure III.13** BER en fonction de la distance pour différents codes sur une liaison FSO  
 a) temps clair, b) brouillard léger, c) brouillard modéré d) brouillard dense

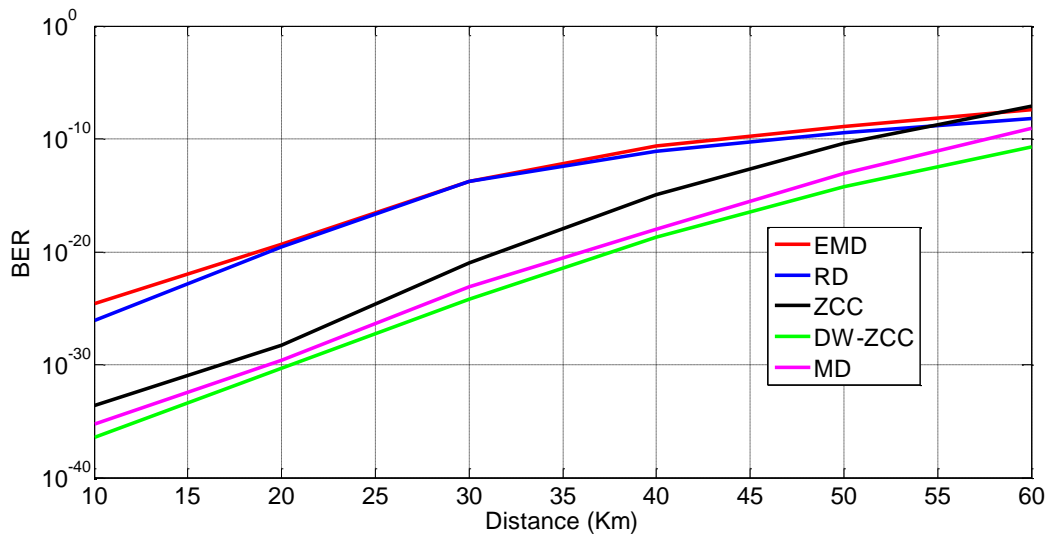


Figure III.14 BER en fonction de la distance pour différents codes sur une liaison OFS

Les figures III.13. A indique que le code EMD offre de meilleures performances que le code RD dans des conditions de temps clair. Ceci est attribué à la propriété d'inter-corrélation nulle du code EMD dans la partie segment de données, qui réduit l'effet des MAI. De plus, les valeurs d'atténuation de 0,6 dB/km pour des conditions d'air clair est faible et n'a pas un grand effet sur les performances du système. Les figures 4b, c, d montrent que le code RD donne de meilleures performances que le code RD pour les petites distances. Cependant, lorsque la distance augmente, le code RD commence à surpasser légèrement le code EMD. Ceci est attribué à l'importante atténuation météorologique de 25.516 dB/Km pour un brouillard léger, 42,4523 dB/km pour un brouillard modéré et de 335,792 dB/Km pour un brouillard dense. Cette atténuation a un effet prépondérant sur les performances. Pour le code EMD, le récepteur reçoit plus de chips que celles du code RD, car il a moins de chips qui se chevauchent. La puissance reçue a un effet dominant sur les performances du système à grande distance.

Une comparaison entre les performances du système SAC-OCDMA dans le scénario OFS est présentée par la figure III.14 en se concentrant sur différents types de codes. Dans ce scénario (liaison OFS), les effets non linéaires, l'atténuation, la dispersion sont pris en compte pour simuler l'environnement réel.

De même, la figure III.14 indique que les performances des codes ayant une inter-corrélation nulle (ZCC, MD et DW-ZCC) sont meilleures par rapport à celles des codes ayant

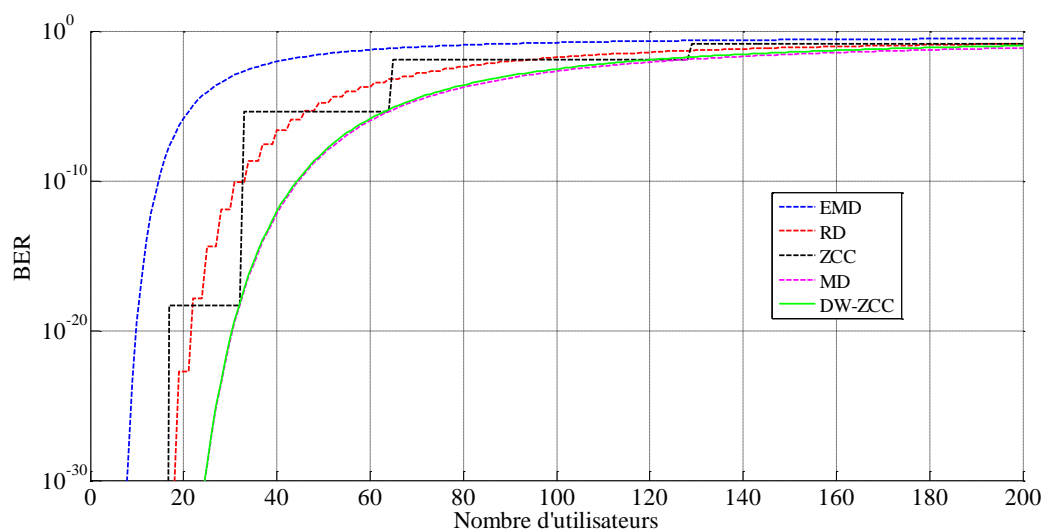
une faible inter-corrélation (EMD et RD). Bien que les codes ZCC et MD aient une corrélation croisée nulle, la même longueur de code et le même poids de code, le code MD offre de meilleures performances que celles du code ZCC car la construction du code MD dépend de la matrice unitaire.

La figure III.14 révèle que le code RD a de meilleures performances que celles du code EMD dans l'OFS bien que le récepteur détecte plus de chips pour le code EMD que celles détectées avec le code RD. Ceci est attribué au fait que le code EMD a une grande vulnérabilité à la dispersion et à l'atténuation dans les câbles à fibres optiques. Par conséquent, il est clair que la performance des codes dépend du support. Le FSO limite les performances du système SAC-OCDMA par l'effet d'atténuation dû aux conditions météorologiques telles que la pluie et la turbulence. L'OFS limite également les performances du système SAC-OCDMA par la dispersion, l'atténuation et les effets non linéaires dans les fibres optiques.

### III.8 RESULTATS MATLAB

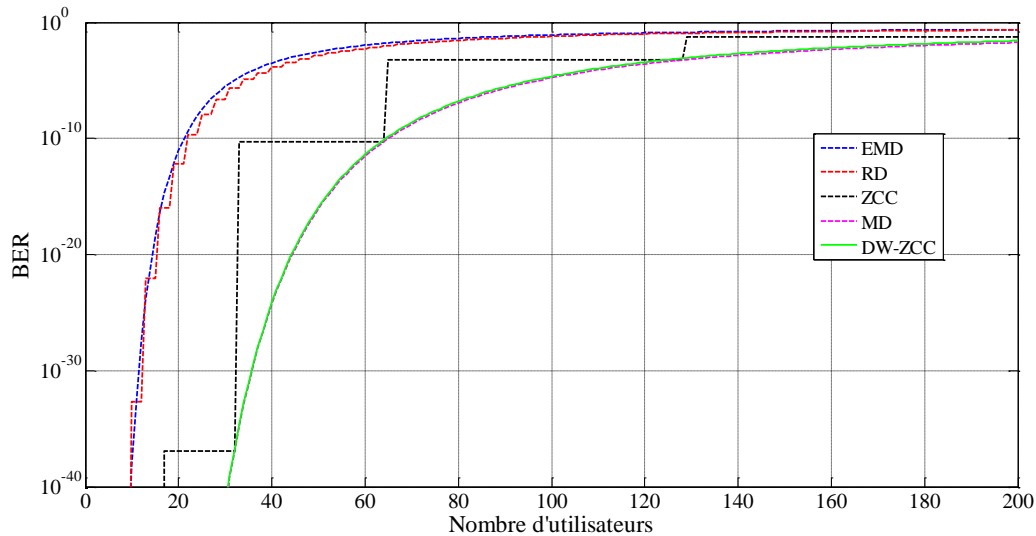
Les figures suivantes représentent la variation du BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour les deux liaisons (FSO et OFS) utilisant les différents codes étudiés (EMD, RD, ZCC, MD, DW-ZCC). Les courbes sont obtenues en utilisant les formules mathématiques du BER pour chaque codes en utilisant Matlab.

La figure III.15 représente la variation du BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison FSO à un temps clair (atténuation = 0.6 dB/km) et une distance de 1km.



**Figure III.15** BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison FSO pour différents codes

La figure III.16 représente la variation du BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour une liaison OFS.



**Figure III.16** BER en fonction du nombre d'utilisateurs sur une liaison OFS pour différents codes

Ces deux figures montrent que la dépendance des performances du système SAC-OCDMA du nombre d'utilisateurs. Plus le nombre d'utilisateur augmente plus les performances se dégradent. En plus, le code RD donne de meilleurs résultats que le code EMD en FSO, par contre en OFS, les performances changent entre les codes selon le nombre d'utilisateur.

### III.5 CONCLUSION

Ce chapitre a discuté les performances du système SAC-OCDMA dans les scénarios FSO et OFS en se concentrant sur différents types de codes. Il a également clarifié l'effet de la valeur de l'inter-corrélation et de l'atténuation du brouillard sur les performances du système. Les résultats de la simulation ont montré que les performances des codes SAC-OCDMA dépendent de la liaison de transmission. Les codes ayant une inter-corrélation nulle surpassent les codes ayant une faible inter-corrélation. Le code DW-ZCC offre les meilleures performances avec le code MD et ZCC est le suivant dans les scénarios FSO et OFS. Cependant, le code EMD offre de meilleures performances que celles du code RD dans le

scénario OFS, tandis que le code RD offre de meilleures performances que celles du code EMD dans le scénario FSO sous effet de brouillard.



# *Conclusion Générale*

Ce mémoire de fin d'étude avait pour but l'évaluation et comparaison de performances des codes SAC-OCDMA sur différentes liaisons optiques. La simulation est effectuée en utilisant deux logiciels, Matlab et Optisystem. Le premier pour tracer les courbes théoriques et le deuxième pour simuler le fonctionnement.

Dans la première partie de ce travail, constituée par les deux premiers chapitres, nous avons présenté le système de communication optique ou il était indispensable de présenter les principaux composants de l'émetteur et du récepteur ainsi que la liaison de transmission utilisée (la fibre optique et l'espace libre). Nous avons présenté aussi la technique de multiplexage SAC-OCDMA utilisée en donnant le principe de fonctionnement en codage comme en décodage. Les méthodes de construction des différents codes utilisés dans notre travail ont été également présentées.

A la suite de cette étude théorique, au cours de la deuxième partie, nous avons simulé le fonctionnement d'un système de communication SAC-OCDMA en utilisant les multiplexeurs comme dispositif d'encodage et fibre de Bragg pour le décodage. Les données sont codées spectralement en utilisant six codes différents (EMD, RD, ZCC, MD et le code DW-ZCC). Nous avons présenté en détail les codes et les différents étages du système. Nous avons analysé les performances du système SAC-OCDMA en termes du taux d'erreurs binaires et le diagramme de l'œil sur les deux liaisons optiques.

D'après les résultats obtenus soit par Matlab ou par Optisystem, nous avons montré que les performances des codes SAC-OCDMA dépendent de la liaison de transmission. Les codes ayant une inter-corrélation nulle surpassent les codes ayant une faible inter-corrélation. Le code DW-ZCC offre les meilleures performances avec les codes MD et ZCC dans les scénarios FSO et OFS. Cependant, le code EMD offre de meilleures performances que celles des codes à inter-corrélation non nulle dans le scénario OFS, tandis que le code RD offre de meilleures performances dans le scénario FSO sous effet de brouillard.

Enfin, Le choix de la famille de code dans le réseau est un autre paramètre qu'il faut prendre en considération, car le bon choix de code améliore les performances du système SAC-OCDMA quel que soit la liaison utilisée.

## *Références bibliographiques*

- [1] CHERIFI ABDELHAMID. « *Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi porteuses Dans La Transmission d'information* ».Thèse de doctorat, Université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem, 2017.
- [2] Yassine Harichane, Ilyas Benkriouda, « Etude et évaluation des performances d'un système de communication sans fil optique en espace libre FSO », Université Hassiba Benboulaïd de Chlef, 2018.
- [3] <https://www.rapport-gratuit.com/comparaison-entre-les-trois-canaux-fso-owc-et-smf/>
- [4] Khenniche Mohamed Oussama, « Etude comparative entre l'ADSL et la Fibre Optique », mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra,
- [5] BERRA Salah, BENAMARA Soufiene, « Evaluation Des Performances D'un Système de Télécommunication Hybride SAC-OCDMA/FSO » mémoire de master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, 2019.
- [6] Julien Penon, « *Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes sac-ocdma incohérents utilisant des réseaux de bragg* » ; Thèse Mémoire fin d'étude doctorat. Université Laval, 2009
- [7] Mostafa, S., Abd El-Naser A. M., Fathi E. Abd El-Samie, & Ahmed, N.Z. Rashed. « *Eradication of Multiple Access Interference Using a Modified Multi-service Code for SAC-OCDMA* ». *Wireless Pers Commun*, Vol. 83, pp.855-872, 2015.
- [8] Waqas, A. Imtiaz, Ilyas, M., & Khan, H, « *Performance optimization of spectral amplitude coding OCDMA system using new enhanced multi diagonal code* ». *Infrared Physics & Technology*, Vol. 79, pp.36-44, 2016.
- [9] Fadhil, H. A., Aljunid, S. A., & Ahmad, R. B. « *Performance of random diagonal code for OCDMA systems using new spectral direct detection technique* ». *Optical Fiber Technology*, 15, 283–289, 2009.
- [10] Kumari, M, Himali. S, « *Performance analysis of zero cross-correlation code in spectral amplitude coding-OCDMA* ». *International Conference en communication, Computing & Systems (ICCCS-2014)*.
- [11] Majid Moghaddasi, Saleh Seyedzadeh, Ivan Glesk, Gandham Lakshminarayana, Siti Barirah Ahmad Anas, « *DW-ZCC code based on SAC-OCDMA deploying multi-wavelength laser source for wireless optical networks* » 2017.
- [12] Chaabane Chaouche Hicham, « *Calcul exact du SNR et BER pour les systèmes SAC-OCDMA* ». Mémoire de fin d'études master. Université Dr Tahar Moulay - SAIDA.
- [13] Waqas, A. Imtiaz, Ilyas, M., & Khan, H, « *Performance optimization of spectral amplitude coding OCDMA system using new enhanced multi diagonal code* ». *Infrared Physics & Technology*, Vol. 79, pp.36-44, 2016.
-