

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



MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Présenté par

AIDOUNE Ahlam
BOUCHELLAH Kahina

Thème

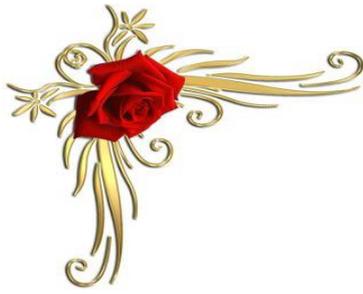
**Etude d'un système de transmission basé sur la
technique SAC OCDMA appliquée dans les
communications optiques en espace libre (FSO)**

Soutenu le 02 juillet 2019

Devant le Jury

Président	M. KHIREDINEA
Examineur	M.MEKHMOUKH.A
Encadreurs	M. ALOUDIA.H
	M. SAHRAOUI.W
	M.BERRAH.S

Année Universitaire : 2018/2019



Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

A ma perle maman RACHIDA, la personne devant laquelle tous les mots de l'univers sont incapables d'exprimer mon amour et mon affection pour elle, que dieu te garde pour moi.

A mon cher papa MOUHAMED qui m'a apporté le courage et la volonté et qui m'a prêté son attention pour me guider sur le bon chemin, je te remercie papa que dieu te bénisse.

A ma très chère sœur « HALA » et mon adorable frère « KAMEL » qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A ma sœur « HANANE » et son mari « SOFIANE » et leurs aimables enfants « mon petit chéri BADIDOU et ma poupée LYNA ».

A mon frère « NABIL » et sa femme « KAHINA » et ma charmante nièce « LEA »

A ma sœur « FATY » et son mari « SEGHIER » et ma princesse « ALICE »

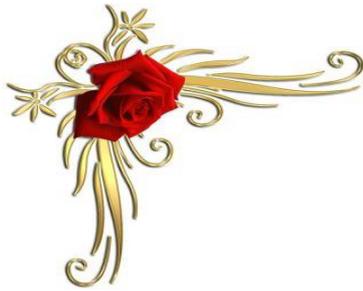
A ma chère et unique tante « NADIA » et toute la famille « KIROUANI » spécialement « KOCILA » que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur. A tous mes oncles, cousins et cousines.

A tous les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant, merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier ma binôme « KAHINA » pour son soutien moral, sa patience et sa

Compréhension tout au long de ce projet.

AHLAM



Dédicace

Je dédie ce modeste travail...

À Mes très chers parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leurs procure bonne santé et longue vie.

À ma chère sœur Zahra et mes trois chers frères Farid, Messipsa et Samy, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A toute ma famille.

A ma chère binôme Ahlam et toute sa famille.

A mes chers amis.

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

KAHINA

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la patience pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous exprimons nos sincères gratitude et nos profondes reconnaissances à nos encadreurs M^r AOUDIA Hakim et M^r SAHRAOUI Walid pour leurs disponibilités, leurs gentillesse, leurs conseils et leurs efforts tout au long de ce travail. Nous remercions également Mr berrah smail pour ses conseils et ses encouragements.

Nos remerciements les plus respectueux s'adressent à M^r KHIREDDINE.A pour avoir accepté de présider le jury de ce travail et à M^r MEKHMOUKH.A, pour avoir accepté d'examiner et de juger les travaux de ce Mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie à notre formation.

Nos profonds remerciements vont à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin durant notre travail et en particulier tous nos collègues de la promotion de télécommunication.

Merci 

Table des matières

Remerciements iii

Liste des acronymes vii

Liste des figures ix

Liste des tableaux xi

Introduction générale..... 1

Chapitre I: Présentation générale d'une communication optique en espace libre (FSO)

Introduction 3

I.1 Présentation de la technologie FSO 3

 I.1.1 Principe de fonctionnement..... 4

I.2 L'émission et la réception optique dans les systèmes FSO 5

 1.2.1 L'émetteur FSO 5

 I.2.2 Le récepteur FSO 6

I.3 Canal de propagation dans un système FSO..... 6

 I.3.1 La structure de l'atmosphère terrestre 6

 I.3.2 Les effets atmosphériques sur la liaison FSO 7

I.4 Le choix de la longueur d'onde 9

I.5 Les avantages et les limites des FSOs par rapport aux interconnexions fibrées :..... 9

I.6 Les domaines d'application FSO 10

Conclusion..... 11

Chapitre II: L'accès multiple par répartition des codes optiques (OCDMA)

Introduction 12

II.1 Les techniques d'accès multiple : 12

 II.1.1 Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) 12

 II.1.2 Accès multiple par répartition en fréquences (FDMA) 13

 II.1.3 Accès Multiple Par Répartition Dans Les Longueurs D'onde (WDMA)..... 13

II.1.4 Accès multiple par répartition de codes (CDMA)	14
II .2 Présentation de la technologie OCDMA	14
II.2.1 L'architecture d'OCDMA.....	15
II.2.2 Le mode de fonctionnement d'OCDMA	15
II.3 Les types du codage OCDMA.....	16
II .3.1 OCDMA temporel :	17
II .3.2 OCDMA spectral :	17
II .3.3 OCDMA hybride et 2D:.....	18
Conclusion.....	19
<i>Chapitre III: L'encodage spectral d'amplitude d'un système optique (SAC-OCDMA)</i>	
Introduction	20
III.1 Le système SAC-OCDMA.....	20
III.1.1 Encodage	20
III.1.2 décodage	21
III.2 Bruit en SAC-OCDMA incohérent	22
III.3 Les codes SAC-OCDMA	24
III.3.1 Les paramètres utilisés dans les codes.....	24
III.3.2 le code MD	25
III.3. 3 le code RD	27
III.3. 3 Le code MDW	28
III.4 L'analyse mathématique	30
Conclusion.....	33
<i>Chapitre IV: Simulation et résultats</i>	
Introduction	34
IV .1 Présentation de logiciel OptiSystem	34
IV.1.1 Les applications du logiciel :	35
IV.2 Description du système SAC-OCDMA	35

Table de matières

IV.2.1 Partie émission	35
IV.2.2 Partie réception :.....	36
IV.3 Les critères d'évaluation de la qualité de transmission.....	37
IV.3.1 Taux d'erreur binaire.....	37
IV. 3.2 le facteur de qualité (Q).....	37
IV.3.3 Le diagramme de l'œil	38
IV.4 La simulation d'une liaison SAC-OCDMA avec différents codes	38
IV.4.1 L'analyse temporelle et spectrale des codes SAC-OCDMA.....	39
IV.4.2 Evaluation des performances dans des conditions météorologiques.....	41
IV.4.3 Comparaisons entre les performances des codes SAC-OCDMA dans l'espace libre.....	46
Conclusion.....	52
Conclusion générale	53
Bibliographie	54

Liste des acronymes

APD: Avalanche Photo Diode

AWG: Arrayed Wave Grating

BER: Bit Error Ratio

CATV: CAble TeleVision

CDMA : Code Division Multiple Access

DS-OCDMA: Direct Sequence- Optical Code Division Multiple Access

DSP : Densité Spectrale de Puissance

FBG: Fiber Bragg Grating

FSO: Free Space Optic

FSOI: Free Space Optic Interconnect

FTTX: Fiber To The X

GSM: Global System Mobile

LAN: Local Area Network

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LED: Light Emitting Diode

LOS: Line-Of-Sight

MAN: Metropolitan Area Network

MAI: Multiple Access Interference

MD: Multi Diagonal

MDW: Modified Double Weight

MOMS: Microelectro Optical Mechanical Systems

MZ: Mach-Zehnder Modulator

NRZ: No Return to Zero

OOC: Optical Orthogonal Codes.

PC: Prime Codes

PIN: Positive Intrinsic Negative

PON: Passive Optical Network.

PRBS: Pseudo-Random Binary Sequence

RD: Random Diagonal

ROF: Radio Over Fiber

SAC: Spectral Amplitude Coding

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SLM: Spatial Light Modulator

SNR: Signal to Noise Ratio

SONET: Synchronous Optical Network

TDMA: Time Division Multiple Access

TPE: Temporal Phase Encoding

UIT: Union Internationale des Télécommunications

WDM: Wavelength Division Multiplexing

WDMA: Wavelength Division Multiple Access

WiFi: Wireless Fidelity

Liste des figures

Figure I. 1 : Représentation des liaisons FSO pour raccorder des bâtiments entre eux.....	3
Figure I.2 : structure de base d'une liaison optique en espace libre	4
Figure I.3 : représentation d'une unité FSO émettrice réceptrice	4
Figure I.4: Topologies de réseaux optiques en espace libre :(a) point-multipoints et maillage	5
Figure I.5 : Effet du brouillard sur les faisceaux lumineux.....	7
Figure I.6 : Changement de direction des faisceaux lumineux suite aux turbulences atmosphériques	8
Figure I.7 : Illustration des liaisons de raccordement sans fil "Backhaul" de la téléphonie mobile	10
FigureII.1 : Principe du TDMA.....	12
FigureII.2 : Principe du FDMA.....	12
Figure II.3 : Le principe de la technique WDMA	13
Figure II.4 : le principe de la technique CDMA	14
Figure II.5 : OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile	15
Figure II.6: principe de l'étalement temporel d'un système DS-OCDMA	17
Figure II.7 : Codage spectral OCDMA.....	18
Figure II.8 : OCDMA en 2D.....	19
Figure III. 1 : Encodage SAC-OCDMA pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeur.....	21
Figure III. 2 : Méthode de détection spectrale directe : (a) d'une longueur d'onde (b) avec la totalité des longueurs d'ondes.	22
Figure IV. 1: interface graphique du logiciel OptiSystem.....	35
Figure IV. 2 : modèle d'un émetteur SAC-OCDMA.....	36
Figure IV. 3 : modèle d'un récepteur SAC-OCDMA.....	37
Figure IV. 4 : diagramme de l'œil	38
Figure IV. 5 : visualisation des signaux de sortie de la liaison dans le domaine temporelle.....	39
Figure IV. 6 : visualisation des spectres de sortie de la liaison	40

Figure IV. 7 : facteur Q du code RD en fonction de la distance sous conditions météorologiques différentes.....	40
Figure IV. 8 : facteur Q du code MD et MDW en fonction de la distance sous conditions météorologiques différentes	42
Figure IV. 9 : facteur Q des codes RD, MD et MDW en fonction du débit sous conditions météorologiques différentes	43
Figure IV. 10 : facteur Q des codes RD, MD et MDW en fonction de la puissance sous conditions météorologiques différentes	45
Figure IV. 11 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction de la distance	46
Figure IV. 12 : Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction de la distance	47
Figure IV. 13 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction du débit	48
Figure IV. 14 : Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction du débit.....	49
Figure IV. 15 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction de la puissance	50
Figure IV. 16 : Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction de la puissance.....	51

Liste des tableaux

Tableau III. 1 : codes pour ($L=7$, $w=3$, $\lambda_c=1$, $k=3$)..... 24

Tableau IV.1 : l'atténuation des conditions météorologiques..... 38

Introduction
générale

Introduction générale

Les liaisons optiques en espace libre (FSOs) constituent une alternative aux faisceaux hertziens et aux fibres optiques afin de faire face aux besoins croissants en matière de télécommunications à des débits élevés. Elles sont capables de fournir des liens à des prix réduits, d'une meilleure sécurité et de grande capacité pour une variété d'applications. Ces liaisons sont caractérisées par la vulnérabilité aux conditions atmosphériques.

Afin d'augmenter le nombre d'utilisateurs sur les différentes liaisons optiques plusieurs techniques de multiplexage peuvent être utilisées en partageant la même bande passante du canal de transmission. L'accès multiple par division de code optique (OCDMA) a connu ces dernières années une large utilisation dans le domaine des communications optiques, en raison de sa flexibilité et son niveau élevé de sécurité de la transmission. Parmi les différentes techniques d'OCDMA, l'encodage spectral en amplitude (SAC) qui présente l'avantage de réduire les interférences d'accès multiples MAI, en utilisant des codes avec une faible corrélation croisée.

L'objectif de ce travail, est d'améliorer les performances d'une liaison FSO, en réduisant les interférences d'accès multiples (MAI) et de limiter les effets atmosphériques sur la transmission de données.

Les travaux de ce mémoire sont basés sur l'étude et la simulation sous le logiciel «OptiSystem 7.0» d'un système SAC-OCDMA en espace libre avec la technique de détection directe, en utilisant différents codes sous l'influence de différents paramètres et de diverses conditions météorologiques à savoir la pluie et le brouillard. Ce manuscrit est réparti en quatre chapitres :

Le chapitre 1 comprend une description générale de la liaison optique en espace libre (FSO), ainsi que son principe de fonctionnement et ses applications, suivi d'un aperçu sur les différents effets atmosphériques affectant le canal FSO.

Le chapitre 2 introduit les différentes techniques d'accès multiple (TDMA, WDMA et CDMA). Un intérêt particulier a été donné à la technique d'accès multiple par répartition de code optique en précisant son mode de fonctionnement et ses différents types.

Le chapitre 3 est consacré à l'étude de la technique d'encodage spectral d'amplitude, où les différents bruits existants et la structure des codes SAC-OCDMA telles que MD, RD et DW seront présentés.

Le dernier chapitre est dédié à la simulation d'une liaison SAC-OCDMA/FSO et à la discussion des résultats obtenus. L'évaluation des performances est effectuée à travers les indicateurs suivants : le taux d'erreur binaire (BER), le facteur de qualité (Facteur-Q) et le diagramme de l'œil sous les différentes conditions météorologiques.

Le travail est complété par une conclusion générale et quelques perspectives

Chapitre I :

*Présentation générale d'une
communication optique en
espace libre (FSO)*

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons évoquer la technologie FSO en donnant ses différentes applications et son principe de fonctionnement. De plus, nous allons citer les composants d'une liaison FSO (émetteur, canal et récepteur) et présenter l'influence de l'atmosphère sur la transmission des signaux optiques.

I.1 Présentation de la technologie FSO

Les liaisons optiques sans fil dans l'espace libre, dénomination de « Free Space optic (FSO) », constituent une technologie complémentaire aux faisceaux hertziens et aux fibres optiques, elles reposent sur l'idée d'utiliser des faisceaux lumineux pour la transmission de tous types de données avec un débit élevé sur un canal qui pourrait être l'atmosphère, l'eau ou un autre milieu où la lumière peut se propager librement sans être guidée [1].

Les systèmes FSO sont généralement destinés pour effectuer une connexion entre deux ou bien plusieurs zones comme représenté à la figure I.1.

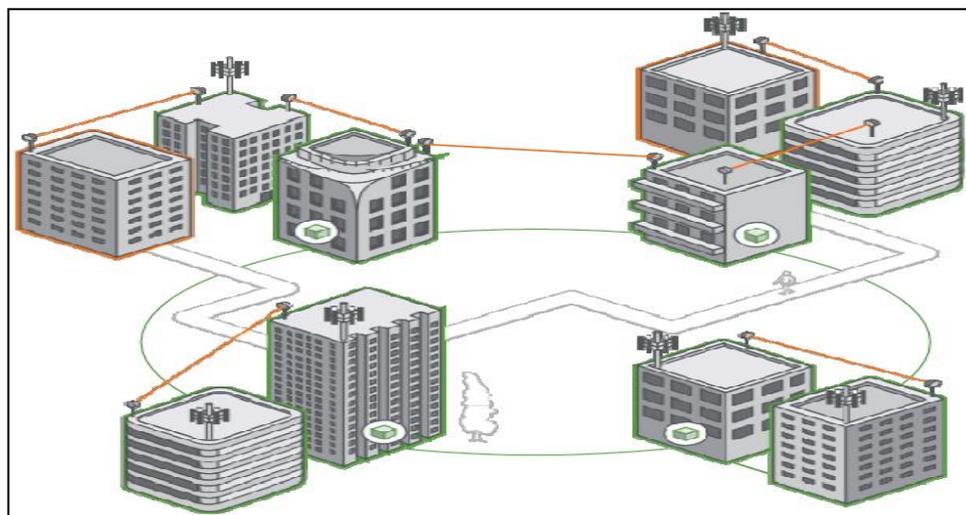


Figure I. 1 : Représentation des liaisons FSO pour raccorder des bâtiments entre eux

La technologie FSO est introduite sur le marché pour la première fois en 2008 avec un débit de 10 Gbps, ce qui permet de répondre aux besoins des opérateurs de télécommunication. Ce système est le futur concurrent de la plupart des technologies radiofréquences, telles que le GSM, le Bluetooth, ainsi que le wifi [1].

I.1.1 Principe de fonctionnement

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. Elle permet la transmission de données avec un débit comparable à celui de la fibre optique.

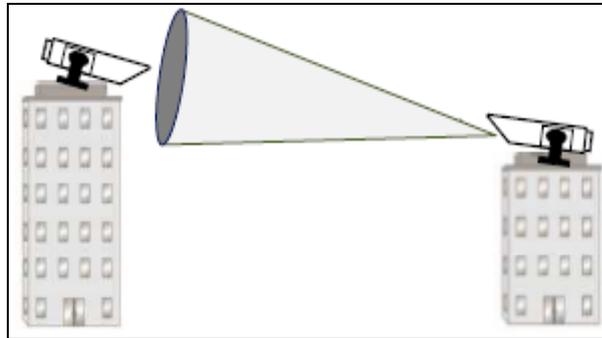


Figure I.2 : structure de base d'une liaison optique en espace libre

Une liaison optique sans fil est conçue sur une visibilité directe LOS (line-of-sight) entre les extrémités des points de communication pour transmettre des données (voir la figure I.2). Cette dernière comprend un émetteur/récepteur de signal optique de chaque côté et un canal de propagation qui est l'espace libre.

La communication entre l'émetteur et le récepteur est bidirectionnelle et simultanée (Full duplex). A chaque extrémité, les unités du système FSO peuvent être situées sur un toit ou bien sur un coin d'un bâtiment, la figure I.3 montre un exemple typique d'une unité FSO de la société light point permettant à la fois la réception et la transmission de données [2].

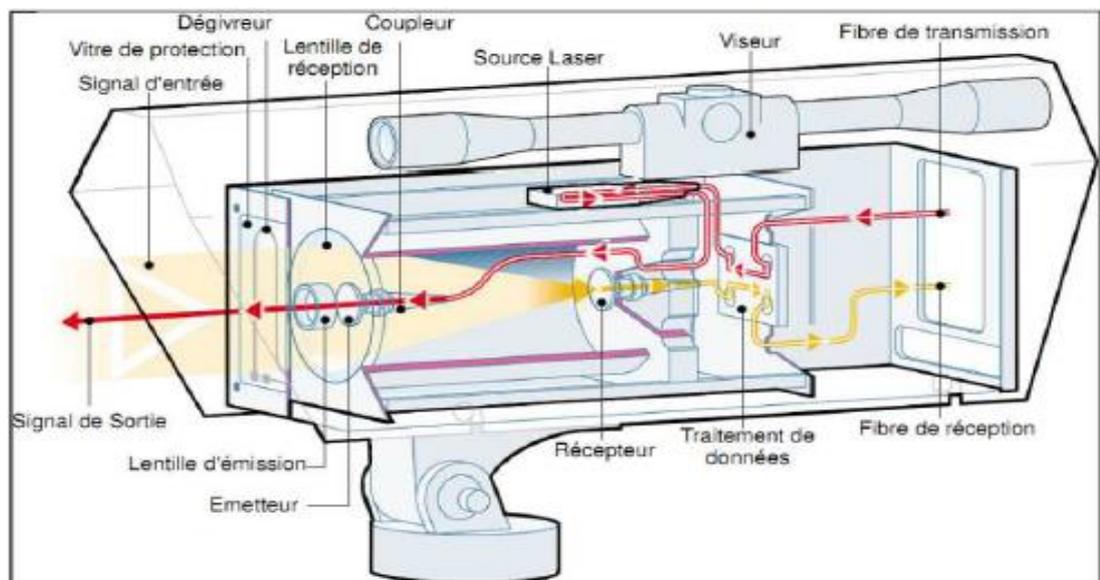


Figure I.3 : représentation d'une unité FSO émettrice réceptrice

La communication FSO permet de créer un réseau flexible dont la topologie peut être diverses : point-à-point, point-multipoints, anneau, maillage (voir la figure I.4).

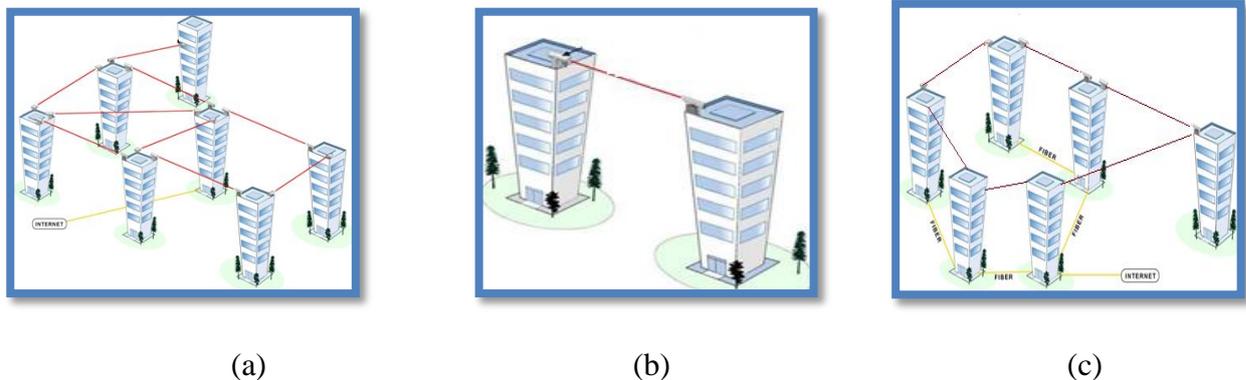


Figure I.4 : Topologies de réseaux optiques en espace libre :(a) point-multipoints et maillage (b) point-à-point et (c) anneau et point-à-point.

I.2 L'émission et la réception optique dans les systèmes FSO

1.2.1 L'émetteur FSO

Comme tout processus de communication optique, il nécessite un composant qui a pour rôle de transmettre le signal électrique en signal optique comme il est montré dans la figure I.4. Le bloc de l'unité FSO est muni d'une diode laser ou LED. Ces deux éléments sont les principaux composants de tout système de communication optique.

❖ Les diodes électroluminescentes LED :

Les diodes LED (Light Emitting Diode) sont des dispositifs optoélectroniques construites à partir de matériaux semi-conducteurs, basée sur l'émission spontanée. Ils présentent les avantages d'une large bande passante et d'un faible coût ainsi qu'une basse consommation d'énergie. La communication optique avec les LED est utilisée avec succès sur des courtes distances à cause de leur puissance d'émission qui est relativement faible [3, 4].

❖ Les diodes laser :

Les diodes laser sont fabriquées à partir de matériaux similaires à ceux des LED, basée sur l'émission stimulée [5]. Elle présente l'avantage d'être utilisée pour des longues distances comparées à la LED. Les diodes laser sont également plus efficaces en termes de rendement de conversion de puissance, elle est caractérisée par une puissance optique de sortie généralement beaucoup plus grande [4]. Dans la plupart des cas, les lasers à semi-conducteurs sont le choix préféré pour les applications FSO.

I.2.2 Le récepteur FSO

Le récepteur permet de convertir le signal optique reçu en un signal électrique, ce rôle est assuré par le photodétecteur. Toutefois, les systèmes optiques utilisent les photodiodes à semi-conducteurs grâce à leurs importants avantages tels que : la rapidité et la facilité d'utilisation [2].

Ces photodétecteurs se classent en deux catégories : PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiodes) et APD (Avalanche Photo Diode). Dans les systèmes FSO, la photodiode PIN est la plus utilisée grâce à sa faible tension de polarisation et ses performances satisfaisantes. D'autre part, les photodétecteurs PIN sont moins coûteux, moins sensibles et d'un gain plus faible que les photodiodes APD [4].

I.3 Canal de propagation dans un système FSO

Dans les systèmes de transmission FSO le canal de propagation constitue le milieu atmosphérique, qui est un milieu complexe et dynamique affectant la propagation des ondes optiques du faisceau laser émis [2]. Il existe un ensemble de phénomènes dans le milieu atmosphérique affectant la transmission du faisceau laser tels que : la diffusion et l'absorption du rayonnement par les particules et les molécules composant le milieu, ces effets modifient la trajectoire et la vitesse des rayons qui traversent l'atmosphère [6].

Dans cette section, nous allons donner un aperçu sur les effets de l'atmosphère agissant sur les performances des systèmes de transmission optique en espace libre. Nous rappellerons d'abord quelques caractéristiques de l'atmosphère terrestre.

I.3.1 La structure de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est formée d'une série de couches gazeuses qui entoure la terre. Elle s'étend sur environ 700 km au-dessus de la surface de la terre et se compose de plusieurs couches distinctes [7]. La partie la plus basse s'agit la troposphère. L'atmosphère représente un ensemble de différents composants chimiques tels que: le diazote(N_2), le dioxygène(O_2), l'argon(Ar), le dioxyde de carbone(CO_2) et des traces d'autres gaz [8].

Dans la télécommunication optique atmosphérique, la troposphère est la plus importante puisque elle représente la couche où se produit la majorité des phénomènes météorologiques qui ont une influence sur la propagation des rayonnements optiques [8].

I.3.2 Les effets atmosphériques sur la liaison FSO

❖ L'absorption atmosphérique

L'absorption atmosphérique est le résultat d'interaction entre les photons du rayonnement incident et les atomes ou les molécules de l'atmosphère terrestre. Cela entraîne la disparition de photon incident, l'élévation de température de l'atome ou de la molécule, la réduction de photons du rayonnement tout au long du parcours et l'atténuation de l'intensité du rayonnement [1].

❖ La diffusion atmosphérique

Provient de l'interaction d'une partie du rayonnement incident avec les atomes ou les molécules dans le milieu de propagation, ce qui provoque une redistribution angulaire de cette partie du rayonnement avec ou sans modification de la longueur d'onde incidente [1].

Il existe trois types de diffusion [1]: La diffusion de Rayleigh, la diffusion de Mie et la diffusion non sélective.

➤ Le brouillard

Le brouillard est un phénomène météorologique classé dans la diffusion de Mie dont la taille des particules est plus grande par rapport à la longueur d'onde. En effet ces particules présentent la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air sous forme de fines gouttelettes d'eau de quelques centaines de microns de diamètre [8].

Les brouillards et les nuages réduisent la visibilité atmosphérique. Cela provoque dans certaines gammes de fréquence des atténuations importantes sur les ondes optiques [8, 9,10].

Dans un brouillard dense, les gouttelettes d'eau sont en mesure de modifier les caractéristiques de la lumière ou d'empêcher le passage des rayons lumineux à travers une combinaison d'absorption et de diffusion (figureI.5) [1].

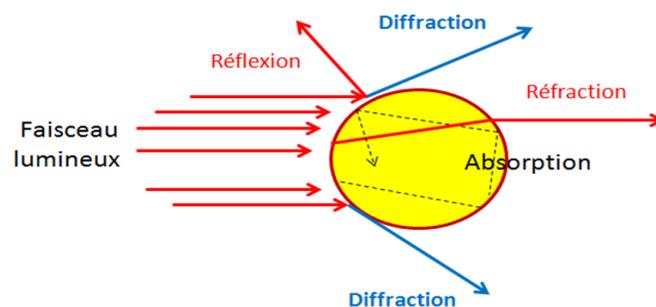


Figure I.5 : Effet du brouillard sur les faisceaux lumineux

➤ La brume

La brume est classée dans la diffusion de Mie, elle est due à l'accumulation de poussières, de fumées et d'autres particules polluantes dans l'air, ce qui réduit la visibilité atmosphérique. La brume provoque une atténuation importante sur la liaison FSO [11, 12]

➤ La pluie

La pluie est classée dans la diffusion non sélective où la taille de ses particules est beaucoup plus grande que la longueur d'onde de rayonnement, elle présente un facteur d'atténuation qui provoque la dégradation de signal optique. Ce phénomène météorologique peut causer une perte de communication [1].

❖ La turbulence atmosphérique

Les systèmes de communication optique sans fil paraissent d'être parfaits dans différents endroits comme le désert. Dans un climat chaud et sec, les problèmes de transmission sont dus à la turbulence atmosphérique [1]. Cette dernière représente le réchauffement de sol et d'air par le soleil, ce qui provoque des changements dans l'indice de réfraction donc une modification du chemin de propagation de la lumière à travers l'air.

Ces phénomènes induisent des atténuations de puissance du rayonnement qui ont une influence sur la performance et la disponibilité des liaisons optiques.

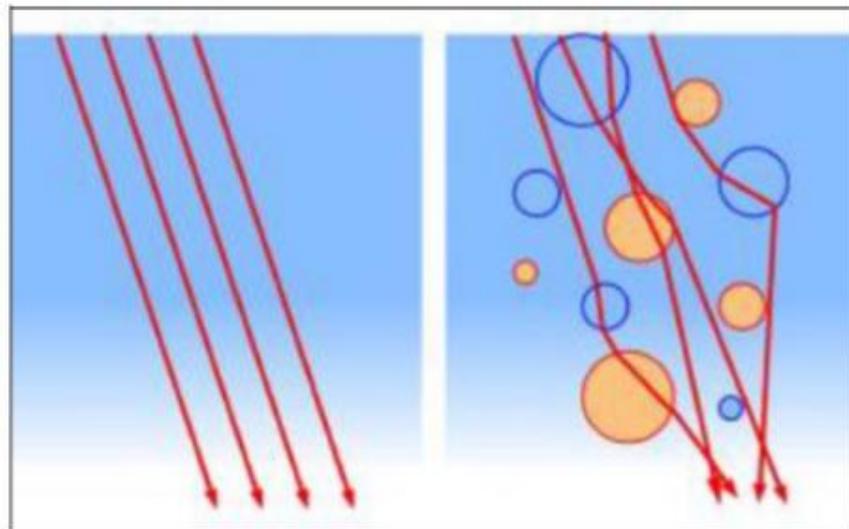


Figure I.6 : Changement de direction des faisceaux lumineux suite aux turbulences atmosphériques

❖ L'extinction atmosphérique

L'extinction atmosphérique est le résultat d'effet additif d'absorption et de diffusion de la lumière par les différents constituants et les diverses particules de l'atmosphère [8].

I.4 Le choix de la longueur d'onde :

Le choix de la longueur d'onde est un paramètre crucial dans une liaison optique en espace libre. Les FSO utilisent deux plages de longueurs d'ondes: les plages infrarouges et visibles qui se répartissent dans des fenêtres de transmission optique [2].

Les principaux avantages de ces fenêtres sont [2] :

- Une basse influence d'absorption atmosphérique sur les longueurs d'ondes émises,
- Des transmissions optiques atmosphériques sans pertes excessives.

I.5 Les avantages et les limites des FSOs par rapport aux interconnexions fibrées :

Cette section présente les avantages et les limites d'une liaison optique en espace libre :

❖ Les avantages des FSOs :

Les principaux intérêts des systèmes de communication optique sans fil sont [13] :

- facilité et rapidité de déploiement;
- rapidité de déplacement et de réutilisation des liaisons ;
- équipements petits et simples ;
- fonctionnement sans licence ;
- coût avantageux ;
- large bande ou débit de données élevé ;
- la transmission du faisceau optique se fait dans l'air. Par conséquent, la transmission est à la vitesse de la lumière ;
- Une sécurité plus élevée que celle des liaisons radioélectriques.

❖ Les limites des FSOs :

Les FSOs ont leurs propres limitations. Comme cette technologie nécessite une visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur, la liaison est vulnérable à un certain nombre de facteurs : disponibilité par rapport à la distance et une condition de visibilité directe.

En outre, pour la transmission des ondes optiques en espace libre, il faut surmonter certains problèmes liés à la propagation, comme l'atténuation du signal à la réception, conduisant ainsi à une augmentation du taux d'erreurs.

I.6 Les domaines d'application FSO

Les systèmes FSO sont aujourd'hui appliqués dans divers domaines, dont certaines sont développées dans les éléments suivants [1, 14, 15] :

- **Connectivité entreprise / campus**: les entreprises et les campus scolaires ou universitaires d'aujourd'hui connaissent un trafic réseau hétérogène (trafic voix, données, fax, multimédia) qui dépasse les connexions habituelles. Les systèmes FSO peuvent relier plusieurs bâtiments de réseaux d'entreprise et de campus prenant en charge des débits très élevés.
- **Soutien pour les liaisons à fibre optique** : Les liaisons FSO peuvent être utilisées pour fournir des liaisons de secours en cas de perte de données, et installation d'une liaison d'urgence en cas de panne ou d'indisponibilité de la liaison à fibre optique principale.
- **Les liaisons de raccordement "Backhaul" de la téléphonie mobile** : La liaison FSO permet un transfert intense de donnée pour les liaisons de raccordement entre les stations de base et l'infrastructure des réseaux, les services de téléphonie mobile nécessite le déploiement de technologies telles que FSO, qui permettent un débit beaucoup plus élevé.

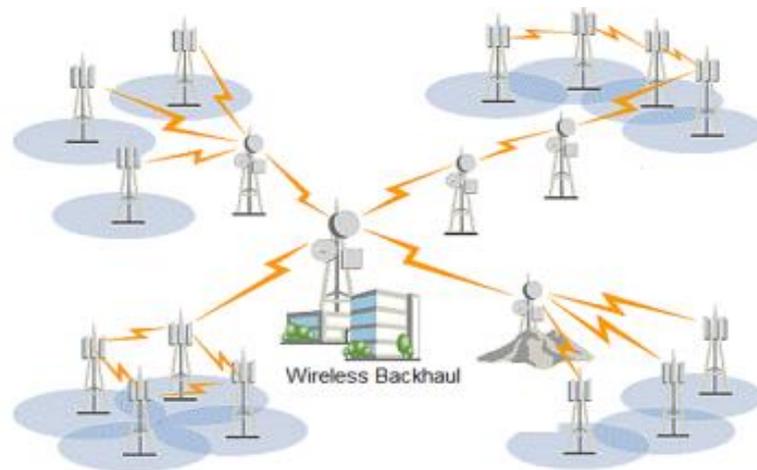


Figure I.7 : Illustration des liaisons de raccordement sans fil "Backhaul" de la téléphonie mobile

- **Liens temporaires** : Les liaisons temporaires FSO peuvent être facilement déployées en quelques heures dans des situations de catastrophe, dont lesquelles les infrastructures locales pourraient être endommagées ou peu fiables .Elle est utilisée aussi pour le remplacement des fibres optiques momentanément, où les fibres optiques ne peuvent pas être utilisées pour une raison ou une autre.
- **Terrains Difficiles** : Les liaisons FSO présentent un pont de données attractif dans le cas d'une liaison entre deux points séparés par une rivière, une rue très fréquentée, une voie ferrée ou lorsque le droit de passage n'est pas disponible ou trop coûteux à poursuivre.
- **La télévision à haute définition** : tenir compte de l'exigence spectrale énorme de caméras haute définition et des signaux de télévision, FSO est de plus en plus utilisée dans le secteur de la radiodiffusion pour le transport de signaux en direct de caméras haute définition dans des endroits éloignés à un bureau central.
- **Les communications militaires**: La technologie FSO comporte de nombreuses fonctionnalités qui suscitent l'intérêt militaire FSO. Le déploiement facile et rapide, les débits élevés de transmissions et la sécurité due à la lumière IR divergente font de ces systèmes une alternative intéressante pour une utilisation défensive.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la technologie FSO et nous avons exposé les différents effets atmosphériques sur la propagation des rayonnements optiques. Nous avons décrit également les différents composants optoélectroniques qui peuvent être utilisés dans un système FSO.

Nous pouvons dire que l'espace libre utilisé comme un milieu de propagation pour les ondes lumineuses est devenu un point clé dans les systèmes de télécommunications optiques.

Chapitre II :

L'accès multiple par

répartition des codes optiques

(OCDMA)

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons citer les différentes techniques d'accès multiple, ensuite nous présentons un aperçu sur la technique OCDMA en précisant son principe de fonctionnement et ses différents types.

II.1 Les techniques d'accès multiple :

De nos jours, il existe une demande croissante des différentes techniques de multiplexage permettant à plusieurs utilisateurs de partager simultanément le même canal de transmission.

Les systèmes d'accès multiples sont classés en quatre catégories :

- ✓ Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) ;
- ✓ Accès multiple par répartition dans la fréquence (FDMA)
- ✓ Accès Multiple Par Répartition Dans Les Longueurs D'onde (WDMA) ;
- ✓ Accès multiple par répartition de codes (CDMA).

II.1.1 Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)

La technique d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) consiste à diviser une période de temps T_c en N intervalles de temps T_s appelé « time slot », attribué d'une manière cyclique aux différents utilisateurs. Cette méthode est basée sur le principe d'allouer à chaque utilisateur la même bande passante pendant un intervalle de temps précis et limité [16, 17].

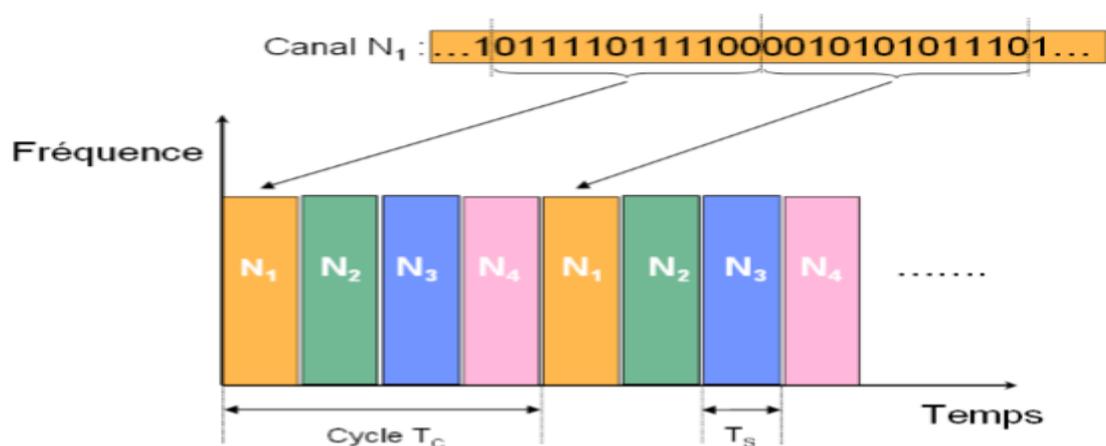


Figure II. 1 : le Principe de la technique TDMA

II.1.2 Accès multiple par répartition en fréquences (FDMA)

La FDMA est une technique qui consiste à découper la bande de fréquences de canal de transmission, de manière à attribuer une partie du spectre à chaque utilisateur [16].

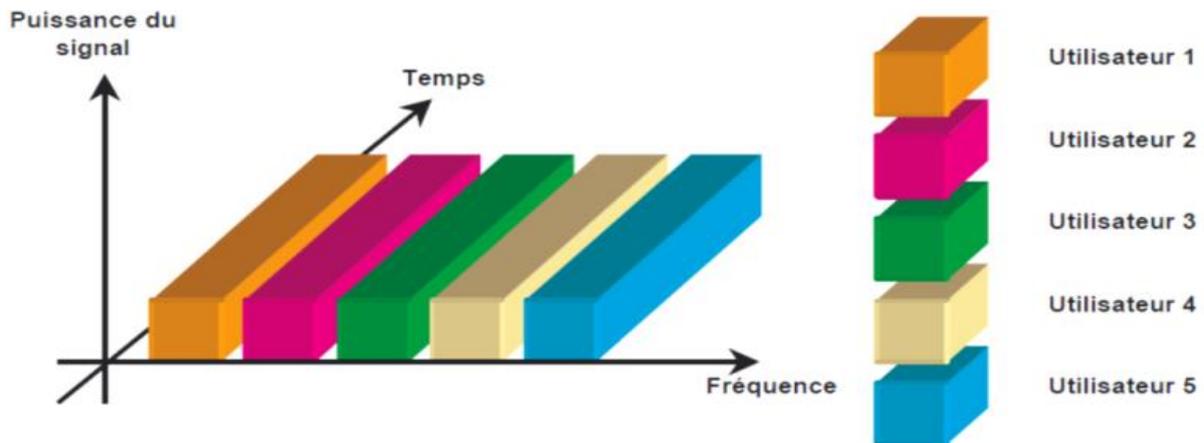


Figure II. 2 : Le principe de la technique FDMA

II.1.3 Accès Multiple Par Répartition Dans Les Longueurs D'onde (WDMA)

La WDMA est l'unique technique utilisée dans le développement des réseaux de transport à longue distance [16]. Elle consiste à transmettre de l'information sur plusieurs longueurs d'onde par un multiplexeur, via un seul support de transmission afin d'augmenter le débit. À la réception, le signal sera récupéré à l'aide d'un démultiplexeur. Le principe de la WDMA est présenté à la figure II.3 [17].

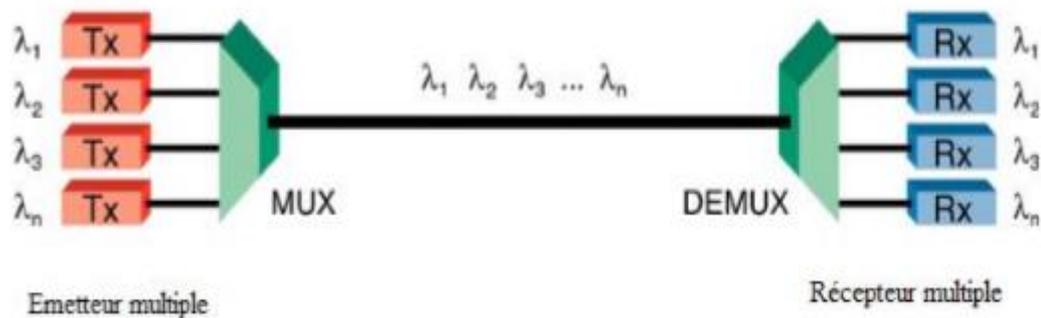


Figure II.3 : Le principe de la technique WDMA

II.1.4 Accès multiple par répartition de codes (CDMA)

La technique CDMA consiste à attribuer un code à chaque utilisateur pour permettre l'émission et la réception simultanée sur la même bande de fréquence. Elle est utilisée dans de nombreux réseaux de téléphonie mobile, les systèmes de navigation par satellite ainsi que dans les télécommunications militaires.

Les avantages du CDMA comme technique d'accès multiple dans le domaine des radiofréquences ont attiré de nombreux chercheurs à envisager l'importation de cette technique dans le domaine optique, afin d'exploiter la bande passante du canal de transmission et d'augmenter le nombre d'utilisateurs [16,18].

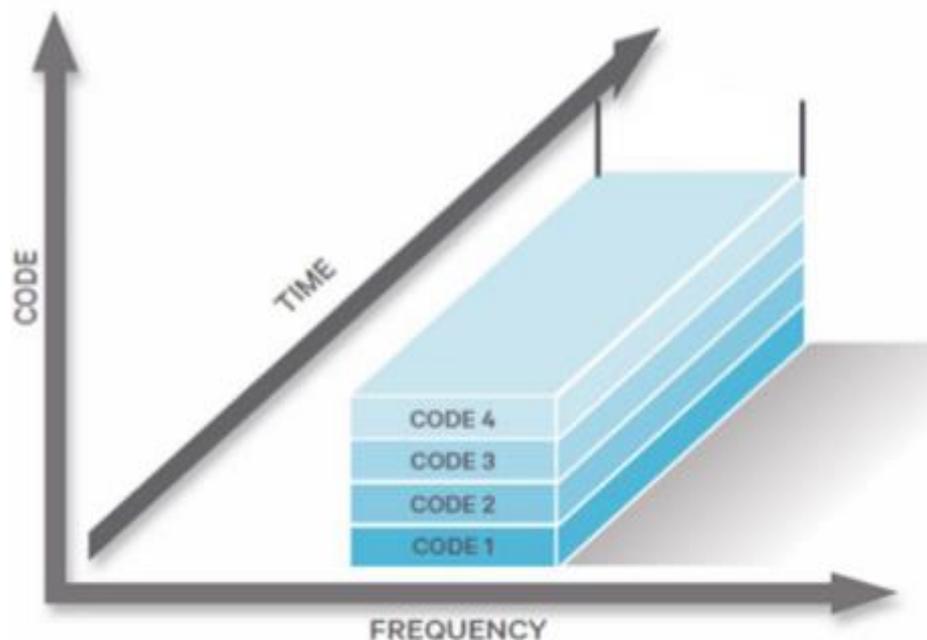


Figure II.4 : le principe de la technique CDMA

II .2 Présentation de la technologie OCDMA

La technologie OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une technique de multiplexage fondé sur les mêmes concepts de base que la CDMA radiofréquence. Son principe consiste à allouer un code appelé aussi signature optique pour chaque utilisateur, ce qui permet d'identifier le récepteur destinataire [19].

Chapitre II : L'accès multiple par répartition des codes optiques (OCDMA)

La plupart des travaux concernant la technique OCDMA se sont concentrés sur les réseaux d'accès. Tout en offrant de nombreux avantages, tels que :

- ✓ Un accès simultané au réseau d'une façon asynchrone ;
- ✓ Une Sécurité et une confidentialité très élevée ;
- ✓ Une flexibilité de routage de l'information [20].

II.2.1 L'architecture d'OCDMA

Le réseau optique CDMA permet d'interconnecter plusieurs utilisateurs de manière simultanée sur le canal optique comme illustré à la figure II.5.

Une source de données, optique ou électronique activant la première source qui alimente un encodeur qui transforme chaque bit de donnée en séquence : c'est la conception de l'encodeur optique qui détermine de manière matérielle le code utilisé. Le signal codé est ensuite couplé avec les données des autres utilisateurs via un canal optique [21].

À la réception, les données émises sont récupérées à l'aide d'un décodeur OCDMA.

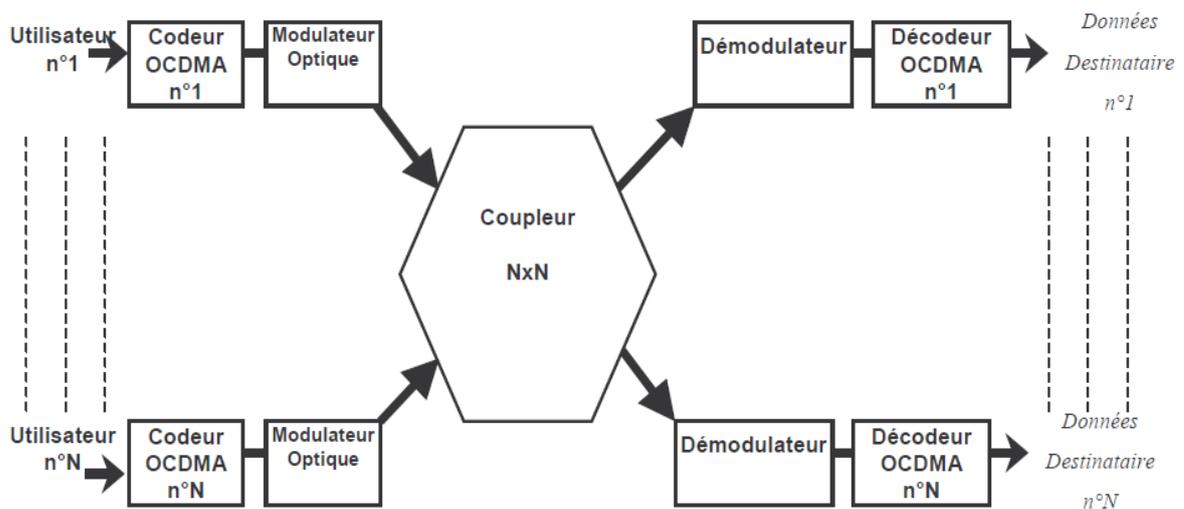


Figure II.5 : OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile

II.2.2 Le mode de fonctionnement d'OCDMA

Il existe deux modes de fonctionnement possibles pour les systèmes OCDMA, on distingue les systèmes OCDMA cohérents et les systèmes OCDMA incohérents.

❖ Système OCDMA cohérent

Les caractéristiques du signal codé à transmettre sont la phase et l'amplitude, l'étalement des données s'effectue en utilisant des codes bipolaires « 1 » ou « -1 » du signal optique (la bipolarité permet aux différents codes d'être strictement orthogonaux).

Des familles de codes bien connues permettent de construire des séquences orthogonales : codes de Gold, Walsh et m-sequence. L'emploi des codes bipolaires permet de multiplexer un nombre important d'utilisateurs et de minimiser les interférences d'accès multiple (MAI). Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rendent le système plus complexe. Donc, il devient difficile à implémenter et plus coûteux [20].

❖ Système OCDMA incohérent

Les informations codées à transmettre utilisent la puissance du signal transmis (uniquement la quantité positive). Le canal est donc unipolaire et sa séquence de code sera composée de « 0 » ou « 1 » (les codes ne sont pas strictement orthogonaux), ce qui implique que les données émises par les différents utilisateurs s'interfèrent entre eux. Cette interférence est appelée interférence d'accès multiple (MAI) [20].

Des familles de codes bien connues pour ce type de système sont : les codes optiques orthogonaux (OOC) et les codes premiers (PC). Ce mode est plus utilisé comparant au système OCDMA cohérent puisque il est peu coûteux, simple et plus flexible [20].

II.3 Les types du codage OCDMA

Il existe plusieurs possibilités d'application de la technique OCDMA selon les deux modes de fonctionnement (cohérent et incohérent), soit dans le domaine temporel (OCDMA temporelle a une dimension, 1D) qui est basé sur l'étalement temporelle des données, ou soit dans le domaine fréquentiel (OCDMA fréquentielle a une dimension, 1D), qui est basé sur l'étalement dans le domaine des longueurs d'onde. Cette dernière, est la technique la plus explorée.

Récemment, une technique hybride qui est un mélange des deux, à la fois en temps et en longueurs d'onde (WDMA/CDMA, 2D). Ceci pour améliorer les performances des réseaux d'accès optiques [19,20].

Ces trois catégories du système OCDMA seront détaillées dans les paragraphes suivants :

II .3.1 OCDMA temporel :

La durée du temps de bit T_b est divisée en L intervalles appelés chip d'une durée T_c (T_c est très inférieure à T_b) [19].

- Le poids du code w désigne le nombre de chips ayant une amplitude « 1 » ;
- La longueur du code L désigne le nombre total de chips [19].

Dans le domaine temporel la technique OCDMA contient deux types d'encodages : L'encodage temporel en phase (TPE : Temporel Phase Encoding) sert à réaliser une modulation de phase du signal optique contenant les données utilisateurs, ce type d'application présente un système OCDMA cohérent [18].

Le second type qui est l'encodage à séquence directe (DS : direct sequence) est réalisé par la multiplication directe des données avec la séquence du code optique [22]. Le principe d'étalement temporel d'encodage DS est présenté à la figure II.6.

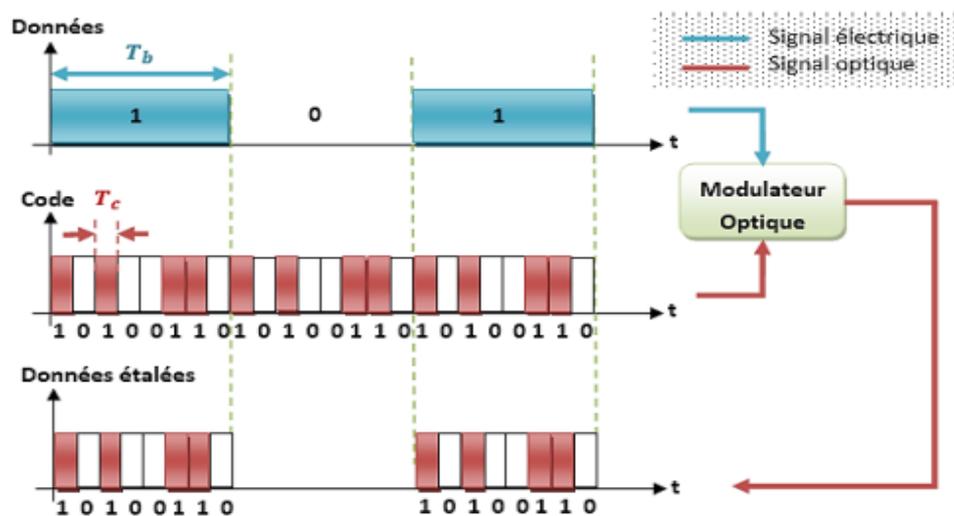


Figure II.6: principe de l'étalement temporel d'un système DS-OCDMA

II .3.2 OCDMA spectral :

Dans la technique d'encodage spectral, des longueurs d'onde (séquences de code) sont émises par chaque utilisateur où chaque séquence de code doit contenir des propriétés d'orthogonalité. Ces longueurs d'onde sont obtenues par un filtre installé à la sortie d'une source optique large-bande [23,19].

Le problème majeur de ce type réside dans le dispositif de filtrage (Figure II.7).

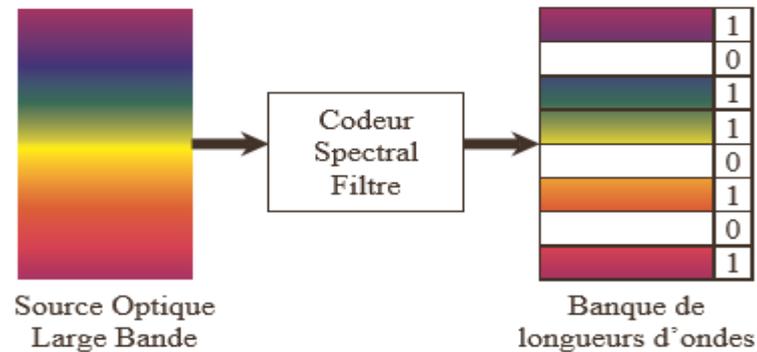


Figure II.7 : Codage spectral OCDMA

Le codage peut être réalisé par un filtrage à l'aide des fibres à réseaux de Bragg réfléchissant des longueurs d'onde différentes ou par des dispositifs appelés (Spatial Light Modulator : SLM) qui permettent un codage plus flexible par l'utilisation de systèmes hybrides appelés MOEMS (Microelectro Optical Mechanical Systems) [19].

Parmi les techniques d'encodage dans le domaine spectral on cite le SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding OCDMA), qui utilise le codage spectral en amplitude (SAC). Cette méthode consiste à allouer à chaque utilisateur une partie du spectre optique comme code [18], qu'on détaillera par la suite dans le prochain chapitre.

II .3.3 OCDMA hybride et 2D:

Les techniques OCDMA hybride (WDM/CDMA) et OCDMA 2D sont utilisés pour améliorer les performances des réseaux optiques, en diminuant la longueur du code et en gardant le même nombre d'utilisateurs.

Le système hybride combine deux techniques différentes OCDMA et WDM. Ce système présente de nombreux avantages tels qu'il peut améliorer la capacité du réseau à prendre en charge un grand nombre d'abonnés. Dans ce cas chaque code est réutilisable et émis simultanément à différentes longueurs d'onde. Par conséquent le système hybride peut constituer une solution prometteuse pour les réseaux (LAN : réseau local et MAN : réseau métropolitain) en offrant une flexibilité, une efficacité spectrale élevée et une sécurité garantie [19,24].

De plus, l'OCDMA 2D fonctionne sous un mode incohérent. Il combine à la fois les dimensions spectrales et temporelles. Pour transmettre des données binaires sur un canal optique.

Chapitre II : L'accès multiple par répartition des codes optiques (OCDMA)

Le code 2D désigne une matrice de dimension $(m \times n)$, tels que m : est le nombre de longueurs d'onde pour l'étalement spectrale, n : est la longueur du code.

La période des bits est subdivisée en 'n' intervalles appelées « puces » composés de chips (0 ou 1). Les données sont codé par le code 2D (matrice $m \times n$) ou chaque rangée de matrice est émise à une longueur d'onde différente λ_i , $i \in [0, m-1]$.

Le $i^{\text{ème}}$ chip à 1 sera transmis avec la $i^{\text{ème}}$ longueur d'onde et un chip 0 ne correspond à aucune transmission (Figure II.8) [19,25].

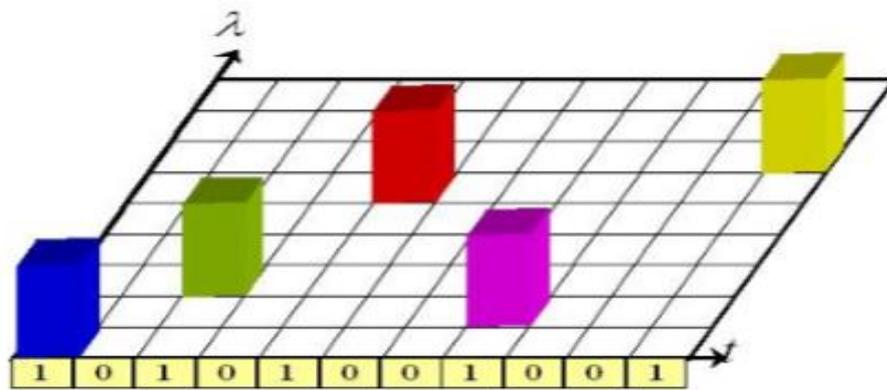


Figure II. 8: OCDMA en 2D

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue globale des différentes méthodes d'accès multiple qui peuvent être appliqués dans les télécommunications. Ensuite, nous avons détaillé la technique OCDMA avec son principe de fonctionnement et ses différents types (temporelle, spectrale et hybride).

La CDMA optique est envisagé pour les réseaux d'accès en raison de son codage, qui permet d'offrir différents avantages tels que le développement de la capacité de transmission, la sécurité d'informations transmises ainsi que la réduction d'impact du bruit.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier l'une des techniques d'encodage dans le domaine Spectral (SAC-OCDMA).

Chapitre III :

***L'encodage spectral
d'amplitude d'un système
optique (SAC-OCDMA)***

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'encodage spectral d'amplitude (SAC) qui est l'axe de notre travail, dont les sources optiques sont incohérentes.

Dans un premier temps, nous parlerons des principes de base de la technique (SAC-OCDMA) : encodage et décodage. Ensuite, nous citerons les types de bruit existant dans ce système. Enfin, nous expliquons les structures des différents codes utilisés tels que : le code MD, RD et le code MDW.

III.1 Le système SAC-OCDMA

La technique OCDMA permet d'exploiter la bande passante du canal de transmission en augmentant le nombre d'utilisateur. Cependant, la performance du système de communication optique en espace libre (FSO) employant l'accès multiple par division de code optique à codage spectral d'amplitude (SAC-OCDMA) est devenu un domaine de recherche en communication optique en raison de sa souplesse dans la répartition des canaux et la confidentialité accrue [28].

Dans cette partie, nous allons présenter le principe d'encodage et de décodage de la technique SAC-OCDMA.

III.1.1 Encodage

La majorité des systèmes SAC-OCDMA utilisent des sources incohérentes large bande dont plusieurs technologies sont envisagées pour réaliser l'encodage, à savoir celles utilisant [21]:

- ✓ Un masque d'amplitude ;
- ✓ Un réseau AWG (AWG : Arrayed Wave guide Grating ou réseau sélectif planaire) ;
- ✓ Des réseaux de Bragg ;
- ✓ L'encodage avec mach zehnder MZ et fabry-perot ;
- ✓ L'encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques, qu'on va prendre en compte dans notre étude.

La technique d'encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs est la technique la plus utilisée à ce jour, son principe est assez simple.

Le spectre large bande de la source optique (LED) est divisée en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale à l'aide d'un démultiplexeur. A partir des sorties de ce dernier, chaque utilisateur pourra rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale à l'aide d'un multiplexeur comme l'illustre la figure III.1 (Le nombre d'entrées du multiplexeur est égal au nombre de longueurs d'onde qui constituent la signature spectrale) [21].

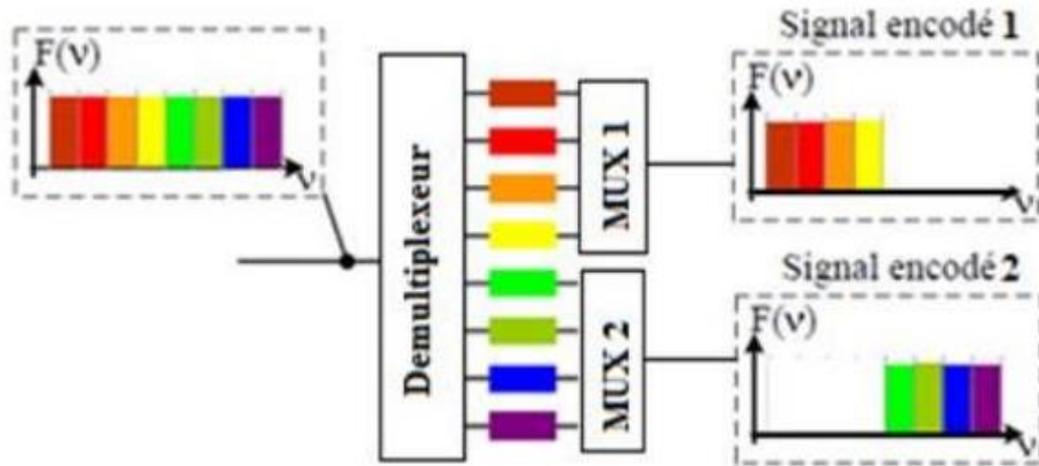


Figure III.1 : Encodage SAC-OCDMA pour 2 utilisateurs à base d'un démultiplexeur et de deux multiplexeurs

III.1.2 décodage

Le choix des codes et le type de détection sont deux principaux paramètres qui ont un impact sur les performances du système OCDMA. Les techniques de détection peuvent être classées en deux catégories : détection balancée et détection directe.

Dans ce travail nous avons choisi d'étudier la technique de détection directe qui est la technique la plus simple pour la mise en œuvre. Par conséquent, cette technique permet de réduire les interférences entre utilisateurs (MAI) et le Bruit d'intensité (PIIN).

En utilisant la technique de détection directe, les informations sont restituées à partir de l'un des chips qui ne se chevauchent pas avec d'autres chips d'autre séquence du code (voir la figure III.2.a) [33], ou bien par la totalité du code comme illustré à la figure III.2.b, sachant que les composantes indésirables sont éliminées par filtration [21].

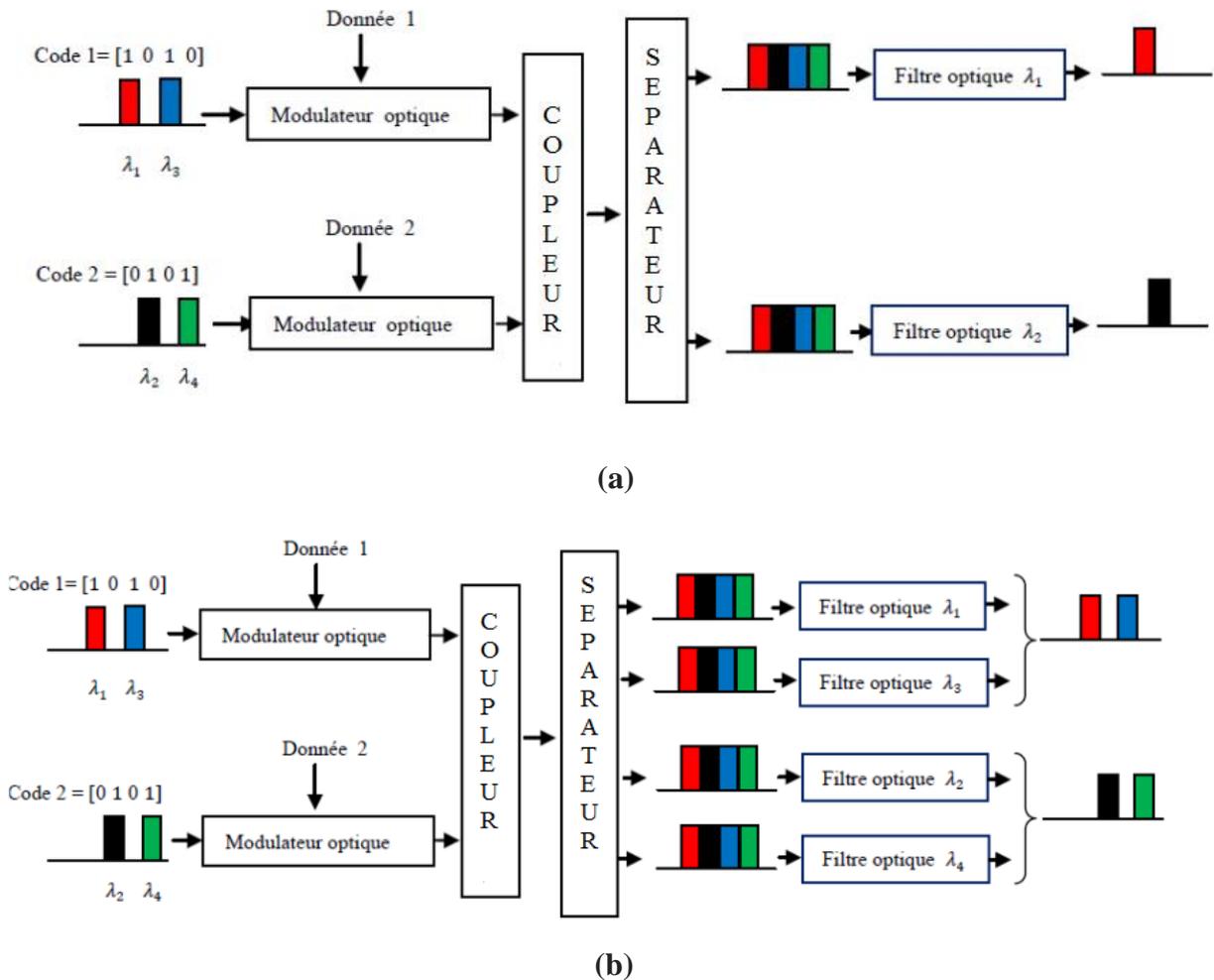


Figure III.2 : Méthode de détection spectrale directe : (a) d'une longueur d'onde (b) avec la totalité des longueurs d'ondes.

III.2 Bruit en SAC-OCDMA incohérent

Dans cette partie nous allons décrire les trois principaux bruits qu'on observe lors de la détection d'un signal incohérent, et nous allons voir que c'est le bruit d'intensité qui limite les performances des systèmes.

❖ Le bruit thermique :

Le bruit thermique est engendré par la résistance de la charge du photodétecteur. Ce bruit introduit une variance σ_{th}^2 présentée par l'expression suivante [29] :

$$\sigma_{th} = 4 \cdot K_b \cdot T_n \cdot B / R_e \quad (III.1)$$

Tels que :

B : Bande passante du récepteur ;

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

T_n : Température de bruit du récepteur ;

R_e : Résistance de la charge ;

La puissance de ce bruit ne varie pas avec la tension moyenne \bar{v} . C'est un bruit à basse tension et donc à basse puissance optique [29].

❖ Le bruit d'intensité :

Le bruit d'intensité est dû à la nature quadratique de la détection. En effet, un photodétecteur effectue le carré de la somme de tous les champs électriques présents. Or, le signal émis par une source thermique large bande est la somme d'une infinité de champs électriques dont l'amplitude et la phase sont aléatoires [29].

La puissance de ce bruit est proportionnelle au carré de la tension V . Il sera donc le bruit dominant à haute puissance optique lorsque la tension V sera élevée.

❖ Le bruit de grenaille (shot noise) :

Le bruit de grenaille est dû au caractère aléatoire de la création de paires électron-trou dans la photodiode. L'expression de la variance de ce bruit s'écrit sous la forme [29]:

$$\sigma_{sh} = 2eBi_k \text{ Avec: } i_k = \mathcal{R} \cdot P_{sr} \cdot W/L \quad (\text{III.2})$$

Tels que :

e : la charge d'électron ($-1,602 \times 10^{-19} \text{c}$) ;

\mathcal{R} : Rendement de photodiode ($\eta \cdot e / h \cdot \nu_0$) ;

η : efficacité quantique (0,6) ;

h : constante de planck ($6,62608 \cdot 10^{-34} \text{m}^2 \text{Kg}$) ;

ν_0 : la fréquence centrale (1550 nm) ;

P_{sr} : la puissance d'émission ;

i_k : le courant du $K^{\text{ième}}$ utilisateur à la réception.

La puissance de ce bruit est proportionnelle à la tension moyenne \bar{V} , donc elle augmente de manière linéaire en fonction de la puissance optique reçue.

III.3 Les codes SAC-OCDMA

Les techniques d'accès multiple par encodage spectrale d'amplitude (SAC-OCDMA) ont attiré l'attention en raison de leurs capacités à réduire les interférences (MAI), en enregistrant un code unique pour chaque utilisateur. Nous débutons par définir les paramètres nécessaires pour présenter un code. Par la suite, nous allons s'intéresser sur quelques codes tels : que le MD (multi diagonal), RD (Random diagonal), et le code MDW (Modified Double Weight).

III.3.1 Les paramètres utilisés dans les codes

Les différents paramètres utilisés dans chaque code sont les suivants [29]:

- ❖ **La longueur du code (L)** : elle s'agit de nombre de bit « 0 » et « 1 » dans un code.
- ❖ **Le poids (w)** : c'est le nombre de « 1 » contenu dans un code.
- ❖ **La corrélation croisée (λ_c)** : désigne le nombre de « 1 » en commun à la même position entre deux codes différents, où d'une autre façon c'est la somme du résultat d'une opération logique AND entre deux codes différents. le résultat est présenté dans l'équation ci-dessous :

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^L x_{i,j} \cdot x_{m,j} \quad i \neq m \quad \text{avec} \quad x_{i,j} \text{ et } x_{k,j} \in [0,1]$$

Tels que : $x_{i,j}$: la valeur de j^{ème} bit dans le i^{ème} code

$x_{m,j}$: La valeur de j^{ème} bit dans le m^{ème} code

- ❖ **La cardinalité (k)**: c'est le nombre d'utilisateur maximum qu'un code peut supporter.

Nous prenons un exemple (Tableau III.1) pour l'utilisation de ces paramètres dans un code quelconque.

	1	2	3	4	5	6	7
Code1	0	1	0	1	0	1	0
Code 2	1	0	0	1	1	0	0
Code 3	0	0	1	1	0	0	1

Tableau III.1 : codes pour (L=7, w=3, $\lambda_c=1$, k=3)

III.3.2 le code MD

Le code MD (multi diagonal) présente certaines caractéristiques tels que la flexibilité dans le choix des paramètres w et k , la corrélation croisée ($\lambda_c=0$) qui réduit les interférences (MAI). De plus, il a la capacité de prendre en charge de nombreux utilisateurs avec une conception simple, et aucun chevauchement entre les composantes spectrales des usagers [30, 31].

❖ **La structure du code MD :**

Le code MD est conçu sur la base d'une combinaison de matrices diagonales. Les étapes suivantes expliquent la construction de ce code [30, 31] :

1^{ère} étape :

D'abord, nous créons une séquence de matrice diagonale en utilisant la valeur du poids (w) et le nombre de ligne (k), qui sont des nombres entiers positifs. En fonction de ces valeurs, on définit les ensembles « i » et « j_w ».

Tels que $i = 1, 2, 3 \dots \dots i_n = k$;

$j_w = 1, 2, 3 \dots \dots w$ Où j_w : représente le nombre de matrices diagonales.

2^{ème} étape :

Sur la base des équations suivantes, la séquence MD de chaque matrice diagonale est représenté comme suit :

$$S_{i,j_w} = \begin{cases} (i_n + 1 - i), & \text{pour } j_w = \text{nombre pair} \\ i & , \text{pour } j_w = \text{nombre impair} \end{cases} \quad \text{(III.3)}$$

$$S_{i,1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ k \end{bmatrix}, \quad S_{i,2} = \begin{bmatrix} k \\ \vdots \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad S_{i,3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ k \end{bmatrix} \dots$$

Chaque élément de la matrice S_{i,j_w} représente la position de celui de la matrice $T_{i,w}$ avec une dimension $k \times k$. Autrement dit : $T_{i,1} = [S_{i,1}]_{k \times k}$, $T_{i,w} = [S_{i,w}]_{k \times k}$. Donc, on obtient :

$$T_{i,1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{k \times k}, \quad T_{i,2} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & & 1 & 0 \\ \vdots & & \vdots & \\ 1 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}_{k \times k}, \quad \dots, \quad T_{i,w} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{k \times k} \quad (III.4)$$

3^{ème} étape :

La combinaison totale des matrices diagonales représente le code MD en tant que matrice de puissance $k \times N$ où $N = k \times w$

$$MD = [T_{i,1}, T_{i,2}, \dots, T_{i,w}] \quad (III.5)$$

$$MD = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & & a_{2,N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{in,1} & a_{in,2} & \cdots & a_{in,N} \end{bmatrix}_{k \times N}$$

Par exemple, pour générer les séquences de codes MD conformément aux étapes précédentes supposons que : $k = 4$ et $w = 3$. Donc, $i = 1,2,3,4$, $i_n+1=5$ et $j_w=1,2,3$

On obtient les matrices diagonales suivantes :

$$s_{i,1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}, \quad s_{i,2} = \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad s_{i,3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Par conséquent, la séquence du code MD pour chaque matrice diagonale est défini comme suit :

$$T_{i,1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4}, \quad T_{i,2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4}, \quad T_{i,3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (III.6)$$

Finalement, le résultat obtenu à partir des séquences du code MD est :

$$MD = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 12} \quad (III.7)$$

Alors : le mot de code est : $MD = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_8 & \lambda_9 \\ \lambda_2 & \lambda_7 & \lambda_{10} \\ \lambda_3 & \lambda_6 & \lambda_{11} \\ \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_{12} \end{pmatrix}$

III.3. 3 le code RD

Le code diagonal aléatoire (RD : Random Diagonal) pour un système OCDMA a codage spectrale d'amplitude (SAC) est constitué de séquences unipolaires (0,1) et aussi représenté par les paramètres suivants L, w et λ_c . L'une des propriétés importantes de ce code est que la corrélation croisée au segment de données est nulle ($\lambda_c=0$), ce qui conduit à réduire le bruit induit par l'intensité de phase. Le poids peut être n'importe quel nombre supérieur à 3 [32].

❖ La structure du code RD

Le code RD est construit en divisant la séquence de codes en deux groupes, segment de données et segment de code qui seront présentés comme suit [32, 33,34]:

1^{er} étape (segment de données) :

Le segment de données est représenté par une matrice d'identité ($k \times k$) où k désigne le nombre d'utilisateurs. Ces matrices ont un coefficient binaire, un code de poids égal à 1 et $\lambda_c=0$. Par exemple, on prend quatre utilisateurs ($k=4$), alors $[y_1]$ est exprimés par :

$$[y_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

2^{ème} étape (segment de code) :

Le segment de code est représenté par une matrice $[y_2]$ qui est composée de deux parties : La partie fondamentale $[B]$ et la partie du poids $[M]$. Ces parties peuvent être exprimées comme suit :

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.9})$$

$$[M] = \langle M_1 | M_2 | M_3 \dots M_i \rangle \quad (\text{III.10})$$

$$\text{Avec : } i = w - 3$$

La matrice du poids $[M]$ varie en fonction du nombre croissant du poids tels que :

$$M_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ où } i \text{ représente le nombre de matrices } [M_i] \text{ dans la matrice } [M] \text{ de l'équation (III.10).}$$

Par exemple si $w=5$, donc $i = 2$. Alors : $[M] = \langle M_1 | M_2 \rangle$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sachant que pour augmenter le nombre d'utilisateurs simultanément avec l'augmentation de la longueur du mot de code, nous pouvons simplement répéter chaque ligne sur les matrices $[M]$ et $[B]$ [33]. Donc la matrice $[y_2]$ devient :

$$[y_2] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(III.11)}$$

Le poids pour la partie code des deux matrices $[M]$ et $[B]$ est égale à $w - 1$.

La combinaison totale des matrices (y_1 et y_2) présente le code RD de dimension $(k \times N)$, dans notre exemple $k = 4$ et $N = 11$:

$$[RD] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 11} \quad \text{(III.12)}$$

Où la longueur du code est exprimée d'une manière générale par: $N = k + 2w - 3$.

III.3. 3 Le code MDW

Le code MDW est représenté par une matrice de dimension $k \times N$ avec un poids supérieur à deux (multiple de deux) et une corrélation croisée ($\lambda_c=1$) [21, 35, 36].

❖ La structure du code MDW

La matrice de base de MDW est représentée comme suit :

1^{er} étape :

La forme générale de la matrice du code MDW est [21, 35, 36]:

$$H_M = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Avec : $M = w$

A : est une matrice nulle de $1 \times 3 \sum_{j=1}^{\frac{w}{2}-1} j$

B : est une matrice de $1 \times 3n$, avec $n = \frac{w}{2}$ répétitions du vecteur $[X1] = [0 \ 1 \ 1]$

C : est la matrice de code de base correspondant au petit poids suivant : $w = 2(n - 1)$

D : est matrice de $n \times (n \times \text{dimension de } [X2 = 110])$ et dont la structure est montrée dans l'équation ci-dessous :

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & [X2] \\ \vdots & & [X2] & & \vdots \\ [X2] & & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.13})$$

2^{ème} étape:

Les principales propriétés de la matrice de base de code MDW sont [21, 35,36]:

La longueur de code:

$$N = 3 \sum_{j=1}^{\frac{w}{2}-1} j \quad (\text{III.14})$$

Le nombre d'utilisateurs :

$$k = \frac{w}{2} + 1 \quad (\text{III.15})$$

On prend un exemple de code MDW pour $k = 3$ et $w = 4$, alors on obtient :

$$MDW = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

III.4 L'analyse mathématique :

Dans cette section, nous allons présenter l'analyse mathématique pour les codes avec une corrélation croisée nulle ($\lambda_c = 0$) comme le code MD, et pour les codes avec une corrélation croisée ($\lambda_c = 1$) comme les codes RD et MDW.

Pour le calcul de SNR, nous examinons l'effet de bruit thermique (σ_{th}) et le bruit de grenaille (σ_{sh}) dans le photodétecteur, l'effet du bruit d'intensité relative de phase n'est pas pris en considération par la technique de détection directe. La variance du détecteur optique est exprimée sous cette forme [31] :

$$\sigma^2 = \sigma_{sh} + \sigma_{th} = 2eBi_k + \frac{4K_b T_n B}{R_e} \quad (\text{III.16})$$

La densité de puissance spectrale de signal optique reçue est donnée par la relation :

$$G(v) = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{k=1}^k d_k \sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) \pi(i) \quad (\text{III.17})$$

Tels que :

P_{sr} : La puissance effective de la source optique.

k : Le nombre d'utilisateurs actifs.

d_k : Le bit de donné du $k^{\text{ième}}$ utilisateur.

Et $\pi(i)$ est la fonction porte de la $i^{\text{ème}}$ impulsion avec [25] :

$$\pi(i) = u\left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2N}(-N + 2i - 2)\right] - u\left[v - v_0 - \frac{\Delta v}{2N}(-N + 2i)\right]$$

Où $u(v)$ est la fonction échelon unité définie comme : $u(v) = \begin{cases} 0 & v < 0 \\ 1 & v > 0 \end{cases}$

Le courant optique i_k est exprimée par : $i_k = \mathcal{R} \int_0^{+\infty} G(v) dv$ (III.18)

Tel que : \mathcal{R} est la réactivité des photodétecteurs donnée par : $\mathcal{R} = \frac{e\eta}{h\lambda}$

Le SNR d'un signal électrique est défini comme la puissance moyenne du signal (i_k^2) par rapport à la puissance de bruit (σ^2), tel que :

$$SNR = i_k^2 / \sigma^2 \quad (III.19)$$

En utilisant l'approximation gaussienne, la probabilité d'erreur sur les bits est obtenue par cette relation :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{SNR}{8}} \right) \quad (III.20)$$

❖ **L'analyse mathématique des codes avec une corrélation croisée nulle :**

Selon les propriétés des codes à corrélation croisée zéro (le code MD) et l'utilisation de la technique de détection directe on peut écrire [31] :

$$\sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) = \begin{cases} w & \text{pour } l = k \\ 0 & \text{pour } l \neq k \end{cases}$$

Soit : $C_k(i)$: le $i^{\text{ème}}$ élément des séquences de code

$C_l(i)$: représente le code de l'utilisateur désiré l

Le courant optique i_k est calculé comme suit :

$$\begin{aligned} i_k &= \mathcal{R} \int_0^{+\infty} \frac{P_{sr}}{\Delta\nu} \left[\sum_{k=1}^k d_k \sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) \{ \pi(i) \} \right] d\nu \\ i_k &= \mathcal{R} \int_0^{+\infty} \frac{P_{sr}}{\Delta\nu} \left[\sum_{k=1}^k d_k \sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) \left\{ u \left[\frac{\Delta\nu}{N} \right] \right\} \right] d\nu \\ i_k &= \frac{P_{sr} \Delta\nu}{\Delta\nu N} \sum_{k=1}^k d_k \sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) \\ i_k &= \mathcal{R} \frac{P_{sr} \Delta\nu}{\Delta\nu N} \sum_{\substack{k=l \\ k=1}}^K d_k \cdot (w) \cdot 1 + \sum_{\substack{k \neq l \\ k=1}}^K d_k \cdot 0.1 \\ i_k &= \mathcal{R} \frac{P_{sr} w}{N} \quad (III.21) \end{aligned}$$

Donc, la variance du détecteur optique devient :

$$\sigma^2 = \frac{ReBP_{sr}w}{N} + \frac{4K_bT_nB}{R_e} \quad (III.22)$$

En conséquence, le rapport signal sur bruit est obtenu par la relation ci-dessous [31], sachant que la probabilité de transmission de bit 1 à tout moment pour chaque utilisateur est égale à 0.5 :

$$\text{SNR} = \frac{i_k^2}{\sigma^2} = \frac{\left(\frac{\mathcal{R}eBP_{sr}w}{N}\right)^2}{\frac{\mathcal{R}eBP_{sr}w}{N} + \frac{4K_bT_nB}{R_e}} \quad (\text{III. 23})$$

Le BER est donné par l'équation (III.20).

❖ L'analyse mathématique des codes avec une corrélation croisée non nulle :

Selon les propriétés des codes à une corrélation croisée non nulle (code RD et MDW) et leurs structures on peut écrire [32] :

$$\sum_{i=1}^N C_k(i)C_l(i) = \begin{cases} w - k + 1 & \text{pour } l = k \\ 1 & \text{pour } l \neq k \end{cases}$$

Alors, la DSP devient :

$$\int_0^{+\infty} G(v)dv = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \frac{\Delta v}{N} \sum_{k=1}^K d_k \cdot (w - k + 1) + \sum_{k \neq 1}^K d_k \cdot 0.1$$

$$\int_0^{+\infty} G(v)dv = \frac{P_{sr}(w - k + 1)}{N} \quad (\text{III. 24})$$

Le courant optique i_k est donné par la relation ci-dessous :

$$i_k = \mathcal{R} \frac{P_{sr}(w - k + 1)}{N} \quad (\text{III. 25})$$

La variance du détecteur optique, devient :

$$\sigma^2 = \mathcal{R}eB \frac{P_{sr}(w - k + 1)}{N} + \frac{4K_bT_nB}{R_e} \quad (\text{III. 26})$$

En conséquence, le rapport signal sur bruit est obtenu par cette relation [31]:

$$\text{SNR} = \frac{\left(\frac{\mathcal{R}P_{sr}(w - k + 1)}{N} \right)^2}{\frac{\mathcal{R}eBP_{sr}(w - k + 1)}{N} + \frac{4K_b T_n B}{R_e}} \quad (\text{III. 27})$$

Finalement, la probabilité d'erreur sur les bits (BER) est donnée par la relation précédente (III.20).

Conclusion

Les concepts développés dans ce chapitre pour un système SAC-OCDMA sont la technique d'encodage, les différents types de codes et le choix de la technologie pour effectuer le décodage. L'étude théorique de ce chapitre est importante pour l'analyse expérimentale et l'évaluation des performances des systèmes SAC-OCDMA avec les liaisons FSO du chapitre suivant.

Chapitre IV:
Simulation et résultats

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous sommes focalisés sur la simulation de différentes liaisons de transmission en espace libre basées sur l'encodage SAC-OCDMA. Cette dernière est réalisée à l'aide du logiciel OptiSystem. Les performances des liaisons implémentées sont évaluées en se basant sur la technique de détection directe. L'analyse est faite pour les différents codes MD, RD et MDW présenté au chapitre 3.

Nous commençons par une brève présentation du logiciel OptiSystem et ces diverses applications, ensuite nous allons décrire notre système SAC-OCDMA avec ses composants en analysant la qualité de transmission des liaisons, finalement nous allons examiner le comportement et les performances de chaque code suscité en fonction de la distance, le débit et la puissance à travers les résultats de simulation obtenus. Les différentes analyses sont données par la représentation du facteur Q, le BER et le diagramme de l'œil.

IV .1 Présentation de logiciel OptiSystem

Optisystem est un logiciel de simulation développé par la société canadienne Optiwave Systems Inc, il permet aux chercheurs et aux ingénieurs de modéliser, analyser et optimiser tous types de liaison optique. L'interface de ce logiciel contrôle la disposition de composants optiques et des graphiques de présentation, elle contient une fenêtre principale réparti en plusieurs parties [37]:

- ✓ **Bibliothèque:** c'est une base de données qui contient tout type de composants pour la réalisation des schémas blocs.
- ✓ **Editeur de layout :** permet de concevoir les schémas blocs et de configurer les paramètres mesurés à partir des dispositifs réels.

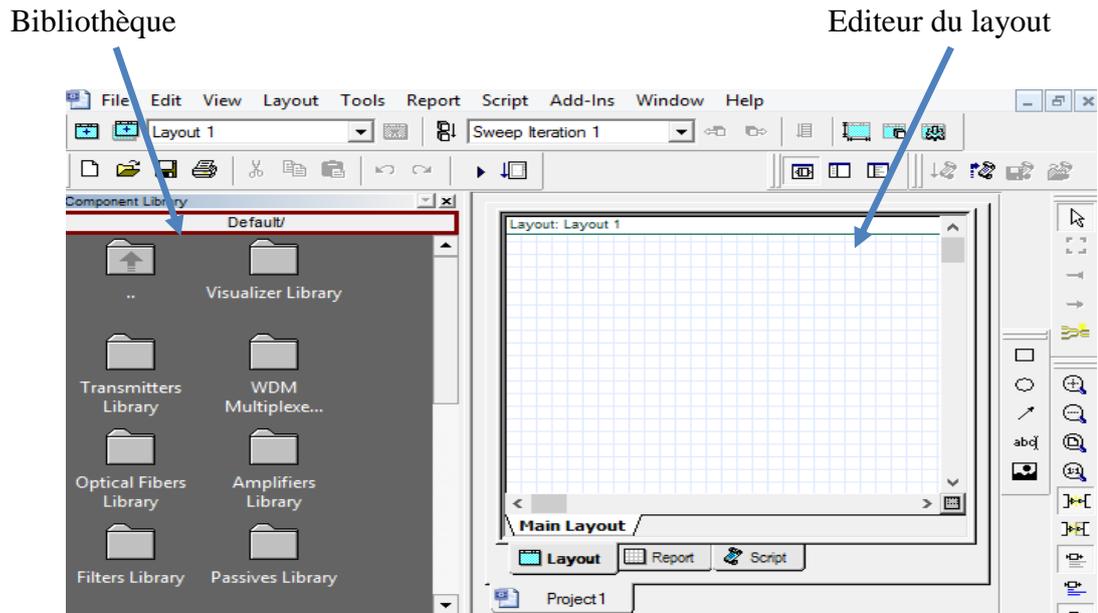


Figure IV.1: interface graphique du logiciel OptiSystem

IV.1.1 Les applications du logiciel :

L'optisystem peut être utilisé pour différentes applications telles que [38,39] :

- ✓ La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche Physique ;
- ✓ Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison ;
- ✓ La conception de réseaux TDM / WDM ou réseaux CATV (Câble Télévision) ;
- ✓ Les réseaux optiques passifs (PON) basé FTTx ;
- ✓ L'espace libre pour les systèmes optique (FSO) ;
- ✓ Radio par rapport aux systèmes de fibres (ROF) ;
- ✓ SONET / SDH conception d'anneau ;

IV.2 Description du système SAC-OCDMA

Dans cette partie, nous allons décrire une liaison de transmission optique basée sur la technique SAC_OCDMA sous le logiciel « OptiSystem », le canal de transmission utilisé est l'espace libre et la technique de décision adoptée est la détection directe.

IV.2.1 Partie émission

La figure IV.2 montre le schéma fonctionnel de base du système suscité. Chaque utilisateur est constitué d'un ensemble de sources de lumière (lasers) selon le poids du code choisi, un générateur binaire (PRBS), un générateur NRZ et d'un modulateur Mach-Zehnder.

Dans cette section nous allons décrire en détail ces différents éléments.

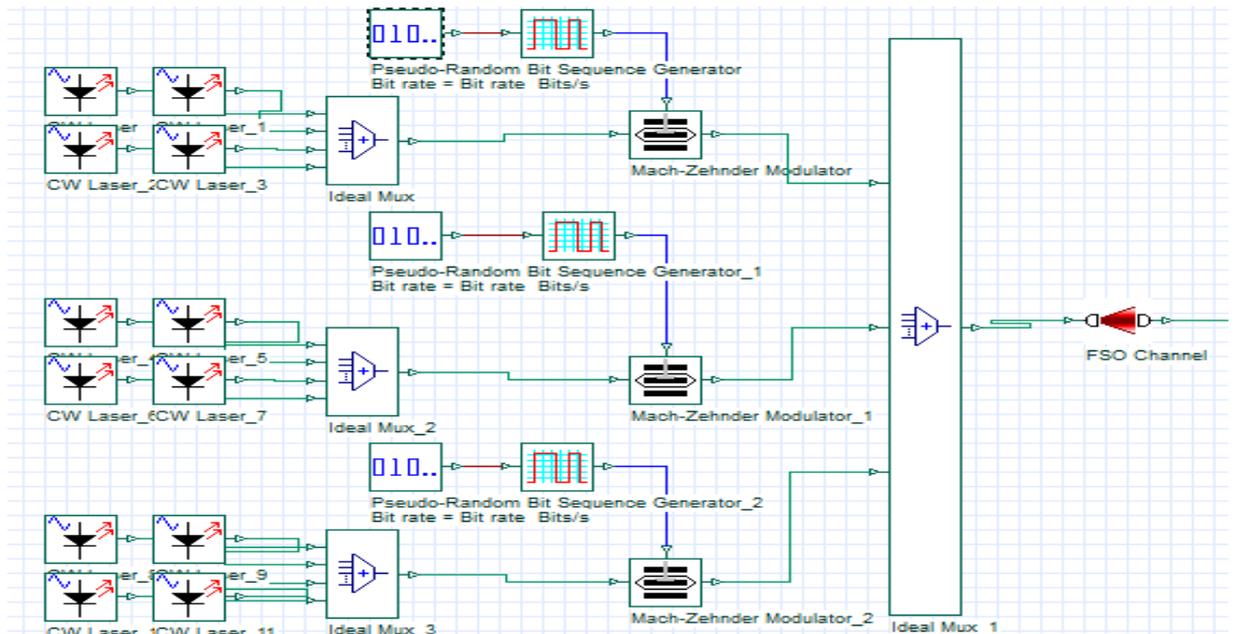


Figure IV.2: modèle d'un émetteur SAC-OCDMA

- ❖ **Générateur binaire (PRBS) :** Un PRBS permet de générer un courant d'entrée de laser qui représente une séquence binaire pseudo aléatoire dont les valeurs binaire (0 ou 1) dépendent de la puissance voulue.
- ❖ **Codage NRZ :** Le codage NRZ est utilisé pour donner un format de modulation pour le signal produit par le générateur PRBS. c'est un code binaire dont lequel les données « 1 » sont représentés par une tension positive, tandis que les zéros sont représentés par une tension négative. Le codage est à deux états, un état haut lorsque des « 1 » logique sont transmis, et l'autre état lorsque des « 0 » logique sont transmis.
- ❖ **Le modulateur Mach-Zehnder :** sont des modulateurs électro-optiques placés à la sortie de laser et permettent des modulations de phase et d'amplitude de la lumière. Ils sont utilisés pour des applications de télécommunications large bande [40].

IV.2.2 Partie réception :

La figure IV.3 présente le récepteur optique d'un système SAC-OCDMA basé sur la technique de détection directe. La puissance optique à la sortie du canal FSO est divisée en trois à l'aide d'un démultiplexeur optique (1x3). Le signal optique de chaque utilisateur est passé par les réseaux de Bragg qui détectent les longueurs d'onde désiré, puis il est convertit en un signal électrique à l'aide d'une photodiode et filtré par un filtre Bessel passe-bas d'une fréquence 0.75 fois

la fréquence du rythme pour rejeter les bruits et les interférences. Finalement, les résultats sont visualisés à l'aide d'un analyseur qui nous permet d'évaluer les performances du ce système.

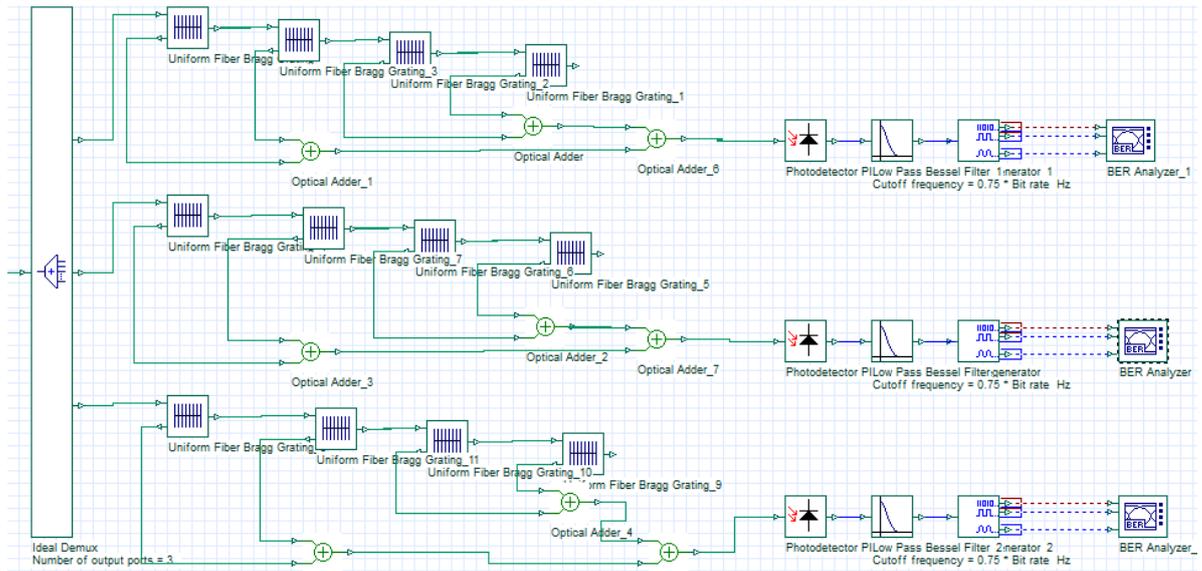


Figure IV.3 : modèle d'un récepteur SAC-OCDMA

IV.3 Les critères d'évaluation de la qualité de transmission

Il existe différents critères pour définir la qualité des signaux transmis dans une liaison optique. Nous allons citer trois (03) principaux critères tels que le taux d'erreur binaire BER, le facteur de qualité Q et le diagramme de l'œil.

IV.3.1 Taux d'erreur binaire

Le taux d'erreur binaire consiste à comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, ce qui correspond au nombre de bits erronés sur le nombre de bits totale transmis pendant la durée de transmission [41].

$$BER = \frac{\text{Nombre de bit erroné}}{\text{Nombre de bit transmis}}$$

Pour une transmission de bonne qualité le BER doit être inférieur à 10^{-12} .

IV. 3.2 le facteur de qualité (Q)

Le facteur de qualité est le rapport signal sur bruit électrique en entrée du circuit de décision du récepteur [41]. Le signal mesuré à l'entrée du canal contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû à l'ensemble des éléments de la chaîne de transmission. Considérons que le bruit apporté par la transmission des données binaires est gaussien. On définit alors un

facteur Q pour les tensions moyennes (V_0 et V_1) du signal utile représenté sur le diagramme de l'œil et les variances (σ_0 et σ_1) des niveaux « 0 » et « 1 », comme suit [37] :

$$Q = \left| \frac{V_1 - V_0}{\sigma_1 - \sigma_0} \right|$$

IV.3.3 Le diagramme de l'œil

L'évaluation des performances d'une liaison optique peut également se faire à travers l'observation du diagramme de l'œil qui représente la superposition de tous les symboles binaires de la séquence transmise. Plus le diagramme de l'œil est fermé, plus le facteur de qualité est faible donc une mauvaise qualité du signal [37].

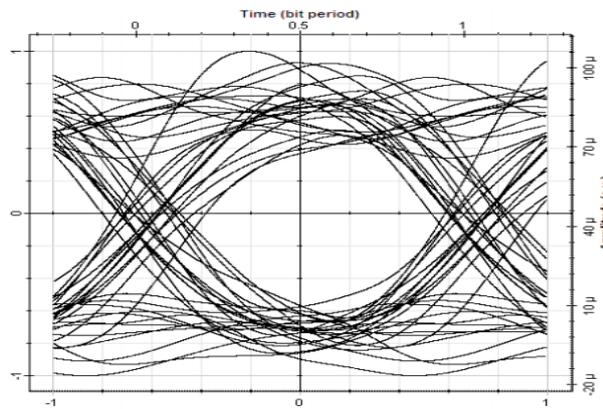


Figure IV. 4 : diagramme de l'œil

IV.4 La simulation d'une liaison SAC-OCDMA avec différents codes

Dans ce chapitre, nous allons réaliser trois chaînes qui représentent des liaisons SAC-OCDMA dans l'espace libre en utilisant différents codes sous l'influence de diverses conditions atmosphériques (pluie, brouillard et temps clair). Les codes SAC-OCDMA implémenté ont une Propriété de corrélation croisée nulle telle que le code MD ou une faible corrélation croisée $\lambda_C = 1$ comme les codes RD et MDW Les résultats sont analysés en prenant différentes valeurs de plusieurs paramètres de simulation tels que le débit de données, les puissances d'entrée dans différentes conditions météorologiques, comme indiqué dans le tableau IV. 1.

Les conditions météorologiques	Atténuation dB/km
Pluie	6,27
Brume/brouillard	2.37
Temps Clair	0.233

Tableau IV.1 : l'atténuation des conditions météorologiques [42].

IV.4.1 L'analyse temporelle et spectrale des codes SAC-OCDMA

❖ Analyse temporelle

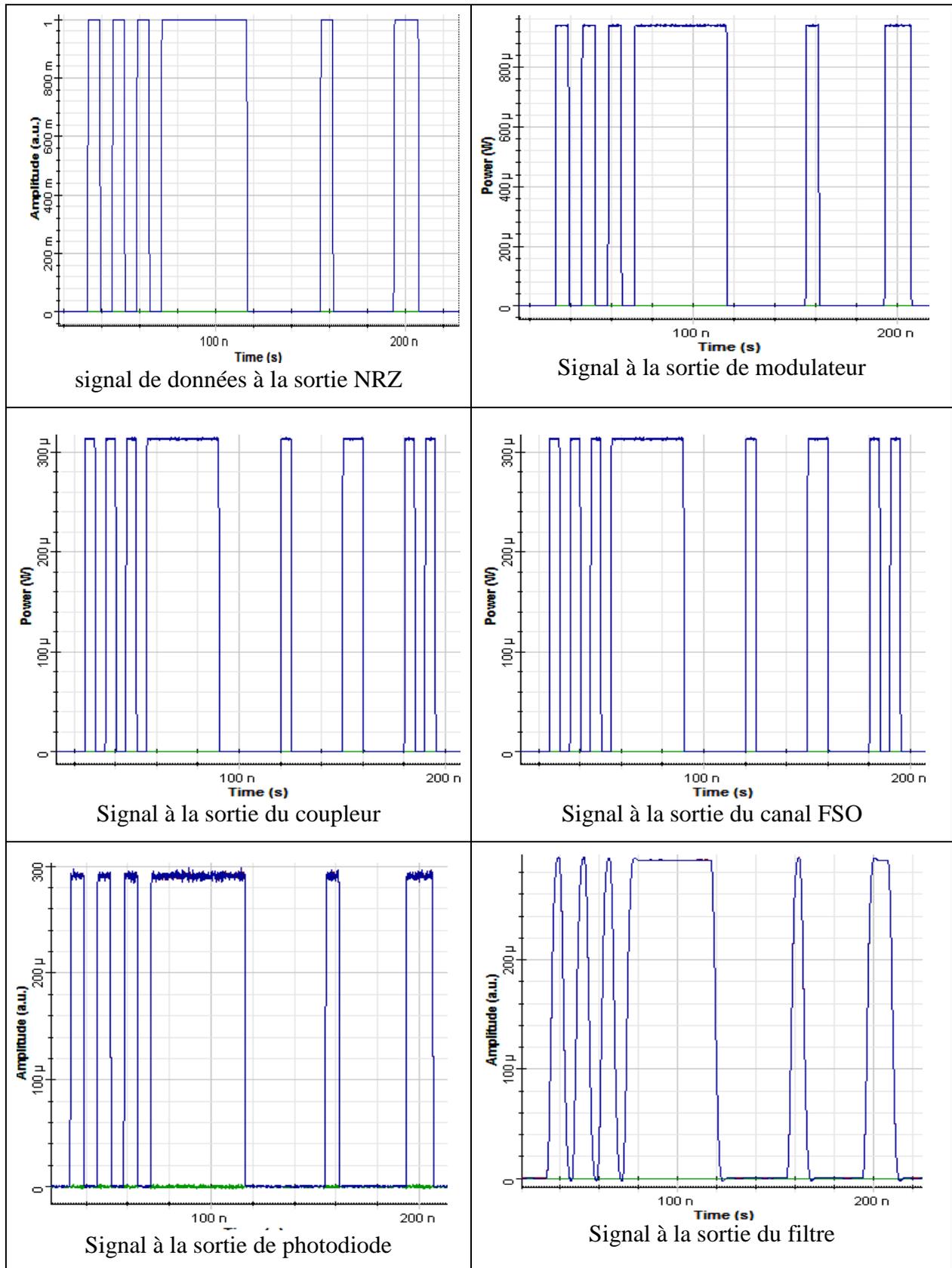


Figure IV. 5 : visualisation des signaux de sortie de la liaison dans le domaine temporelle

Les différentes courbes montrent que le signal émis a subi des transformations et des modifications au cours de sa propagation. On remarque que le signal transmit s'affaiblit à la sortie de chaque bloc qui est dû aux pertes des différents composants de la liaison SAC-OCDMA. De plus, le signal a subi une fluctuation et une distorsion qui se traduit par le bruit des composants optoélectroniques (laser, PIN) et les effets du canal respectivement, pour cela la forme d'onde des impulsions récupérées diffère légèrement par rapport à celle émises.

❖ Analyse spectrale

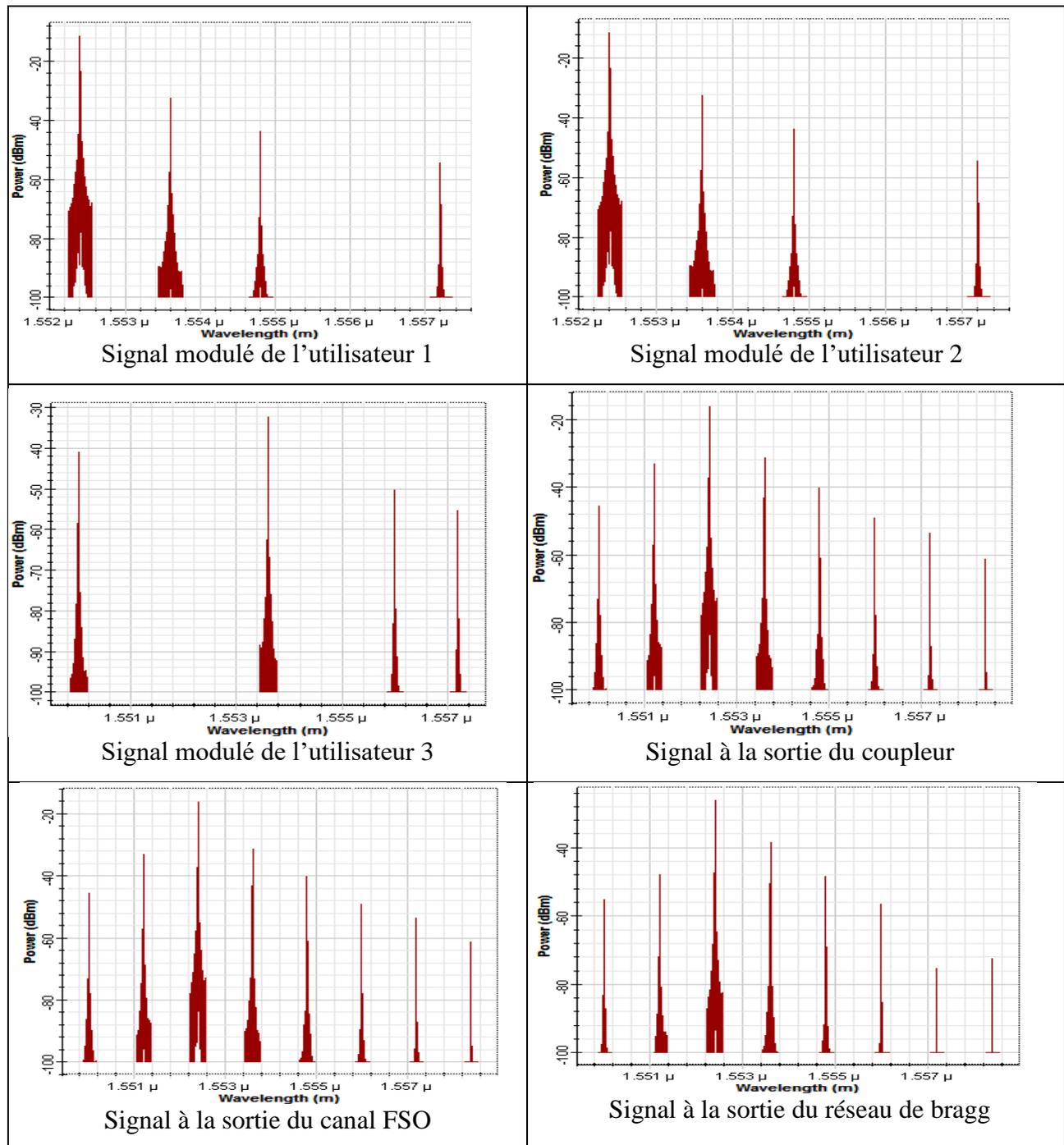


Figure IV.6 : visualisation des spectres de sortie de la liaison

D'après les spectres obtenus, on constate que l'analyse spectrale permet de donner une idée de la largeur de bande nécessaire pour assurer la transmission des données, elle permet aussi de voir les différentes longueurs d'ondes utilisées pour coder l'information de chaque utilisateur qui sont représentés par les trois premiers spectres de la figure IV.6. Une diminution de la puissance est enregistrée aux différents points de la liaison qui est dû aux pertes des composants utilisés et les phénomènes du canal de propagation.

IV.4.2 Evaluation des performances dans des conditions météorologiques

Afin d'évaluer les performances des codes MD, RD et MDW dans différentes conditions météorologiques, nous choisissons les critères de qualité suivants : le facteur Q, BER et le diagramme de l'œil.

❖ Effets de variation de la longueur de propagation

Dans cette partie, nous allons déterminer l'effet de variation de la longueur de propagation dans la liaison FSO sur la qualité de transmission, en variant la longueur de 100 à 1500 mètres avec un pas de 200 mètres, tout en fixant la puissance des sources à (0dbm) et le débit à (622Mbps).

Les figures ci-dessous représentent la variation du facteur Q en fonction de la longueur de propagation, afin de voir les performances des codes RD, MD et MDW dans le canal FSO sous conditions météorologiques différentes qui sont : temps clair, brouillard et pluie

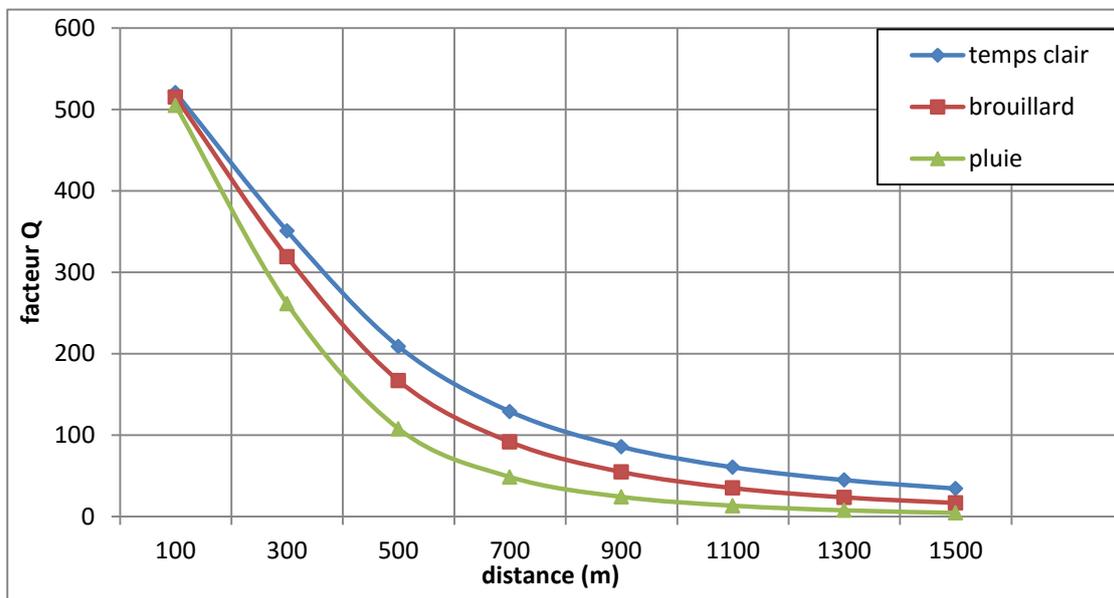


Figure IV. 7 : facteur Q du code RD en fonction de la distance sous conditions météorologiques Différentes

La figure IV.7 Montre la variation du facteur de qualité Q du code RD sous conditions météorologiques différentes, les courbes du facteur Q aux atténuations en temps clair, brouillard et

pluie sont évaluées et comparées entre elles en fonction de la longueur de propagation. On constate que le code RD offre des bonnes performances avec un meilleur facteur Q même dans le temps le plus sévère allant jusqu'à 1100 mètres, car il appartient à l'intervalle [520, 13] qui dépasse le seuil fixé par l'UIT. Au-delà de cette longueur, une forte dégradation est atteinte rapidement.

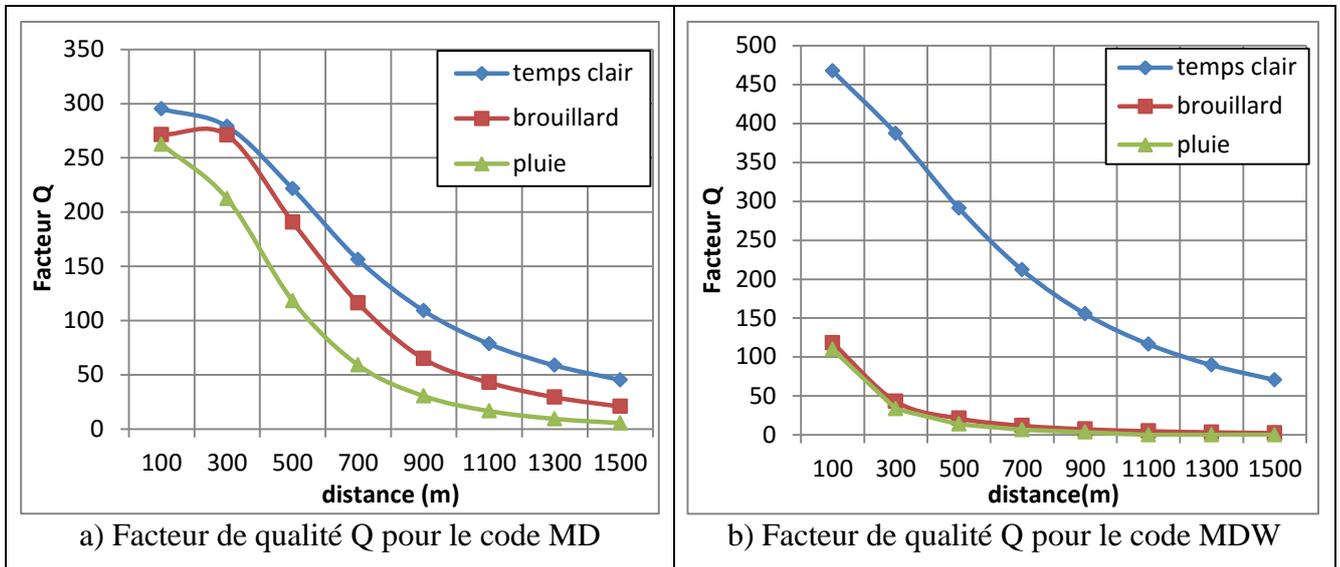


Figure IV. 8 : facteur Q du code MD et MDW en fonction de la distance sous conditions météorologiques différentes

Les allures obtenues pour les codes MD et MDW représentées sur la figure IV.8 (a et b) respectivement, montre la variation du facteur Q des codes suscités sous conditions météorologiques différentes. On remarque que les codes MD et MDW peuvent fonctionner suffisamment bien jusqu'à 1500 mètres en temps clair car le facteur Q appartient aux intervalles [295, 45] et [467, 70] respectivement. En temps de brouillard le code MD reste fonctionnel à la même longueur mais le code MDW reste opérationnel aux longueurs inférieures à 500 mètres, tandis qu'en temps de la pluie, la transmission est assurée jusqu'aux 1100 mètres et 500 mètres pour les codes MD et MDW respectivement, au-delà de ces longueurs, une forte dégradation est atteinte rapidement.

D'après les résultats obtenus sur la figure IV.8, on peut facilement constater que l'augmentation de la longueur de propagation du signal entraîne une diminution du facteur Q qui engendre l'augmentation du BER pour les trois codes simulés. De plus, La dégradation du facteur Q est liée au degré de sévérité atmosphérique, tels que les meilleures valeurs sont enregistrées en temps clair suivi par le brouillard ensuite la pluie pour les trois codes. On outre, les systèmes SAC-OCDMA dans les liaisons FSO basés sur les codes simulés, ont montré leurs robustesses à résister

aux conditions météorologiques les plus sévères avec des efficacités différentes. Selon les résultats analysés, les différents codes peuvent être classés comme suit : RD, MD puis MDW.

❖ effets de variation de débit

Dans cette sous-section, nous allons déterminer l'effet du débit binaire d'une liaison FSO sur la qualité de transmission, pour cela on déroule la simulation pour six débits binaires fixés par le standard international UIT, tout en fixant la puissance des sources à (0dbm) et la distance à 700 mètres. Les figures ci-dessous représentent la variation du facteur Q en fonction du débit binaire, afin de voir les performances des codes RD, MD et MDW dans le canal FSO sous conditions météorologiques différentes qui sont : temps clair, brouillard et pluie.

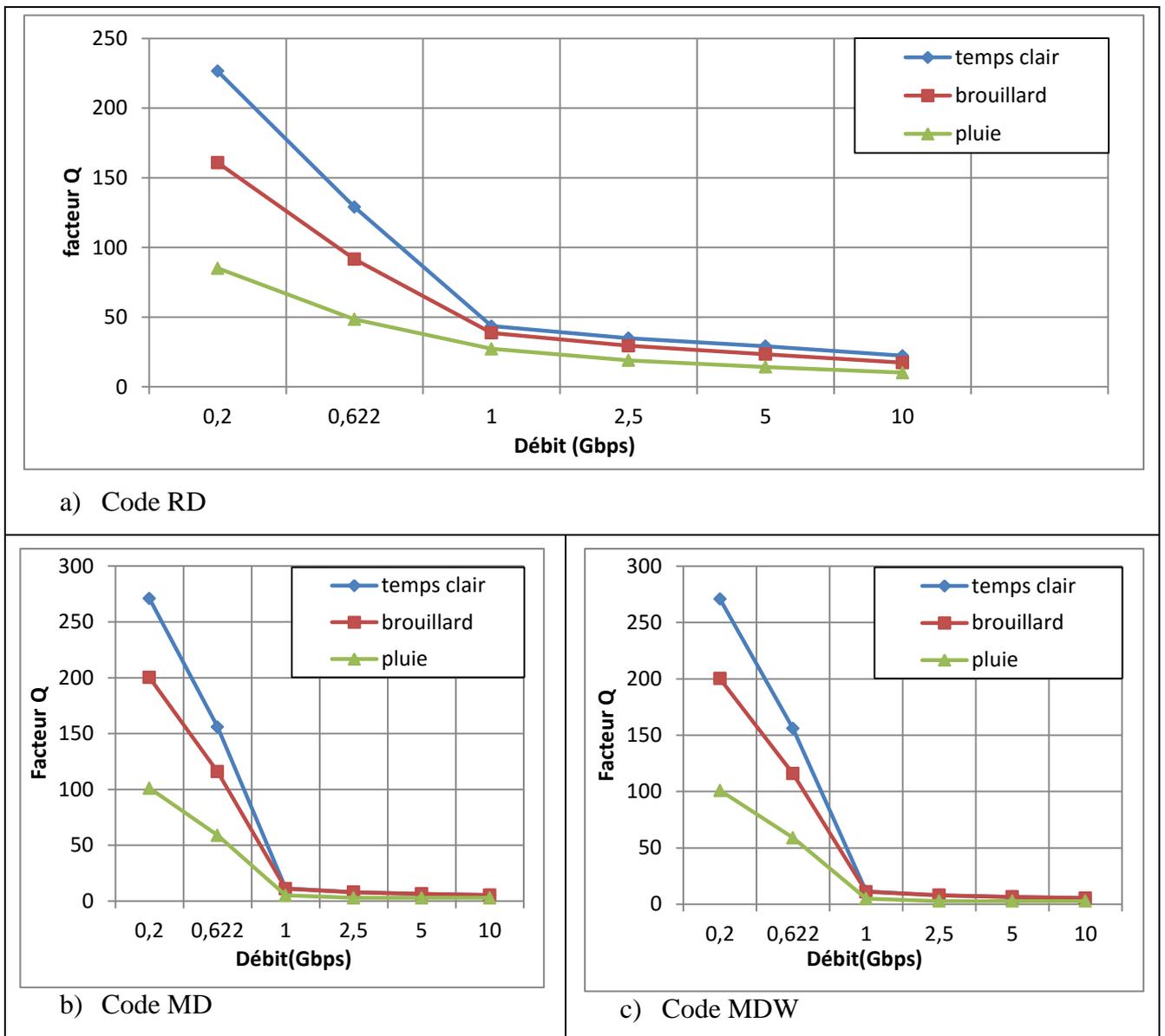


Figure IV.9 : facteur Q des codes RD, MD et MDW en fonction du débit sous conditions météorologiques différentes

La même remarque peut être tirée en analysant les trois courbes, à savoir une diminution du facteur Q en fonction de débit, et d'après ces dernières on constate que le débit a une relation inversement proportionnel pour les différents codes sous les conditions météorologiques distinctes.

La figure IV.9 montre la relation entre les débits des données et le facteur Q des codes étudiés. On remarque que les allures des trois codes aux différents temps changent de pente à partir du débit égale à 1Gbps où les codes MD et MDW ont atteint leurs limites car le facteur Q est autour de 5, par contre le code RD présente un facteur Q qui appartient à l'intervalle [20, 10] lorsque le débit varie entre 1 et 10 Gbps respectivement sous les différentes conditions météorologiques.

Le débit est un paramètre essentiel pour garantir la transmission des flux de données, mais les résultats de simulation ont montré que ce dernier doit être choisi avec délicatesse, car il dépend fortement des conditions atmosphériques. D'après les résultats obtenus, une dégradation de facteur de qualité Q à partir de 1Gbps est constatée, cela revient aux dispositifs d'émission et réception de la liaison FSO présenté à la figure (3) du chapitre I qui sont récemment développés et ne supportent pas des débits élevés.

❖ effets de variation de puissance

Dans cette partie, nous allons déterminer l'effet de la puissance d'une liaison FSO sur la qualité de transmission, pour cela une série de simulation est déroulée en variant la puissance de (0 à -15) dBm avec un pas de -3 dBm tout en fixant la distance à 700 mètres et le débit à (622 Mbps).

Les figures ci-dessous illustrent la variation du facteur Q en fonction de la puissance afin de voir la résistance des codes RD, MD et MDW dans le canal FSO, sous conditions météorologiques distinctes qui sont : temps clair, brouillard et pluie.

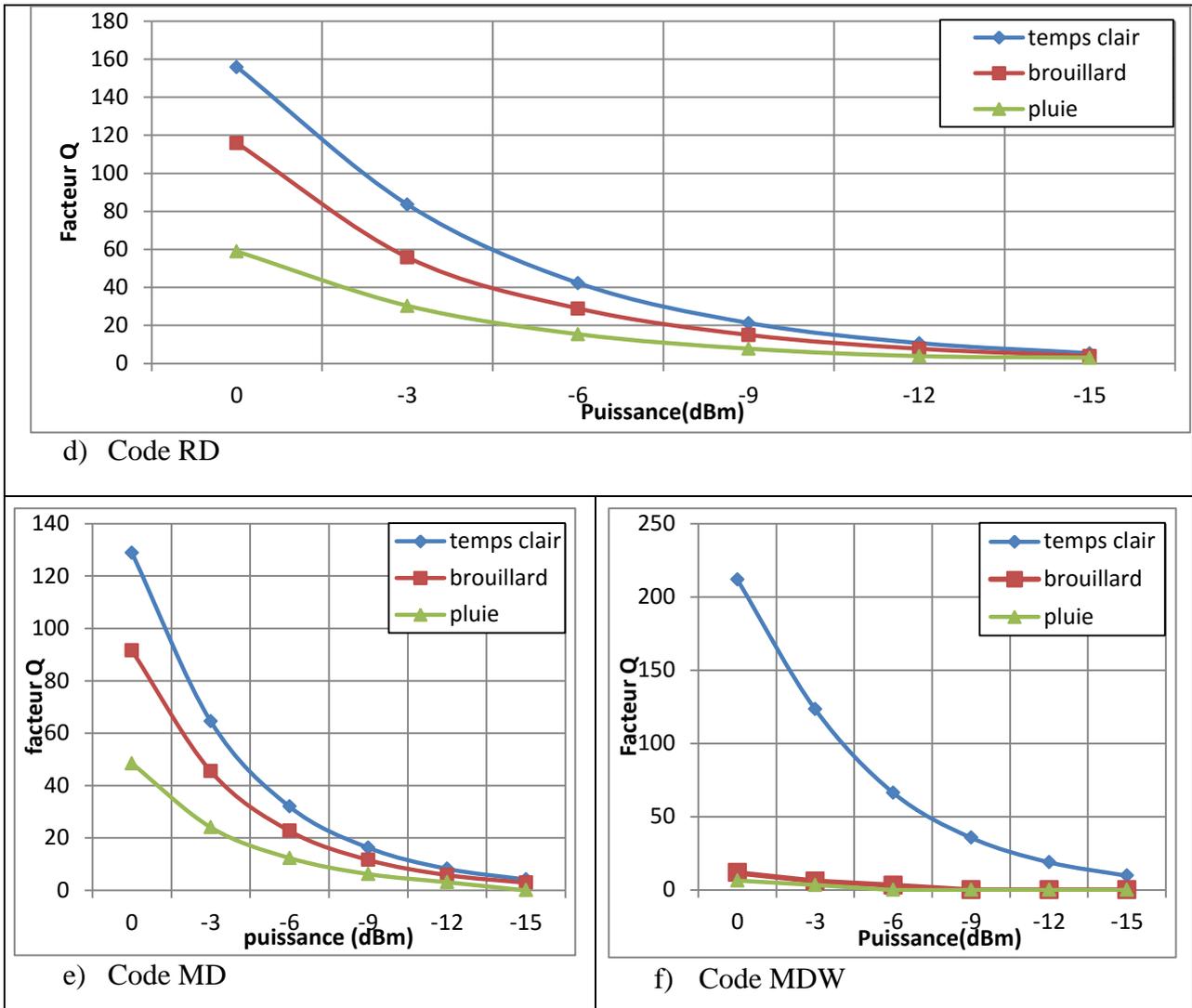


Figure IV.10 : facteur Q des codes RD, MD et MDW en fonction de la puissance sous conditions météorologiques différentes

D'après les différentes courbes, on constate que la puissance à une relation directe avec la qualité de transmission dans les différentes conditions météorologiques. La diminution de la puissance entraîne une dégradation du facteur Q. De plus, Pour une puissance donnée, le facteur Q présente des valeurs plus élevées dans le temps clair par rapport aux autres temps (brouillard et pluie) qui reste valable aux différents codes étudiés.

Les allures des courbes obtenues pour les codes RD et MD voir (figure IV.10 d, e) montrent que la puissance optimale est de -9 dBm dans les différentes conditions météorologiques. Au-dessous de cette puissance les performances des codes se dégradent, ce qui signifie une perte de communication, par contre le code MDW perd cet avantage sous conditions météorologiques sévères.

D'après les différents résultats obtenus, on constate que les différents codes présentent des

bonnes performances en temps clair car le paramètre d'atténuation est faible, mais l'augmentation de ce dernier dans les conditions météorologiques sévères (brouillard et pluie) au niveau du canal FSO cause la perte d'énergie du signal transmis qui engendre une forte diminution de facteur Q.

IV.4.3 Comparaisons entre les performances des codes SAC-OCDMA dans l'espace libre

D'après Les simulations précédente dans les différentes conditions météorologiques, nous avons constaté que la qualité de transmission de la liaison SAC-OCDMA/ FSO est mauvaise dans le temps de pluie. Nous avons choisi de comparer la robustesse des différents codes RD, MD et MDW dans ce temps, car s'ils démontrent leurs immunités aux effets du canal FSO et MAI du codage SAC-OCDMA au cours de la transmission, ils seront favorables dans les autres conditions météorologiques.

❖ L'influence de la longueur du canal FSO

En faisant varier la distance de transmission, la puissance transmise et le débit sont 0dbm et 622Mbps respectivement. La Figure IV.11 montre une comparaison entre les performances des codes MD, RD et MDW en fonction de la distance dans des conditions de précipitations.

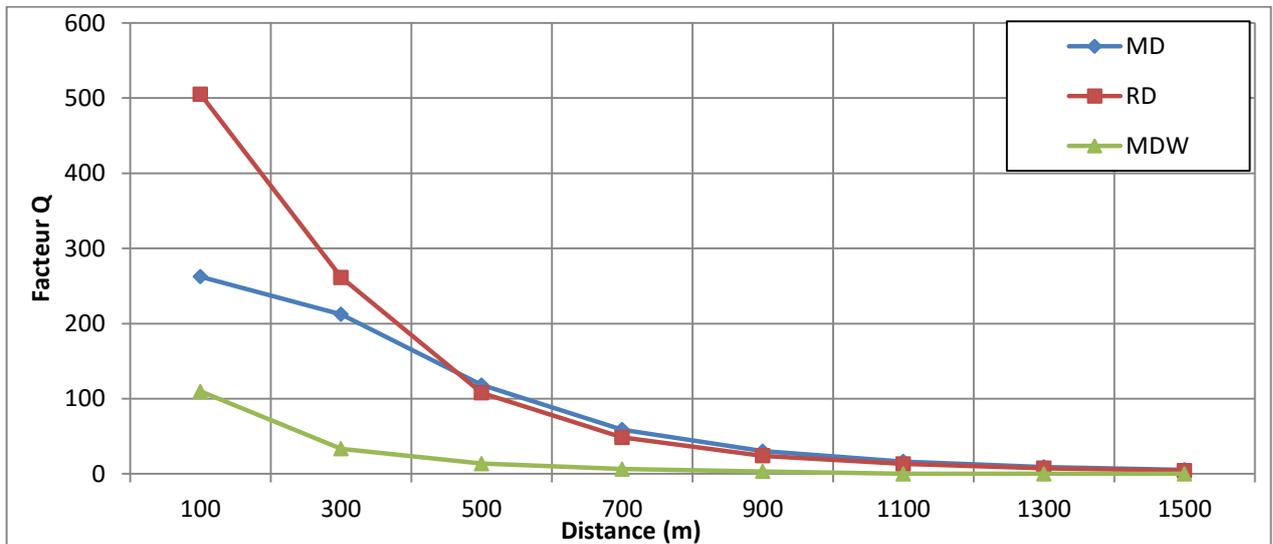


Figure IV.11 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction de la distance

Les performances des codes MD, RD et MDW sont évaluées en termes de la longueur de propagation sur le canal FSO. Les résultats obtenus à la figure IV.11 montrent que l'augmentation de la longueur de propagation engendre la diminution du facteur de qualité Q qui entraîne l'augmentation du BER.

Chapitre IV : Simulation et résultats

On constate que les codes MD et RD sont presque similaires en termes de facteur de qualité et offrent de meilleures performances jusqu'à la distance 700m. Au-delà de cette distance, on enregistre une dégradation de la qualité de transmission avec une valeur de $Q=7$ pour une distance de 1300m. Tandis que, les performances du code MDW se dégradent davantage par rapport aux autres codes pour les différentes distances. Dans cette première analyse on conclut que le code RD donne de meilleures performances comparées aux autres codes, en raison de sa faible corrélation et de sa courte longueur. La figure IV.12 montre l'évaluation des diagrammes de l'œil des trois codes pour les distances 100m, 500m, 700m et 900m, avec une puissance 0dBm et un débit de 622 Mbps.

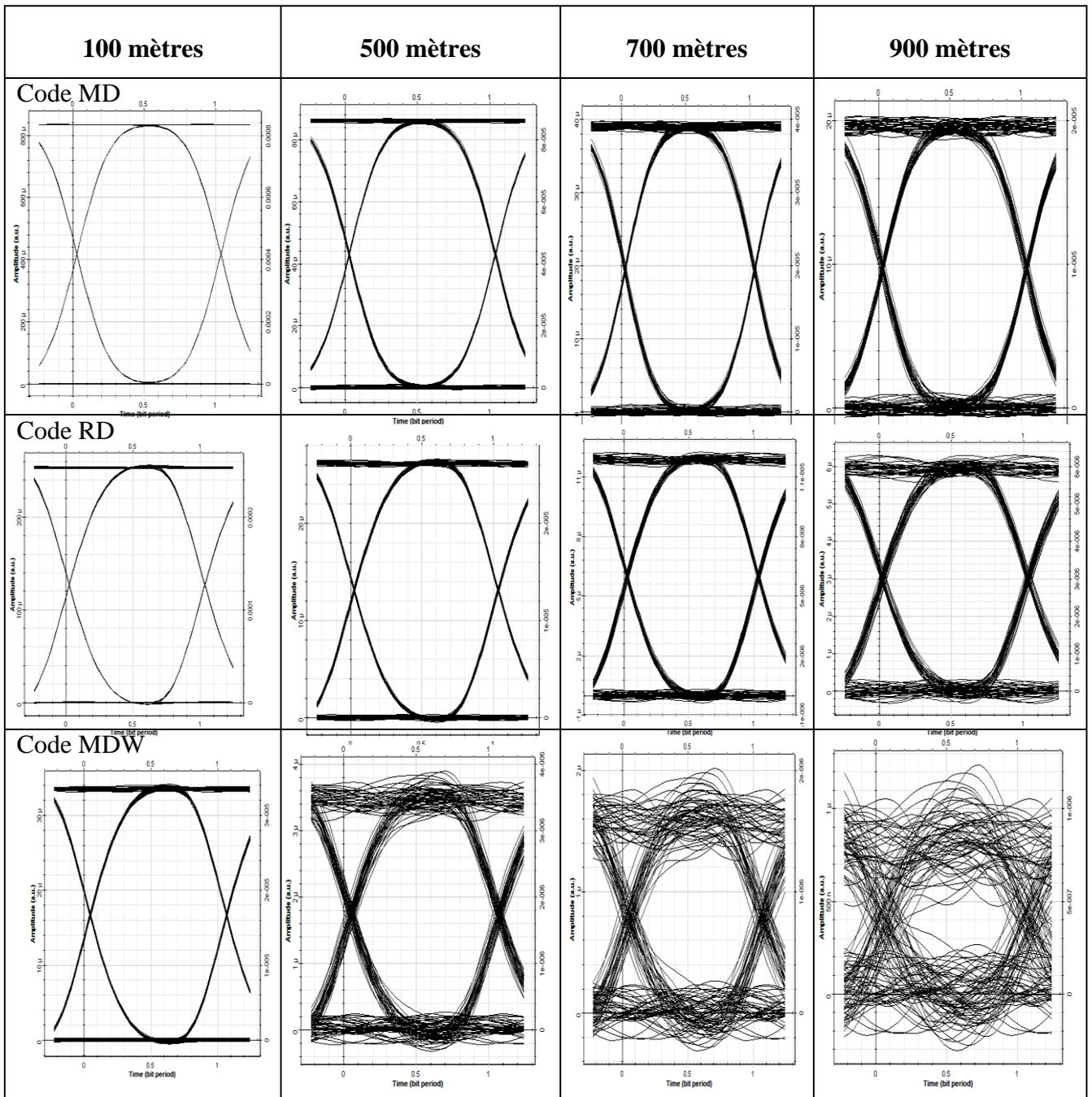


Figure IV.12 : Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction de la distance

Les diagrammes de l'œil des codes MD et RD présentés aux figures ci-dessus donnent de meilleurs résultats avec une plus grande d'ouverture de l'œil pour les différentes distances, ce qui signifie l'absence du bruit et la récupération des signaux envoyés. Tandis que pour le code MDW une mauvaise qualité de transmission est remarquable à partir de 700m avec la fermeture de l'œil dû au non superposition des signaux de bits.

❖ L'influence du débit binaire

Le déroulement de la simulation dans cette partie va nous aider à analyser l'effet de la variation du débit sur la qualité de transmission des signaux dans les liaisons FSO pour les trois codes SAC-OCDMA présentés au chapitre trois.

La Figure IV.13 montre une comparaison entre les performances des codes MD, RD et MDW en fonction du débit, tout en fixant la puissance et la distance à 0dBm et 700m respectivement en temps de pluie.

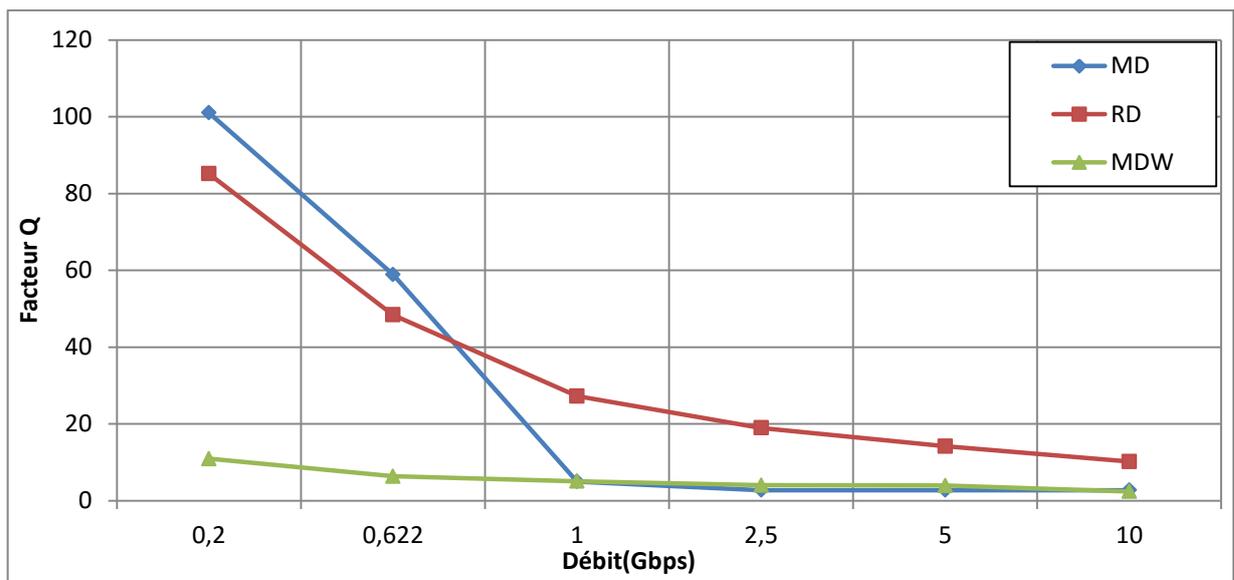


Figure IV.13 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction du débit

La figure IV. 13 illustre le degré de robustesse des codes MD, RD et MDW par rapport à l'augmentation du débit binaire, on remarque que les codes MD et MDW présentent un facteur de qualité inférieur à 6 à partir d'un débit supérieur ou égale à 1Gbps, mais leurs performances aux débits inférieurs à 1Gbps change, ceci est attendu car les analyses faites à la sous-section IV.2.2 donnent les mêmes performances. Par contre, le code RD présente les meilleures performances par rapport aux autres codes précédents et permet une bonne transmission jusqu'à 10Gbps avec un

Chapitre IV : Simulation et résultats

facteur Q supérieur ou égale à 10, d'après cette analyse on peut dire qu'il est le plus robuste a résisté à l'augmentation du débit dans les conditions météorologiques les plus sévères.

Pour analyser les résultats de simulation discutés ci-dessus, on représente quelques diagrammes de l'œil afin de voir l'influence de l'augmentation du débit dans le canal FSO en temps de pluie sur chaque code. La figure IV.14 montre les différents diagrammes de l'œil des trois codes (MD, RD et MDW) représentés au différent débit : 0.2, 0.622, 1 et 2.5Gbps. Avec une puissance de 0dBm et une distance de 700 mètres.

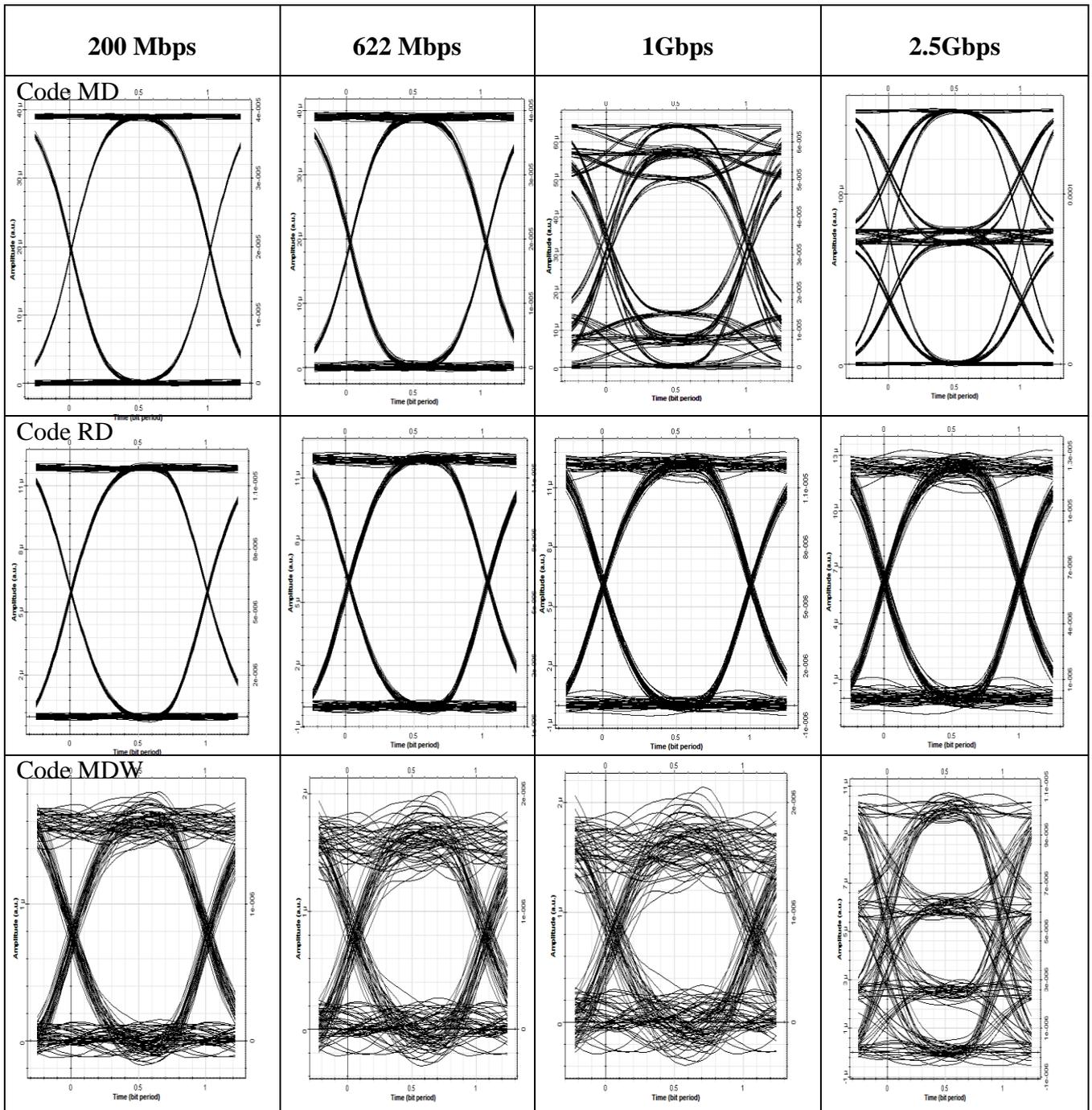


Figure IV.14 : Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction du débit

Les diagrammes de l'œil des codes MD et RD présentés aux figures ci-dessus témoignent la qualité du signal reçu afin d'illustrer les dégradations du signal propagé dans le canal FSO basé sur la technique SAC-OCDMA en temps de pluie. D'après les résultats de la figure IV.14, le code RD assure une bonne qualité de transmission selon les diagrammes de l'œil qui sont assez ouverts aux différents débits, ce qui confirme sa résistance aux effets du canal les plus sévères. Par contre, les codes MD et MDW perdent leurs performances lors de l'augmentation du débit sous les mêmes conditions météorologiques.

❖ l'influence de la puissance

Dans le domaine des télécommunications la puissance de transmission des signaux joue un rôle important afin de rendre les systèmes plus économiques avec une meilleure qualité des signaux à la réception. Pour cela, nous proposons dans cette sous-section de diminuer la puissance du système SAC-OCDMA simulé pour analyser les limites de chaque code et de déterminer la puissance optimale avec laquelle doit opérer.

La Figure IV.15 montre une comparaison entre les performances des codes MD, RD et MDW en fonction de la puissance tout en fixant le débit et la distance à 622Mbps et 700m respectivement en temps de pluie.

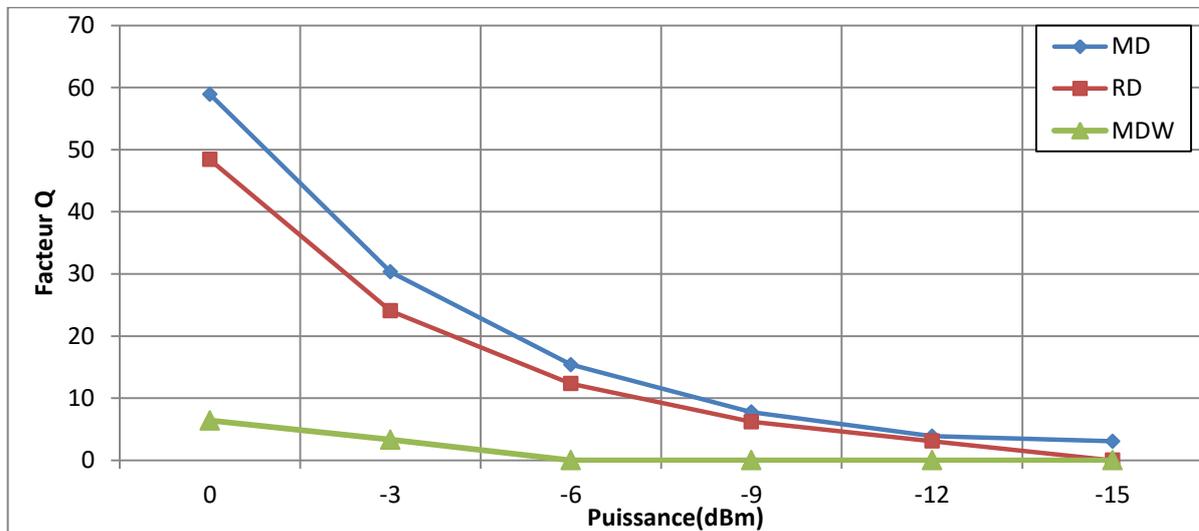


Figure IV.15 : Comparaisons du facteur Q des codes MD, RD et MDW en fonction de la puissance

Les résultats présentés dans la figure IV. 15 montrent que la diminution de la puissance entraîne la dégradation des valeurs du facteur Q. On remarque que les codes MD et RD présentent les meilleures performances par rapport au code MDW et cela est dû aux deux paramètres essentiels qui sont la présence ou l'absence d'intercorrélations ainsi que la longueur du code.

Chapitre IV : Simulation et résultats

D'après les allures tracées, on constate que le facteur Q du code MD surpasse légèrement celui du code RD. Ces deux codes assurent une bonne qualité de transmission dans l'intervalle de puissance $[-6, 0]$ dBm et atteignent leurs limites à -6dBm car au-delà de cette puissance le facteur Q est inférieur à 6. Le code MDW reste toujours désavantagé car à partir d'une puissance inférieure à -3dBm la récupération des signaux envoyés est impossible, ce qui justifie l'absence de la représentation des diagrammes de l'œil à partir de cette puissance à la figure IV.16. Ces résultats montrent que les codes qui ont une corrélation croisée nulle, ou faible avec une longueur réduite améliorent les systèmes SAC-OCDMA en terme puissance.

La figure IV.16 montre les différents diagrammes de l'œil des trois codes (MD, RD et MDW) représentés au différents puissances : (0, -3, -6, -9) dBm. Avec un débit de 622 Mbps et une distance de 700 mètres.

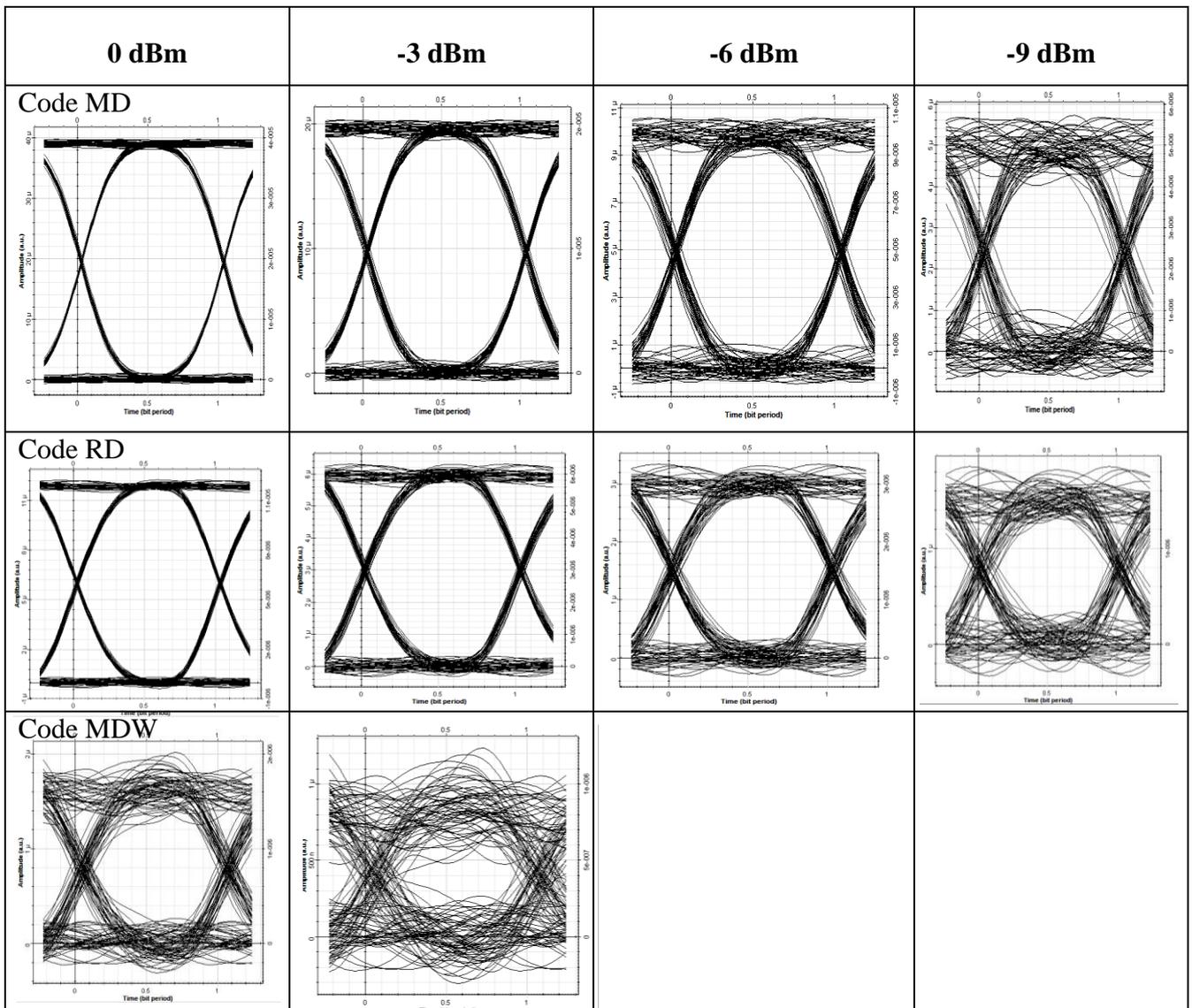


Figure IV.16: Diagramme de l'œil des codes MD, RD et MDW en fonction de la puissance

La figure IV. 16 illustre les diagrammes de l'œil des codes MD, RD et MDW pour les puissances suscitées. On remarque que les diagrammes de l'œil des codes MD et RD sont presque identiques avec une grande ouverture de l'œil lorsque la puissance est inférieure à -3 dBm, au-delà de cette valeur il est complètement dégradé ce qui signifie que l'énergie attribuée au système est insuffisante pour faire propager le signal dans le canal. Tandis que pour le code MDW le diagramme de l'œil est inexistant (perte totale du signal) ou très dégradé comme le cas à -3 dBm.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalué les performances des codes MD, RD et MDW dans les liaisons FSO sous différentes conditions météorologiques, basées sur une technique de détection directe dans le but de minimiser les interférences d'accès multiples et d'optimiser la puissance.

Les résultats de simulation sont obtenus à partir de la comparaison entre les performances des trois codes choisis selon différents paramètres. Nous avons constaté que le code RD offre de meilleures performances même dans les conditions météorologiques les plus sévères grâce à sa construction simple et sa courte longueur. En outre, nous avons pu atteindre des valeurs de puissance qui sont mieux adaptées afin de rendre le système SAC-OCDMA plus optimal.

Conclusion
générale

Conclusion générale

L'idée de base de ce mémoire est d'étudier l'encodage spectral d'amplitude d'un système d'accès multiple par répartition de code en espace libre.

L'utilisation du système SAC-OCDMA dans les réseaux FSO présente plusieurs avantages, tels que l'augmentation du nombre d'utilisateurs, la flexibilité dans l'allocation des canaux et l'amélioration de la sécurité dans le contexte des réseaux d'accès.

L'objectif de ce travail est l'étude des performances d'un système de transmission optique SAC-OCDMA appliqué dans les liaisons de transmission en espace libre (FSO), en utilisant les codes MD, RD et MDW dans différentes conditions météorologiques. Ces performances sont évaluées en termes de facteur de qualité et diagramme de l'œil en fonction des paramètres caractéristiques de la liaison FSO: distance, débit et puissance.

Les résultats de simulation ont montré que le code RD, permet d'offrir une bonne qualité de transmission sous les différentes conditions météorologiques, en raison de sa construction simple, sa courte longueur et sa faible corrélation croisée qui réduit les interférences d'accès multiple (MAI).

Plusieurs perspectives peuvent être avancées à la fin de ce mémoire, pour explorer plus profondément la technique SAC- OCDMA, comme augmenter le nombre d'abonnés, atteindre des débits plus importants sur de très longues distances et installation des postes d'amplification afin d'augmenter la puissance des signaux à la réception avant leurs traitements.

Références
bibliographiques

Bibliographie

- [1] : M. ROUISSAT Mehdi, thèse de doctorat « Etude et Modélisation d'une Liaison optique sans fil », Université de Tlemcen, 2012.
- [2] : M.OCTAVE Ringar, thèse de doctorat « Utilisation des techniques avancées d'émission/Réception multi antennes pour une transmission optique large bande », Université de Limoges, 2015.
- [3] :R. HOUDRE, thèse de doctorat «Diode électroluminescente (LED) et Dispositifs Electronique et optique à Semi-conducteurs », institut de Science et de Génie des matériaux, France, 2007.
- [4]: Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, et B. Gallagher, «Using LED Lighting for Ubiquitous Indoor Wireless Networking», MCL Technical Report N°TR-05-20-2008.
- [5]: Heinz Willebrand, et Baksheesh S. Ghuman, «Free-Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks», Sams Publishing. 2002.
- [6] :Y. Cojan et J. C. Fontanella, « Propagation du rayonnement dans l'atmosphère », Dec., 1995.
- [7]: Andrews, L.C et Phillips, R.C. « Laser Beam Propagation through Random Media», Second Edition SPIE Press, Bellingham, pp. 480-481, 2005.
- [8] :M.MAHER Al Naboulsi, thèse de doctorat « Contribution à l'étude des liaisons optiques atmosphériques : propagation, disponibilité et fiabilité », Université de Bourgogne, 2005
- [9] : Rapport UIT-RF.2106 « Applications du service fixe utilisant les liaisons optiques en espace libre »,2007.
- [10]:M.MICHEL Terré, support de cours « propagation version 7.0 », Conservatoire des arts et des métiers-France, (2005-2006).
- [11]:Aryalekshmi.G1,Gokul P.G2, «Eliminating the Effect of MAI in FSO SACOCMA under Different Haze Conditions », université de Kollam, Kerala, India ,Vol. 5, Issue 3, Mars 2017.

- [12]: B.S.S. Naimullah, S. Hitam, N.S.M. Shah, M. Othman, S.B.A. Anas et M.K.Abdullah, «Analysis of the Effect of Haze on Free Space Optical Communication in the Malaysian Environment », 14-17 May 2007, Penang, Malaysia.
- [13]: Aditi Malik and Pretty Singh, « Free space optics: current applications and future challenges », University, Chandigarh, India, 2015.
- [14]: H. Willebrand et B. S. Ghuman, «Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in today's network. Indianapolis », SAMS publishing, 2002.
- [15]: A. K. Majumdar et J. C. Ricklin, «Free-Space Laser Communications: Principles and Advances», New York: Springer, 2008.
- [16] :M.VINCENT Foucal, thèse de doctorat « Conception d'interconnexions optiques haut débit courte distance en espace libre. Prototypage de modules de communication pour applications embarquées », université de Strasbourg, 2010.
- [17]: S.Ayotte, M. Rochette, J. Magne, L. Rusch et S. LaRoche, «Experimental verification and capacity prediction of FE-OCDMA using superimposed FBG», Journal of Lightwave Technology, vol. 23, no. 2
- [18] : M.DJEFFAL Nadhir, thèse de doctorat « Marches quantiques généralisées pour l'algorithmique quantique appliquées à un routeur optique du type WDM », Université Frères Mentouri Constantine, 2016.
- [19] : M. SAAD Naufal, thèse de doctorat « Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique », Université de Limoges, 2005.
- [20] : M.MORELLE Mikaël, thèse de doctorat « Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA(OCDMA) – Application aux transmissions multimédia », université de Limoges, 2008.
- [21] : M. CHERIFI Abdelhamid, thèse de doctorat « Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi porteuses Dans La Transmission d'information », Université Abdelhamid Ibn Badis DE Mostaganem, 2017.

- [22] : M.CORDETTE Steevy, thèse de doctorat « Continuum de fréquences optiques pour application OCDMA », Ecole doctorale d'informatique, Télécommunication et d'électronique de Paris, 2010.
- [23] : Mme. DRIZ SAMIA, thèse de doctorat « Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », Université de sidi-bel-abbes, 2018.
- [24]: N. Ahmed, S. A. Aljunid, R. B. Ahmad, Nizam Uddin Ahamed et Matiur Rahman «Performance Analysis of Hybrid OCDMA/WDM System for Metro Area Network », J. Opt. Commun. 2014; 35(1): 39–43.
- [25] : Mikaël MORELLE, Anne JULIEN-VERGONJANNE, Claire GOURSAUD-BRUGEAUD et Jean-Pierre CANCES, « 2D OCDMA system for service differentiation», Université de limoges, 2007.
- [26] : Kerim Fouli et Martin Maier, « OCDMA and Optical Coding: Principles, Applications, and Challenges», Institut National de la Recherche Scientifique (INRS) ,2007.
- [27]: Andrew Stok et Edward H. Sargent, «The Role of Optical CDMA in Access Networks », université de Toronto, 2002.
- [28]: HUSSEIN SAAD MOHAMMED, A. ALJUNID, HILAL, A. FADHIL, THANAA HUSSEIN ABD, RASHID A. FAYADH, et A. K RAHMAN, « Generation of a new hybrid subcarrier multiplexing SAC-OCDMA system based on FSO», université de Malaisie,2013.
- [29] :M.JULIEN PENON, thèse de doctorat «Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de bragg », université Laval Quebec, 2009.
- [30]: Mukesh kumar1, Umesh Kumar Tiwari, Kanika Sharma, et Sandeep Singhai « Design and Analysis of Two - Code Keying Approach based on MD code to Improve the Performance of OCDMA System », université de Chandigarh, Inida , Volume. 6, Issue No.8, 2016, Volume 6 Issue No. 8 Volume 6lume 6 Issue No. 8.
- [31]: Morteza Motealleh et Mohsen Maesoumi ,« Simulation of a SAC-OCDMA 10 User ×15 Gb/s System Using MD Code » Université de Bushehr, 75131, Iran, 2014.

- [32]: Hilal Adnan Fadhil, S.A. Aljunid, et R.B. Ahmad « Performance of random diagonal code for OCDMA systems using new spectral direct detection technique » Université de Malaysia Perlis (UniMAP), 2009.
- [33]: Bhanu Priya¹ et Himali Sarangal, «Comparative Study of Conventional Random Diagonal Code and Random Diagonal Code with EDFA for Spectral Amplitude-Coding Optical CDMA System», Université de Jalandhar, Punjab, Inde, 2014.
- [34]: Ibrahim Fadhil Radhi, S. A. Aljunid, Hilal A. Fadhil et Thanaa Hussein Abd, « New Technique for Suppression Four-Wave Mixing Effects in SAC-OCDMA Networks», Université de Perlis (UniMAP), Malaisie, Vol. 4, No.3, 2013.
- [35]: Mai Salah et Ahmed M. Alhassan, « Evaluation of Different Codes in SAC-CDMA system», Université de Khartoum, Sudan, Vol. 3, Iss. 1, pp: 34-37, March 2017.
- [36]: N. Ahmed, S. A. Aljunid¹, R. B. Ahmad¹, M. A. Rashid, « Novel OCDMA Detection Technique based on Modified Double Weight Code for Optical Access Network», Université de Perlis (UniMAP), Malaisie, VOL. 18, NO. 8, 2012.
- [37] : M.BENNAT Mohammed, mémoire de fin d'étude « Effet de la dispersion et de la modulation directe sur une liaison DWDM », Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, 2018.
- [38] : M.BENZERDJEB Choukri et M.SELKA Sofiane, mémoire de fin d'étude « encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA », Université d'Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2013.
- [39] : Melle. BOUZIDI TANI Asma, mémoire de fin d'étude « Effet de l'espacement inter-canal et du débit binaire sur une liaison WDM », Université d'Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2013.
- [40] : Melle. BRAHIMI Houda, thèse de doctorat « Etude en bruit de systèmes optiques hyperfréquences Modélisation, caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence », Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2010.
- [41] : M.LARIBI Hidayet Fatima Zohra et M.AISSA MADAOUI Soumia, mémoire de fin d'étude « Etude d'un système OCDMA avec les codes Hadamard pour les signaux optiques incohérents », Université d'Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2016.

[42] : Anisha Priyadarshi et Sudipta Mitra, « Performance Analysis of SAC OCDMA in FSO system using SPD Technique with APD for Different Weather Conditions», Journal of Electronics and Communication Engineering, Volume 12, Issue 3, Ver. II (May - June 2017), PP 07-12.

Résumé

Les liaisons optiques en espace libre (FSO) constituent une technologie complémentaire aux faisceaux hertziens et aux fibres optiques afin de faire face aux besoins croissants en matière de télécommunication à haut débit. L'inconvénient majeur de cette liaison est l'influence de différentes conditions météorologiques. La technique SAC-OCDMA présente une meilleure solution pour augmenter le nombre d'utilisateurs dans les réseaux FSO.

Dans ce travail, nous avons évalué les performances des codes MD, RD et MDW dans les liaisons FSO sous différentes conditions météorologiques, dans le but de minimiser les interférences d'accès multiples (MAI) et d'optimiser la puissance.

Les résultats de cette étude ont montré que le code RD utilisant la technique de détection directe fournit une meilleure performance par rapport aux autres codes dans les systèmes SAC-OCDMA/FSO.

Mots clés : FSO, SAC-OCDMA, conditions météorologiques, MAI, MD, RD, MDW.

Abstract

Free Space Optic (FSO) is a complementary technology to microwave and optical fiber to meet the growing needs in telecommunications at high data rates. The major disadvantage of this connection is the influence of different weather conditions. The SAC-OCDMA technique presents a better solution to increase the number of users in FSO networks.

In this work, we evaluated the performance of MD, RD, and MDW codes in FSO links under different weather conditions, in order to minimize multiple access interference (MAI) and optimize power.

The results of this study showed that RD code using the direct detection technique provides better performance compared to other codes in SAC-OCDMA / FSO systems.

Keywords: FSO, SAC-OCDMA, weather conditions, MAI, MD, RD, MDW.

