

REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

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

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER
FILIERE : Télécommunications
Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Par

- **BELAIFA Meriem**
- **ZERROUGUI Chaima**

Intitulé

ETUDE DE PERFORMANCE DU CODE LSC DANS LES SYSTEMES DE COMMUNICATION SAC-OCDMA-FSO

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>MELIZI Nora</i>	<i>MAA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>HACINI Latifa</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>HACINE GHARBIabdennour</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

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 tenons à remercier notre encadreur Dr.L.HACINI quia
bien fourni des efforts pour nous donner toutes les
informations, nous avons profité de son savoir et ses
précieus conseils. Nous tenons à remercier également les
membres du jury qui ont fait l'honneur
d'examiner ce travail et d'apporter leurs réflexions
et suggestions scientifiques.*

*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 

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

Ma chère mère: *qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, sa bienveillance et ses sacrifices
merci, merci, merci.*

Mon cher père, Oncle, ma sendi *pour m'avoir toujours soutenu et encouragé à aller de l'avant.*

J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi, Santé et longue vie à vous.
Ma chère grand-mère, *je te remercie toujours et à jamais pour ton soutien constant et ton soutien moral en toute affection.*

Siham est mon amie et ma sœur, qui m'a donné naissance, jours et situations.
Toute ma famille est ma mère, tous mes amis, et tous ceux qui ont cru en moi.

Z.Chaima

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma Chère Mère, Zakia BENDERRADJI, qui à œuvré pour ma réussite, par son amour, sa bienveillance et ses sacrifices.

Mon cher père, Abdelkader BELAÏFA, qui m'a toujours soutenue dans mes démarches et encouragé à aller de l'avant quel qu'en soit la difficulté de l'épreuve.

Mes deux grands-frères, Walid et Mohamed, qui ont toujours été présents à mes cotés, que ce soit au niveau logistiques, moral ou même financier.

Mes grandes sœurs, Hanane, Nadia, Abla et Souâd qui ont su trouvé les bons mots quand j'en avais besoin, qui m'ont servit d'appui et de soutien moral permanents.

Sans oublier mes petites sœurs, Khaoula et Ibtissem, qui ont su me redonner le sourire, quand j'avais le moral au plus bas.

J'espère avoir été à la hauteur de vos attentes.

Car c'est grâce à vous, si j'en suis là aujourd'hui.

Santé et Longue Vie à vous.

B.Meriem

Tables des matières

Remerciement.....	i
Dédicaces	ii
Tables des matières	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1

Chapitre 1 : Transmission optique en espace libre

INTRODUCTION.....	3
HISTORIQUE SUR LA TECHNOLOGIE FSO	3
1.3. PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE FSO	4
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES LIAISONS FSO.....	5
L'émetteur	5
Canal de propagation	6
Le récepteur.....	7
LES AVANTAGES DES LIAISONS FSO	8
LES INCONVENIENTS DES LIAISONS FSO	8
1.7. APPLICATIONS DES SYSTÈMES FSO.....	9
1.8 CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS FSO	10
LA LIAISON FSO ET LES EFFETS ATMOSPHERIQUES	10
Atténuation du brouillard.....	10
Atténuation par la pluie.....	12
CONCLUSION	12

Chapitre 2 : OCDMA à codage spectral d'amplitude

INTRODUCTION.....	14
SYSTEME SAC-OCDMA	14
Encodage d'un signal SAC-OCDMA.....	14
2.2.2. Décodage d'un signal SAC-OCDMA.....	17
BRUIT EN SAC-OCDMA INCOHERENT	20
Bruit thermique.....	20

Le bruit de grenaille (shot noise).....	20
Bruit d'intensité induit par la phase PIIN	20
LE CODAGE EN SAC-OCDMA	21
Les paramètres utilisés dans le codage SAC-OCDMA.....	21
Les différents codes SAC-OCDMA	22
CONCLUSION	22

Chapitre 2 : Résultats de simulation

INTRODUCTION.....	24
DESCRIPTION DU SYSTEM SAC-OCDMA-FSO.....	24
Côté émetteur	24
Canal FSO.....	25
Côté récepteur	25
GENERATION DU CODE LSC AVEC LA TECHNIQUE AMT.....	25
Application de la technique AMT au code LSC.....	28
3.4CALCUL DU BER POUR LE CODE LSC DANS UN CANAL FSO	29
ETUDE DE PERFORMANCES.....	32
CONCLUSION	38
Conclusion Générale.....	40
Bibliographies	42

Liste des figures

Figure1.1:	Le photophone proposé par Graham Bell	3
Figure1.2:	Exemple d'architecture d'un réseau FSO	4
Figure1.3:	Système de communication FSO en visibilité directe	5
Figure1.4:	Principe de la modulation directe	5
Figure1.5:	Principe de la modulation externe	6
Figure2.1:	codage spectrale en SAC-OCDMA	14
Figure2.2:	Encodage SAC-OCDMA réalisé avec un masque d'amplitude	15
Figure2.3:	Encodage SAC-OCDMA réalisé avec des AWG.....	16
Figure2.4:	Encodage SAC-OCDM réalisé par Réseaux de Bragg	16
Figure2.5:	Encodage SAC-OCDMA réalisé par un démultiplexeur et deux Multiplexeurs.....	17
Figure2.6:	Architecture d'un système SAC-OCDMA à détection équilibrée.....	17
Figure2.7:	Principe de la détection directe.....	18
Figure2.8:	Méthode de détection AND.....	19
Figure2.9:	Méthode de détection SPD.....	19
Figure3.1:	Schéma bloc d'un système SAC-OCDMA-FSO	24
Figure3.2:	BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents codes avec différents mappage	34
Figure3.3:	BER en fonction du débit pour différents codes avec différents mappage	35
Figure3.4:	Puissances des bruits en fonction de la puissance effective de la source P_{sr} pour différent nombre d'utilisateurs.....	36
Figure3.5:	courant incident fonction de la puissance P_{sr}	36
Figure3.6:	BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents types de brouillard	37
Figure3.7:	BER en fonction de distance pour différents types de brouillard	37
Figure3.8:	BER en fonction de la puissance reçue pour différents nombre d'utilisateur Débit=1Gbps.....	38

Figure3.16: Diagrammes de l'œil et le BER du premier utilisateur pour différent angles de divergence (a)0.25 mrad, (b)1 mrad.....	47
Figure3.17: Diagrammes de l'œil et le BER du premier utilisateur pour différent diamètres de l'émetteur(a)10cm, (b)70 cm.....	48
Figure3.18: Diagrammes de l'œil et le BER du premier utilisateur pour différents diamètres du récepteur (a) 10 cm, (b)2 cm.....	48
Figure3.19: Diagrammes de l'œil et le BER du premier utilisateur pour différentes distances du canal (a)1500m, (b)3000m.....	48
Figure3.20: Schéma bloc du système SAC-OCDMA sous un canal FSO en utilisant un amplificateur EDFA.....	49
Figure3.21: Diagrammes de l'œil et le BER du système pour un débit 1 GHz et une distance de 2 Km (a) sans EDFA, (b) avec EDFA.....	50
Figure3.22: Diagrammes de l'œil et le BER du système pour un débit 1 GHz et une distance de 2 Km pour différentes d'atténuation du brouillard. (a)Brouillard dense, (b) Brouillard modéré, (c) Brume, (d) Temps clair.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : les séquences LSC de base pour $W=4$	26
Tableau 3.1 : Paramètres utilisés dans l'analyse numérique par Matlab	32
Tableau 3.2 : Atténuation des différents types du brouillard.....	33

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Dans le domaine des télécommunications, la communication optique en espace libre (Free Space Optics : FSO) constitue une technologie importante en raison des avantages qu'elle offre. Cette technologie présente un intérêt lorsqu'une connexion physique par le biais de câble ou de fibre optique est inadaptée. Ce pendant, ce canal présente une limitation due à l'atténuation liée à différentes conditions météorologiques.

Egalement, ces dernières décennies, la technique d'accès multiple par répartition optique de code (OCDMA) est plus utilisée dans le monde de réseau de télécommunications grâce à sa capacité d'accès asynchrone, sa rapidité, son efficacité, sa sécurité et sa bande passante illimitée. En particulier, la technique SAC-OCDMA qui offre une meilleure solution pour réduire l'effet des interférences entre symboles.

Notre étude se concentre sur l'étude des performances du système SAC-OCDMA dans un canal FSO lors de l'utilisation du code LSC (Latin Square Code) avec la technique de mappage adaptative. L'étude est basée sur l'analyse du taux d'erreur binaire, en plus de l'étude de l'effet des différents bruits affectant la réception du signal.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble de la liaison FSO, en donnant le principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients, les applications, ainsi que les caractéristiques des équipements FSO. A la fin du chapitre, les effets atmosphériques, qui affectent les performances des systèmes FSO, avec leurs modèles sont présentés.

Le deuxième chapitre présente une définition générale du système SAC-OCDMA, à savoir le principe de fonctionnement des codeurs et des décodeurs, les divers bruits limitant les performances du système ainsi que les différents codes utilisés pour le codage SAC-OCDMA.

Le dernier chapitre présente l'étude du système SAC-OCDMA-FSO, où le code LSC avec mappage adaptatif est utilisé pour le codage spectrale. Le logiciel MATLAB est utilisé pour évaluer le BER et les différents bruits dans différents types de brouillard.

Le manuscrit est terminé par une conclusion générale qui résume le travail effectué.

CHAPITRE01

**Transmission optique
en espace libre**

1.1. INTRODUCTION

Free Space Optics (FSO) ou optiques en espace libre est une technologie optique qui permet la transmission de tous types de données avec un débit égal à celui de la fibre optique tout en ayant la souplesse et les avantages du sans fil. Elle constitue une alternative aux faisceaux hertziens et aux câbles optiques afin de faire face aux besoins croissants en matière de télécommunication à débits élevés [1].

Dans ce chapitre nous présentons la technologie FSO, en décrivant le principe de base et les caractéristiques des équipements utilisés en émission et en réception.

1.2 HISTORIQUE SUR LA TECHNOLOGIE FSO

Le concept de l'utilisation de la lumière en espace libre dans les télécommunications, n'est pas récent. La première communication optique à travers l'espace libre été l'expérience de Photophone (figure1.1) par Alexander Graham Bell en 1880, brevet déposé le 3 juin 1880[2]. Dans son expérience, Bell a modulé le rayonnement solaire avec un signal vocal et l'a transmis sur une distance d'environ 200 mètres, le récepteur est constitué d'un miroir parabolique avec une cellule de sélénium à son point focal [2].

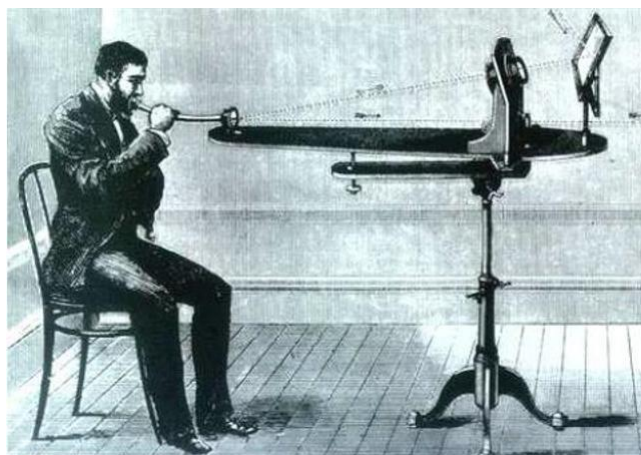


Fig 1.1 Le photophone proposé par Graham Bell [2]

L'invention du laser en 1960, a annoncé la véritable naissance de la technologie des systèmes de télécommunications FSO. Cette technologie a été développée essentiellement pour des applications dans le domaine de la défense et de l'ingénierie aérospatiale .Les liaisons optiques sans fil sont apparues, comme une option commerciale, à la fin des années 80s. Plusieurs restrictions technologiques; faible débit, courte distance de transmission, problèmes d'alignement ainsi que leur fragilité aux conditions météorologiques ont limités

l'utilisation de cette technologie. A la fin des années 90s, avec l'apparition de l'internet et le grand besoin en matière de débit dans le secteur des télécommunications, que plusieurs compagnies de télécommunications ont développés une "Nouvelle Génération" de systèmes de communication laser sans fil pour l'usage commercial[2].

1.3. PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE FSO

La communication sans fil à haut débit, est partagée entre les transmissions radio fréquence et les transmissions optiques en espace libre. En effet, à l'inverse des transmissions radio, les transmissions optiques ne nécessitent aucune autorisation et permettent d'accéder à un débit beaucoup plus important que celui des transmissions radio [3].

Une liaison optique sans fil consiste à utiliser le rayonnement optique, comme un signal porteur, pour transférer des données entre deux points de l'espace. Dans ce cas de liaisons, les canaux de propagation du signal optique pourraient être l'espace lointain, l'atmosphère ou l'eau de mer[3]. Une liaison optique en espace libre se base essentiellement sur une visibilité directe LOS (Line of Sight) entre les deux extrémités du système de communication (l'émetteur et le récepteur). La communication optique sans fil est théoriquement possible tant qu'il y a une visibilité directe entre la source et la destination, et la puissance de rayon est suffisante pour atteindre l'autre extrémité. La figure 2.1 présente un exemple d'architecture réseau basée sur les liaisons optiques sans fil [3].

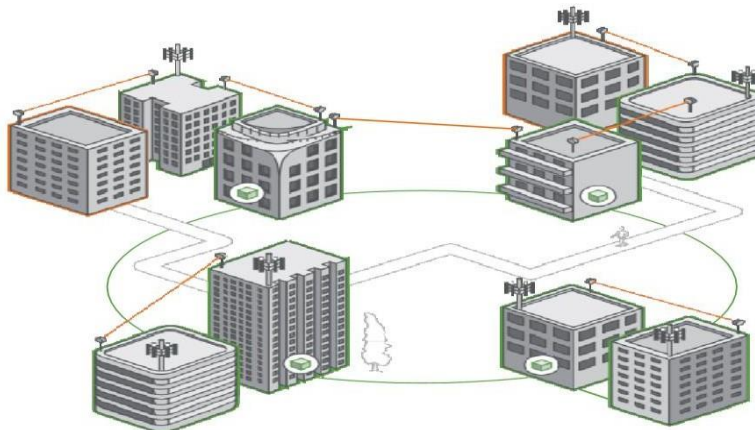


Fig.1.2 Exemple d'architecture d'un réseau FSO [3].

Du point de vue fonctionnement, les équipements FSO utilisent la modulation d'un faisceau laser pour échanger des informations binaires dans les deux sens (Full-Duplex) par l'intermédiaire d'un couple Emetteur/Récepteur à chaque extrémité. En général, c'est une liaison point à point, cependant, il existe des équipements FSO considérés comme des liaisons

point à multipoint [3].

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES LIAISONS FSO

Comme tous les systèmes de communication, le système FSO comprend trois parties : émetteur, canal de propagation et récepteur, comme le montre la figure suivante.

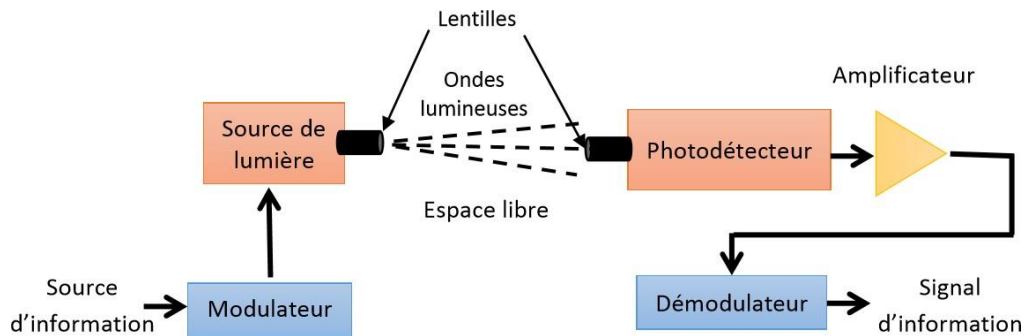


Fig1.3 Système de communication FSO en visibilité directe [4]

L'émetteur

Ce bloc assure l'intégration des données sur la porteuse optique. Dans ce bloc différentes techniques de modulation peuvent être utilisées.

La modulation d'intensité

Le principe de base de ce type de modulation est donné par la figure 1.4. Appelée aussi modulation directe, cette technique consiste à la transmission des informations en faisant varier directement le courant de la source optique en correspondance avec les données à transmettre [4].

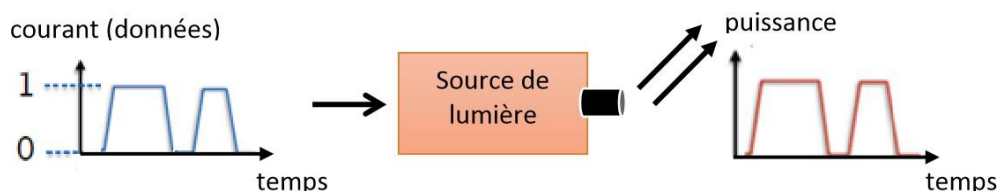


Fig1.4 Principe de la modulation directe [4].

La modulation externe

Dans ce type de modulation, un dispositif externe est utilisé pour réaliser la modulation de l'intensité comme le montre la figure 1.5. La source optique reçoit une puissance électrique continue, et le signal optique de la sortie qui sera ensuite modulé. μ

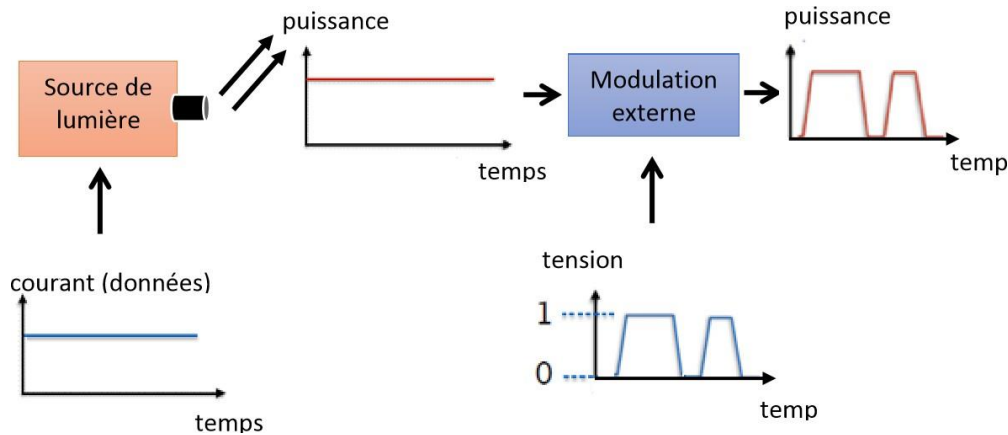


Fig 1.5 Principe de la modulation externe [4].

Une source optique qui peut être facilement modulée à un débit très élevé est une des clés principales dans tout système de communication optique. Pour les systèmes de communications optiques sans fil, les sources les plus utilisées sont les sources optiques à base de semi-conducteurs [4]. On distingue :

Les diodes électroluminescentes

Diodes électroluminescentes (Light Emitting Diode : LED) sont des composants optoélectroniques qui émettent la lumière. Ces composants sont caractérisés par une puissance d'émission relativement faible, leur vie extrêmement longue et le faible coût de fabrication. Les LED sont généralement utilisées dans des applications sur des courtes distances [4].

Les diodes laser

Contrairement aux diodes électroluminescentes, les diodes laser présentent des avantages significatifs pour les applications de longue distance. Les diodes lasers se basent sur trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière : l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée. Pour les applications FSO, la sélection d'une source laser dépend de divers facteurs. Le facteur le plus important est que la longueur d'onde de transmission doit appartenir à des fenêtres atmosphériques (des bonnes fenêtres atmosphériques sont autour de 850 *nm* et 1550 *nm*) [4].

Canal de propagation

Pour notre cas d'étude des systèmes FSO, le canal de propagation est le milieu

atmosphérique qui est un milieu complexe pouvant affecter les caractéristiques du signal lumineux émis. Les liaisons FSO sont soumises donc à des contraintes pénalisantes imposées par le milieu de propagation atmosphérique. Ces contraintes entraînent une atténuation ou l'extinction du signal optique au cours de la propagation et donc une limitation de la portée entre l'émetteur et le récepteur. L'extinction atmosphérique est causée par plusieurs phénomènes sélectifs en longueurs d'ondes [4]:

- L'absorption moléculaire (N₂, O₂, H₂, HO, CO₂, O₃, ...)
- La diffusion moléculaire
- L'extinction par les particules en suspension (aérosols, glace, poussière, fumées, ...);
- Brouillard,
- Précipitation (pluie, neige, ...)
- La turbulence (scintillation).

Le récepteur

Ce bloc permet d'extraire les données transmises du champ optique incident. Il comporte les éléments suivants [4] :

- Module de réception optique : une photodiode,
- Filtrage et amplification du signal numérique électrique ;

Modes de détection

Deux modes de détection sont envisagés pour capter le rayonnement électromagnétique [4]:

Détection incohérente : Pour récupérer les informations, on les associe à la variation de l'intensité du champ transmis.

Détection cohérente : elle repose sur le mélange du rayonnement à détecter et l'onde de référence, créé au niveau du capteur. Elle exige des montages interférométriques plus difficiles à réaliser en optique à cause de l'utilisation des petites longueurs d'ondes[4]. La détection directe est préférée par rapport à la détection cohérente, pour raison de simplicité et de coût.

Photodiodes

Comme pour les sources optiques, les photodiodes les plus utilisées dans les systèmes de communications FSO sont des photodiodes à semi-conducteurs. Cela à cause de leurs tailles très petite, grande sensibilité et gammes de longueurs d'onde de fonctionnement

différentes [4].

La photodiode PIN (Positive Intrinsic Negative) est constituée par trois zones : une première dopée P, une deuxième zone intrinsèque I (zone d'absorption) et une troisième dopée N, d'où le nom du composant. La largeur de la zone intrinsèque I est optimisée afin de maximiser le rendement, en effet, il est préférable que cette zone soit large d'où l'intérêt de la photodiode PIN. Pour augmenter encore la sensibilité, une couche diélectrique antireflet est placée sur la fenêtre du dispositif photo-détecteur. Le rayonnement est presque entièrement absorbé dans la zone intrinsèque I. Le temps de réponse de la photodiode PIN doit être très bref, il est limité par deux facteurs : la capacité de jonction et le temps de transit, le temps de réponse est amélioré en augmentant la tension de polarisation inverse, ce qui réduit la capacité et le temps de transit [5].

La photodiode à avalanche APD (Avalanche Photodiode) ici les électrons créés dans la zone intrinsèque I sont multipliés par l'effet d'avalanche afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment important, l'idée d'utiliser ce phénomène de multiplication interne a été soulevée pour qu'un photon incident n'engendre plus un seul photoélectron mais plusieurs, ceci pour augmenter la puissance du signal électrique correspondant à la puissance optique incidente donnée. Le temps de réponse de la photodiode APD est plus long par rapport à celui de photodiodes PIN, car, un délai supplémentaire est dû au phénomène d'ionisation [5].

LES AVANTAGES DES LIAISONS FSO

Outre leur coût peu élevé et leur facilité d'installation, les dispositifs FSO ne requièrent pas de licence d'utilisation du spectre contrairement aux systèmes radiofréquences. De plus, la taille réduite du faisceau laser rend la détection, l'interception ou le brouillage très difficile. La sécurité intrinsèque des dispositifs FSO, plus élevée que celle des liaisons radioélectriques, permet ainsi de transférer des données sensibles sans codage [6].

LES INCONVENIENTS DES LIAISONS FSO

Cette liaison est vulnérable à un certain nombre de facteurs [6] :

- l'obstruction physique.
- les conditions météorologiques qui limitent la portée des FSO notamment en cas de brouillard (les fines particules d'eau présentes dans le brouillard diffusent la lumière aux fréquences utilisées).

- les effets de scintillations, conséquences des turbulences atmosphériques, qui engendrent des variations de l'indice optique de l'air de façon localisée et temporaire. Lorsque le signal se propage dans l'air, la puissance reçue sur le détecteur varie en raison de ce phénomène ce qui engendre des erreurs d'interprétation des signaux transmis.

APPLICATIONS DES SYSTÈMES FSO

La liaison de communication FSO est actuellement utilisée pour de nombreux services à de nombreux endroits [7]:

- **Accès sans fil extérieur** : il peut être utilisé par les fournisseurs de services sans fil pour la communication et ne nécessite aucune licence pour utiliser le FSO, comme cela est requis dans le cas des bandes micro-ondes.
- **Accès au dernier kilomètre** : poser les câbles des utilisateurs dans le dernier kilomètre est très coûteux pour les fournisseurs de services car le coût de creusement pour poser la fibre est si élevé qu'il serait logique de poser autant de fibre que possible. FSO peut être utilisé pour résoudre ce problème en l'implémentant dans le dernier kilomètre avec d'autres réseaux.
- **Connectivité d'entreprise** : les systèmes FSO sont faciles à installer. Cette caractéristique le rend applicable pour interconnecter des segments LAN (Local Area Network) pour connecter deux bâtiments.
- **Fibre de secours** : la technique FSO peut être utilisé pour fournir une liaison de secours en cas de défaillance de la transmission par fibre optique.
- **Extensions de réseau métro** : FSO peut être utilisé pour étendre les anneaux de fibre d'une zone métropolitaine existante.
- Elle peut être utilisé pour communiquer entre des liaisons point à point, par exemple, deux bâtiments, deux navires, et des liaisons point à multipoint, par exemple, d'un aéronef au sol ou d'un satellite au sol.
- **Accélération de service** : elle peut également être utilisée pour fournir un service instantané aux clients lorsque leur infrastructure de fibre est en cours de déploiement.
- **Accès militaire** : comme il s'agit d'un système sécurisé et indétectable, il convient aux applications militaires, il peut connecter de vastes zones en toute sécurité avec un temps de planification et de déploiement minimal.

CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS FSO

Les systèmes de communications optiques sans fil sont caractérisés par [3] :

- Faible coût
- Flexibilité
- Énorme bande passante de modulation
- Faisceau de taille étroite
- Un spectre ne nécessitant pas de licence
- Rapide à déployer et redéployer
- Performance liée aux conditions climatologiques

LA LIAISON FSO ET LES EFFETS ATMOSPHERIQUES

L'interaction entre le faisceau laser et les molécules d'air et les aérosols le long de la propagation produit l'atténuation atmosphérique. La puissance du faisceau a une relation de décroissance exponentielle avec la distance de propagation [8].

La transmission pour une longueur d'onde optique est la relation entre la puissance transmise P_t et la puissance reçue P_{sr} d'une distance de liaison atmosphérique L . Selon la loi de Beer-Lambert, comme indiqué en (1), la transmission optique τ est :

$$(\lambda, L) = r_s + r_a = \frac{P_{sr}}{P_t} \quad (1.1)$$

Où γ est le coefficient d'atténuation global, résultant de quatre processus individuels (coefficients d'absorption moléculaire et d'aérosol en plus des coefficients de diffusion moléculaire et d'aérosol), r_s est la transmission de diffusion et r_a est la transmission d'absorption [8].

Atténuation du brouillard

Les deux principaux mécanismes de diffusion sont la diffusion de Rayleigh et la diffusion de Mie. La diffusion Rayleigh se produit lorsque la longueur d'onde de la lumière est supérieure à la taille des particules, et la diffusion Mie se produit lorsque la taille des particules est comparable à la longueur d'onde du rayonnement [8]. Le brouillard est le principal diffuseur de photons car sa taille de particule se compare très bien à la bande de longueur d'onde

d'intérêt dans le FSO (0.5 μm – 2 μm), ce qui fait de la diffusion de Mie le processus de diffusion dominant dans les systèmes FSO. La transmittance de diffusion est donnée par (2) :

$$r_s = e^{-\gamma_{fog} L} \quad (1.2)$$

Où γ_{fog} est l'affaiblissement dû au brouillard donné par :

$$\gamma_{fog}(\lambda) = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-\delta} \quad (1.3)$$

Ici, V représente la visibilité en km, λ représente la longueur d'onde en nm et le paramètre δ est la dépendance de la visibilité. D'après (3), il est clair que pour toutes les conditions météorologiques, la longueur d'onde est inversement proportionnelle à l'atténuation. Pour le modèle de Kruse δ est donné par [8] :

$$\delta = \begin{cases} 1.6 & V > 50\text{km} \\ 1.3 & 6\text{km} < V < 50\text{km} \\ 0.58 V^{1/3} & V < 6\text{km} \end{cases} \quad (1.4)$$

Kim a proposé un autre modèle où la valeur de δ donnée par:

$$\delta = \begin{cases} 1.6 & V > 50\text{km} \\ 1.3 & 6\text{km} < V < 50\text{km} \\ 0.16V + 0.34 & 1\text{km} < V < 6\text{km} \\ V - 0.5 & 0.5\text{km} < V < 1\text{km} \\ 0 & V < 0.5\text{km} \end{cases} \quad (1.5)$$

Al Naboulsi a fourni des relations pour prédire l'atténuation du brouillard. Il décrit séparément le brouillard d'advection et de rayonnement pour les longueurs d'onde de 690 à 1550 nm. Le brouillard d'advection est créé par les mouvements de masses d'air humide et chaud au-dessus des surfaces maritimes et terrestres plus froides [8]. Al Naboulsi fournit les coefficients d'atténuation du brouillard d'advection comme suit :

$$\gamma_{advection}(\lambda) = \frac{0.114 \dots \dots \dots 3.3}{V} \quad (1.6)$$

Le brouillard de rayonnement est lié au refroidissement du sol par rayonnement. Al Naboulsi fournit les coefficients d'atténuation du brouillard de rayonnement a :

$$\gamma_{Radiation}(\lambda) = \frac{0.11 \quad 0.13 \quad 0.9 \quad 3.3}{V} \quad (1.7)$$

L'atténuation spécifique pour les deux types de brouillard est donnée par Al Naboulsi comme suit :

$$a_{\text{spec}} = \frac{10}{\ln(10)} y(\lambda) \quad (1.8)$$

Atténuation par la pluie

Les précipitations augmentent le coefficient de diffusion. La transmission de la pluie peut être donnée par :

$$\tau_{\text{rain}} = e^{-y_{\text{rain}} \cdot L} \quad (1.9)$$

où y_{rain} est l'atténuation spécifique à la pluie en (dB/km) et elle est donnée par [8]:

$$y_{\text{rain}} = a R_{\text{rain}}^b \quad (1.10)$$

Où R_{rain} le taux de précipitations en mm/hr, a et b sont des paramètres de loi de puissance qui dépendent de la fréquence, de la taille des gouttes de pluie, de la température de la pluie et de la polarisation.

CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de fonctionnement des liaisons de transmission optique en espace libre (Free Space Optics : FSO). La chaîne de transmission avec ses trois parties a été explicitée à savoir la modulation à l'émission et la détection à la réception. Nous avons cité également, les caractéristiques des systèmes FSO, leurs avantages et inconvénients, leurs applications en plus des effets atmosphériques perturbant la liaison de transmission.

CHAPITRE 2

**OCDMA à codage
spectral d'amplitude**

INTRODUCTION

Le codage spectral d'amplitude (Spectral Amplitude Coding : SAC) est l'une des nombreuses techniques développées pour les systèmes OCDMA (Optical Coding Division Multiple Access) qui ont fait l'objet d'une grande attention en raison de la réduction des effets d'interférences d'accès multiple (IAM), de la simplicité et de son faible coût de réalisation[9].

Dans ce chapitre, nous parlerons dans un premier temps sur le principe de base de la technique SAC-OCDMA, ses différents types d'encodage et décodage ainsi que les différents bruits présents dans les systèmes basé sur cette technique. Enfin, nous présentons quelques codes utilisés sur lequel notre étude est basée.

SYSTEME SAC-OCDMA

Dans un système SAC-OCDMA, chaque code d'utilisateur est assigné à une empreinte spectrale unique aux données de l'abonné [10]. Les codes seront utilisés pour coder les données de chaque utilisateur. En suite, les signaux résultants seront combinés et transmis sur le même canal (dans notre cas l'espace libre). Au niveau du récepteur, et pour chaque utilisateur, les longueurs d'onde du code correspondant seront recombinaés pour restituer le signal optique transmis. Ce dernier sera convertit en signal électrique afin d'obtenir le signal de données envoyé.

Encodage d'un signal SAC-OCDMA

Les systèmes fonctionnant à base du SAC-OCDMA partagent la même bande optique. La procédure d'encodage de données consiste à attribuer une combinaison de longueur d'onde bien spécifique est différent à celles des codes des autres utilisateurs comme le montre la figure suivante [10].

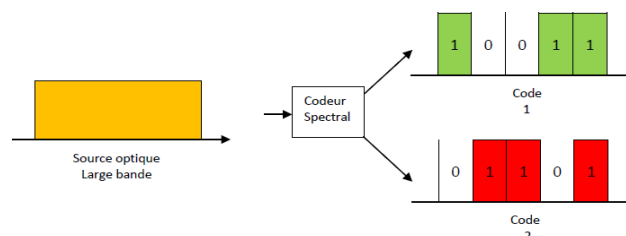


Figure 2.1 : codage spectrale en SAC-OCDMA[9]

Les technologies utilisées pour l'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 [11] :

- **Encodage avec masque d'amplitude**

Le principe de fonctionnement de cette technique est basé sur l'utilisation de deux réseaux de diffraction comme le montre la figure 2.2. Le premier assure la séparation angulaire des différentes composantes fréquentielles. Il est suivi d'un masque d'amplitude inséré dans un plan orthogonal à l'axe de propagation pour supprimer les composantes spectrales voulues. Ensuite, une lentille est utilisée avec le deuxième réseau de diffraction, pour recombinaison des composantes spectrales restantes [12].

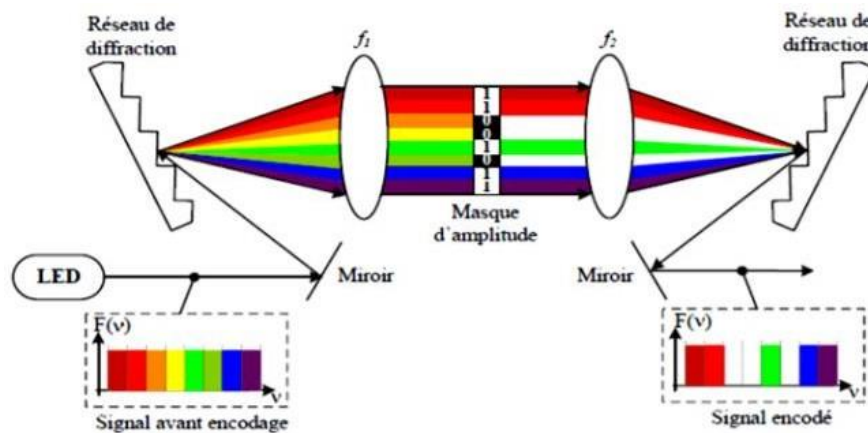


Figure 2.2 : Encodage SAC-OCDMA réalisé avec un masque d'amplitude [12]

- **Utilisation d'un réseau sélectif planaire (Arrayed Waveguide Grating : AWG)**

Le principe de cette technique est illustré par la figure 2.3. Il est basé sur l'utilisation de deux AWGs (1xN) en cascade. Le premier AWG présente une tranche spectrale déterminée à la sortie de chacune de ses branches. En branchant uniquement certaines sorties aux entrées du deuxième AWG, il est donc possible d'obtenir un code spectral [12].

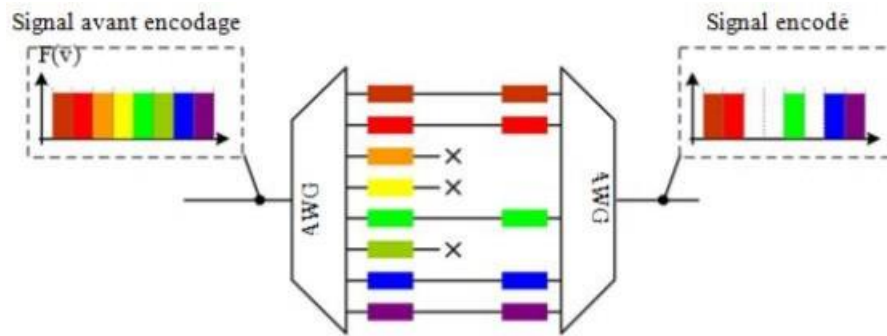


Figure 2.3 : Encodage SAC-OCDMA réalisé avec des AWG[10]

▪ Utilisation de réseaux de Bragg

La figure 2.4 illustre l'utilisation de réseaux de Bragg pour le codage SAC-OCDMA. Ce codage est possible à réaliser puisque le réseau de Bragg peut être défini comme un composant sélectif en longueur d'onde. Chaque réseau de Bragg permet de supprimer une bande de fréquences qui n'est pas contenue dans le code SAC-OCDMA [2].

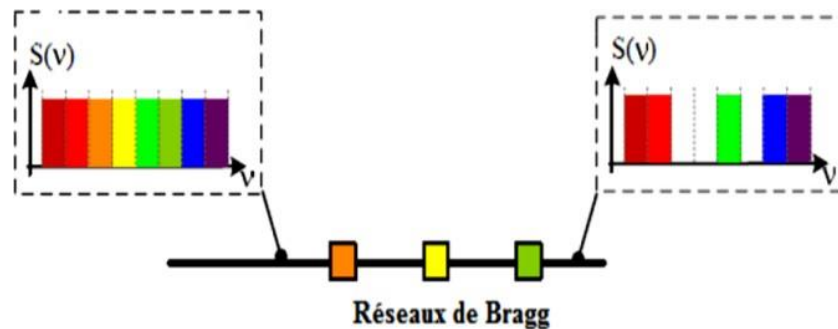


Figure 2.4 : Encodage SAC-OCDM réalisé par Réseaux de Bragg [10]

▪ Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs optiques

Cette technique est la plus utilisée. Elle consiste à diviser le spectre large bande de la source optique en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale à l'aide d'un démultiplexeur $1 \times N$. A partir des sorties du DEMUX, chaque utilisateur utilise un multiplexeur, pour rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale comme le montre la figure suivante [2].

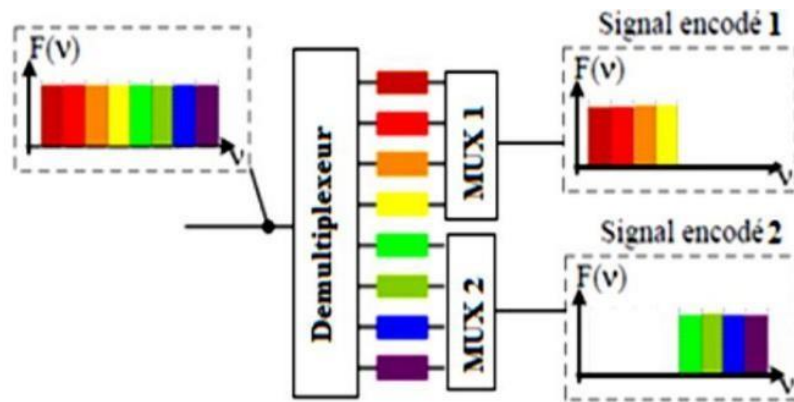


Figure 2.5 : Encodage SAC-OCDMA réalisé par un démultiplexeur et deux multiplexeurs[10]

Décodage d'un signal SAC-OCDMA

A la réception les données de tous les utilisateurs seront réunies il faut donc utiliser le code de chaque utilisateur pour restituer la donnée qui lui est propre, pour cela il existe plusieurs méthodes de détection, par exemple:

Détection balancée par la méthode complémentaire

L'implémentation de la technique de la soustraction complémentaire est montrée dans la figure 2.6. Au niveau du récepteur, le signal reçu est divisé en deux branches dont la première contient le même code que celui utilisé du côté de l'émetteur tandis que la seconde contient le complément du premier code. Ensuite, on effectue la soustraction qui indique qu'il n'y a aucune erreur, si le résultat obtenu est un zéro, sinon une erreur existe [13].

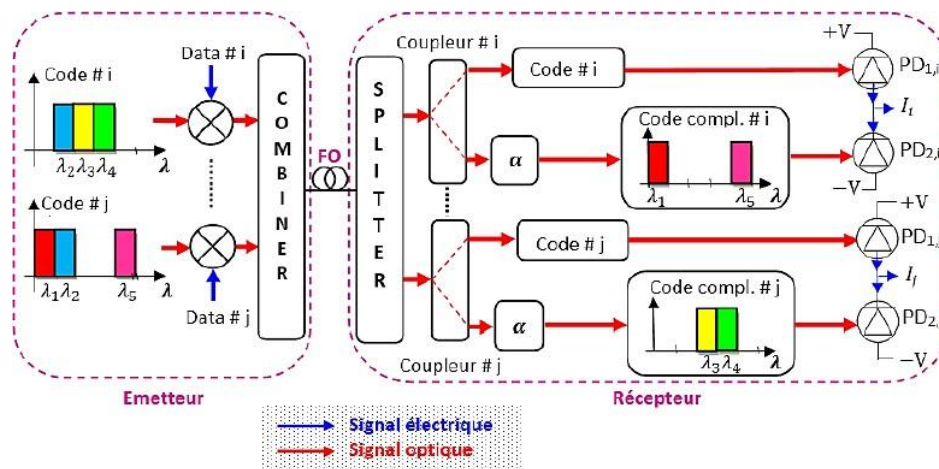


Figure 2.6 : Architecture d'un système SAC-OCDMA à détection balancée [2]

L'utilisation d'une photodiode balancée permet d'obtenir la soustraction des photocourants issus des deux photodiodes distinctes. Un atténuateur de paramètre α est également inséré pour ajuster la détection balancée avec précision.

Le facteur d'atténuation α peut être calculé comme suit :

$$\alpha = \lambda c / (w - \lambda) \quad (2.1)$$

Avec :

- W : le poids du code (nombre de 1 qu'il contient) ;
- λc : la corrélation croisée (nombre de 1 commun entre les codes).

2.2.2.2 Détection directe

C'est une technique similaire à la technique balancée, mais avec $\alpha=0$ (suppression de la deuxième branche) donc une seule branche de décodeur et de détecteur est nécessaire (voir Figure 2.7) [9].

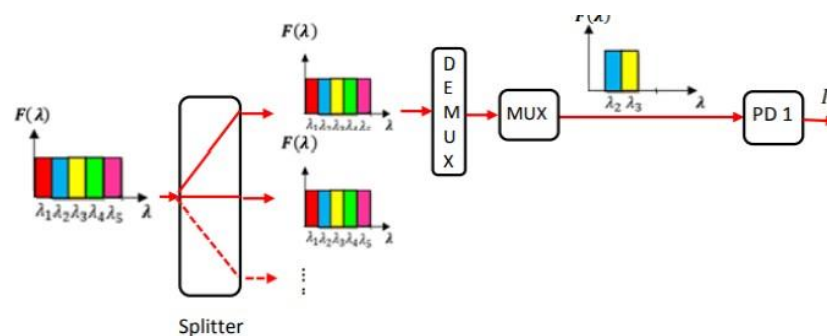


Figure 2.7 : Principe de la détection directe [14]

Détection AND

Le détecteur AND est représenté par la figure 2.8 [15], il se compose de deux branches, la première est constituée d'un décodeur direct, tandis que la deuxième est constituée du soustracteur AND. Le décodeur a une réponse spectrale identique à celle de l'émetteur, alors que le soustracteur AND est constitué des fréquences des chips en commun des différents signaux interférents. Les chips en commun peuvent être représentés mathématiquement par une opération AND entre le code de l'utilisateur actif et les codes des interférents. Le photo-détecteur est composé de deux photodiodes connectées en opposition. Le signal de sortie est donc proportionnel à la différence de puissance des deux entrées optiques. Dans la présence d'un interférent, la différence entre les deux signaux est supprimée. Le signal de sortie est ensuite filtré par un filtre passe bas pour réduire le bruit de hautes fréquences. Après le circuit de décision, le signal original de données est restitué.

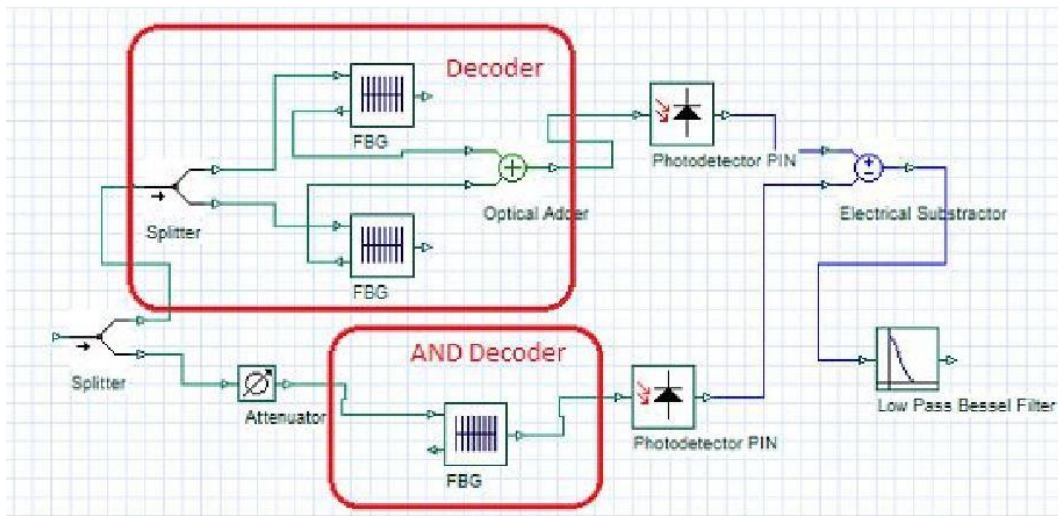


Figure 2.8 : Méthode de détection AND[15]

Détecteur SPD

La figure 2.9 représente le détecteur SPD (Single Photo Diode). Le signal reçu est décodé par la même réponse spectrale du codeur. Le décodeur détecte W chips pour l'utilisateur actif ou λ_c chips pour un interférent. Le reste du signal (sortie du décodeur direct) est ensuite transmis au décodeur soustracteur (S-Decoder) pour éliminer les signaux interférents. Le décodeur soustracteur contient seulement les fréquences des chips des différents interférents. La sortie du S-Decoder est soit zéro pour l'utilisateur actif, soit λ_c pour un interférent. Cela implique que les signaux interférents sont supprimés dans le domaine optique avant la conversion du signal de données optique. Donc, le détecteur SPD, élimine les interférences d'accès multiples dans le domaine optique.

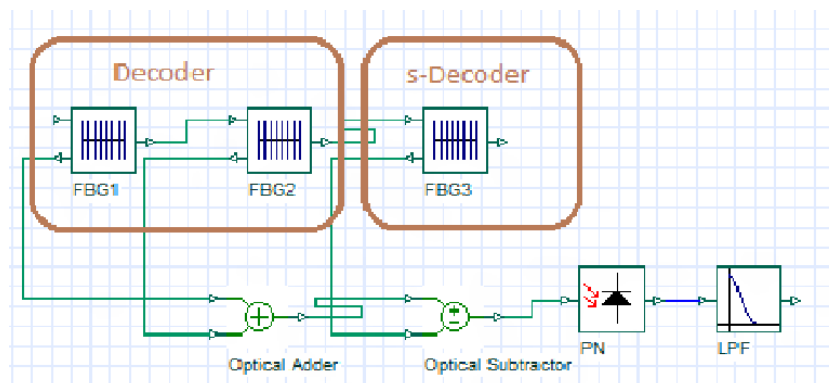


Figure 2.9 : Méthode de détection SPD [15]

BRUIT EN SAC-OCDMA INCOHERENT

Dans les systèmes SAC-OCDMA, les trois bruits principalement observés lors de la détection d'un signal non cohérent sont :

Bruit thermique

Le bruit thermique est engendré par la résistance de la charge du photo-détecteur. Ce bruit introduit une variance σ^2_{TH} présenté par l'expression suivante [11][14] :

$$\sigma^2_{TH} = (4 k_B T_n B) / R_l \quad (2.2)$$

k_B : est la constante de Boltzman en [J.K-1].

T_n : la température en [°K].

$B = \Delta f$: la bande passante du récepteur en [Hz].

R_l : la résistance de charge du système de photo-détection en [Ω].

La puissance de ce bruit ne varie pas avec la tension moyenne V . Il est donc le bruit dominant à basse tension et donc à basse puissance optique.

Le bruit de grenaille (shot noise)

Ce bruit est du au caractère aléatoire de la création de paires .électron-trou dans la photodiode. Il obéit à une statistique de Poisson. La variance σ^2_{sh} de ce bruit est définie par la relation [16] [12]:

$$\sigma^2_{sh} = 2.e.B.I \quad (2.3)$$

Avec :

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

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

B : bande passante électrique équivalente au bruit du récepteur.

Bruit d'intensité induit par la phase PIIN

Ce bruit est dû à la nature quadratique de la détection. Or, le signal émis par une source large bande est la somme d'une infinité de champs électriques dont l'amplitude et la phase sont aléatoires. Son effet est proportionnel à la puissance du photo-courant généré et sa variance s'écrit sous la forme suivante :

$$\sigma^2_{PIIN} = I^2.B.\tau_c \quad (2.4)$$

τ_c : tempe de concordance de source.

Dans les systèmes SAC-OCDMA, le PIIN est fortement lié à l'IAM dû au recouvrement spectral des différents utilisateurs. Le bruit de phase des champs au niveau du photo-détecteur surgit en raison du mélange de deux champs de lumières non-corrélés, d'intensité négligeable qui ont la même polarisation, le même spectre et la même intensité. Pour supprimer le PIIN, la valeur de l'inter-corrélation devrait être maintenue petite le plus possible ou égal à zéro [12].

LE CODAGE EN SAC-OCDMA

La recherche de codes appropriés est l'un des principaux défis des applications SAC-OCDMA et est donc un sujet important qui est largement traité dans la littérature. Dans les systèmes SAC-OCDMA, la longueur des codes est un paramètre important. Il est souhaitable d'avoir un code avec plus petite longueur car cela nécessitera une bande passante plus petite et moins de filtres au niveau du codeur ainsi que du décodeur, ce qui réduira la complexité et le coût des systèmes.

Les paramètres utilisés dans le codage SAC-OCDMA

Nous ferons souvent référence à une famille de codes en la désignant par son nom et l'ensemble (L, W, λ, K) ou de manière plus précise (L, W, λ, K) . Ces paramètres sont [11][12]:

- **La longueur (L)**

La longueur du code est notée L . Il s'agit du nombre de «1» et de «0» dans le code. Nous ne considérons que les familles de codes ayant une longueur constante.

- **Le poids (W)**

Le poids du code, noté W , est le nombre de «1» contenu dans ce code.

- **La corrélation croisée (λ)**

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.

- **La cardinalité (K)**

La cardinalité K est le nombre maximum d'utilisateurs qu'un code peut supporter.

Les différents codes SAC-OCDMA

Différents codes ont été appliqués à différents réseaux et systèmes de communication SAC-OCDMA et leurs performances ont été étudiées telles que [17] : le code OOC (Optical Orthogonal Codes), le code MFH (Modified Frequency-Hopping), le code MQC (Modified Quadratic Congruence), le code RD (Random Diagonal), le code MS (Multi-Service) ; le code EDW (Enhanced Diagonal Weight) etc...

Ces codes peuvent réduire les interférences d'accès multiple (MAI) mais ne peuvent pas supprimer le bruit PIIN, qui dégrade les performances du système. Le bruit PIIN est lié aux interférences MAI en raison du chevauchement de spectres des différents utilisateurs. Les codes à inter-corrélation nulle ont été ensuite introduits tels que : le code ZCC (Zero Cross Correlation), le code NZCC (New Zero Cross Correlation), le code MMS (Modified Multi-Service), le code MD (Multi Diagonal), le code PMZCC (Permutation Matrix Zero Cross Correlation). Ces codes peuvent éliminer complètement MAI et PIIN car il n'y a pas de chevauchement entre les mots du code, ce qui signifie que le nombre d'utilisateurs actifs peut être augmenté et qu'il n'est pas nécessaire de construire une structure complexe du récepteur. Les performances de ces codes ont été étudiées et comparées aux familles de codes qui présentent une inter-corrélation non nulle.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts développés pour un système SAC-OCDMA. Nous avons détaillé l'encodage lors de l'émission et le décodage lors de la réception tout en donnant les différentes méthodes utilisées. Nous avons présenté ensuite quelques codes adaptés au système SAC-OCDMA. Nous avons présenté également les différents bruits qui existent dans les systèmes optiques et en particulier dans les systèmes SAC-OCDMA.

CHAPITRE 3

Résultats et simulations

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons l'évaluation des performances du système SAC-OCDMA-FSO. Dans cette étude, le code LSC (Latin Square Code) avec une nouvelle technique de mappage (Adaptive Mapping Technique :AMT)est utilisé pour le codage et en adoptant une détection direct. Nous considérons le taux d'erreur binaire (BER) comme critère pour juger les performances de ce système. Nous évaluons également l'effet des différents bruits existants dans ce type de système de transmission.

Pour réaliser ce travail, le logiciel Matlab a été utilisé pour tracer les courbes théoriques du BER et des bruits en présence de différentes conditions météorologiques de Brouillard telles que : Brouillard dense, Brouillard modéré, Brouillard léger et Temps clair.

DESCRIPTION DU SYSTEM SAC-OCDMA-FSO

La liaison de transmission SAC-OCDMA-FSO se compose de trois parties, comme illustré par la figure 3.1.

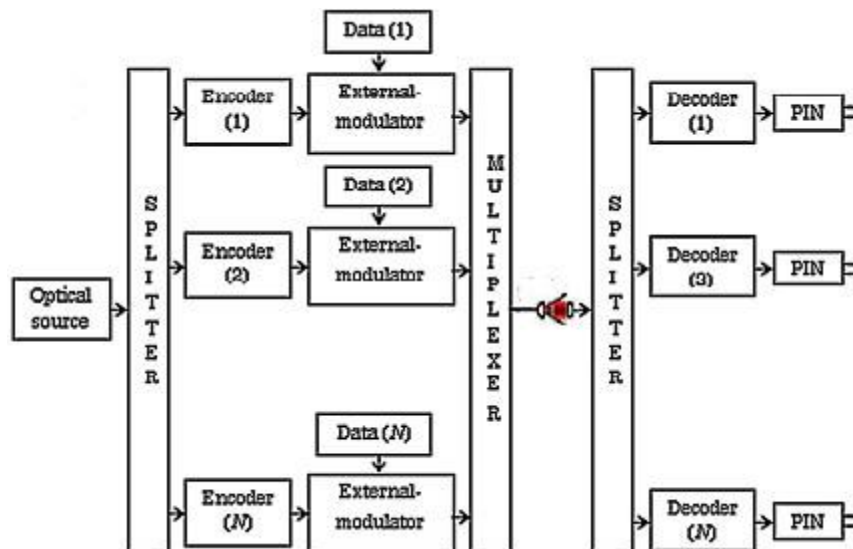


Figure 3.1 : Schéma bloc d'un système SAC-OCDMA-FSO

Côté émetteur

Les données de chaque utilisateur sont codées en attribuant un code spectral. Ce dernier permet la transmission de l'information sans interférence excessive entre les données utilisateurs. Les longueurs d'onde correspondant à chaque mot de code sont combinées à l'aide d'un coupleur optique puis modulées par un modulateur externe. Les signaux modulés de tous

les utilisateurs sont ensuite multiplexés ensemble pour être envoyés via une liaison FSO. Le codage des données est basé sur le code LSC avec une technique adaptative de mappage.

Canal FSO

La particule de brouillard est composée de très fines gouttelettes d'eau ou de glace, ou d'une combinaison de celles-ci près de la surface de la terre. Ces particules dispersent la lumière et réduisent ainsi la visibilité. L'atténuation du brouillard peut altérer le signal jusqu'à 480 dB/km, ce qui signifie que le brouillard est très critique pour les liaisons FSO [18].

Le coefficient d'atténuation général, est déterminé analytiquement par différents modèles de prédiction tels que (le modèle de Kruse, de Kim,...). Dans notre cas d'étude, nous avons utilisé le modèle de Kim.

Côté récepteur

Le signal optique combiné reçu est divisé par un séparateur puis décodé par un décodeur pour chaque utilisateur. Du fait de l'absence de chevauchement entre les codes LSC ($\lambda_c=0$), qui élimine les interférences d'accès multiple et le bruit PIIN, l'utilisation d'un simple détecteur direct est suffisante sans qu'il soit nécessaire de construire une structure complexe du récepteur. Le détecteur direct contient un seul décodeur qui a une réponse spectrale identique à celle de l'encodeur. Cette technique est très simple, moins coûteuse et elle permet de détecter le spectre du signal recherché si les codes utilisées sont orthogonales. Enfin, une fois que le signal optique de l'utilisateur souhaité est formé, il est converti en une forme électrique à l'aide d'un photo-détecteur (PIN), qui est ensuite transmis à travers un filtre passe-bas (LPF) et les signaux indésirables sont éliminés et le signal original est obtenu.

GENERATION DU CODE LSC AVEC LA TECHNIQUE AMT

Le code LSC est généré en suivant les étapes suivantes :

✓ Étape 1 :

Construire une matrice carrée latine, M , d'ordre W . Les éléments de cette matrice sont des nombres distincts (entre 0 et $W-1$) disposés de telle sorte que chaque nombre n'apparaisse qu'une seule fois dans chaque ligne et chaque colonne [19].

Par exemple, pour $W = 4$, M peut être exprimé sous la forme suivante :

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

En général, chaque élément de la matrice M peut être déterminé par [19]:

$$M(i, j) = (iW + j) \bmod W ; 0 \leq j \leq (W - 1), 0 \leq i \leq (W - 1) \quad (3.2)$$

✓ **Étape 2 :**

Les séquences LSC de base sont générées en se basant sur l'équation suivante :

$$C_B(i, k) = \begin{cases} 1 & ; k = M(i, j) + jW ; 0 \leq j \leq (W - 1), 0 \leq i \leq (W - 1) \\ 0 & ; \text{si non} \end{cases} \quad (3.3)$$

Pour W= 4, les séquences LSC de base sont représentées par le tableau suivant :

Tableau 3.1 les séquences LSC de base pour W=4.

K \ I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0

Dans ce cas, la longueur minimale du code est 16 et le nombre d'utilisateurs minimal est 4.

Ainsi, le poids du code, la longueur minimale du code (L_B) et le nombre minimal d'utilisateurs (N_B) peuvent être liés comme suit [19] :

$$\begin{cases} L_B = W^2 \\ N_B = W \end{cases} \quad (3.4)$$

✓ **Étape 3 :**

La technique de mappage peut être utilisée pour augmenter le nombre d'utilisateurs tout en maintenant un poids fixe.

Technique de mappage conventionnelle

Ceci peut être réalisé en mettant en diagonale, m fois, le code matriciel de base, C_B . La matrice finale de code C'est donc donnée comme suit :

$$C = \begin{bmatrix} I & C_B^{(1)} & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ I & 0 & C_B^{(2)} & 0 & 0 & 0 & I \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I & 0 & 0 & C_B & 0 & 0 & I \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G^m \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Ici $C_B^{(x)}$ est le $x^{i\text{ème}}$ élément de mappage ($x = 1, 2, \dots, m$) et chaque «0» dans la matrice de mappage est une matrice nulle avec la même taille que C_B . Pour un nombre de mappage m donné, la longueur du code et le nombre d'utilisateurs sont donnés par [19]:

$$\begin{cases} L = m L_B \\ N = m N_B \end{cases} \quad (3.6)$$

Par exemple, pour augmenter le nombre d'utilisateurs actifs à 8 ($N = 8$) tout en maintenant $W=4$, la matrice C_B donnée par tableau 3.1 doit être répétée deux fois ($m=2$). La matrice finale de code devient :

$$C = \begin{bmatrix} I & C_B & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ I & 0 & C_B & 0 & 0 & 0 & I \\ I & 0 & 0 & C_B & 0 & 0 & I \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G^m \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Technique de mappage adaptatif

Différemment des approches de mappage classiques (conventional mapping techniques : CMT) présenté précédemment, dans ce mémoire, nous utilisons une nouvelle technique de mappage, (Adaptive mapping technique :AMT), dans laquelle la longueur du code varie de manière adaptative avec le nombre d'utilisateurs sans avoir besoin du facteur de mappage.

Pour N utilisateurs, il faut générer $\Delta=N -N_B$ mots de code en plus de ceux de la matrice de base. Cette technique peut être résumée par les étapes principales suivantes [20]:

Étape 1 : générer une matrice $C_{\delta,1}$ en introduisant une colonne de zéros après chaque 1 du $\delta^{\text{ème}}$ code.

Étape 2 : insérer une version décalée vers la droite de la $\delta^{\text{ème}}$ ligne obtenue en tant que

$(N_B + \delta)^{\text{ème}}$ ligne dans une matrice appelée $C_{\delta,2}$

Répétez les étapes 1 et 2 pour $\delta=1, 2 \dots \Delta$

Par conséquent, pour un nombre donné d'utilisateurs, N , la longueur du code est donnée par :

$$L = L_B + (N - N_B)W \quad (3.8)$$

Donc, elle varie de manière adaptative avec le nombre d'utilisateurs

3.3.1. Application de la technique AMT au code LSC

Le code matriciel de base pour $W = 4$ est donné par :

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

Ici. $L_B = 16$ et $N_B = 4$.

Pour augmenter le nombre d'utilisateurs à six ($N = 6$), nous devons générer $\Delta = 2$ mots de code. Ensuite, nous répétons les étapes de base de l'AMT seulement deux fois, par ex. δ prend les valeurs 1 et 2.

Pour $\delta = 1$

étape 1 :

$$C_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

étape 2 :

$$C_{12} = \begin{bmatrix} F & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ I & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ L & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pour $\delta = 2$

étape 1 :

$$C_{21} = \begin{matrix} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ F_0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ I_0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ IO & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ L_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

étape 2 :

$$C_{22} = \begin{matrix} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ F_0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ I_0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ IO & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ IO & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ L_0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Cette matrice représente donc les mots de code pour six utilisateurs d'une longueur de 24.

3.4 CALCUL DU BER POUR LE CODE LSC DANS UN CANAL FSO

Comme nous transmettons des données numériques, c'est-à-dire une succession de « 0 » et de « 1 », le critère le plus intuitif quant à la caractérisation de la qualité du signal transmis est le taux d'erreurs binaire, ou BER (Bit Error Ratio). Du fait du bruit et des effets de propagation, le signal se déforme et il peut arriver qu'un « 1 » soit détecté en lieu et place d'un « 0 » ou réciproquement, si le signal à détecter passe de l'autre côté du seuil de décision. Le BER est le rapport du nombre d'erreurs de transmission, c'est-à-dire du nombre de fois où un « 1 » a été détecté à la place d'un « 0 » ou vice-versa, sur le nombre total de bits transmis [12]

$$BER = \frac{\text{nombre d'erreurs détectées}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (3.9)$$

Un système de transmission optique est généralement considéré sans erreur, si ce BER est inférieur à une valeur d'au plus 10^{-9} , 10^{-12} ou 10^{-15} suivant les systèmes présentés.

Dans cette partie, nous présentons le calcul du BER pour un système SAC-OCDMA utilisant la détection directe pour des codes à inter-corrélation nulle (LSC en particulier). Comme mentionné précédemment, pour ces codes, seuls les effets des bruits de grenaille et thermique sont pris en considération (le bruit PIIN est ignoré puisque on a une absence de chevauchement de spectres d'utilisateurs différents) [14].

Selon les propriétés du code LSC, la technique de détection directe est exprimée comme ci-dessous [19]:

$$\sum_{i=1}^L C_K(i)C_i(i) = W\delta(K - 1) = \begin{cases} W & \text{pour } K = 1 \\ 0 & \text{pour } K \neq 1 \end{cases} \quad (3.10)$$

Au niveau du photo-détecteur, la somme de la densité spectrale de puissance du $i^{\text{ème}}$ récepteur peut être exprimée sous la forme :

$$\int_0^{+\infty} G_d(v)dv = \int_0^{+\infty} \frac{P_{sr}}{\Delta v} \sum_{K=1}^N d_k \sum_{i=1}^L C_K(i)C_i(i) u\left(\frac{\Delta v}{L}\right) dv \quad (3.11)$$

Où P_{sr} représente la puissance effective au niveau du récepteur, N représente le nombre d'utilisateurs actifs, d_k est le bit de données du $k^{\text{ième}}$ utilisateur et $u(v)$ est la fonction unité.

$$u(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

En remplaçant les équations (3.9) dans l'équation (3.10), on obtient :

$$\int_0^{+\infty} G_d(v)dv = \frac{P_{sr}}{\Delta v} \left[W \frac{\Delta v}{L} \right] = \frac{P_{sr}W}{L} \quad (3.13)$$

Le photo-courant, I à la sortie du photo-détecteur est donné par [19]:

$$I = \text{ffi} \int_0^{+\infty} G_d(v)dv = \text{ffi} \frac{P_{sr}W}{L} \quad (3.14)$$

Avec :

ffi: La sensibilité du photo-détecteur, calculée par $\text{ffi} = \frac{\eta e}{h \nu_0}$

η : l'efficacité quantique

e : la charge électronique

h : La constante de Planck

ν_0 : La fréquence optique centrale

La variance du bruit pour le code LSC, est la somme du bruit de grenaille (σ^2_{sh}) et du bruit thermique (σ^2_{th}) qui peut être exprimé comme :

$$\sigma^2 = 2 \frac{e \text{ffi} P_{sr} W}{L} + 4 \frac{K_B T_n B}{R_L} \quad (3.15)$$

Où :

B : est la largeur de bande électrique du récepteur

K_B : est la constante de Boltzmann

T_n : est la température de bruit absolue du récepteur

R_L : est la résistance de charge du récepteur

En considérant une transmission équiprobable des bits «1» et «0», pour chaque utilisateur, le SNR moyen est donc donnée par [19]:

$$SNR = \frac{I^2}{\sigma^2} = \frac{\left(\frac{ffP_{sr}W}{L}\right)^2}{2\frac{eBffP_{sr}W}{L} + 4\frac{k_B T_n B}{R_L}} \quad (3.16)$$

Utilisation de NRZ-OOK (Non Return to Zero-On Off Keying) comme schéma de modulation. Le BER peut être déterminé en utilisant le rapport signal sur bruit (SNR), comme suit :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{SNR}{8}}\right) \quad (3.17)$$

Où, erfc est la fonction d'erreur complémentaire.

En remplaçant l'équation (3.16) dans cette dernière équation nous obtenant le BER du système

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{ffP_{sr}W}{L}\right)^2}{2\frac{eBffP_{sr}W}{L} + 4\frac{k_B T_n B}{R_L}}}\right) \quad (3.18)$$

Pour un canal FSO la puissance reçue P_{sr} est affectée par les conditions géométrique et atmosphérique. Elle est donnée par l'expression suivante [14]:

$$P_{sr} = P_t \left(\frac{D_r}{D_e + \theta_L}\right)^2 \tau_t 10^{\left(\frac{-\alpha L}{10}\right)} \tau_r \quad (3.19)$$

Où:

P_t :est la puissance émise

D_e et D_r :sont le diamètre d'ouverture de l'émetteur et du récepteur,

θ :est l'angle de divergence d'émission

L :est la longueur de la liaison,

τ_t :est l'efficacité optique de l'émetteur,

τ_r : est l'efficacité optique du récepteur

α :est le facteur d'atténuation atmosphérique en dB/km.

ETUDE DE PERFORMANCES

La performance du système FSO est principalement limitée par les mauvaises conditions météorologiques, ce qui entraîne la réduction du SNR et l'augmentation du BER. Pour cela, nous étudierons et analysons les performances du système SAC-OCDMA-FSO, en termes de BER, en des différentes atténuations dues aux conditions de brouillard ainsi que les effets des différents bruits présents dans ce type de système. Cette section présente l'analyse par MATLAB des performances du système basée sur le code LSC avec la technique adaptative de mappage. Les formules mathématiques données dans la section précédente sont appliqués, à savoir les équations des bruits (3.15) et celle du BER (3.18) où les paramètres récapitulés dans le tableau (3.2) sont utilisés.

Tableau 3. 2 - Paramètres utilisés dans l'analyse numérique par Matlab.

Symbole	Paramètre	Valeur
B	Bande passante électrique	1Gbps
η	Efficacité Quantique de Photo détecteur	0.6
P_t	Puissance transmise	10dBm
C	La vitesse de la lumière	3×10^8 m/s
Λ	Longueur d'onde centrale	1550nm
T_n	Température du récepteur	300K
R_L	Résistance de charge du récepteur	1030 Ω
E	Charge de l'électron	1.6×10^{-19} C
H	Constante de Planck	6.63×10^{-34} Js
K_B	Constante de Boltzmann	1.38×10^{-23} J/K
Θ	Angle de divergence de l'émetteur	1mrad
D_e	Diamètre d'ouverture de l'émetteur	10cm
D_r	Diamètre d'ouverture de récepteur	20cm
W	Poids du code LSC	4

La gêne la plus importante de la transmission d'un faisceau lumineux, dans l'atmosphère comme canal de transmission, vient des conditions météorologiques. La neige, la pluie et la scintillation ont peu d'impact sur les performances du système, contrairement au brouillard qui altère le faisceau lumineux grâce aux très fines gouttelettes qui le constituent. Le tableau suivant donne les atténuations, utilisées dans notre étude, des différentes versions du brouillard en fonction de leur visibilité.

Tableau 3.3 Atténuation des différents types de brouillard

Phénomènes météorologiques	Visibilité (m)	Atténuation (dB/m)
Brouillard dense	50	339.7920
Brouillard modéré	400	42.4523
Brouillard léger	600	25.5160
Temps clair	20000	0.2208

Pour élaborer l'efficacité de la technique proposée, elle a été appliquée à différents codes avec différentes propriétés d'inter-corrélation (LSC, ZCC pour $\lambda_c = 0$ et EDW pour $\lambda_c = 1$), et comparée aux autres techniques de mappage existantes dans la littérature. L'évaluation de la technique proposée a été basée sur le calcul théorique du système SAC-OCDMA adoptant une détection directe en présence des bruits thermiques, de grenaille et PIIN.

La figure 3.2 illustre les performances du système SAC-OCDMA à 1 Gbit/s, une puissance de transmission de 10 dBm et pour un brouillard léger en fonction du nombre d'utilisateurs actifs. Le système utilise différents codes tels que LSC, ZCC et EDW conçu à l'aide de techniques de mappage conventionnelles et adaptatives. Les graphes montrent que l'augmentation du nombre d'utilisateurs dégrade la performance du système. Il est clairement observé que l'utilisation de la technique AMT améliore efficacement la qualité de la transmission et augmente le nombre d'utilisateurs actifs. De plus, nous observons que, à la contrainte des réseaux optiques (BER de 10^{-9}), la technique AMT augmente le nombre d'utilisateurs actifs par 40 utilisateurs pour le code ZCC et 60 utilisateurs pour le code EDW. Nous observons également que les codes LSC et ZCC utilisant AMT donnent le même BER car ils ont la même longueur de code. En outre, lorsque le nombre d'utilisateurs actifs

augmente, la performance du code EDW-AMT conduit à celle du LSC-AMT, cela est dû au fait que, les $(N-N_B)$ mots de code générés par l'utilisation de la technique AMT ont une propriété d'inter-corrélation nulle ce qui élimine les interférences d'accès multiples et le bruit PIIN.

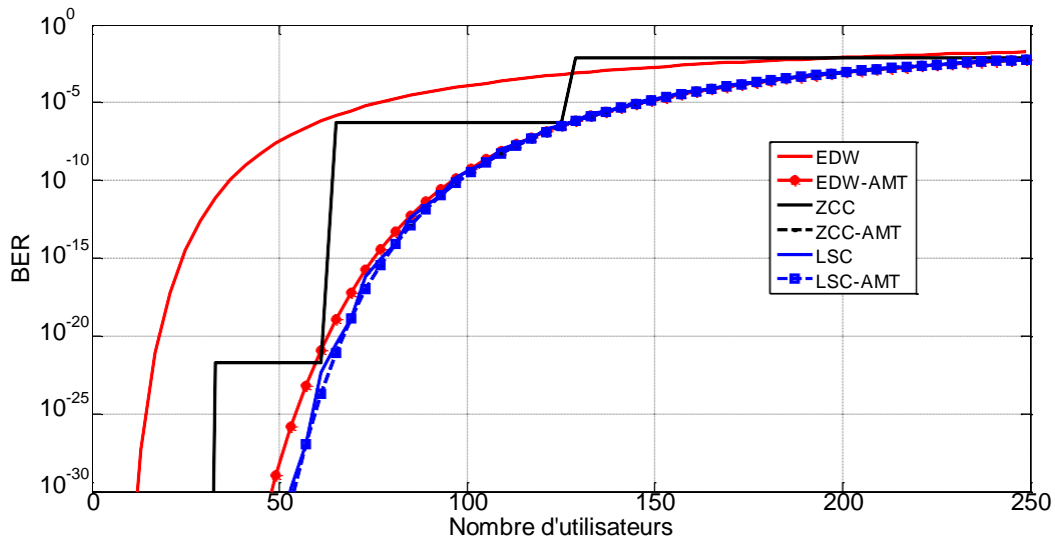


Figure 3.2 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents codes avec différents mappage

La figure 3.3 montre la performance de 40 utilisateurs actifs à des débits différents pour un brouillard léger. On peut constater que l'utilisation de la technique AMT donne la meilleure performance par rapport aux autres techniques de mappage conventionnelles. Généralement, l'augmentation du débit du signal dégrade la performance du système SAC-OCDMA. Cela est dû au fait que, les valeurs élevées du débit binaire induisent une largeur d'impulsion plus petite. Par conséquent, l'influence des bruits sur le système global devient plus importante. Analyse ultérieure de la figure. 3.3 illustre que le code ZCC (LSC, EDW) avec une technique AMT, pour un BRE acceptable de 10^{-9} , est capable d'atteindre 6525(6525, 6486) Mbit/s au lieu de 2600(5933, 1029) Mbit / s, respectivement, si elle utilise.

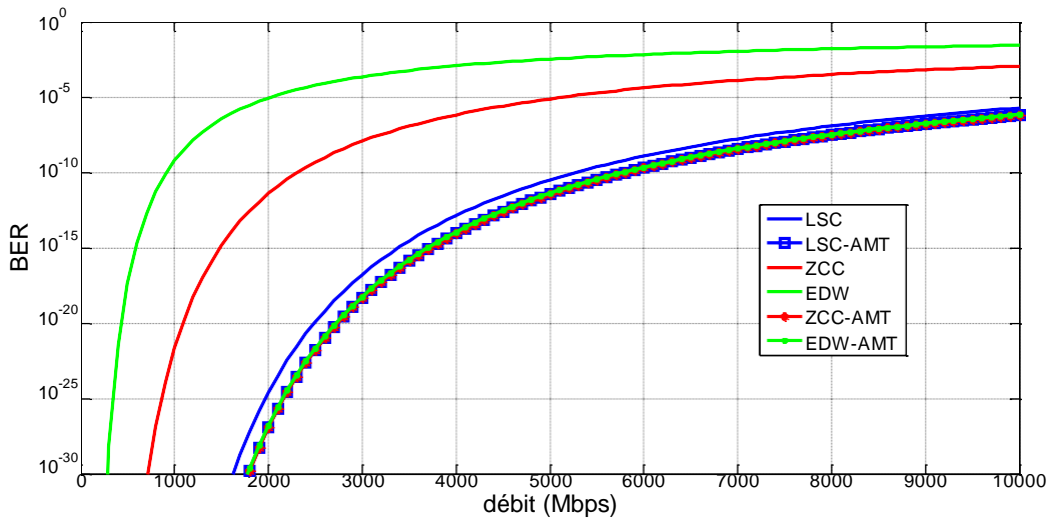


Figure 3.3 : BER en fonction du débit pour différents codes avec différents mappage

Les résultats numériques ont montré que l'AMT est une technique préférée par rapport aux techniques conventionnelles. Elle permet d'accueillir plus d'utilisateurs simultanés et des débits binaires élevés. Pour le code LSC cette technique offre une faible amélioration, puisque sa matrice de base présente des codes de faibles longueurs.

La fig.3.4 détaille l'importance du P_{sr} sur la suppression des bruits. Elle présente les bruits (thermique et de grenaille) pour différents nombre d'utilisateurs $N=32, 64$ et 128 utilisant le code LSC à un débit binaire de 1Gbps, et une atténuation de 25.5160dBm (Brouillard léger). La figure montre que le bruit de grenaille augmente proportionnellement dans un système SAC-OCDMA-FSO basé sur le détecteur direct avec l'augmentation de la valeur de P_{sr} . La figure montre également que le bruit thermique ($4K_bT_nB/R_L$) est indépendant du P_{sr} et reste constant tout au long de l'analyse.

D'après la figure, le bruit thermique domine le bruit de grenaille à de faibles valeurs de puissance reçue.

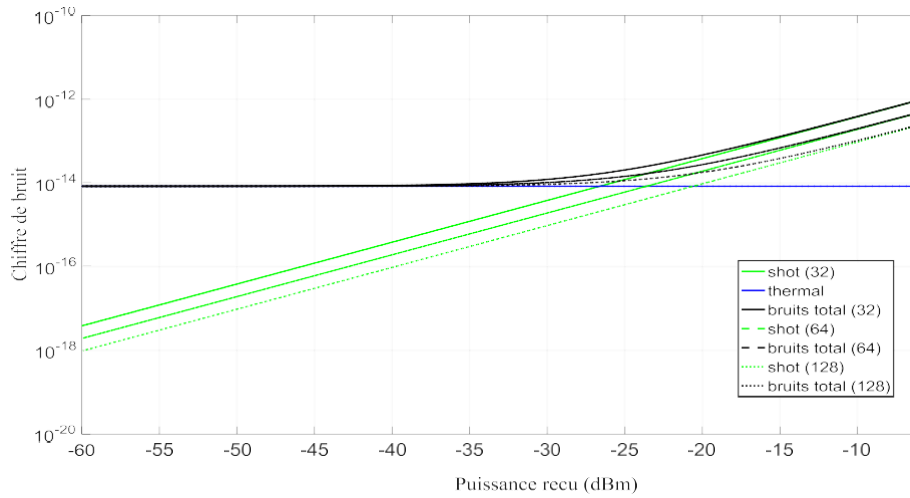


Figure 3.4 : Puissances des bruits en fonction de la puissance effective de la source P_{sr} pour différents nombres d'utilisateurs

La figure 3.5 montre des valeurs du courant reçu par la photodiode du récepteur en fonction de la puissance pour les mêmes paramètres mentionnés précédemment. Nous remarquons que plus la puissance augmente, les valeurs du courant augmentent. Nous observons aussi la relation inverse entre le nombre d'utilisateurs et le courant, de sorte que le courant augmente lorsque le nombre d'utilisateurs diminue.

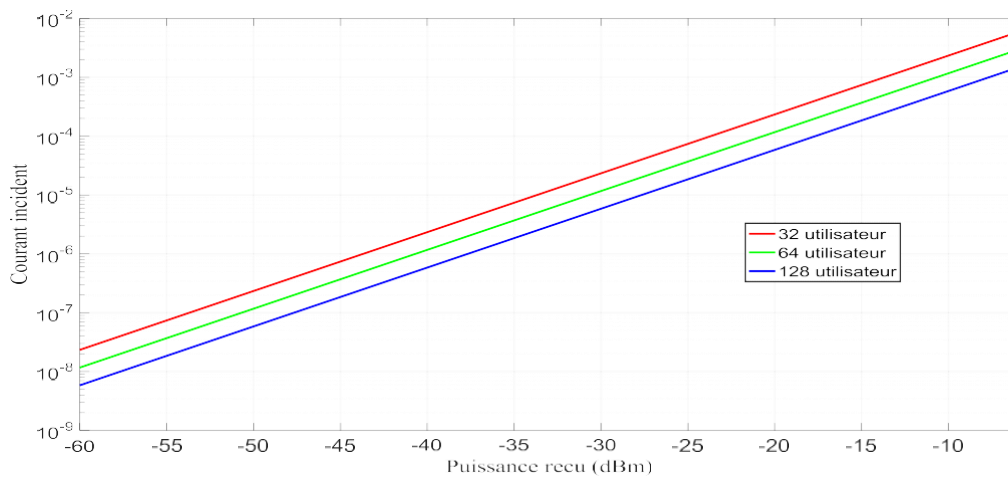


Figure 3.5: Courant incident en fonction de la puissance P_{sr}

La figure 3.6 montre la variation du BER en fonction du nombre d'utilisateurs dans différents types de brouillard (brouillard dense, brouillard modéré, brouillard léger et en temps clair).

Cela pour les constantes mentionnées dans le tableau 3.3 et à une distance de 0.4Km. Nous notons que les valeurs de BER augmentent dans chaque type de brouillard à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente. Nous notons également que les valeurs de BER les plus élevées se trouvent dans le type de brouillard dense.

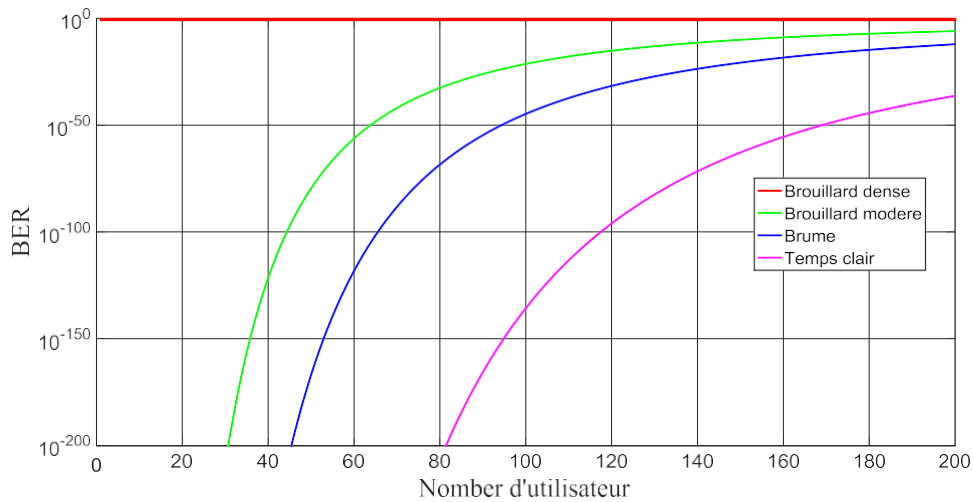


Figure 3.6 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents types de brouillard

La figure 3.7 montre la variation des valeurs de BER en fonction de la distance dans différents types de brouillard. Cela pour 10 utilisateurs. Nous remarquons que les performances du système FSO-SAC-OCDMA diminuent avec l'augmentation de la portée de la liaison FSO, notamment pour un brouillard dense.

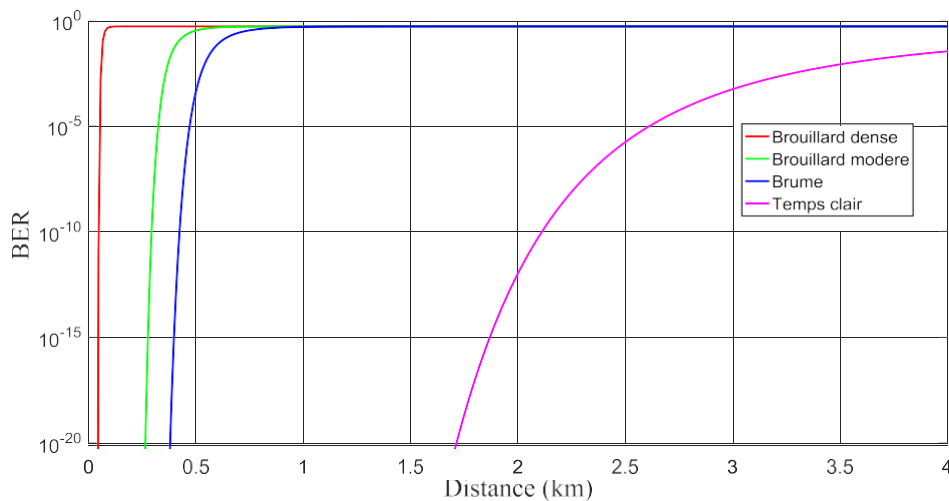


Figure 3.7 : BER en fonction de distance pour différents types de brouillard

La figure 3.8 présente le BER en fonction de la puissance reçue pour différents nombres d'utilisateurs ($N=10, 50$ et 100) utilisant le code LSC en présence de brouillard léger (atténuation de 25.5160dBm) à distance variable de 0km à 4km . Nous remarquons une diminution des valeurs de BER à mesure que la puissance reçue augmente.

Il peut être également noté que le code LSC avec la technique AMT a besoin d'une puissance de -48 dBm , -42 dBm et -38 dBm pour un nombre d'utilisateurs de $10, 50$ et 100 respectivement, pour atteindre la limite acceptable de BER (10^{-9}). Donc, plus le nombre d'utilisateurs augmente, plus le système a besoin de plus de puissances pour un bon fonctionnement.

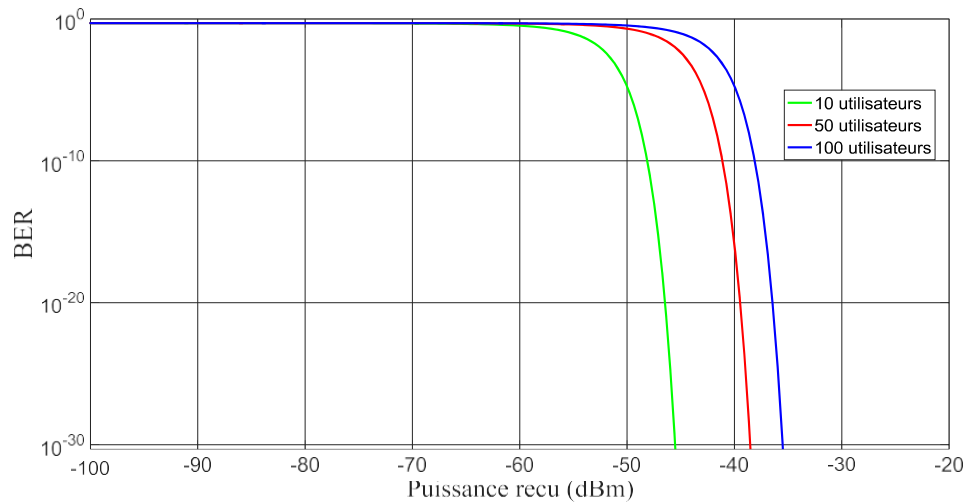


Figure 3.8 : BER en fonction de la puissance reçue pour différents nombre d'utilisateur Débit= 1Gbps

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une évaluation de performances du système SAC-OCDMA-FSO. Le code LSC (Latin square code) avec une nouvelle technologie de mappage (Adaptive mapping Technique : AMT) a été utilisé pour le codage et la détection directe a été adopté pour l'extraction du signal. Nous avons présenté les résultats de simulation que nous avons obtenus lors de l'étude des performances du système dans la présence de brouillard.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nous voici arriver au terme de ce travail de fin d'étude qui a porté sur l'évaluation de performances d'une liaison optique incohérente par répartition du code optique spectral (SAC-OCDMA) dans un canal FSO. Les séquences de code utilisées dans notre étude sont celles obtenues par le code LSC (Latin Square Code) caractérisé par une inter-corrélation nulle qui a permis d'utiliser un détecteur direct pour les restituer au niveau du récepteur. En plus, pour augmenter le nombre d'utilisateur la technique de mappage adaptative (AMT) a été utilisée. Nos objectifs étaient d'étudier et d'évaluer l'impact de différentes conditions météorologiques sur les performances des systèmes SAC-OCDMA dans un canal FSO (Free Space Optics) lorsque le code LSC est utilisé.

Pour mener à bien cette étude et aboutir aux résultats, nous avons tracé le BER en fonction de différents paramètres de la liaison FSO, du nombre d'utilisateurs et pour différentes conditions de brouillard, cela avec et sans la technique AMT. En outre une représentation de différents bruits à été illustré pour évaluer l'effet de chaque bruit sur les performances du système.

Les performances du code LSC ont été analysées et comparées aux autres codes connues (ZCC, EDW) avec et sans la technique AMT. Les résultats obtenus montrent que le système SAC-OCDMA-FSO présente de meilleures performances avec le code LSC. En plus l'amélioration portée par la technique AMT est faible pour le code LSC en comparaison avec les autres codes.

Bibliographies

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Maher Al Naboulsi, 'Contribution à l'étude des liaisons optique atmosphériques : propagation, disponibilité et fiabilité', de Doctorat, Université de bourgogne, 2005.
- [2] BERRA Salah, 'Evaluation Des Performances D'un Système de Télécommunication Hybride SAC-OCDMA/FSO', Mémoire master, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2019.
- [3] ROUISSAT MEHDI, 'Etude et Modélisation d'une Liaison Optique Sans Fil' Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2013.
- [4] MESRI Lamia 'Etude et analyse des performances du système FSO-SAC-OCDMA sous l'effet de mauvaises conditions météorologiques', thèse de doctorat Université DJILLALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes, 2019.
- [5] Abdelhakim Boudkhil, Asmaa Ouzzani, Belabbes Soudini, 'Evaluation des Performances des Photodiodes PIN et APD dans une Chaîne de Communication Optique à Haut Débit via Optisystem', Revue Méditerranéenne des Télécommunication, vol.5, N°1, 2015, Université de Sidi Bel abbés.
- [6] La thèse de Vincent Foucal : « Conception d'interconnexions optiques haut débit courte distance en espace libre. Prototypage de modules de communication pour applications embarquées »
- [7] Review Article 'Free Space Optics : Current Applications and Future Challenges', Institut universitaire d'ingénierie et de technologie, Université du Panjab, Chandigarh, Inde
- [8] S.Ghoname , H. A. Fayed , A. Abd El Aziz , M. H. Aly . 'Performance Analysis of FSO Communication System: Effects of Fog, Rain and Humidity' Sixth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), 2016.
- [9] KHATER Yasser , 'Technique OCDMA : Applications dans les réseaux de communications optiques' mémoire de master Université Abou-BakrBelkaid- TLEMEN ,2020.
- [10] M. GARADI Ahmed , 'Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : Application au système SAC-OCDMA' Thèse de doctorat université Djillali Liabès de Sidi- Bel-Abbes, 2015.
- [11] AIDOUNE Ahlam, ' Etude d'un système de transmission basé sur la technique SAC OCDMA appliquée dans les communications optiques en espace libre (FSO)' mémoire de master Université A.MIRA-BEJAIA ,2019.
- [12] Agoune Abdelouaheb 'Analyse de la Suppression du Bruit pour les Systèmes SAC-OCDMA avec les Codes à Inter-Corrélation Fixe ' mémoire de master Université de Mohamed El-

Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj ,2020.

- [13] R. Sara E. Amina, ‘Encodage 3D pour les systèmes CDMA optique’, mémoire de master Université Dr. Tahar Moulay–Saida, 2018.
- [14] SAHRAOUI MAHMOUD AYMEN, ‘Etude et évaluation des performances d’un système de communication SAC-OCDMA DANS LES LIAISONS FSO’ mémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj ,2021.
- [15] Somaya A. Abd El Mottaleb, Heba A. Fayed, Ahmed Abd El Aziz and MoustafaH.Aly. « SAC- OCDMA System Using Different Detection Techniques ». IOSR Journal ofElectronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) e-ISSN: 2278-2834, p-ISSN: 2278-8735. Volume 9, Issue 2, Ver. III (Mar - Apr. 2014), PP 55-60.
- [16] B E N Z E R D J E B C h o u k r I , ‘Encodage de l’amplitude spectrale pour OCDMA’ mémoire de master Université ABOU BAKR BELKAID – TLEMCEM ,2013.
- [17] L. HACINI and A. AISSAOUI «A comparative analysis of various zero cross correlation codes in SAC-OCDMA systems ». ISPA 2019, November 24-25, 2019. Mostaganem, Algeria.
- [18] Korai, U. A., Shaikh, F. K., Kalwar, S., Soothar, K. K., Muneer, B.,Solangi, A.,: Analyzing the Quality of Free Space Optical Signal in Fog: ACase Study of Pakistan, Wireless Pers. Commun., 95, 569-579 (2017).
- [19] L. HACINI and A. AISSAOUI , «Construction and performance analysis of a new SAC-OCDMA code based on Latin square matrix».Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences,2020.
- [20] L. HACINI and A. AISSAOUI, «A Novel mapping technique for an adaptive length of codes in SAC-OCDMA systems». Wireless Personal Communications, Springer, 2021.

ملخص:

إن نظام ASDCA-CAS على قناة OCA مبنية على تقنية النواقل عالية السرعة مع معدل الخطأ البت (البرنلي) REB (والحد الأدنى من تدخل الوصول المتعدد) CAM. في هذا العمل، تم إجراء دراسة أداء نظام CAS-OCA-ASDCA في حالة استخدام رمز مربع الالتوائية CCS. يحتوي هذا الرمز، المقترح مؤخراً، على الربط الصافي وطول رمز قصير يقلل من عدد الأطوال الموجبة المستخدمة. تجعل هذه الخصائص أفضل من الرموز الأخرى المقترحة بالعمل في الأعمال السريعة المتعددة بأنظمة OCA-ASDCA-CAS. بالإضافة إلى ذلك، لزيادة عدد المستخدمين يتم استخدام تقنية التشفير المتكثف ACA لتقليل طول التشفيرات البرمجية. تم تقييم أداء النظام عددياً، من حيث REB، في ظل ظروف تشويش الضباب مع دراسة تأثير الضوضاء الموجودة المختلطة.

Résumé :

Un système SAC-OCDMA sur le canal FSO est très avantageux dans la fourniture de communications à grande vitesse avec un faible taux d'erreur binaire (TEB) et une interférence d'accès multiple (IAM) minimale. Dans ce travail, une étude sur la performance d'un système SAC-OCDMA-FSO a été réalisée dans le cas de l'utilisation d'un code carré latin (LSC). Ce code, proposé récemment, a une valeur de corrélation croisée zéro et une longueur de code courte qui réduit le nombre de longueurs d'onde utilisées. Ces propriétés le rendent mieux que d'autres codes déjà proposés dans des travaux antérieurs liés aux systèmes SAC-OCDMA-FSO. De plus, pour augmenter le nombre d'utilisateurs, la technique de mappage adaptative (AMT) est utilisée afin de minimiser la longueur de code. Les performances du système ont été évaluées numériquement, en termes de BER, dans des conditions d'atténuation de brouillard avec l'étude de l'effet des différents bruits présents.

Abstract:

A SAC-OCDMA system over the FSO channel is highly advantageous in providing high-speed communications with lower Bit Error Rate (BER) and minimum Multiple Access Interference (MAI). In this work a study of the performance of a SAC-OCDMA-FSO system has been carried out in the case of the use of a Latin Square Code (LSC). This code, recently proposed, has a zero cross-correlation value and a short code length that reduces the number of used wavelengths. These properties make it better than other codes already proposed in previous works related to SAC-OCDMA-FSO systems. In addition, to increase the number of users the Adaptive Mapping Technique (AMT) is used in order to minimize the code length. The performance of the system has been numerically evaluated in terms of BER under fog attenuation conditions with investigating the effect of different present noises.