



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la**  
**Recherche scientifique**  
**Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued**



**Faculté de Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Télécommunication**

**Spécialité : Systèmes de Télécommunication**

**Thème**

**Analyse des performances des techniques DCO-OFDM et  
ACO-OFDM dans les systèmes de communications par  
lumière visible**

**Réalisées par :**

**Charfi Safa**

**Adouani Ikram**

**Soutenu en Juin 2019 devant le jury composé de:**

**Dr. Touhami Ridha**

**MAA      Directeur du mémoire**

**Dr. Khalil Abdelatif**

**MCB      Président**

**Dr. Laïb Ismail**

**MAB      Examineur**

**Année Universitaire : 2018/2019**

## *Remerciements*

*Il nous est agréable et important de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encadrés pour la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude :*

*A l'Eternel le Dieu Tout-puissant pour la grâce dont nous sommes bénéficiaires de sa part et qu'il nous accorde tous les jours de notre vie.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au membre de jury. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance. Nous tenons également à remercier infiniment **Mr.Touhami Ridha** et **labi Ismail** pour nous avoir offert les conditions nécessaires de ce travail. Nous profitons aussi de ce mémoire pour exprimer nos plus vifs remerciements envers tous les professeurs qui nous ont apportés du soutien durant nos études. Que le corps professoral et administratif et surtout le doyen de faculté de technologie, trouvent ici nos vifs remerciements, pour tout le travail effectué durant notre formation.*

*A nos chers parents pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice et leur amour, vous méritez tout éloge, vous avez fait de nous ce que nous sommes maintenant.*

*Nous espérons être l'image que vous êtes fait de nous, que Dieu vous garde et vous bénisse. Nous remercions nos chers frères et sœurs, pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours été pour nous des plus précieux.*

*Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour à tous nos amis à tous ceux qui nous ont aidés. A tous ceux qui nous aimons.*

*Merci...*

# *Dédicace*

*Mes parents :*

*Ma mère, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Mes frères et soeurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

*- A mes chers amis : que je les considère comme une deuxième famille.*

*- Mes dédicaces vont aussi à tous les gens qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

# ***SOMMAIRE***

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Liste des figures.....      | iv |
| Glossaire.....              | vi |
| Introduction générale ..... | 01 |

## **Chapitre 01 :l'OFDM**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| I.1 Introduction.....                                        | 02 |
| I.2 Historique de l'OFDM.....                                | 02 |
| I.3 Canal à trajets multiples.....                           | 03 |
| I.3.1 Effet des retards supposés indépendants du temps.....  | 05 |
| I.3.2 Effet Doppler.....                                     | 06 |
| I.4 L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)..... | 08 |
| I.4.1 Principe de L'OFDM.....                                | 09 |
| I.4.2 Orthogonalité.....                                     | 09 |
| I.4.3 convertisseur Série / Parallèle (S/P).....             | 10 |
| I.4.4 Modulation du signal OFDM.....                         | 10 |
| I.4.5 transformée inverse de Fourier (IFFT).....             | 12 |
| I.4.6 intervalle de garde.....                               | 13 |
| I.5 Les différents types de technique OFDM.....              | 16 |
| I.6 les utilisation des OFDM.....                            | 17 |
| I.7 Avantages et inconvénients de l'OFDM.....                | 17 |
| I.7.1 Avantages.....                                         | 17 |
| I.7.2 Inconvénients.....                                     | 18 |
| Conclusion.....                                              | 18 |

## **Chapitre 02 :communication par la lumière visible (VLC)**

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| II.1 Introduction.....                                        | 19 |
| II.2 Historique.....                                          | 19 |
| II.3 Définition.....                                          | 20 |
| II.4 Systèmes de communication VLC.....                       | 20 |
| II.4.1 Emetteur VLC.....                                      | 21 |
| II.4.2 Canal VLC.....                                         | 21 |
| II.4.2.1 Différentes configurations.....                      | 21 |
| II.4.2.2 Modélisation d'un canal VLC indoor.....              | 22 |
| II.4.2.3 Modélisation du bruit en VLC.....                    | 23 |
| II.4.2.4 Modélisation des réflexions : méthode sphérique..... | 24 |
| II.4.3 Le récepteur VLC.....                                  | 25 |
| II.5 Applications.....                                        | 25 |
| II.6 sources d'éclairage générales.....                       | 26 |
| II.7 Caractéristique générale.....                            | 27 |
| II.8 Avantages.....                                           | 27 |
| II.9 les inconvénients.....                                   | 28 |
| Conclusion.....                                               | 29 |

## **Chapitre 03 :simulation et résultats**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1 Introduction.....                                                   | 30 |
| III.2 Modèles de système DCO-OFDM.....                                    | 30 |
| III.3 Modèles de système DCO-OFDM.....                                    | 32 |
| III.4 Performances des techniques ACO et DCO dans un canal plat AWGN..... | 34 |
| III.5 étude de simulation BER vs SNR.....                                 | 34 |
| 5.1 5.1 Résultats et interprétions OFDM .....                             | 34 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 5.2 Résultats et interprétions ACO-OFDM..... | 36 |
| 5.3 Résultats et interprétions ACO-OFDM..... | 38 |
| Conclusion .....                             | 39 |
| conclusion générale.....                     | 40 |

## Liste des figures

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1.1: Propagation par multi-trajet.....                                                          | 3  |
| Figure 1.2 : fonction de transfert d'un canal comportant un retard.....                                | 4  |
| Figure 1.3 : largeur de bande du l'effet des retards.....                                              | 6  |
| Figure 1.4 : l'onde reçue subit l'effet Doppler.....                                                   | 7  |
| Figure 1.5 : largeur de bande du l'effet Doppler.....                                                  | 8  |
| Figure 1.6 : Schéma bloc d'un système OFDM.....                                                        | 9  |
| Figure 1.7 Constellation QPSK.....                                                                     | 11 |
| Figure 1.8 Constellation 16-QAM.....                                                                   | 11 |
| Figure 1.9 Codage de Gray de la constellation 16-QAM.....                                              | 12 |
| Figure 1.10 Intervalle de garde par prolongation cyclique.....                                         | 14 |
| Figure 2.1 Partie de la lumière visible du spectre électromagnétique.....                              | 20 |
| Figure 2.2 : Schéma général d'un système optique sans fil.....                                         | 21 |
| Figure 2.3: Classification des canaux de liaisons en VLC.....                                          | 24 |
| Figure 2.4 : Modèle équivalent en bande de base d'un système optique sans fil<br>IM/DD.....            | 25 |
| Figure 3.1 Schéma blocs d'une liaison DCO-OFDM .....                                                   | 31 |
| Figure 3.2: (a) Signal OFDM après IFFT, (b) Signal OFDM après ajout de $DCBias = 5\text{ dB}$ ,.....   | 31 |
| Figure 3.3 : Schéma blocs d'une liaison ACO-OFDM.....                                                  | 33 |
| Figure 3.4 : (a) Signal OFDM obtenu après IFFT, (b) Signal ACO-OFDM<br>résultant.....                  | 33 |
| Figure 3.5 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 16-<br>QAM en fonction de SNR..... | 34 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3.6 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 32- QAM en fonction de SNR.....       | 35 |
| Figure 3.7 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 64- QAM en fonction de SNR.....       | 35 |
| Figure 3.8 : Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour 16- QAM en fonction de SNR.....   | 36 |
| Figure 3.9 : Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour 32- QAM en fonction de SNR.....   | 36 |
| Figure 3.10 : Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour 64- QAM en fonction de SNR.....  | 37 |
| Figure 3.11: Performances de technique DCO-OFDM dans un canal AWGN pour 16- QAM en fonction de SNR.....   | 38 |
| Figure 3.12: Performances de technique DCO- OFDM dans un canal AWGN pour 32- QAM en fonction de SNR.....  | 38 |
| Figure 3.13 : Performances de technique DCO- OFDM dans un canal AWGN pour 64- QAM en fonction de SNR..... | 39 |

### *Introduction Générale:*

Les systèmes des télécommunications numériques ont récemment subi de grands développements et ceci grâce aux progrès réalisés en microélectronique qui ont permis l'implémentation matérielle d'algorithmes complexes de traitement numérique des signaux. On observe une croissance constante des débits de transmission ainsi qu'un besoin de se libérer des câbles afin de permettre aux usagers de se déplacer tout en maintenant une qualité acceptable des communications. la qualité des communications sans fil dépend principalement du canal. En générale, le canal sans fil est un canal à trajets multiples qui varie dans le temps.

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)est un système de communication numérique multi-porteuse .Il répartit l'information à transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses à faible débit de données pour construire un système de communication composite à haut débit de données. L'orthogonalité donne aux porteuses faible débit de données de chaque porteuse implique de longues périodes de symboles, ce qui diminue considérablement les interférences inter-symboles.

La technologie VLC (Visible Light Communicatin) est l'une des technologies de la famille des communications optiques sans fil.Lestruavaux effectués et rapportés dans le présent mémoire porte sur l'implimentation d'une chaine de transmission VLC.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but d'analyser des performances de DCO-OFDM et ACO-OFDM pour un système de communication par lumière visible.

Le première chapitre est consacré à la présentation de la technique OFDM. Il composé l'historique de OFDM ,le canal à trajet multiples, l'effet des trajets multiples du canal. Nous donnons le principe de technique OFDM ,les différents types de cette téchnique,et les avantages et inconvénients de cette technique.

Le deuxième chapitre utilisé la définition de communication par lumière visible (VLC),le système de communication VLC, et les avantages et inconvénients de cette technique.

Finalement ,dans le troisième chapitre nous simulons et analysons la distribution de BER vs SNR de deux schémas de VLC OFDM, à savoir l'OFDM optique à polarisation DC (DCO-OFDM), l'OFDM optique à découpage asymétrique (ACO-OFDM), en utilisant le programme MATLAB.

## ***Chapitre 01***

### ***l'OFDM***

#### **I.1 Introduction :**

l'OFDM est un développement de la FDM depuis les années 1950. L'OFDM est une technique de modulation numérique qui joue sur l'efficacité et la rentabilité de transmission dans le canal radio mobile pour un environnement multi-trajets.

En parallèle dans ce chapitre donne un aperçu des connaissances acquises sur L'OFDM .un bref historique de cette modulation ainsi que des Canaux à trajets multiples . on donne ensuite les Principe de l' OFDM. Ajoute à cela , Les différents types de technique OFDM .enfin une description de quelques notions de Avantages et inconvénients .

#### **I.2 Historique de l'OFDM :**

Le concept de l'OFDM pour la transmission a été proposé pour la première fois par Robert W. Chang des laboratoires Bell en 1966 . La notion d'orthogonalité des fréquences de transmission, a été développée et améliorée en 1971, grâce à l'utilisation de la FFT (Fast Fourier Transform) proposée en 1969 pour réduire la complexité du temps de calcul de l'implémentation de la transformée de Fourier discrète (DFT) et de son inverse (IDFT). Dès 1980, le concept de préfixe cyclique pour combattre l'ISI a été proposé par Peled et Ruiz. L'introduction de l'OFDM dans le domaine des applications réseaux sans fil a été démontrée par Cimini des laboratoires Bell en 1985. Son utilisation dans le domaine filaire s'est faite grâce aux divers travaux de Chow, de Cioffi et d'autres chercheurs de Stanford. L'OFDM dans le domaine des antennes tels que les systèmes MIMO (Multi Input Multi-Output) a été publié par Telatar et Foschini au sein des laboratoires Bell.

En 1987, les Français Lassalle & Alard proposeront l'utilisation du FEC (Forward Error Coding) avec l'OFDM en radiodiffusion : d'où la notion de l'OFDM avec codage correcteur d'erreur ou Coded-OFDM (C-OFDM) pour améliorer la transmission. L'OFDM est devenu ainsi, un candidat potentiel pour les applications DSL (Digital Subscriber Loop) où il est appelé DMT (Discrete Multitone). Ensuite, il est intervenu dans tous les standards de télécommunication tels que la radio-télédiffusion le sans-fil local (WLAN) .

De nos jours, tous les standards tels que le Wi-Fi (IEEE 802.3a/g), le WiMax (IEEE 802.16e), l'ADSL (ITU G.992.1), le « Long Term Evolution » ou (LTE), la 4G et les radiotélécommunications utilisent l'OFDM. En 1999, Siohan propose

l'OFDM/OQAM(Offset-QAM) permettant de se passer du préfixe cyclique dans la transmission pour des fins de gain en débit . Pour ce faire, il propose l'utilisation d'une famille de fonctions prototypes dites « localisées en temps-fréquence » proposée par Bolcskei. Malgré tout son succès, l'OFDM ne s'est vu impliqué dans le domaine optique que récemment. Bien que le premier papier suggérant son utilisation dans le domaine optique ait apparu en 1996 , il a fallu attendre l'an 2001 pour démontrer sa robustesse contre la dispersion chromatique et montrer son intérêt pour le domaine optique. Ainsi, une première implémentation de l'OFDM en optique a été reportée en 2002 mais n'a suscité que peu d'intérêt puisque d'autres publications ne l'ont pas suivie. Mais quelques années plus tard, certains auteurs ont prouvé qu'il est possible d'implémenter l'OFDM en optique avec des techniques de traitement de signal basé sur des DSP (Digital Signal Processor) pour lutter contre la dispersion chromatique. Après ces premiers travaux concluants, ainsi que ceux parus ensuite, l'OFDM s'est vu enfin introduire dans les communications optiques permettant donc d'accéder à l'ère du très haut débit dans les réseaux de transport. Par suite, l'OFDM optique a vite évolué et même considéré comme pionnier du 100Gb/s. Certains chercheurs ont même démontré qu'il est possible d'implémenter l'OFDM pour réaliser des transmissions atteignant le Terabit . Quelques années après l'intérêt de l'OFDM pour les systèmes de transmissions longues distances, plusieurs auteurs ont montré qu'il peut être un bon candidat pour le réseau d'accès optique. L'un des tous premiers travaux parus sur le sujet était en 2007 : l'auteur a démontré la réalisation d'une liaison OFDM 10Gb/s du réseau d'accès PON. Depuis, l'OFDM pour les réseaux d'accès optiques est devenu un sujet d'intérêt en expansion, suivi par plusieurs groupes de chercheurs et d'industriels à travers le globe[2].

### I.3 Canal à trajets multiples[3] :

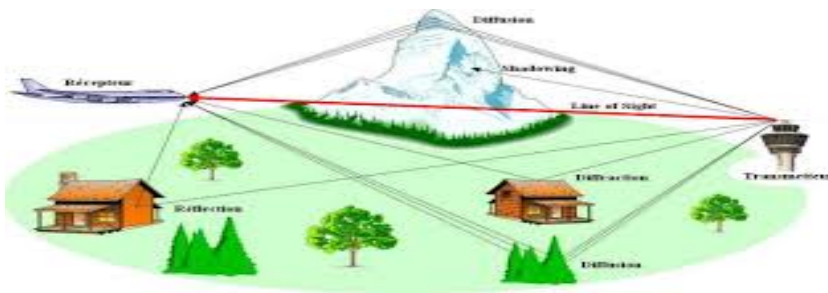


Figure 1.1 : Propagation par multi-trajet.[4]

Avant d'exposer le principe des modulations multi porteuses, nous allons donner quelques caractéristiques du canal pour lequel ce type de modulations est intéressant. Les premières applications ont concerné la diffusion du son numérique dans le canal radio

Le signal émis sous forme d'onde subit de nombreuses réflexions, en particulier en milieu urbain et le récepteur reçoit une série d'échos de provenances diverses et imprévisibles. Ces échos d'amplitudes variables introduisent de retards variables.

Considérons un modèle simple de canal à l'issue duquel le récepteur reçoit la somme du signal émis et de signaux ayant subi des échos donc retardés de  $\tau_i$  d'amplitude  $h_i$ .

La réponse impulsionnelle s'écrit :

$$h(t) = \sum_i h_i \delta(t - \tau_i) \quad (1.1)$$

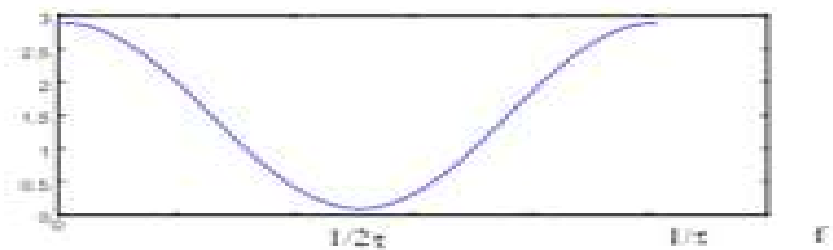
Sa fonction de transfert est donc :

$$H(f) = \sum_i h_i e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (1.2)$$

Prenons l'exemple encore plus simple de 2 trajets, le direct et un retardé de  $\tau$ .

$$h(t) = 1 + \alpha \delta(t - \tau) \text{ et } |H(f)|^2 = 1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos 2\pi f \tau \quad (1.3)$$

La fonction de transfert a l'allure suivante :



**Figure 1.2 : fonction de transfert d'un canal comportant un retard.[3]**

On remarque que la fonction de transfert comporte des zones où le signal sera amplifié ( $H(f) > 1$ ) et des zones où le signal sera très affaibli ( $H(f) < 1$ ) (zone d'évanouissement ou « fading »). Sa période de variation est de l'ordre de  $1/\tau$ ,  $\tau$  étant l'étalement des retards.

Suivant la valeur de la bande occupée  $B$  par le signal, deux cas peuvent se présenter :

- $B \ll 1/\tau$  :  $H(f)$  peut être considéré constant sur la bande  $B$  : le signal ne subit pas de distorsion, mais il peut être très affaibli si la fréquence de modulation se situe près de  $1/2\tau$  (les signaux issus du trajet direct et du trajet retardé sont en opposition de phase). Mais il peut aussi être amplifié (signaux en phase).

-  $B \gg 1/\tau$  :  $H(f)$  n'est pas constant sur la bande de fréquence et le signal subit des distorsions qu'il faut corriger à l'aide d'un égaliseur.

De façon générale, supposons que le signal émis s'écrive :

$$s(t) = \text{Re}[s_1(t).e^{2\pi j f_c t}] \quad f_c \text{ étant la fréquence porteuse.} \quad (1.4)$$

Le signal reçu est la somme des signaux issus des différents chemins :

$$x(t) = \sum \alpha_n(t) s(t - \tau_n(t)) \quad (1.5)$$

Chaque chemin provoque une atténuation  $\alpha_n$  et un retard  $\tau_n$  qui varient en fonction du temps.

Le signal  $x(t)$  peut aussi s'écrire :

$$X(t) = \text{Re} \left\{ \sum \alpha_n e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s_1(t - \tau_n(t)) e^{2j\pi f_c t} \right\} \quad (1.6)$$

L'expression entre crochets montre que le signal en bande de base subit des atténuations  $\alpha_n$ , des retards  $\tau_n$  et des déphasages  $-2j\pi f_c \tau_n$  qui dépendent tous du temps.

A partir de cette formule on peut définir la fonction de transfert en bande de base :

$$C(t, \tau) = \sum \alpha_n(t) e^{-2j\pi f_c \tau_n(t)} \delta(\tau - \tau_n(t)) \quad (1.7)$$

### 1.3.1 Effet des retards supposés indépendants du temps :

C'est une généralisation de ce qui a été présenté .

Le signal  $x(t)$  est :

$$x(t) = \sum \alpha_n s(t - \tau_n) \quad (1.8)$$

et la fonction de transfert en bande de base  $c$  ne dépend plus du temps :

$$c(\tau) = \sum \alpha_n e^{-2j\pi f_c \tau_n} \delta(\tau - \tau_n) \quad (1.9)$$

Notons que le signal reçu est convolué par une fonction dépendant des retards : ici la convolution est discrète, mais on peut modéliser le canal par une distribution continue de retards.

Soit  $T_m$  le plus grand des retards appelé étalement des retards.

La fonction de corrélation de  $c$  représente la puissance moyenne d'un signal impulsionnel dans le canal. Sa variation  $\phi_c(\tau)$  en fonction de  $\tau$  donne le profil des intensités créées par les retards dus aux multi chemins et le retard maximum  $T_m$ .

La transformée de Fourier de la fonction de corrélation de  $c$  donne la bande de cohérence spectrale.

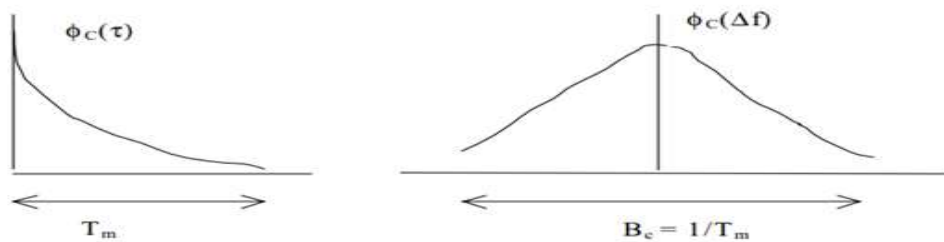


Figure 1.3 :largeur de bande de l'effet des retards.

Si la largeur de bande du signal  $\Delta f$  est inférieure à  $B_c$  la bande de cohérence, l'amplitude du signal est peu affectée, considérant que la fonction de transfert est quasiment constante.

Si la largeur de bande du signal  $\Delta f$  est supérieure à  $B_c$ , certaines composantes spectrales du signal seront affaiblies et le signal subira des distorsions. Le canal est sélectif en fréquence.

Prenons un signal composé de symboles émis avec une période  $T$ .

Si la durée des symboles est grande devant  $T_m$ , les symboles sont reçus sans interférences.

Si la durée des symboles est petite devant  $T_m$ , les symboles interfèrent entre eux.

### I.3.2 Effets de la variation des caractéristiques du canal avec le temps : effet Doppler.

Pour simplifier, on considère un canal n'introduisant qu'un retard  $\tau$ . Pour ce retard, la formule donnant le signal reçu  $x(t)$  pour  $\tau=0$  par exemple est :

$$x(t)=\alpha(t)s(t) \text{ ou } x(t)=\text{Re}\{\alpha(t)s(t)\} \quad (1.10)$$

si  $\alpha(t)$  est défini par un complexe c'est-à-dire que le signal reçu subit une atténuation et un déphasage.

Notons que le signal reçu est **multiplié** par une fonction dépendant du temps.

La fonction de transfert en bande de base est donc :

$$c(t, \tau) = \alpha(t) \cdot \delta(\tau). \quad (1.11)$$

Ce cas se présente couramment pour un récepteur mobile : l'onde reçue subit l'effet Doppler et la fréquence de la porteuse est décalée d'une valeur dépendant de la vitesse du mobile et de l'angle de réception.

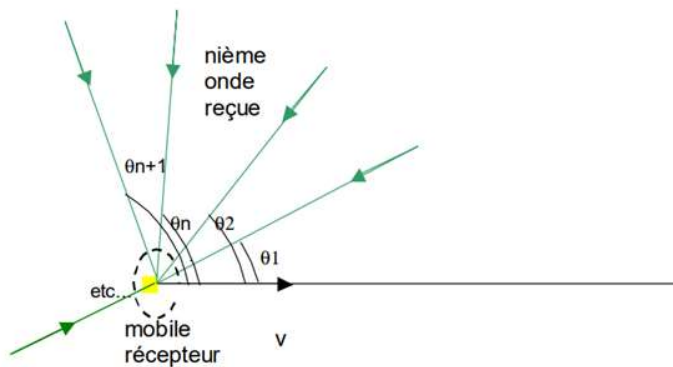


Figure 1.4 : : l'onde reçue subit l'effet Doppler.

Supposons que le mobile se déplace à la vitesse  $v$  et qu'il reçoive les ondes issues d'un même

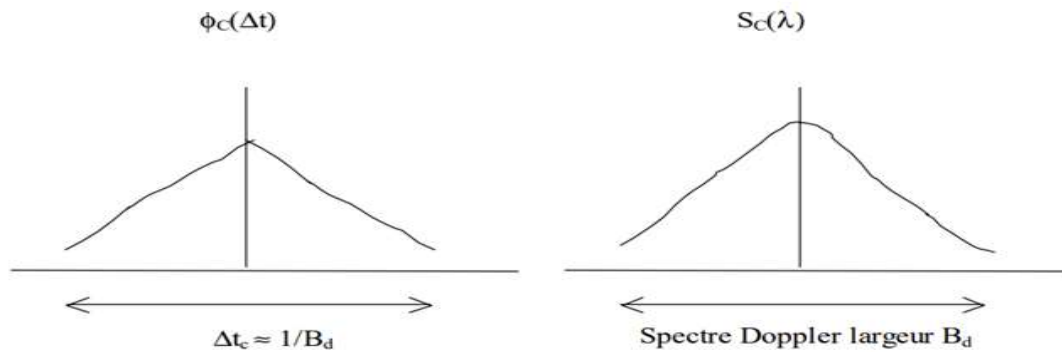
signal dans toutes les directions possibles  $\theta_n$  c'est-à-dire que le canal est dispersif. L'onde reçue dans la direction  $\theta_n$  subit un décalage de fréquence égal à  $f_c \frac{v}{c} \cos \theta_n$  et le signal reçu par le mobile est la somme de toutes ces ondes : il subit une variation d'amplitude et un déphasage qui se modéliseront par une amplitude et une phase aléatoires de l'expression  $\alpha(t)$ . On peut considérer que le nombre d'ondes reçues est très grand et que donc le théorème de la limite centrale s'applique. En supposant que les directions d'arrivée des ondes sont aléatoirement distribuées suivant une loi uniforme, on peut montrer que l'amplitude est une fonction de Rayleigh : la probabilité de  $|\alpha(t)|$  s'écrit :

$$p(|\alpha(t)|) = \frac{|\alpha|}{\alpha^2} e^{-\frac{|\alpha|^2}{\alpha^2}}. \quad (1.12)$$

Souvent, on peut modéliser un canal variant dans le temps par une fonction du canal en bande de base multiplicative aléatoire suivant une loi de Rayleigh déduite d'un effet Doppler (canal de Rayleigh).

On peut tracer le spectre de puissance Doppler du canal  $S_c(\lambda)$  ( $\lambda$  représente la variation de la fréquence porteuse du signal) qui a l'allure d'un élargissement Doppler. Le spectre

Doppler montre alors la variation de la fréquence porteuse. Sa transformée de Fourier inverse  $\phi_C(\Delta t)$  montre la variation en fonction du temps de la puissance due à un retard.



**Figure 1.5 : largeur de bande de l'effet Doppler.**

Si le canal ne varie pas dans le temps,  $\phi_C(\Delta t)$  reste constant, sa transformée de Fourier  $S_C(\lambda)$  est un Dirac,  $B_d$  est nul et la fréquence porteuse reste constante.

Si la période  $T$  des signaux émis est grande devant le temps de cohérence  $\Delta t_c \approx 1/B_d$ , on observera un affaiblissement de ces signaux.

Si la période  $T$  des signaux émis est petite devant le temps de cohérence  $\Delta t_c \approx 1/B_d$ , le canal pourra être considéré comme invariant dans le temps.

En général, les deux phénomènes décrits sont présents : multi retard et effet Doppler.

Comme résultats des dernières approches des techniques multi porteuses, on cite l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), c'est la technique la plus connue et la plus utilisée par les systèmes de communications.[5]

### **1.4 L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):**

L'OFDM a été choisi comme solution dans la plupart des nouveaux systèmes de transmissions. Le choix de l'OFDM est essentiellement dû au débit élevé offert par cette solution, la souplesse d'adaptation avec le canal de propagation, la simplicité de l'implémentation et l'imminence contre l'interférence.

L'apport des systèmes de communication OFDM consiste à découper la bande passante disponible en plusieurs sous-porteuses étroites et à réaliser une transmission des données sur des flux parallèles. Il est à noter que les techniques d'accès des anciennes générations ont joué sur l'augmentation des taux de symboles ou la multiplication des données émises par des codes

orthogonaux afin de parvenir à des débits plus élevés. Ces solutions ont rendu la tâche de gérer l'Interférence Inter Symbole : Inter Symbol Interférence (ISI) très compliquée. Un autre aspect remarquable de l'OFDM est de précéder chaque symbole par un préfixe cyclique « CycliquePréfix CP », utilisé comme solution efficace pour éliminer l'ISI.[5]

### I.4.1 Principe de L'OFDM :

Le principe de l'OFDM est de transmettre les informations sur plusieurs porteuses orthogonales entre elles, ainsi le spectre du signal présente une occupation optimale de la bande allouée. Comme le montre la Figure 4, l'OFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et des fréquences. A chaque cellule fréquence/temps est attribuée une porteuse dédiée. L'information à transmettre est répartie sur l'ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une modulation du type QPSK ou QAM. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant  $t$

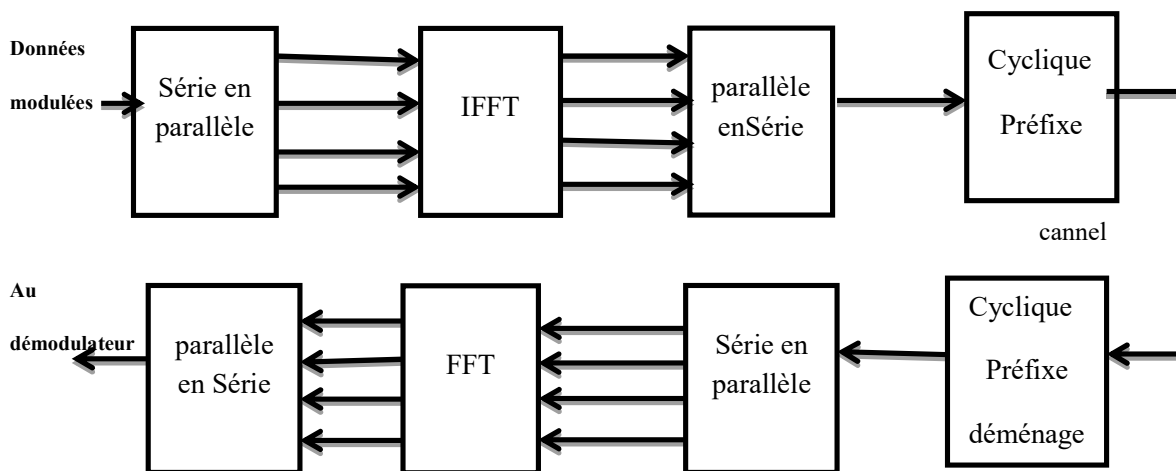


Figure 1.6 : Schéma bloc d'un système OFDM

### I.4.2 Orthogonalité:

Pour atteindre une haute efficacité spectrale, il faut que les fréquences porteuses soient transmises le plus proche possible. Ceci a pour répercussion la possibilité d'un brouillage ISI entre les signaux de l'information et de dégradation du système de transmission. L'orthogonalité permet aux signaux numériques d'être transmis sur un canal et d'être retrouvés correctement à la réception. Le système OFDM permet de diviser un signal numérique en un grand nombre de

sous-porteuses, modulées individuellement à faible débit, au lieu d'utiliser une seule porteuse, modulée à haut débit. Le spectre d'une porteuse est nul aux fréquences des autres porteuses. Dans un canal à trajets multiples, cette orthogonalité entre les sous-porteuses peut être conservée à l'aide d'adjonction d'un intervalle de garde de sorte que les symboles consécutifs soient suffisamment éloignés pour ne pas interférer entre eux.

Pour maintenir l'orthogonalité entre les sous-porteuses, il faut que le récepteur et l'émetteur soient entièrement synchronisés. Afin de répondre à cette exigence, ils doivent avoir la même fréquence de modulation et la même échelle de temps pour la transmission, ce qui n'est pas vraiment possible. D'autre part, il est également nécessaire d'avoir la meilleure qualité de canal de transmission entre l'émetteur et le récepteur. Un canal à trajets multiples qui est l'objet de réflexion et de diffraction du signal transmis, peut alors, mener à une perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses et causer une dégradation considérable du système. Afin d'empêcher cette perte, un préfixe cyclique (CP) est rajouté au début du symbole OFDM [8].

### **I.4.3 convertisseur Série / Parallèle (S/P):**

Un convertisseur Série / Parallèle (S/P) permet de convertir le train binaire périodique en données parallèles. Une transposition de fréquence est nécessaire avant de transmettre le signal OFDM dans un canal radio. Un canal radio peut être caractérisé par une bande de fréquences bien précise et, pour ne pas perturber les communications sur les autres canaux radio, il faut s'assurer que la transmission utilise seulement cette bande de fréquence. La transposition de fréquence, consiste donc à décaler la fréquence centrale du signal OFDM pour respecter les caractéristiques imposées par le canal. D'abord on sépare les parties réelle I et imaginaire Q d'un signal OFDM, ensuite, on effectue l'opération de filtrage et on transpose le spectre OFDM autour de la fréquence de l'oscillateur local, dont la fréquence est ultérieurement stabilisée grâce à une boucle à verrouillage de phase (PLL).

### **I.4.4 Modulation du signal OFDM :**

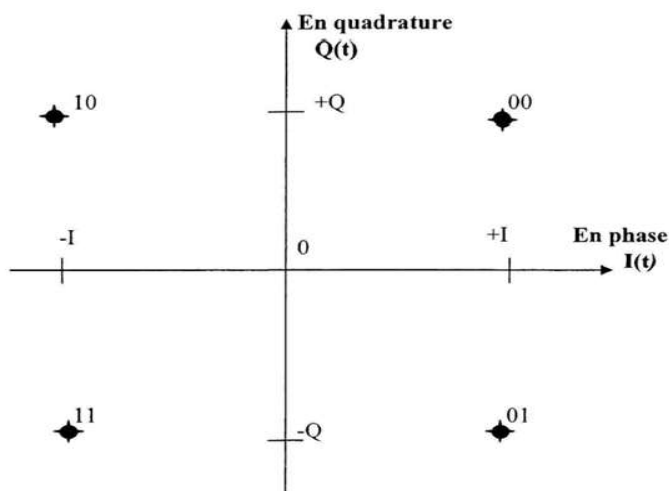
Dans un système OFDM, les bits d'informations pour chaque sous-porteuse sont modulés par la modulation QPSK ou QAM. On peut augmenter le débit binaire en augmentant le nombre d'états dans une constellation, entraînant une diminution de distance entre les points de la constellation, ce qui accroît la sensibilité du système au bruit [9].

En général, la constellation de chaque sous-porteuse montre un changement aléatoire d'amplitude et de phase provoqué par l'environnement par trajets multiples. Pour pallier ce problème, il existe deux approches : la détection différentielle et la détection cohérente. Parmi les modulations utilisées dans un système OFDM, la plus robuste est la modulation QPSK (Quaternary Phase

Shift Keying), qui code 2 bits par symbole. Les deux parties réelle et imaginaire des symboles sont déphasées de 90°:

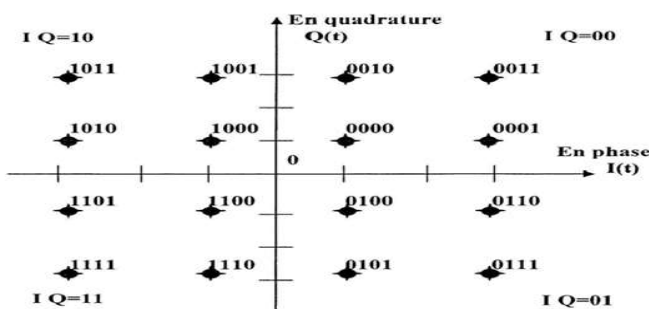
$$s(t) = I(t)\cos(Wt) + Q(t)\sin(wt) \quad (1.13)$$

La Figure 1.7 représente une constellation à quatre états (modulation QPSK. On voit clairement que le signal  $I(t)$  est égal à  $+I$  pour un bit à 0 et  $-I$  pour un bit à 1, alors que  $Q(t)$  est égal à  $+Q$  pour un bit à 0 et  $-Q$  pour un bit à 1. Chaque symbole de la constellation présentée à la Figure 1.13 contient deux bits d'informations.



**Figure1.7 Constellation QPSK**

Dans le cas de modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) à efficacité maximale, on augmente le rendement du code en augmentant le nombre de bits codés par symbole (voir la Figure 1.8) [12].



**Figure 1.8 Constellation 16-QAM.**

On remarque à la Figure 1.8, qu'il y a dans chaque quadrant de la constellation, les deux bits d'une valeur constante parmi les quatre bits codés. Dans les systèmes de modulation à constellation rectangulaire comme QPSK, 16-QAM ou 64-QAM, les bits de chaque symbole peuvent être codés avec un codage de Gray (voir la Figure 1.9). Dans ce code, le passage d'un nombre au suivant ne nécessite le changement que d'un seul bit. Cela limite les transitions (parasites).

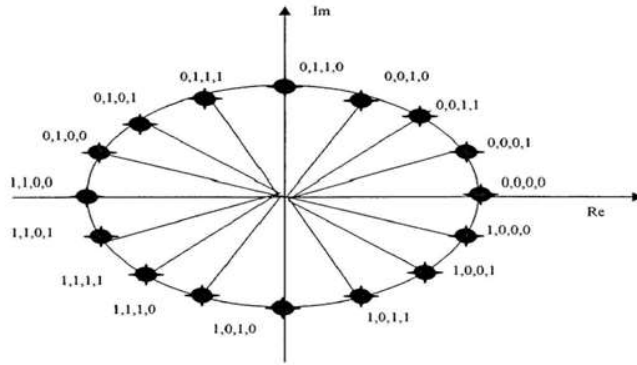


Figure 1.9 Codage de Gray de la constellation 16-QAM

#### I.4.5 transformée inverse de Fourier (IFFT):

Après l'envoi de données numériques sur un grand nombre de sous-bande porteuse modifiée signal à vitesse faible, il est formé à l'aide de Fourier OFDM transformée inverse (IFFT). Chaque symbole OFDM contient N sous porteuses, où N est un chiffre pair (fréquemment une puissance de deux). Définissant la durée de symbole OFDM comme  $T_u$  secondes et l'espacement entre les sous-porteuses comme  $\Delta w$ . Alors la durée  $T_u$  peut être représentée par la formule suivante[9]:

$$T_u = \frac{2\pi}{\Delta w} \Rightarrow \Delta w = 2\pi \Delta f \quad (1.14)$$

Le résultat de FFT du  $i^{\text{eme}}$  symbole OFDM en utilisant l'équation ci-dessus peut s'écrire comme suit[10]:

$$X_s(w) = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} X_s(k) \delta(w - \Delta w k) \quad (1.15)$$

où  $\delta$ - fonction d'impulsion.

Afin de produire le symbole OFDM dans le domaine du temps, la transformée de Fourier inverse doit être limitée à un intervalle du temps  $T_U$ . Le signal OFDM dans le domaine du temps, peut s'écrire comme :

$$X_s(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T_u}} \sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} X(k) e^{j\Delta\omega_k t} & 0 \leq t \leq T_u \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad (1.16)$$

#### I.4.6 intervalle de garde:

Après la conversion de domaine de fréquence en domaine de temps, un intervalle de garde est ajouté au signal OFDM. Il se compose d'une répétition d'un certain nombre de derniers échantillons du symbole utile qui sont ajoutés au début du symbole (intervalle de garde) :

$$X'(t) = \begin{cases} x_s(t + T_u - T_g) & 0 \leq t \leq T_g \\ x_s(t - T_g) & T_g \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad (1.17)$$

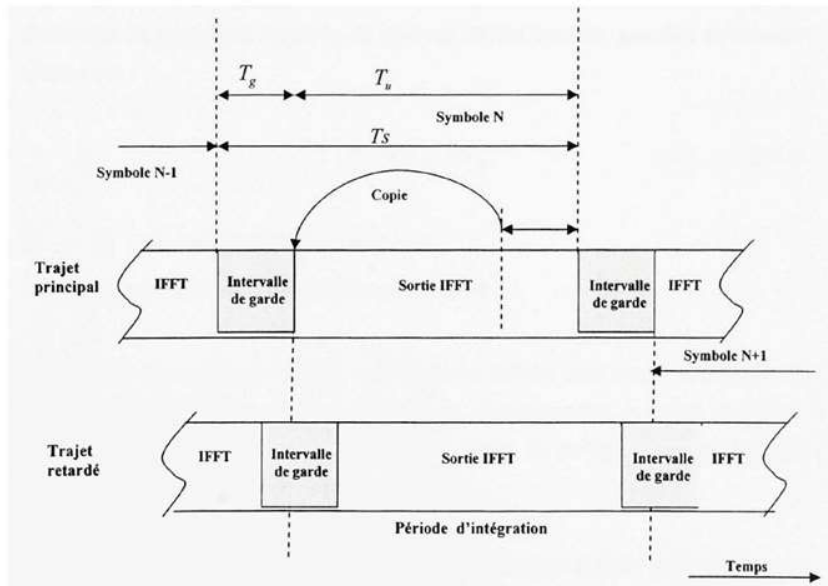
où  $T_g$  est la durée de l'intervalle de garde, et  $T_s = T_u + T_g$  est la durée du signal

Le signal complexe OFDM en bande de base généré par le module de la IFFT ne peut être directement transmis dans un canal. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer une transposition en fréquence, permettant de moduler une porteuse en phase et une porteuse en quadrature par les parties réelle et imaginaire de la trame OFDM. Finalement le signal transmis va s'écrire ainsi [10]:

$$S(t) = \text{Re} \left\{ s(t) e^{j2\pi f_c t} \right\} = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cos[2\pi(f_c + \frac{k}{T_s})t] + b_k \sin[2\pi(f_c + \frac{k}{T_s})t] \quad (1.18)$$

Après une génération du signal complexe OFDM à la sortie d'IFFT, on ajoute un intervalle de garde (CP), dont la durée va être supérieure au retard maximal des signaux issus par des trajets indirects.

Les synthétiseurs (générateurs de signaux RF) permettent la modulation avec des signaux I/Q pour obtenir: des modulations QPSK, OQPSK, 8PSK, QAM, afin de répondre aux besoins croissants d'informations transmises (débit binaire) dans une bande passante donnée. L'amplification, quel que soit son type, n'est jamais parfaitement linéaire. Il est donc impératif de filtrer après amplification.



**Figure 1.10 Intervalle de garde par prolongation cyclique**

La Figure 1.16 illustre l'insertion d'un intervalle de garde dans un symbole OFDM. Les échantillons ajoutés au début du symbole pour former un intervalle de garde est la copie exacte des derniers échantillons du symbole OFDM. L'avantage de cette recopie est que chaque signal, issu d'un trajet multiple, possèdera toujours un nombre entier de sinusoïdes sur la durée d'une trame OFDM sans son préfixe. Si le préfixe inséré au début d'une trame OFDM est muet (sans aucun signal), des interférences entre sous canaux (ICI) vont se produire. Afin d'éviter ces interférences, le préfixe ne doit pas être muet, mais être la recopie des derniers symboles de la trame OFDM. Dans le domaine fréquentiel, la sommation des signaux de la sous-porteuse issus des divers trajets ne détruira pas l'orthogonalité des sous-porteuses, elle introduira seulement un léger déphasage. Les interférences ISI se produisent lorsque le retard relatif est plus long que l'intervalle de garde [14]. La durée du symbole OFDM transmis peut être représentée comme suit:

$$T_s = T_g + T_u \quad (1.19) \quad \text{où } T_g : \text{Durée de l'intervalle de garde}$$

$T_u$  : Durée du symbole OFDM après la IFFT

Etant donné leurs longues durées, les symboles OFDM sont assez résistants aux interférences ISI causées par les phénomènes de propagation à trajets multiples. Toutefois, en considérant chaque sous-porteuse à part, on est face à des phénomènes d'atténuation d'amplitude et de rotation de phase.

Dans un système OFDM, le spectre d'un élément d'information individuel occupe normalement seulement une petite partie de la largeur de bande disponible. Une conversion série en parallèle est appliquée pour convertir le train binaire périodique en données numériques parallèles. Au récepteur, les données parallèles doivent être converties à nouveau au flux de données périodique initial.

À la réception, un intervalle de garde ajouté à l'émission après la IFFT, doit être enlevé à la réception avant le module de la FFT. Le signal reçu après l'enlèvement de l'intervalle de garde s'écrit comme suit [10] :

$$\begin{aligned}
 Y_s &= r(t' + T_g - sT_s) \\
 &= (s(t' + T_g - sT_s) * h_{u,s}(t)) e^{j\omega_0 t} + V(t' + T_g - sT_s) \\
 &= (x_s(t' + T_g) * h_{u,s}(t)) e^{j\omega_0 t} = V_s(t'_s) \\
 &= (x_s(t') * (t)) e^{j\omega_0 t} = V_s(t')
 \end{aligned} \tag{1.20}$$

où  $Y_s(t) = Y'_s(t + T_g)$ ,  $0 \leq t \leq T_s - T_g$ , et  $V_s(t')$  est un signal de bmit de la durée  $T_u = T_s - T_g$  correspondant au  $s^e$  symbole OFDM.

Pour corriger les déformations du signal introduites par le canal à trajets multiples, et donc pour retrouver les symboles OFDM initiaux, on introduit derrière le module FFT un égaliseur formé par N multiplieurs dont les coefficients peuvent être obtenus lors d'une séquence d'entraînement. Au récepteur, les données parallèles doivent être converties à nouveau au flux de données périodique original (P/S).

Pour effectuer la IFFT de taille prédéfinie, on ajoute des zéros dans le domaine temporel qui permet de finaliser le processus d'échantillonnage de la transformée de Fourier. Si l'on ajoute des échantillons nuls, de façon à obtenir une séquence de taille de la fenêtre FFT, on obtient une représentation plus réaliste du signal modulé.

## **I.5 Les différents types de technique OFDM :**

### **-C-OFDM (Coded - OFDM)**

- C-OFDM offre un réel avantage en la présence de signaux d'interférence à bande étroite isolées.

### **-MIMO-OFDM (Multiple Inputs, Multiple Outputs-OFDM)**

- Utilise plusieurs antennes pour transmettre et recevoir des signaux radio.

- multiplexage spatial.

### **-V-OFDM (Vector -OFDM)**

-Développé par CISCO.

- Augmente la couverture de l'abonné.

-Réduit le coût de provisionnement et le déploiement des infrastructures.

-Emploie la fréquence et la diversité spatiale.

- Crée une technique de traitement robuste pour trajets multiples et les interférences à bande étroite.

### **-W-OFDM (Wideband OFDM)**

-Inventé par Wi-LAN.

-Grand écart entre les transporteurs.

### **-Flash-OFDM**

-La technologie à étalement de spectre large bande.

- Évite les compromis inhérents à d'autres systèmes de données mobiles.

-Capacité de contourner les signaux parasites[20].

## **I.6 les utilisations de l'OFDM :**

- la télédiffusion numérique terrestre (DVB-T, DVB-H) ;
- la radiodiffusion numérique terrestre DAB ;
- la radiodiffusion numérique terrestre T-DMB ;
- la radiodiffusion numérique DRM ;
- les liaisons filaires telles que l'ADSL, le VDSL, les modems sur courant porteur (homeplug), les modems câble (standard Docsis) ;
- les réseaux sans-fils basés sur les normes 802.11a, 802.11g, 802.11n et 802.11ac (Wi-Fi), 802.16 (WiMAX) et HiperLAN ;
- les réseaux mobiles de nouvelle génération (LTE, 4G) qui utilisent une technique d'accès multiple basée sur l'OFDM appelée OFDMA : Orthogonal Frequency-Division Multiple Access [21].

## **I.7 Avantages et inconvénients de l'OFDM :**

### **I.7.1 Avantages :**

Les techniques de modulation OFDM offrent plusieurs avantages par rapport aux méthodes de modulation conventionnelle à une seule porteuse. Un grand avantage de l'OFDM est sa simplicité due à l'utilisation de l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). L'OFDM est basée sur la répartition de l'information à transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales modulées à bas débit binaire de façon à rendre le canal radio mobile non dispersif en temps et non sélectif en fréquence. Cette technique réside dans le chevauchement du spectre des différentes sous-porteuses produisant une efficacité spectrale optimale. L'OFDM est une solution efficace au problème d'interférence inter-symboles (ISI) dans des canaux radio mobiles, grâce à l'insertion d'un intervalle de garde après chaque symbole utile. Cet intervalle a pour effet d'absorber l'effet multi-trajets du canal et de maintenir la condition d'orthogonalité des sous-porteuses au récepteur. La procédure de conservation d'orthogonalité pour l'OFDM est beaucoup plus simple comparée aux techniques de CDMA ou de TDMA (Time Division Multiple Access). L'OFDM peut être employée dans des applications à grande vitesse de multimédia avec un faible coût de service. La solution OFDM utilise d'une façon optimale la largeur de bande disponible, elle possède donc une haute efficacité spectrale [22].

### **I.7.2 Inconvénients :**

Malgré ses nombreux avantages, la modulation OFDM possède certains inconvénients, dont particulièrement celui du rapport de la puissance maximale et la puissance moyennée du signal OFDM, soit le problème du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) qui peut causer la saturation de l'amplificateur à l'émission et mener par la suite à une perte d'orthogonalité et de rayonnements hors de la bande passante. Un PAPR très élevé signifie que le signal possède une puissance maximale plus importante par rapport à sa puissance moyenne, et que des pics d'amplitude importante sont présents. Le rapport de PAPR est directement proportionnel au nombre de sous-canaux utilisés dans le système OFDM. Par ailleurs, la modulation OFDM est extrêmement sensible aux erreurs de synchronisation qui conduisent à un TEB (Taux d'Erreur par Bit, en anglais: BER – Bit Error Rate) très élevé. Les méthodes existantes pour synchroniser le système OFDM sont basées sur l'utilisation des symboles pilotes ainsi que l'exploitation de la redondance du signal transmis. Les symboles pilotes peuvent permettre une évaluation du canal à toutes les fréquences ou utiliser certains sous-canaux pour transmettre l'information connue au récepteur[22].

### **Conclusion**

L'OFDM est utilisée pour la transmission à haut débit sur des fréquences radioélectriques dans des environnements à parcours multiples. L'information est répartie en petits blocs de données qui sont chacun affectés à des porteurs orthogonaux. L'avantage de ce processus est de pouvoir récupérer l'information transmise même si plusieurs échos ont affecté la transmission radioélectrique. Cette technique peut être adaptée par (VLC) pour la transmission à grande vitesse. Nous étudierons ce processus au chapitre 2.

---

## *Chapitre 02*

### *communication par la lumière visible (VLC)*

#### **II.1 Introduction:**

Récemment, il y a eu un intérêt accru pour les systèmes de communication par lumière visibles. La recherche est motivée par un besoin accru des systèmes de communication intérieurs et l'amélioration des technologies de diodes électroluminescentes (LEDs)

dans ce chapitre nous avons présenté la définition de VLC et les systèmes de communication VLC, ainsi que on va traiter les applications de communication VLC. Enfin, une description de quelques notions des avantages et des inconvénients.

#### **II.2 Historique:**

Depuis les temps les plus anciens jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, tous les systèmes de communication VLC ont été tributaires de l'œil, qui tenait lieu de récepteur. L'invention du photophone par Alexander Graham Bell et Charles Sumner Tainter a radicalement changé la nature des communications VLC. En effet, ces deux inventeurs se sont appuyés sur le fait que la résistance du sélénium varie en fonction de l'intensité de la lumière et ont utilisé cette propriété en le reliant à un récepteur téléphonique pour envoyer des signaux audio. De nombreuses améliorations ont été apportées à ces systèmes jusqu'aux années 50, mais la plupart des matériaux employés pour la détection présentent une plus grande sensibilité au rayonnement infrarouge, ce qui empêche d'utiliser la lumière visible comme support de transmission.

L'arrivée sur le marché des diodes électroluminescentes (LED) a suscité un regain d'intérêt pour l'utilisation des communications VLC. L'avènement des diodes LED à l'arséniure de gallium (GaN) [1] et des luminophores émettant du blanc [2], en particulier, a permis de disposer de sources de lumière visible pouvant être modulées à des débits plus élevés, sans que leur fonction principale d'éclairage en pâtisse. En 2004, les premières démonstrations de communication à haut débit à l'aide de diodes LED ont été effectuées au Japon au moyen de photodiodes. Grâce à la multiplication des téléphones cellulaires équipés de caméras, ces dispositifs ont pu être utilisés comme récepteurs VLC. Des chercheurs ont commencé à utiliser des écrans à affichage de cristaux liquides (LCD) et d'autres éléments d'affichage en tant qu'émetteurs.

Le Consortium pour la communication par la lumière visible (VLCC) du Japon a été l'un des premiers organismes de normalisation à mener des travaux sur une norme relative aux

communications VLC. En 2008, cet organisme a élargi la portée de la norme élaborée par l'Association sur les données infrarouge (irDA) pour les communications infrarouges, de façon à y inclure le spectre de la lumière visible[23].

### II.3 Définition:

La communication par la lumière visible (VLC) fait référence à la technologie de communication, qui utilise la source de lumière visible comme émetteur de signal, l'air comme support de transmission et la photodiode appropriée comme composant récepteur de signal.

- ❖ la lumière visible est la forme dans laquelle le rayonnement électromagnétique avec des longueurs d'onde dans une plage particulière est interprété par le cerveau humain.
- ❖ la lumière visible est composée d'ondes électromagnétiques perceptibles visuellement
- ❖ le spectre visible couvre les longueurs d'onde de 380 nm à 750 nm[24].

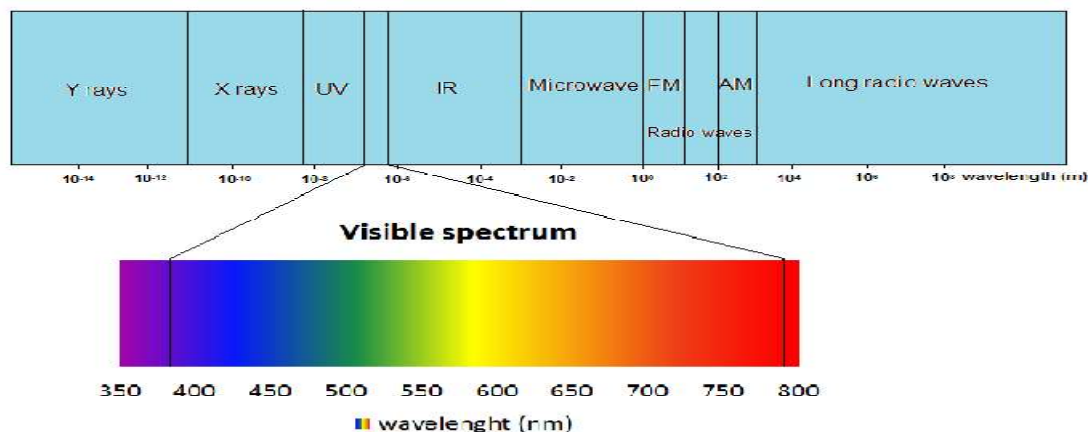
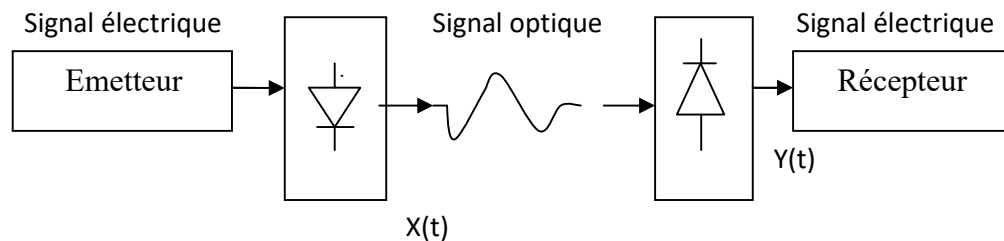


Figure 2.1 Partie de la lumière visible du spectre électromagnétique.

### II.4 Systèmes de communication VLC:

La plupart des systèmes optiques sans fil sont des systèmes à modulation d'intensité et à détection directe du signal émis, en anglais IM/DD (Intensity Modulation/Direct Detection). Dans un système IM/DD, l'information n'est pas portée par la fréquence ou la phase mais plutôt par l'intensité du signal optique. La conversion du signal électrique  $x(t)$  en intensité optique est réalisée par une LED. L'onde optique est ainsi propagée dans le canal. En réception, il est nécessaire de réaliser la conversion inverse permettant de revenir au domaine électrique. Cette fonction est assurée par un photo-détecteur. Celui-ci réalise une détection des faisceaux lumineux et produit un courant

$y(t)$  proportionnel à l'intensité optique reçue. La figure 2.2 montre un schéma général des liaisons optique sans fil.



**Figure 2.2 : Schéma général d'un système optique sans fil.**

L'objectif principal du récepteur est de retrouver l'information contenue dans  $y(t)$ . Remarquons que la grandeur envoyée sur le canal optique  $x(t)$  est une puissance, donc cette dernière ne peut prendre que des valeurs supérieures ou égales à zéro.

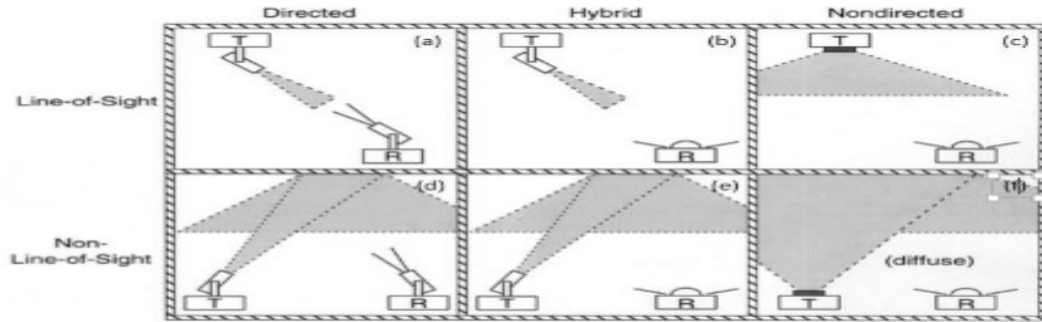
### II.4.1 Emetteur VLC:

Comme nous l'avons précisé déjà en introduction, l'émetteur aura simultanément un double rôle dont l'éclairage et la transmission de données. De ce fait, l'émetteur doit s'adapter aux conditions d'éclairage pour la sécurité visuelle. Cela signifie que, c'est une puissance optique acceptable qu'on doit faire varier pour transmettre des données. Le composant central de l'émetteur est le modulateur. Celui-ci convertit les données en message modulé adapté au canal. Le modulateur commande la commutation des LED selon les données binaires ou symboles et au débit imposé. Généralement, les modulateurs mono-porteurs tels que l'OOK (On Off Keying), PPM (Pulse Position Modulation) ou PAM (Pulse Amplitude Modulation) etc sont les plus convenables en IM/DD. Mais d'autres techniques de modulation plus avancées, comme le QAM (Quadrature Amplitude Modulation) et l'O-OFDM (Optical-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) sont en cours d'étude et d'amélioration dans le domaine pour le très haut débit.

### II.4.2 Canal VLC:

#### II.4.2.1 Différentes configurations:

Le principal challenge dans la conception et la modélisation d'un système VLC est l'alignement de l'émetteur et du récepteur. La conception d'une liaison VLC indoor peut être classifiée en deux grandes catégories identiques à celui de l'infrarouge comme le montre la figure 2.3.

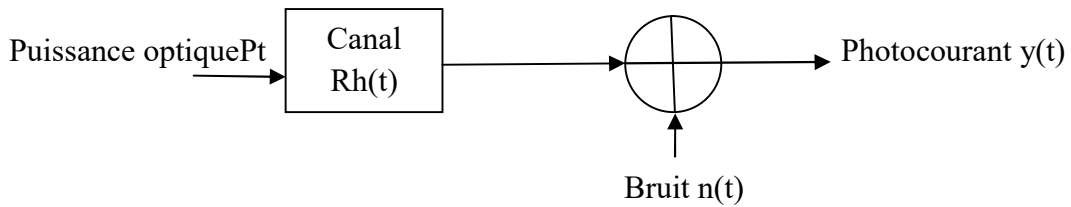


**Figure 2.3: Classification des canaux de liaisons en VLC**

Nous distinguons les canaux LOS (Line Of Sight) et non-LOS chacun à configuration Directed, hybrid et Nondirected, souvent appelé LOS Diffus ou non-LOS diffus respectivement. Les deux grandes catégories de canal se diffèrent généralement par le positionnement de l'émetteur et du récepteur.

#### II.4.2.2 Modélisation d'un canal VLC indoor:

Le modèle schématisé sur la figure 2.4 est un modèle simplifié d'une liaison optique sans fil, particulièrement le VLC



**Figure 2.4 : Modèle équivalent en bande de base d'un système optique sans fil IM/DD.**

Bien que les liaisons OWC indoor souffrent des effets d'évanouissement dû aux trajets, elles souffrent également des effets de dispersion, lesquels se manifestent dans le sens pratique par des interférences inter-symboles. Cette dispersion est modélisée par le canal en bande de base linéaire de réponse impulsionnelle  $h(t)$ . En terme mathématique, l'équivalent de ce modèle est :

$$y(t) = R h(t) \otimes Pt + n(t) \quad (2.1)$$

Le symbole  $\otimes$  désigne la convolution,  $Pt$  représente les puissances optiques des symboles à l'entrée du canal,  $R$  la sensibilité de la photodiode et  $n(t)$  le signal du bruit indépendant du signal utile [25]. La fonction  $h(t)$  représente la réponse impulsionnelle du canal dont l'expression dépend de la configuration du système

Note : On appelle sensibilité de la photodiode le rapport du courant en sortie sur la puissance optique d'entrée.

Pour la sécurité de la vision humaine, une limitation de la puissance maximale optique transmise admissible est exigée. Cette puissance maximale  $P_{max}$  est de :

$$P_{max} = \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) dt \text{ Où } x(t) \text{ représente les symboles (2.2)}$$

En analysant, la restriction se fait sur la puissance moyenne des valeurs de  $Pt$  qui ne doit pas excéder  $P_{max}$ .

### II.4.2.3 Modélisation du bruit en VLC:

Le bruit  $n(t)$  présent dans une liaison optique peut être issu de deux origines, le bruit ambiant et le bruit thermique. Le premier provient de sources lumineuses parasites ou naturelles (soleil, lampes, néons...) alors que le second est généré par les éléments résistifs du récepteur (et notamment le préamplificateur). Leurs expressions sont les suivantes :

➤ La variance du bruit ambiant est donnée par :

$$\sigma^2_{ambiant} = 2 q (I_{rx} + I_{ambiant}) B_n \quad (2.3)$$

Avec

-  $q$  est la charge élémentaire de l'électron,

-  $I_{rx}$  et  $I_{ambiant}$  sont respectivement le courant du signal généré par la photodiode et le courant de la lumière ambiante.

-  $B_n = I_2 R_b$  avec  $I_2$  est le facteur de la bande passante du bruit et  $R_b$  le débit.

➤ La variance du bruit d'amplification est donnée par :

$$\sigma^2_{ampli} = i^2_{ampli} B_a \quad (2.4)$$

Où  $B_a$  est la largeur de bande d'amplification

➤ Enfin, la variance du bruit thermique s'exprime par :

$$\sigma^2_{thermique} = \frac{8\pi n K T_k A R_b I_2 B^2}{G} + \frac{16 \pi^2 n^2 K T_k \Gamma R_b^2 A^2 I_3 B^3}{g m} \quad (2.5)$$

Les deux termes constituent respectivement le bruit du transistor FET et celui du canal.  $K$  est la constante de Boltzmann,  $T_k$  est la température absolue,  $G$  le gain en tension de circuit en boucle ouvert,  $\Gamma$  est le facteur de bruit du transistor FET égale à

1.5,  $n$  la capacitance de la photodiode par unité de surface et  $g_m$  la transconductance [26], [27].

Cependant, pour les communications optiques sans fil où le débit de transmission est faible, le bruit ambiant est la source de bruit prépondérante [28]. De plus, la puissance continue de ce bruit est très supérieure à l'intensité du signal optique. Dans ce cas, le bruit ambiant est généralement modélisé par un bruit blanc additif gaussien, Additive White Gaussian Noise (AWGN) d'où la variance est donnée par  $\sigma^2 = N_0 B$  ou  $N_0$  est la densité spectrale de puissance du bruit et  $B$  est la bande passante. Les bruits sont calculés de manière analytique mais par contre il existe plusieurs méthodes pour calculer les pertes en réflexion dont le ceiling bounce, Hayasaka-Ito et la méthode sphérique [25].

#### II.4.2.4 Modélisation des réflexions : méthode sphérique:

Ceci concerne les liaisons diffuses où les pertes optiques dépendent de plusieurs facteurs, dont les dimensions de la chambre, la réflectivité du plafond, du mur et l'orientation du couple émetteur-récepteur. En effet, le faisceau de lumière propagée par la LED arrive à la réception via deux principaux types de canaux : Light Of Sight et les canaux diffus [26] :

L'estimation globale la moyenne de réflectivité  $\rho$  dans l'enceinte est:

$$\rho = \frac{1}{A_{room}} \sum_i A_i \rho_i \quad (2.6)$$

Où  $\rho_i$  représente les coefficients de réflexion sur le mur, le plafond le sol et/ou autre objet présent dans la chambre et  $A_i$  la surface des objets respectifs.

L'intensité de la première réflexion sur les parois de surface  $A_{room}$  est donnée par :

$$I_1 = \rho_1 \frac{P_t}{A_{room}} \quad (2.7)$$

Alors, l'intensité totale est :

$$I = I_1 \sum_{j=1}^{\infty} \rho^{j-1} \frac{I_1}{1-\rho} \quad (2.8)$$

Avec l'index  $j$  comme nombre de réflexions

En réalité les réflexions n'affectent pas l'expression de la fonction de transfert du canal mais plutôt la puissance totale reçue par la photodiode.

### II.4.3 Le récepteur VLC :

Le rôle du récepteur est de pouvoir extraire les données du faisceau lumineux reçu. Il transforme la lumière en signal électrique par le biais de la photodiode. Le signal électrique sera plus tard démodulé et décodé par un module (FPGA ou un microcontrôleur) pour retrouver l'information. Généralement, les récepteurs VLC sont basés sur les éléments photosensibles qui ont une largeur de bande élevée et offrent la possibilité de communication à grande vitesse.

### II.5 Applications:

Les communications par lumière visible peuvent être assurées classées dans trois catégories:

- communications par capteur d'image (ISC);
- communications par récepteur à photodiode à bas débit (LR-PC);
- communications par récepteur à photodiode à haut débit (HR-PC). En ce qui concerne la définition d'un débit faible et d'un haut débit, le seuil du débit de données est de 1 Mbit/s mesuré au niveau de la sortie de la couche physique du récepteur. Un débit inférieur à 1 Mbit/s est considéré comme un faible débit, tandis qu'un débit supérieur à 1 Mbit/s est considéré comme un haut débit.

#### Communications par capteur d'image :

Les communications ISC permettent aux communications OWC d'utiliser des sources lumineuses comme émetteur et des capteurs d'image comme récepteur. Les applications possibles sont les suivantes:

- services géolocalisés/localisation et navigation à l'intérieur de bâtiments;
- applications bureautiques/domestiques en intérieur (salles de conférence, centres commerciaux, musées, salles d'exposition, etc.);
- communications entre véhicules;
- applications d'étiquette à LED;
- communications point à (multi) point/par relais;

#### Communications par photodiode à bas débit:

Les communications par photodiode à bas débit ont besoin de sources lumineuses comme émetteur et de photodiodes à bas débit comme récepteur. Les principales applications sont analogues à celles qui existent pour les applications par capteur d'image. Les communications par récepteur à photodiode à bas débit (LR-PC) sont principalement utilisées pour les sources lumineuses à étiquettes (par exemple, les étiquettes LED et les flash lumineux des smartphones, etc.) comme émetteur. Elles peuvent servir de mécanismes destinés à assurer le transfert entre les sources lumineuses, ce qui permet aux utilisateurs d'assurer une connexion continue au réseau.

Les communications LR-PC peuvent constituer des mécanismes pouvant être utilisés par les couches supérieures pour concevoir et fournir des techniques de coordination des brouillages et peuvent prendre en charge des mécanismes de rétablissement de la liaison pour assurer une connexion dans les canaux non fiables et réduire les retards de connectivité

#### **. Communications par photodiode à haut débit :**

Le recours à des récepteurs par photodiode à haut débit permettra d'assurer des communications sans fil à haut débit bidirectionnelles, en réseau et mobiles. Les principales applications de ce mode de communication sont les suivantes:

- applications bureautiques/domestiques en intérieur (salles de conférence, centres commerciaux, musées, salles d'exposition, etc.);
- centres de données/sites industriels, communications sans fil sécurisées (cellules de fabrication, usines, etc.);
- communications entre véhicules;
- liaisons de raccordement hertziennes (raccordement à petites cellules, raccordement de surveillance, pontage LAN); – soins de santé;
- services de transmission de données à bord de véhicules (avion, train, navire, bus, etc.).

## **II.6 sources d'éclairage générales:**

- ✓ ampoule incandescente

-Première source de lumière industrielle

-5% de lumière, 95% de chaleur

-Quelques milliers d'heures de vie



✓ lampe fluorescente

-Lumière blanche

-25% de lumière

-10, 000s heures



✓ diode électroluminescente à semi-conducteurs (LED)

-Compact et

-50% de lumière

-Durée de vie de plus de 50 000 heures [29]



## II.7Caractéristique générale:

-Visibilité: esthétiquement agréable

-Sécurité: ce que vous voyez est ce que vous envoyez.

-Santé: inoffensif pour le corps humain et les appareils électroniques

-Non réglementée: pas de place pour utiliser plus de fréquence radio

- Utilisation dans la zone réglementée: avion, vaisseau spatial, hôpital
- Sécurité oculaire .

## II.8 Avantages :

Comparées aux technologies RF, les communications par optique sans fil présentent de nombreuses caractéristiques très avantageuses [30]

Le premier argument avancé est la bande passante disponible pour cette technologie. Contrairement aux RF, elle s'étend sur plusieurs GHz et peut être utilisée sans restriction. Cet avantage permet de répondre au problème croissant de la congestion du spectre RF, limitant de plus en plus le déploiement de nouveaux appareils et réseaux de communications.

Deuxièmement , du fait des valeurs des longueurs d'onde ( $\approx$ nm) par rapport aux dimensions des récepteurs ( $\approx$ cm) cette technologie n'est pas, contrairement aux RF, sujette aux évanouissements multi-trajets.

Autre avantage : l'absence de génération de perturbations électromagnétiques. L'utilisation d'ondes lumineuses permet en effet de s'affranchir des problèmes de perturbation qui se posent dans le domaine RF, spécifiquement dans des environnements comme les avions, les trains ou encore les milieux hospitaliers. On peut ensuite noter le fait que les rayons lumineux traversent mal la matière. Ils sont donc généralement confinés dans leur environnement. C'est un avantage qui permet d'améliorer la sécurité de l'information (interception des données impossible de l'extérieur), mais qui limite de manière évidente la couverture et rend aussi cette technologie très sensible aux phénomènes de blocages. En fin ,cette technologie permet de combiner les fonctions d'éclairage et de communication et donc s'appuie sur des émetteurs disséminés un peu partout dans l'environnement. Chaque lampe est en effet susceptible de transmettre à condition que l'ampoule soit à LED. Ainsi, les besoins en termes d'installation et de maintenance sont réduits.

## II.9 les inconvénients :

Toute technologie présente des inconvénients, et les communications par optique sans fil n'échappent pas à cette règle.

Tout d'abord, comme précisé précédemment, le fait que la lumière ne puisse pas traverser la matière opaque pose de graves problèmes de blocages. En effet, si le récepteur est bloqué par n'importe quel objet, aucun signal lumineux ne peut parvenir jusqu'à lui, rompant ainsi son lien avec le signal émis.

D'autre part, l'impact de la puissance optique émise ne peut être négligé. Dans le domaine de l'infrarouge ou de l'ultraviolet, cela se manifeste par une limitation en puissance liée au danger de ce type de rayonnement sur la rétine ou sur la peau. Dans le domaine du visible, cette limitation est liée à la notion d'éblouissement car le signal émis dépend de l'éclairement fourni par la source. On note également que si on éteint totalement la source lumineuse, on ne peut émettre aucun signal. De plus, il existe certains cas pour lesquels la lumière visible peut aussi avoir un impact physiologique. En effet, il est possible de voir apparaître des effets de scintillements lors de l'envoi d'informations. Cet effet peut-être dû, par exemple, à une longue suite d'états où la lumière est éteinte, créant ainsi une trop grande discontinuité du signal optique. Ceci a pour effet de rendre perceptible le changement d'état de la source, conduisant à un inconfort visuel et même parfois à des nausées. Il existe néanmoins de nombreuses méthodes au niveau de la modulation du signal permettant de résoudre ce problème.

Enfin, on peut noter que cette technologie peut être parasitée par de nombreuses sources de bruits optiques ambiants comme le soleil, les lampes à incandescences ou n'importe quelle autre source lumineuse

### **Conclusion:**

Il ressort de l'évolution récente des communications OWC, des travaux de normalisation et des produits d'éclairage existants que les communications VLC sont une technologie éprouvée, qui offre de nombreux avantages pour décongestionner le spectre des fréquences radioélectriques. Afin d'améliorer l'efficacité de la bande passante, la technique (ACO-OFDM) et (DCO-OFDM) a été proposée pour une utilisation appropriée du schéma OFDM. Ceci est discuté en détail au chapitre 3 en plus de la simulation.

---

### *Chapitre 03*

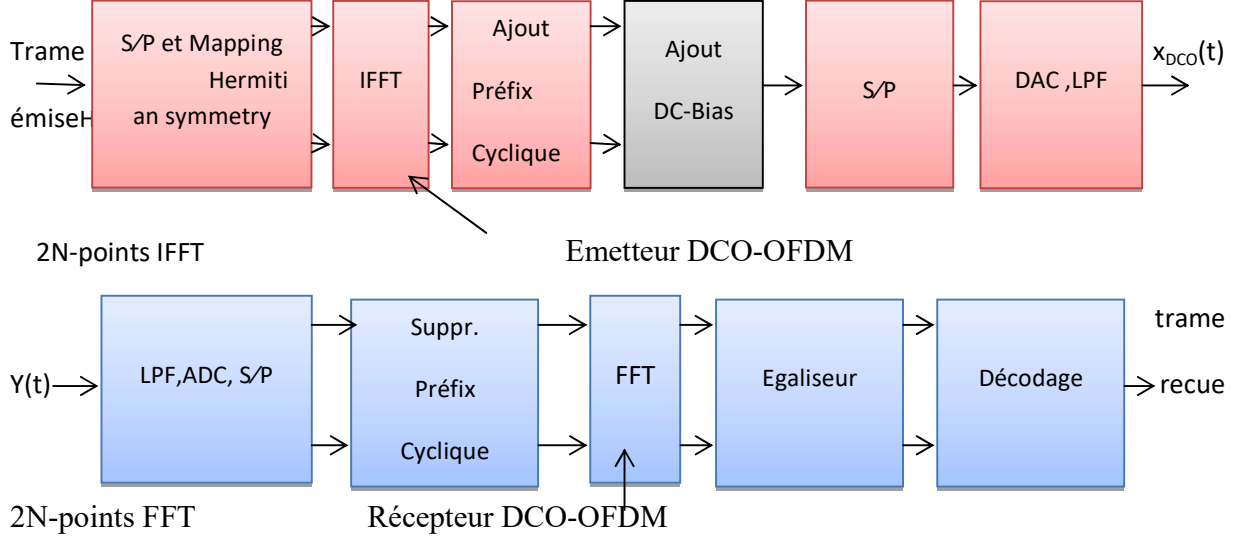
#### *Simulation et Résultats*

#### **III.1 Introduction:**

Dans ce chapitre, . Nous allons utiliser le taux d'erreur binaire, (BER : Bit Erreur Rate) . par le tracé de la variation du BER en fonction du rapport signal sur bruit (SNR) ou de façon équivalente du rapport énergie binaire sur densité spectrale du bruit. , à savoir l'OFDM optique à polarisation (DCO-OFDM), l'OFDM optique à découpage asymétrique (ACO-OFDM). et Pour étudier ce performance, nous avons développé un programme sous l'environnement Matlab, ce qui représente l'essentiel de notre travail dans ce mémoire, qui permet de simuler la transmission sur un système de communication VLC OFDM

#### **III.2 Modèles de système DCO-OFDM :**

La technique DCO-OFDM (DCO) est une technique proposée pour la première fois, par les chercheurs Carruthers et Kahn dans le but de générer un signal OFDM réel et positif. Cette technique consiste d'une part, à ajouter une composante continue (DC-bias) au signal réel bipolaire  $x(t)$ , et d'autre part. La Figure 3.1 présente le schéma de principe d'une liaison DCO-OFDM sous forme de blocs émetteur et récepteur. A l'émetteur, trois blocs additionnels ont été ajoutés par rapport à l'émetteur OFDM conventionnel. Le premier bloc représente la symétrie hermitienne et les deux autres, l'ajout de la composante continue .Par contre, le récepteur reste inchangé. On note entre autres : un bloc de suppression de préfixe cyclique introduit à l'émission, un bloc FFT pour la démodulation OFDM, un bloc d'égalisation des symboles reçus puis enfin, le module de décodage des symboles égalisés[31].

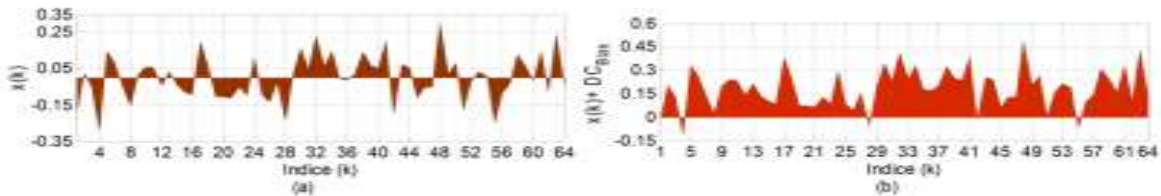


**Figure 3.1 : Schéma blocs d'une liaison DCO-OFDM : (a) Emetteur, (b) Récepteur.**

Compte-tenu de la symétrie hermitienne, le nombre d'entrées des blocs IFFT et FFT est de  $2N$  pour  $N$  symboles transmis. Si  $X = [X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}]$  représente le vecteur symbole à l'entrée du bloc IFFT de la liaison DCO-OFDM, alors  $X$  doit vérifier l'équation et satisfaire la propriété de symétrie hermitienne définie par:

$$\begin{cases} X_k = X_{2N-k}^* & 0 < K < N \\ X_0 = X_N = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Avec la symétrie hermitienne, le signal en sortie de l'IFFT est réel. Ce signal est sérialisé puis précédé d'un préfixe cyclique. Après ajout d'une composante continue suffisante, le signal discret résultant est ensuite converti dans le domaine analogique via un DAC puis filtré. Le signal  $x(k)$  obtenu après l'IFFT est présenté à la Figure 3.2[32].



**Figure 3.2 : (a) Signal OFDM après IFFT, (b) Signal OFDM après ajout de  $DCBias = 5 \text{ dB}$ ,**

Ce signal  $x(k)$  est réel et bipolaire. Après ajout d'une composante continue  $DCBias(dB) = 5 \text{ dB}$ , le signal résultant à la Figure 3.2(b) présente encore quelques pics négatifs. Le processus de zéro-clipping s'exprime mathématiquement par l'expression analytique suivante :

$$[x_c(k)] = \begin{cases} x(k), & \text{si } x(k) \geq 0 \\ 0, & \text{si } x(k) < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

L'ajout de la composante continue ( $DC_{Bias}$ ) au signal bipolaire relève de la nécessité à fournir une puissance optique suffisante pour la transmission du signal OFDM de PAPR élevé. Dans ce contexte, un choix assez judicieux de la valeur  $DC_{Bias}$  est nécessaire pour réussir à éliminer tous les pics négatifs du signal OFDM. Par contre, plus  $DC_{Bias}$  est élevé, plus augmente la consommation en puissance optique. Ce qui suggère donc un choix assez modéré de la valeur  $DC_{Bias}$ . En théorie, les valeurs de  $DC_{Bias}(dB)$  utilisées sont : 7 dB, 11 dB et 13 dB. Mais généralement, ces valeurs  $DC_{Bias}$  sont choisies en fonction de la puissance moyenne  $E\{x^2(k)\}$  du signal bipolaire OFDM via :

$$DC_{Bias} = \mu \sqrt{E\{x^2(K)\}} \quad (3.3)$$

où  $\mu$  représente la constante de proportionnalité et  $DC_{Bias}$  le niveau de composante continue nécessaire, exprimé en dB sous la forme :  $10 \log_{10}(\mu^2 + 1)$ . En IM/DD, le signal  $x_{DCO}(t)$  généré va moduler en intensité une source optique avant d'être transmis dans un canal

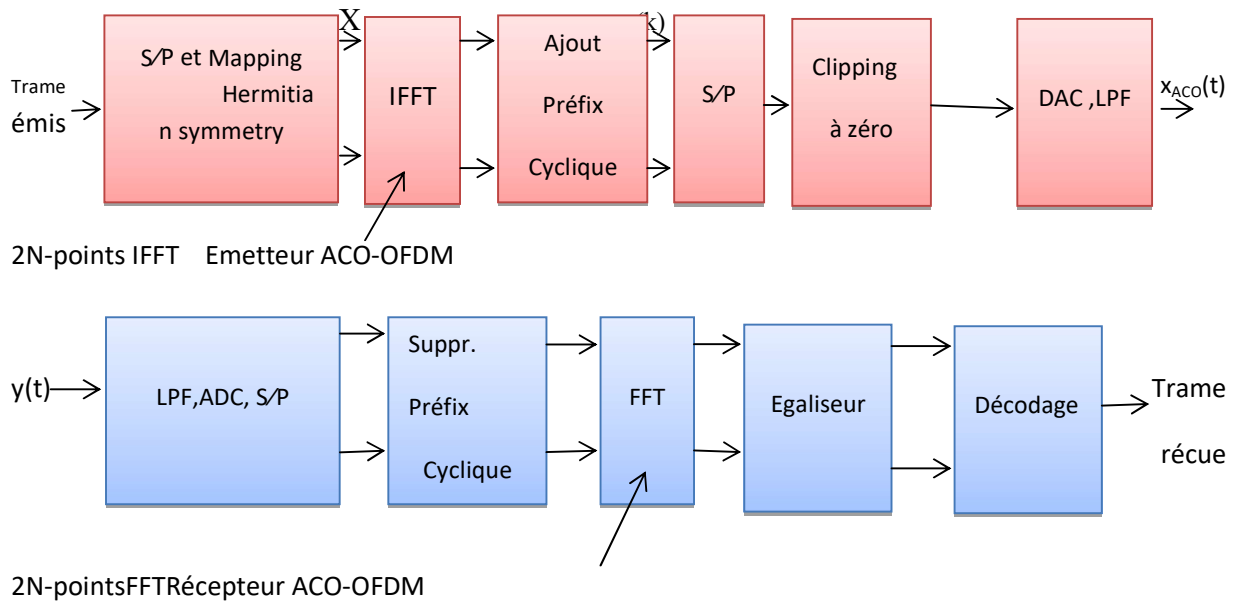
optique.

En considérant un canal optique plat à bruit AWGN  $n(t)$ , la Figure 3.6 présente les performances BER obtenues en fonction de SNR pour deux niveaux différents de  $DC_{Bias}$ .

### III.3 Modèles de système ACO-OFDM :

La technique ACO a été proposée la première fois par J. Armstrong et al. Avec la technique ACO, seules les sous-porteuses d'ordre impair sont utilisées pour la transmission des données. Les sous-porteuses d'ordre pair ne sont pas modulées.

Une autre différence avec la DCO-OFDM, est qu'aucune composante continue additionnelle n'est nécessaire. À l'émission, les sous-porteuses impaires sont modulées via un bloc IFFT. Les symboles à l'entrée du bloc IFFT sont sous la forme d'un vecteur  $X = [0, X_1, 0, \dots, X_{N-1}]$  composé uniquement de composantes impaires avec une symétrie hermitienne. Le signal  $x(k)$  obtenu après l'IFFT est réel bipolaire (cf. Figure 3.4(a)). Ce signal présente une antisymétrie définie par l'équation [33]

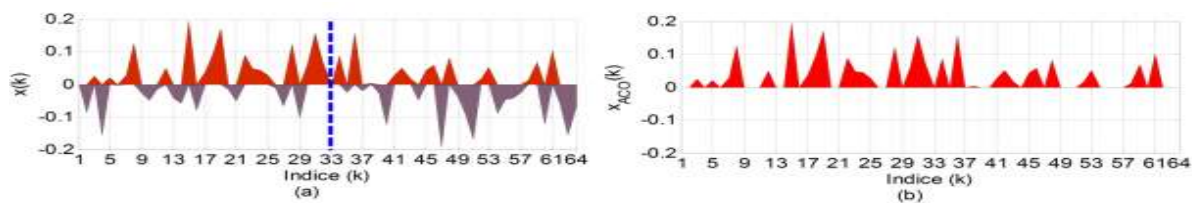


**Figure 3.3 : Schéma blocs d'une liaison ACO-OFDM : (a) l'émetteur, (b) le récepteur.**

Cette antisymétrie est observable par exemple à la Figure 3.10(a). On remarquera que pour chaque échantillon positif  $x(k)$ , correspond un échantillon négatif  $x(k + N)$  de même amplitude, tel que :

$$x(k) = -x(k + N) \text{ pour } 0 < k < N \quad (3.4)$$

Le signal  $x(k)$  est sérialisé puis converti en signal analogique via un DAC suivi d'un filtre passe-bas, générant un signal  $x_{ACO}(t)$  réel unipolaire comme à la Figure 3.4(b).



**Figure 3.4 : (a) Signal OFDM obtenu après IFFT, (b) Signal ACO-OFDM résultant.**

De par la propriété d'antisymétrie. A la Figure 3.4(b), seules les sousporteuses d'ordre impair sont démodulées après égalisation.

### III.4 Performances des techniques ACO et DCO dans un canal plat

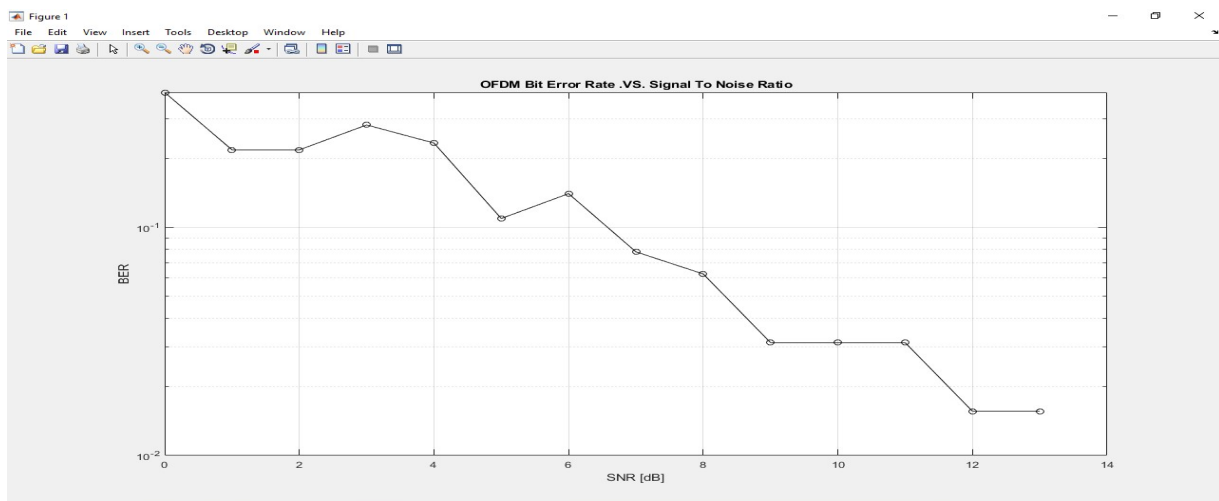
**AWGN :** Cette section présente les résultats obtenus dans un canal plat AWGN, en implémentant les techniques ACO et DCO. Pour les différentes constellations QAM étudiées, on observe à permet de réaliser des performances (BER) quasi-similaires à celles obtenues en OFDM conventionnel. Ceci implique donc au niveau récepteur, un SNR global identique à celui de l'OFDM conventionnel. En conclusion, permet de réaliser des performances similaires à celles de l'OFDM conventionnel mais avec un temps de calcul réduit de moitié : donc diminution de la consommation d'énergie [34].

### III.5 étude de simulation BER vs SNR :

#### Résultats et interprétions

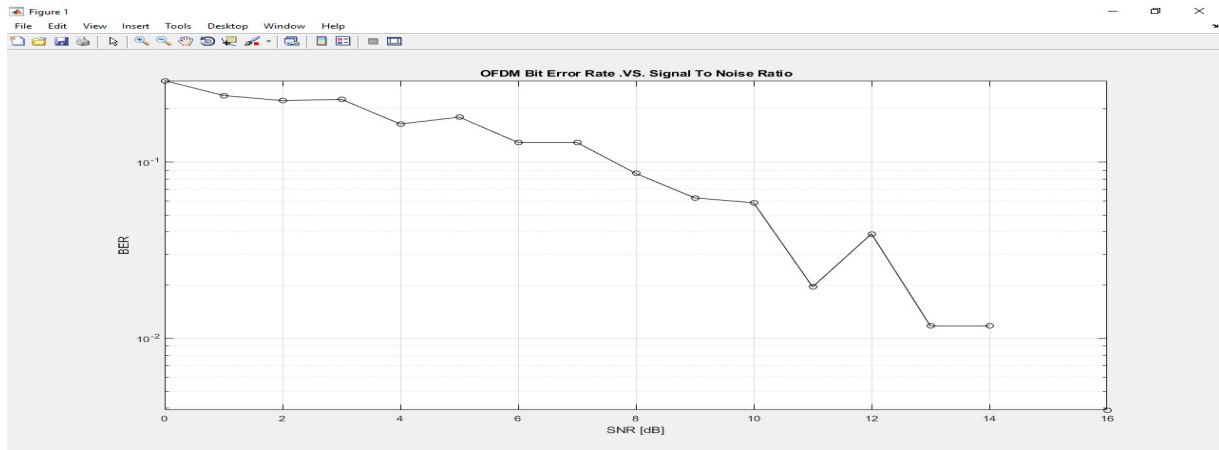
#### 5.1 OFDM

#### 16-QAM



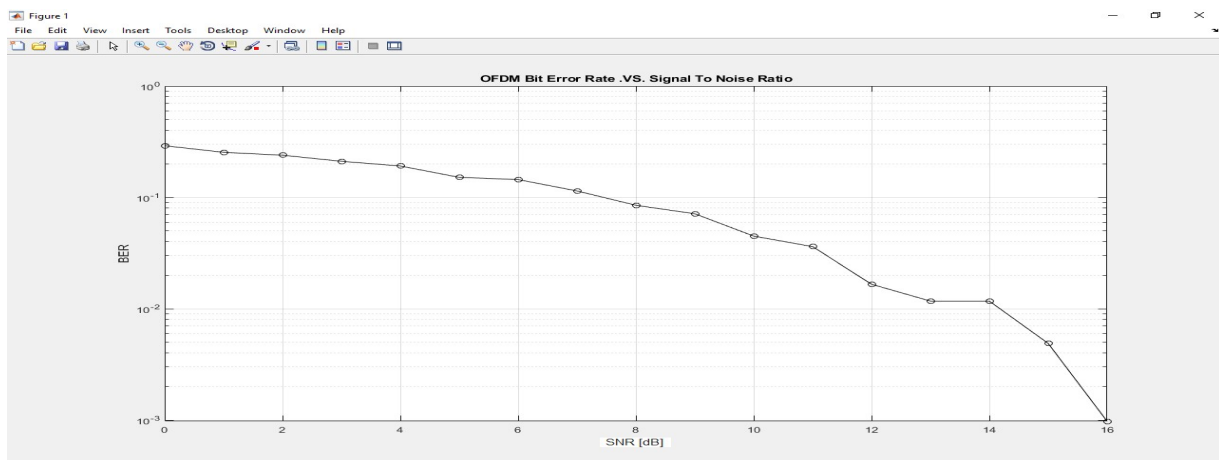
**Figure 3.5 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 16- QAM en fonction de SNR.**

## 32-QAM



**Figure 3.6 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 32-QAM en fonction de SNR.**

## 64-QAM



**Figure 3.7 : Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour 64- QAM en fonction de SNR.**

**Comparaison :** les trois figures(3.5),(3.6)et(3.7) qui représentent Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour le diffèrent M-QAM en fonction de SNR après la simulation En implémentant les techniques de modulation QAM nous avons observé que :

-BER est faible en 16-QAM par rapport à 64-QAM pour des valeurs plus élevées de SNR D'où des erreurs minimales se produisent dans les données reçues pour le canal 16-QAM comparé à 64-QAM .

-Les valeurs BER va diminuer pour le canal AWGN. Cela signifie erreur maximale se corrige au récepteur .

-BER est moyen en 32-QAM par rapport le deux valeur de modulation

Donc on remarque Plus la valeur QAM est élève correspond à l'augmentation de BER

## 5.2 ACO-OFDM

### 16-QAM

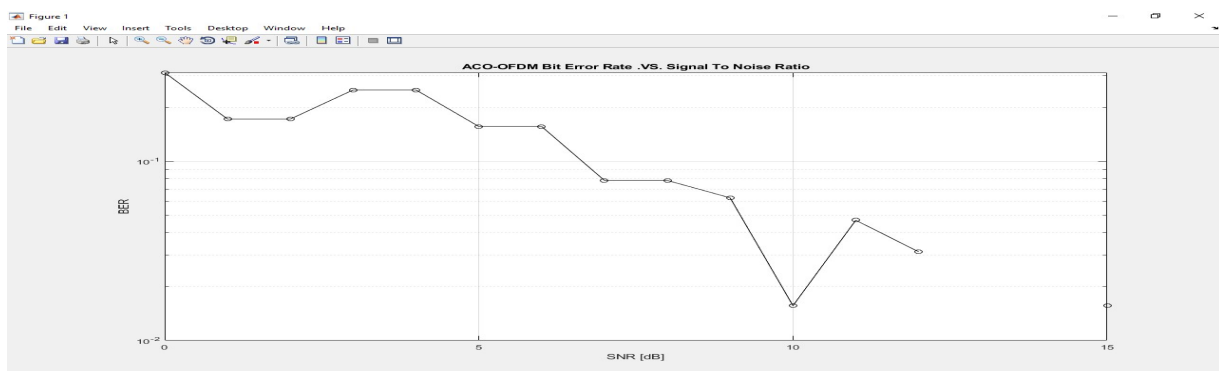
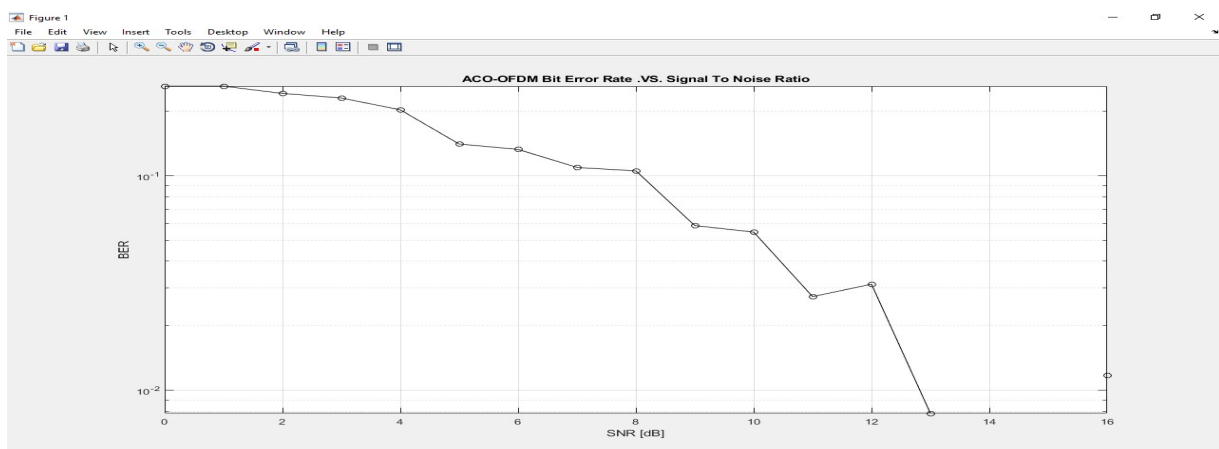


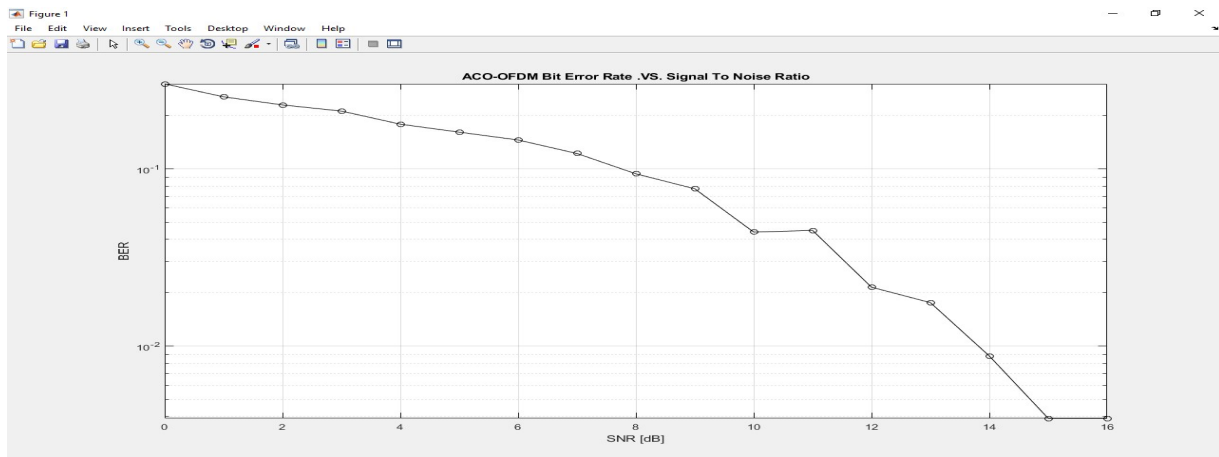
Figure 3.8 : Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour différentes QAM en fonction de SNR.

### 32-QAM



**Figure 3.9 : Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour 32-QAM en fonction de SNR.**

### 64-QAM



**Figure 3.10 :Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour 64-QAM en fonction de SNR.**

Comparaison : les trois figures(3.8),(3.9)et(3.10) qui représentent Performances de technique ACO-OFDM dans un canal AWGN pour le diffèrent M-QAM en fonction de SNR après la simulation En implémentant les techniques de modulation QAM nous avons observé que :

-BER est faible en 16-QAM par rapport à 64-QAM pour des valeurs plus élevées de SNR D'où des erreurs minimales se produisent dans les données reçues pour le canal 16-QAMcomparé à 64-QAM .

-Les valeurs BER va diminuer pour le canal AWGN. Cela signifie erreur maximale se corrige au récepteur .

-BER est moyen en 32-QAM par rapport le deux valeur de modulation

Donc on remarque Plus la valeur QAM est élève correspond à l'augmentation de BER

## 5.3 DCO-OFDM

### 16-QAM

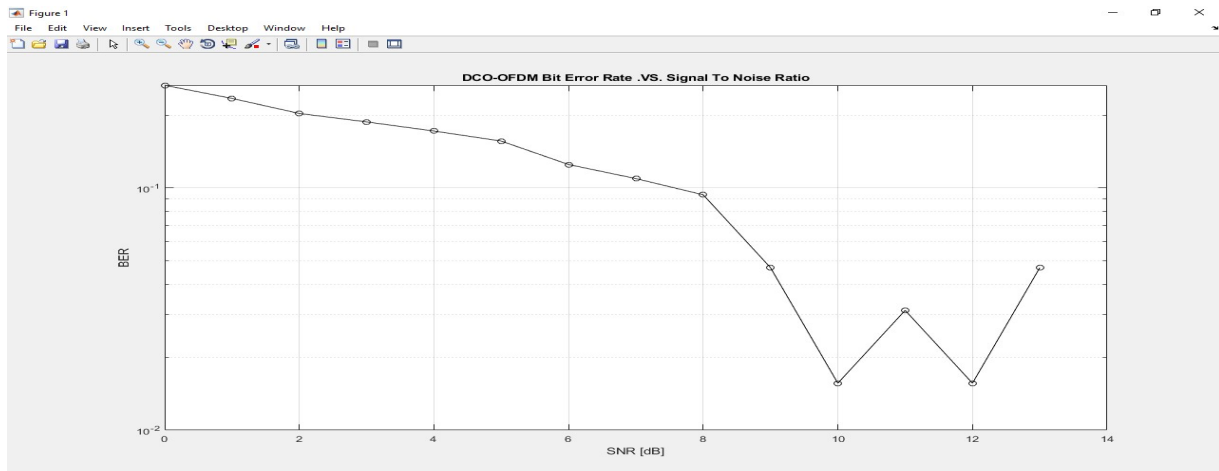


Figure 3.11 : Performances de technique DCO-OFDM dans un canal AWGN pour 16-QAM en fonction de SNR.

### 32-QAM

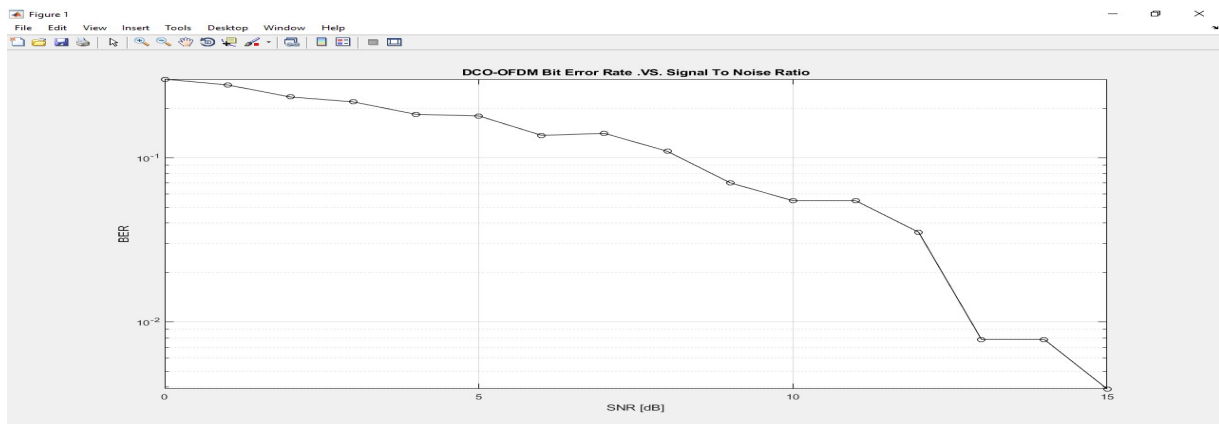
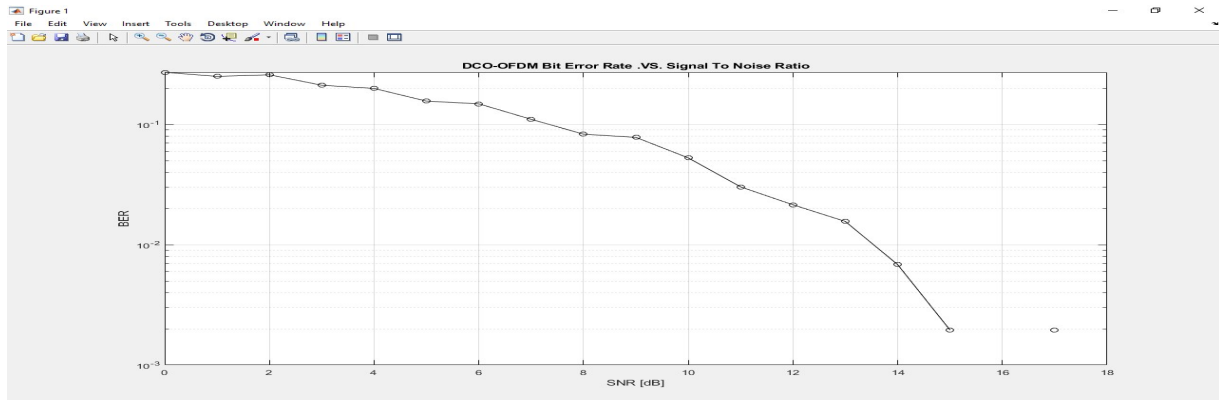


Figure 3.12 : Performances de technique DCO-OFDM dans un canal AWGN pour 32-QAM en fonction de SNR.

### 64-QAM



**Figure 3.13 : Performances de technique DCO-OFDM dans un canal AWGN pour 64-QAM en fonction de SNR.**

Comparaison : les trois figures(3.11),(3.12)et(3.13) qui représentent Performances de technique DCO-FDM dans un canal AWGN pour le diffèrent M-QAM en fonction de SNR après la simulation En implémentant les techniques de modulation QAM nous avons observé que :

-BER est faible en 16-QAM par rapport à 64-QAM pour des valeurs plus élevées de SNR D'où des erreurs minimales se produisent dans les données reçues pour le canal 16-QAMcomparé à 64-QAM .

-Les valeurs BER va diminuer pour le canal AWGN. Cela signifie erreur maximale se corrige au récepteur .

-BER est moyen en 32-QAM par rapport le deux valeur de modulation

Donc on remarque Plus la valeur QAM est élève correspond à l'augmentation de BER

## CONCLUTION :

Dans ce chapitre, nous avons parlé des Performances de technique OFDM dans un canal AWGN pour le diffèrent M-QAM en fonction de SNR.

L'ensemble des résultats reportés dans ce chapitre,prouver que l'ACO-OFDM est une alternative moins gourmande en comparaisonavec la DCO-ODFM pour un débit réduit de moitié. Par contre, pour des constellations QAM montré comparaison à l'ACO-OFDM. Elles offrentde très bonnes performances (BER) en comparaison avec la DCO-OFDM

### ***Conclusion Générale:***

Les télécommunications font partie des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie.

L'augmentation des besoins en débit se heurte à la nature des canaux qui sont de type multi-trajets dans plusieurs applications.

Les communications par lumière visible font l'objet de l'étude d'un grand nombre de chercheurs. Ceci, dans le but d'obtenir une bonne qualité de communications sans fil avec des débits de transmission élevés.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les problèmes que rencontre la transmission à débit élevé, et qui sont le problème de trajets multiples de canal,

Dans le second chapitre, nous avons introduit cette technologie en présentant ses avantages, ses inconvénients et les domaines d'applications. Cette technologie est une alternative aux ondes radio dont le spectre tend à être épuisé.

Enfin, dans le troisième chapitre nous simulons et analysons la distribution de BER vs SNR de deux schémas de VLC OFDM. Nous avons présenté les résultats de la simulation obtenus à travers un programme développé sous l'environnement MATLAB.

### Bibliographies:

- [1] Helmi BEN HNIA, Abdennaceur KACHOURI, Ossama BEN BELGHITH, Lotfi KAMOUN. Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G. March 15-20, 2004.
- [2] Max Fréjus O. SANYA. Déploiement de réseaux optiques d'accès NGPON dans les métropoles de pays en développement : proposition de nouvelles techniques d'implémentation de l'OFDM. Le 22 Octobre 2015
- [3] Orthogonal Frequency Division Modulation (OFDM)
- [4] MERABET Adil. Ingénierie et optimisation du réseamobile pour une couverture maximale avec minimisation d'antennes. le 9 Janvier 2012.
- [5] CHAPITRE I LE CANAL RADIO, L'OFDMA ET LE SC-FDMA
- [6] Grenoble INP – SICOM. Communication numérique : Introduction aux modulations multi-porteuses OFDM ou DMT. Année 2017 – 2018.
- [7] BENYAHIA Hafsa Imane et CHERIFI Wafa. Etude des techniques MIMO a base de FBMC pour la 5G. 2016/2017.
- [8] Née, Richard Van: OFDM wireless multimedia communications, Boston, Mass: Artech House, c2000.
- [9] R.V. Née & R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House Pubhshers, 2000.
- [10] MiJiammadImadurRahman, SuvraSekhar Das, Frank H.P.Fitzek, "OFDM Based WLAN Systems," Technical Report R-04-1002; vl.2 ISBN87-90834-43-7 ISSN0908-1224, Aalborg University 2004.
- [11] Claus Muschallik, Influence of RF Oscillators on an OFDM Signal, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 41, no. 3, pp. 592-603, 1995.
- [12] S.K. Wilson, "16-QAM Modulation with Orthogonal Frequency Division Multiplexing in a Rayleigh-Fading Environment," in proc. IEEE 44th VTC, June 1994, pp. 1660-1664.
- [13] W. Henkel, G. Taubock, P. Odiing, P. Borjesson, and N. Petersson, "The cyclic prefix of OFDM/DMT - an analysis," in International Zurich Seminar on Broadband Communications. Access, Transmission, Networking, Zurich, Switzerland, Feb. 2002.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [14] Stefan Müller-W, OFDM for Wireless Communications: Nyquist Windowing, Peak-Power Réduction and Synchronization, Shaker Verlag, 2000.
- [15] William Stallings, "Wireless Communications and Networking", Prentice Hall, 2003.
- [16] V.K. Jones & G.C. Raleigh, "Channel Estimation for Wireless OFDM Systems," in Proc. of IEEE GLOBECOM, 1998, pp. 980-985.
- [17] e s . Yeh; Y. Lin; Y. Wu: OFDM system channel estimation using time-domain training séquence for mobile réception of digital terrestrial broadcasting, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 46 , Issue 3 , pp. 215-220, September 2000.
- [18] Kai-Uwe Schmidt, Markus Muck, Jens Schoenthier, and Marc de Courville, Time or Frequency Domain Pilots for Channel Tracking in Wireless OFDM Systems? In International OFDM Workshop, Dresden, Germany, September 2004.
- [19] B. Le Floch, M. Alard, and C. Benou. Coded orthogonal frequency divisionmultiplex (TV broadcasting). Proceedings of the IEEE, 83(6):982-996, June 1995.
- [9] M. J. Schulte and J. E. Stine, "Approximating elementary functions with symmetric bipartite tables," IEEE Trans. Computers, vol. 48, no. 8, pp. 842-847, Aug. 1999.
- [20] H. ROH et K. CHEUN : Non-data-aided spectral-line method for fine carrier frequency synchronization in ofdm receivers. Journal of Communications and Networks, 6(2):112–122, June 2004.
- [21] C. Liang, et al., "Diversity Combining for Asymmetrically Clipped Optical OFDM in IM/DD Channels," IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM 2009, vol., no., pp.1-6, Nov. 2009.
- [22] SAMI AGREBI. IMPLÉMENTATION FPGA D'UNE FFT À BASE D'ARITHMÉTIQUE LOGARITHMIQUE POUR LES SYSTÈMES OF DM. AOÛT 2012.
- [23] S. Nakamura, T. Mukai, et M. Senoh, «Candela Class High Brightness InGaN/AlGaN DoubleHeterostructure Blue Light Emitting Diodes», Applied Physics Letters, vol. 64, no. 13, pp. 1687-1689, 1994.
- [24] M. Ayyash et autres «Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: concepts, opportunities, and challenges», in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 2, pp. 64-71, février 2016.
- [25] . P. Pagano et al., ERIKA and open-ZB: an implementation for real-time wireless networking, in Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing. SAC'09

## BIBLIOGRAPHIE

---

(ACM, Honolulu, Hawaii, 2009), pp. 1687–1688. ISBN:978-1-60558-166-8. doi:10.1145/1529282.1529661. <http://doi.acm.org/10.1145/1529282.1529661>

[26] J.-H. Yoo and S.-Y. Jung EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2013,

pp. 1–6, 2013.

[27] R. Abu-Alhiga and H. Haas in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009 IEEE

20th International Symposium on, pp. 177–181, IEEE, 2009.

[28] K. Jeppson, Microelectronics. Chalmers University of Technology, Department of Microtechnology and Nanoscience, 2012.

[29] S. Nakamura, “Present Performance of InGaN-Based Blue/Green/Yellow LEDs,” in Proceedings of SPIE Conference on Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications, vol. 3002, 1997, pp. 26–35

[30] Wikipedia, “Internet protocol suite — wikipedia, the free encyclopedia,” 2015, [Online; accessed 11-February-2015]. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.Org/w/index.php?title=Internet\\_protocol\\_suite&oldid=644032151](http://en.wikipedia.Org/w/index.php?title=Internet_protocol_suite&oldid=644032151)

[31] L. Djogbé, A. Vianou et C. Aupetit-Berthelemot, “Impact de l’amplification optique sur les performances d’une liaison optique DM-DD du réseau métropolitain,” 30èmes Journées Nationales d’Optique Guidée (JNOG), France, 2011.

[32] L. Djogbé, A. Vianou et C. Aupetit-Berthelemot, “DCO- et ACO-OFDM : une solution pour réduire les coûts d’une liaison IM/DD pour le réseau d’accès optique,” Journée du Club Optique et Micro-Ondes (JCOM) / SFO, Palaiseau, Paris, France, Juin 2013.

[33] L. Djogbé, A. Vianou et C. Aupetit-Berthelemot, “DC-biased optical OFDM for IM/DD passive optical network systems,” in Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of , vol.7, no.4, pp.205-214, April 2015]

[34] L. Djogbé, A. Vianou et C. Aupetit-Berthelemot, “Evaluation de l’impact des techniques ACO et DCO sur les performances d’une liaison OFDM sur fibre pour les Production scientifique 212 réseaux d’accès PON de nouvelle génération,” 32èmes Journées Nationales d’Optique Guidée (JNOG), Juillet 2012.

### **Résumé :**

Les réseaux sans fil font actuellement l'objet d'études de recherche en vue d'atteindre un niveau élevé de qualité dans la transmission des informations et des communications, le plus rapide et le plus important par rapport aux réseaux sans fil, en particulier dans les zones urbaines.

Dans ce type de réseau (réseaux sans fil) et des technologies modernes, il s'agit de l'OFDM, qui offre une solution aux problèmes de transmission de données multicanaux ainsi qu'aux retards dans la transmission et à la vitesse de transmission des données et fournit de bons résultats pour ces obstacles à la transmission de données. Bon

L'objectif de cette note est une étude approfondie de cette technique ainsi que de la méthode de transfert de données d'expéditeur à destinataire utilisant cette technique et de sa simulation à l'aide de MATLAB.

### **Abstract :**

Wireless networks are currently the subject of research studies aimed at achieving a high level of quality in the transmission of information and communications, the fastest and most important compared to wireless networks, especially in urban areas.

In this type of network (wireless networks) and modern technologies, it is the OFDM, which offers a solution to the problems of multichannel data transmission as well as delays in the transmission and the speed of transmission of data. data and provides good results for these barriers to data transmission. Good

The purpose of this paper is an in-depth study of this technique as well as the method of sender-to-receiver data transfer using this technique and its simulation using MATLAB.

### **ملخص :**

الشبكات اللاسلكية هي الهدف الذي أنصت عليه دراسات الباحثين في الوقت الحالي، من أجل الوصول إلى جودة عالية في نقل المعلومات والاتصال، بأكبر سرعة وأكبر تدفق مقارنة بالشبكات السلكية لاسيما في المناطق العمرانية

في هذا النوع من الشبكات (الشبكات اللاسلكية) ومن التقنيات الحديثة هنا كتقنية "او اف دي ام" (التفريق باستخدام الترددات المتعامدة) والتي تقدم حلا لمشاكل نقل البيانات عبر القنوات المتعددة وكذلك التأخر في نقل البيانات وسرعتها وتقدم نتائج جيدة لهذه العوائق في نقل البيانات بصورة جيدة

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة شاملة لهذه التقنية وكذلك طريقة نقل البيانات من المرسل إلى المستقبل باستخدام هذه التقنية، ومحاكاة ذلك باستخدام برنامج ماتلاب.