

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
Et de la Recherche scientifique
Université EchahidHamma Lakhdar d'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: Télécommunications

Spécialité: Systèmes de Télécommunications

Réalisé par:

MIDA Lamia&BADI Nadjah

Thème

Etude de l'effet de degré de non-linéarité sur le
Système VLC-OFDM

Devant le jury composé de :

Khalil abd latif Examineur
TouhamiRidha Encadreur

Année Universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience, il apparaît opportun de commencer ce projet par des remerciements pour Allah le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions.

D'abord et à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce travail.

C'est avec plaisir que nous réservons ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à l'égard de tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de notre projet de fin d'étude.

Nous adressons nos meilleurs remerciements

*à notre encadreur Dr **Touhami Ridha** qui nous a tendu la main pour accomplir notre projet et nous lui souhaitons beaucoup de succès et bonheur dans sa vie.*

*Nous adressons également nos remerciements particuliers au professeur **KHANOUSA FAYSSAL** pour ses efforts pour compléter la recherche*

Sommaire

Liste des sigles et Abréviations	VI
Résumé:	VIII
INTRODUCTION GENERALE	11
Chapitre I:Visible light communication (VLC)	
INTRODUCTION	15
I.1. Formulation du Problème :	15
I.2.Définition:	15
I.3.Comparaison entre la communication par lumière visible et la radiofréquence :	16
I.4.Principe de Fonctionnement :	18
I.5.Architecteur VLC :	19
I.5.1-Emetteur VLC :	19
I.5.2-Recepteur VLC :	20
I.5.3-Canal de Transmission:	20
I.6-Avantages VLC :	21
I.6.1-Technologie Illimitée	21
I.6.2-Sécurité	21
I.6.3-Pas d'interférence électromagnétique.....	21
I.7-Inconvenient VLC :	21
I.7.1-Conditions strictes de LOS	21
I.7.2-Portée de transmission limitée	22
I.8-Application de VLC :	22
I.8.1-Communication de véhicule a véhicule	22
I.8.2-Panneaux d'affichage d'information.....	23
I.8.3-Hopitaux.....	23
I.9-Standardisation :	23
I.10-Les modulations pour VLC :	24
I.10.1-Modulation OOK :	24

I.10.2- Modulation VPPM :	24
I.10.3- Modulation CSK :	24
I.10.4- Modulation OFDM:	25
CONCLUSION	26

Chapitre II Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)

INTRODUCTION	28
II.1. Définition	29
II.2. Principe de la modulation/démodulation OFDM	30
II 2.1-Principe de modulateur	30
II.2.2-Principe de démodulateur	32
II.3. Implantation numérique du modulateur/démodulateur	33
II.4. Notion d'orthogonalité	35
II.5. Caractéristiques de signal OFDM	36
II.5.1 Intervalle de garde	36
II.5.1.1 Préfixe cyclique (PC)	37
II.5.1.2 Zero padding(ZP)	37
II.5.2 L'interférence entre symboles	37
II.5.3 L'interférence entre porteuses	38
II.6. Les avantages de l'OFDM :	39
II.7 Les inconvénients de L'OFDM :	39
II.7.1-Synchronisation	39
II.7.2-Rapport puissance crête a puissance moyenne (PAPR)	39
II.7.3-Interférence entre les canaux :	40
II.8. Utilisation de l'OFDM :	40
CONCLUSION	41

Chapitre III: Simulation et résultats

INTRODUCTION	43
III.1. Les différents systèmes de VLC	43

III .1.1-Le Système DCO-OFDM en détail	46
III .1.2-Le systèmeACO-OFDM	43
III .1.3-Le SystèmeADO-OFDM.....	45
III .1.4-Le système FLIP OFDM :	46
III.2-Comparaison entre les systèmes VLC multiporteuse.....	47
III.3-Architecteur de DCO-OFDM VLC :	48
III.3.1-Modélisation de l'émetteur VLC-DCO-OFDM	48
III.3.2-Modélisation du récepteur DCO-OFDM-VLC	49
III.4-Explication détaillée du régime :	50
III.5-Modèle LED avec augmentation linéaire.....	50
III.6- Résultats et interprétation.....	51
CONCLUSION	55
CONCLUSION GENERAL.....	57
BIBLIOGRAPHIE	59

Liste de figure

FIGURE I.1: Spectre électromagnétique.....	16
FIGURE I.2: Le principe de fonctionnement	18
FIGURE I.3 Canal de Transmission IM/DD	20
FIGURE II.1 : Schéma bloc de L'OFDM.	29
FIGURE II.2: Réalisation possible d'un modulateur OFDM.....	30
FIGURE II.3 Construction d'un signal OFDM avec 5 sous-porteuses	31
FIGURE II.4 Canal de Transmission	32
FIGURE II.5 Schéma de concept d'un démodulateur OFDM	33
FIGURE II.6: Modulateur OFDM numérique.....	34
FIGURE II.7 :Démodulateur OFDM numérique	34
FIGURE II.8: Sous-porteuses orthogonales pour un système OFDM.	35
FIGURE II.9 Effet de la dispersion du canal sur les sous-porteuses d'un signal OFDM.....	36
FIGURE II.10: Ajout de l'intervalle de garde	37
FIGURE II. 12 : Interférence entre symbole.	38
FIGU II.13: Les interférences entrent porteuses	38
FIGURE III.1.Un schéma fonctionnel d'un système DCO-OFDM.....	46
FIGURE III.2:Schéma Blocs d'un Système ACO-OFDM.....	44
FIGUREIII.3:Schémasynoptique d'une chaine de transmmision ADO-OFDM	46
FIGURE III.4: Un schéma fonctionnel d'un système FLIP-OFDM.....	47
FIGUREIII.5:Schéma Fonctionnel del'émetteur DCO-OFDM.....	48
FIGURE III.6. Schéma récepteur DCO-OFDM-VLC	49
FIGURE III.7. signal OFDM avant et après l'ajout de CP et DC bias	51
FIGURE III.8. Sortie IFFT et signal continu après conversion D/A.....	52
FIGURE III.9: BER vs SNR pour différents QAM pour le système DCO-OFDM VLC	52
FIGURE III.11. BER vs SNR pour différents degrés de non-linéarité k	53

Liste des sigles et Abréviations

4G : 4GENERATIONS
ACO :ASYMMETRICALLY CLIPPED OPTICAL
ADO :ASYMMETRICALLY CLIPPED DC-BIASED OPTICAL
BER :BIT ERROR RATE
CC :COURANT CONTINUS
CCI :CO-CHANNEL INTERFERENCE
CSK :COLOR SHIFT KEYING
DAB :DIGITAL AUDIO BROADCASTING
DAC :DIGITAL ANALOG CONVERTER
DC :DIRECT CURRENT
DCO :DIRECT CURRENT BIASED OPTICAL
DMT :DISCRETE MULTI-TONE
DRM :DIGITAL RADIO MONDIAL
DSSS :DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM
DVB-H :DIGITAL VIDEO BROADCASTING - HANDHELD
DVB-T :TERRESTRIEL DIGITAL VIDEO BROADCASTING
FDM :FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING
FFT :FAST FOURIER TRANSFORM
FPGA :FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY
HF :HAUTE FREQUENCE
IEEE :INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
IFFT :INVERSE FAST FOURIER TRANSFORM
IIS :INTERFÉRENCE INTER-SYMBOLS
IM/DD :INTENSITYMODULATION / DIRECT DETECTION
IR :INFRA ROUGE
ISI :INTER SYMBOL INTERFERENCE
LAN :LOCAL AREA NETWORK
LD :LASER DIODES
LED :LIGHT EMITTING DIODE
MAC :MEDIA ACCESS CONTROL
OFDM :ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING
OOK :ON-OFF-KEYING
OWC :OPTICAL WIRELESS COMMUNICATION
PAPR :PEAK TO AVERAGE POWER RATIO

PC:PRÉFIXE CYCLIQUE
PDA :PHOTODIODE
PHY :PHYSICAL LAYER
PPM :PULSE POSITION MODULATION
PWM :PULSE WIDTH MODULATION
QAM :QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION
RF :RADIOFRÉQUENCE
RLL :RUN LENGTH LIMITED
SNR :SIGNAL-TO-NOISE-RATIO
TCP/IP :TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL /INTERNET PROTOCOL
VL :VISITOR LOCATION
VLC :VISIBLE LIGHT COMMUNICATION
VPPM :VARIABLE PULSE POSITION MODULATION
WDM :WAVE DIVISION MULTIPLEXING
WIFI :WIRELESS FIDELITY
WIMAX:WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVEACCESS
ZP:ZEROPADDING

Résumé:

Les communications optiques visibles (VLC) sont une technologie émergente utilisée pour moduler la lumière visible qui facilitera fondamentalement le monde. Qui profitera de la popularité croissante de l'éclairage solide pour ouvrir de nombreux canaux supplémentaires par lesquels les données peuvent être transmises ,et parce que VLC a besoin de débits de données élevés, OFDM est venu comme solution car il est le plus fiable et capable d'envoyer des débits de diffusion élevés, une efficacité qualitative élevée et un temps de transmission court.

Enfin, nous avons mené une étude de simulation en calculant SNR et BER pour déterminer l'effet du coefficient de non- linéarité K sur le système VLC-OFDM

Mots clés : communication optique visuelle (VLC). Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM)

Abstract:

Visible light Communications (VLC) is an emerging technology used to modulate visible light which will facilitate fundamentally in the world. Which will take advantage of the increasing popularity of solid lighting to open up many additional channels through which data can be transmitted ,and because VLC needs high data rates, OFDM came as a solution because it is the most reliable and capable of sending high broadcast rates, high qualitative efficiency and short transmission time.

Finally, we conducted a simulation study by calculating SNR and BER to determine the effect of the nonlinearity coefficient K on the VLC-OFDM system

Keywords: visible light communications (VLC). Orthogonal Frequency Division (OFDM).

ملخص

الاتصالات الضوئية المرئية (VLC) هي تقنية ناشئة تستخدم لتعديل الضوء المرئي والذي سيسهل بشكل اساسي في العالم. والذي سيسفيد من زيادة شعبية الإضاءة الصلبة لفتح العديد من القنوات الإضافية التي يمكن من خلالها نقل البيانات , ولان VLC تحتاج الى معدلات بيانات عالية جاءت OFDM كحل لانها الاكثر مصداقية و قدرة على الارسال معدلات بث عالية وكفاءة عالية ووقت ارسال قصير وفي الاخير, اجرينا دراسة محاكاة بحساب SNR و BER لتحديد تاثير معامل اللاخطية K على

نظام VLC-OFDM

الكلمات المفتاحية: الاتصالات الضوئية المرئية (VLC). مضاعفة تقسيم التردد المتعامد (OFDM)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En raison de son faible coût et de sa faible consommation d'énergie, l'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) blanches devrait remplacer les systèmes d'éclairage traditionnels dans un proche avenir. De plus, la vitesse de modulation rapide de la LED haute luminosité (HB-LED comparativement) (1 MHz) permet une communication optique sans fil (OW) en lumière visible (VLC). Le VLC est exempt d'interférences électromagnétiques (EMI) et ne nécessite pas de licence. Les autres avantages incluent l'offre d'un canal de communication sécurisé (en raison du faisceau lumineux visible et directionnel) et la fourniture d'une communication sans fil dans les situations où la communication par radiofréquence (RF) est interdite, comme un hôpital ou une compagnie aérienne. Étant donné que la bande passante de la LED à modulation HB est limitée à environ 1 MHz, l'utilisation d'une modulation efficace spectrale par multiplexage par répartition en fréquence orthogonale (OFDM) pour moduler directement la LED HB est une option viable. L'OFDM est plus résistant à l'évanouissement sélectif en fréquence car il divise un signal à haut débit de données en de nombreux sous-canaux parallèles à faible débit de données. Lorsque vous utilisez des techniques d'égalisation adaptative, l'égalisation des canaux devient beaucoup plus facile. De plus, l'OFDM est efficace en termes de spectre car ses sous-porteuses peuvent avoir beaucoup de chevauchement spectral. En raison de la superposition de toutes les sous-porteuses, l'OFDM a un rapport de puissance crête à moyenne (PAPR) élevé, ce qui nécessite un niveau élevé de linéarité et de plage dynamique. De plus, le codage et le décodage du signal OFDM sont plus difficiles que le codage et le décodage du signal de modulation marche-arrêt (OOK) standard. Étant donné que VLC est une communication directionnelle et en visibilité directe, il doit être déployé d'une certaine manière. Le récepteur optique R_x et la lumière LED seront décalés, ce qui entraînera une perte significative de la puissance optique reçue. Dans les systèmes à fibre optique classiques, nous pouvons compenser la perte de puissance en augmentant la puissance optique de lancement. Cependant, avec un système VLC, ce n'est pas faisable car cela modifiera également la luminosité de la maison. [1]

Dans les systèmes monoporteuse, pour une transmission à un débit de R_s symboles par seconde, la plus petite bande passante nécessaire est la bande de Nyquist $\frac{R_s}{2}$. Cela implique qu'une transmission à débit binaire plus élevé nécessite une plus grande bande passante. De plus, lorsque la bande passante devient plus large que la bande de cohérence du canal de communication, la transmission souffre du phénomène d'évanouissement provoqué par la propagation par trajets multiples, ce qui conduit à l'apparition d'interférences inter-symboles. (ISI). Généralement, un égaliseur de canal adaptatif est utilisé pour compenser l'effet causé

par l'ISI. Cependant, la complexité d'un tel égaliseur augmente avec l'augmentation du débit de transmission. Des techniques de transmission multiporteuse ont été proposées pour lutter contre la sélectivité en fréquence dans les systèmes large bande. Le principe consiste en la conversion du signal large bande en plusieurs signaux bande étroite. En procédant de cette manière, le canal sélectif en fréquence est transformé en plusieurs sous-canaux à évanouissement plat. Ce type de système peut être vu comme une technique FDMA (frequency division multiple access).

Dans les systèmes port unique, la bande de Nyquist $\frac{R_s}{2}$ est la plus petite bande passante requise pour la transmission à un débit de symboles R_s par seconde. Par conséquent, une transmission binaire à bande passante plus élevée nécessite une bande passante de transmission plus grande. De plus, au fur et à mesure que la bande passante devient plus grande que la bande de cohérence du canal de communication, la transmission souffre d'un évanouissement dû à la propagation par trajets multiples, ce qui se traduit par l'apparition d'interférences inter-symboles (ISI). Dans la plupart des cas, un égaliseur de canal adaptable est utilisé pour compenser l'effet de l'ISI. Cependant, à mesure que le débit binaire de transmission augmente, la complexité d'un tel égaliseur augmente également. Pour lutter contre la sélectivité en fréquence dans les systèmes à large bande, des approches de transmission multiport ont été proposées. La conversion d'un signal à large bande en de nombreux signaux à bande étroite est la prémisse de base. Le canal sélectif en fréquence est transformé en plusieurs sous-canaux à évanouissement plat en procédant de cette manière. Une technique FDMA (frequency division multiple access) peut être appliquée à ce type de système. [2]

Les chercheurs Carruthers et Kahn ont d'abord introduit l'approche DCO-OFDM (DCO) dans le but de créer un signal OFDM authentique et bénéfique. Cette méthode consiste à forcer tous les pics négatifs restants à zéro tout en ajoutant simultanément une composante continue (DC -bias) au signal bipolaire réel $x(t)$ (zero-clipping). Toutes les sous-porteuses sont impactées par le bruit d'écrêtage créé par le processus d'écrêtage. Les blocs émetteur et récepteur qui constituent une liaison DCO-OFDM. Par rapport à un émetteur OFDM traditionnel, trois blocs supplémentaires ont été ajoutés au niveau de l'émetteur. La symétrie hermitienne est représentée par le premier bloc, tandis que l'écrêtage zéro et l'ajout de la composante continue sont représentés par les deux autres. Le récepteur, quant à lui, n'est pas affecté. On n'observe pas seulement : un bloc FFT pour la démodulation OFDM, un bloc de suppression de préfixe cyclique qui est ajouté lors de la transmission. [3]

Ce mémoire comprend trois chapitres, dans le premier chapitre le sujet des communications par lumière visible est introduit . Les avantages et les inconvénients de cette méthode de communication, ainsi que son fonctionnement, sont tous décrits. Les différents types d'applications et de recherches qui ont été menées avec cette technologie dans le domaine visible sont également décrits.

Dans deuxième chapitre, le principe de la technique multi porteuse OFDM est présenté. Une description des caractéristiques du canal à trajets multiples a été fournie. Après cela, une recherche a été menée sur les problèmes d'interférence entre les porteurs et les symboles. Enfin, des exemples d'application et d'utilisation de l'OFDM, ainsi que ses avantages et ses inconvénients, ont été fournis.

Dans le troisième chapitre, les systèmes VLC les plus significatifs ont été analysés. De plus, nous avons comparé les différents systèmes et nous sommes concentrés sur la description de DCO-OFDM à travers l'analyse. Enfin, en évaluant le BER et le SNR, l'effet de la non-linéarité sur la fonctionnalité du système DCO-OFDM a été recherché et examiné.

Chapitre I

Visible light
communication (VLC)

INTRODUCTION

Le développement de nouvelles technologies en conjonction avec l'utilisation des communications par lumière visible pourrait être un moyen intrigant - voire l'une des solutions imaginables - pour permettre une utilisation plus efficace du spectre des radiofréquences. [4]

L'émergence de la technologie sans fil a ouvert de nouvelles possibilités dans le domaine des télécommunications. Les progrès récents de la technologie de communication sans fil ont permis la manipulation de données via des unités de calcul portables avec certaines fonctionnalités (capacité de stockage limitée, source d'énergie autosuffisante, etc.) qui se connectent au réseau via une interface de communication sans fil. BLUETOOTH, ZIGBEE, Wi-Fi et VLC sont des exemples de technologies de réseau sans fil qui se différencient d'une part par la fréquence de transmission utilisée, ainsi que par le débit et la portée de transmission. [5]

VLC (visible light communications) est un système de communication qui utilise le spectre visible pour envoyer des données. VLC est une méthode de communication à courte portée en raison de la distance de propagation des diodes électroluminescentes (LED). [6]

I.1. Formulation du Problème :

Dans les technologies de communication sans fil, la communication par lumière visible est un nouveau domaine d'étude. Lors de la construction d'un système VLC, de nombreux facteurs doivent être pris en compte, notamment des débits de données élevés, la distance entre la source et la destination et la ligne de visée. Lors du développement d'un système VLC, ces critères sont cruciaux. La portée et le coût d'un système VLC à débit de données accru sont les principaux problèmes de son déploiement. L'émetteur et le récepteur doivent être compatibles avec le VLC à haut débit. Il est difficile et coûteux de concevoir un émetteur et un récepteur à haut débit. [7]

I.2. Définition:

VLC est une innovation de correspondance à distance en vue de l'utilisation de la lumière perceptible entre le bleu et le rouge. Il s'agit d'une convention qui transforme le Wi-Fi en VLC grâce à la lumière des LED (light emitting diode). Alors que le Wi-Fi utilise la partie radio de la plage électromagnétique, VLC utilise la plage optique et dépend de l'envoi d'informations via la réglementation et comme indiqué par une convention distincte et normalisée. [8]

Comme l'illustre (**FIGURE 1.1**) les communications VLC sont limitées à la moitié visible du spectre de longueurs d'onde entre 380 et 750 nm, ce qui correspond à un spectre de fréquences allant de 430 à 790 THz. [9]

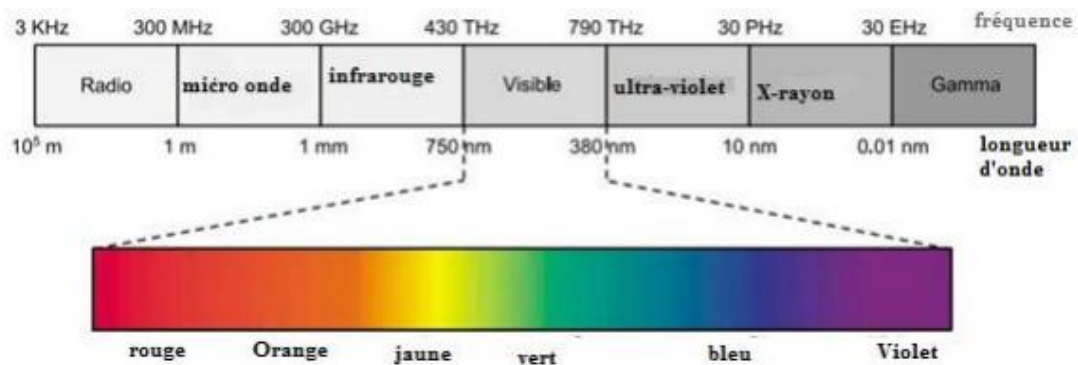


FIGURE I.1: Spectre électromagnétique.

I.3. Comparaison entre la communication par lumière visible et la radiofréquence :

Les systèmes VLC et RF offrent tous deux des avantages et des inconvénients qui doivent être correctement pris en compte. Les systèmes de transmission VLC et RF complètent les techniques de transmission, avec des applications distinctes favorisant l'une par rapport à l'autre. Par exemple, la RF est préférée dans les applications qui nécessitent une transmission longue distance ou une transmission à travers les murs tout en maximisant la mobilité de l'utilisateur. VLC, d'autre part, est préféré dans les applications de liaison courte à moyenne lorsque la capacité globale du système doit être maximisée au coût le plus bas possible ou que la complexité du traitement du signal du récepteur doit être réduite au minimum.

La majorité des technologies de communication sans fil d'aujourd'hui sont basées sur les RF. Cependant, le besoin croissant de fréquences supplémentaires, de composants de coût moins chers, de débits de données plus importants et d'une qualité de service améliorée a obligé les chercheurs à étudier d'autres possibilités, comme VLC. Par rapport à RF, VLC présente un certain nombre d'avantages majeurs. Par exemple, comparable à la fibre optique, un déploiement rapide, des coûts d'exploitation de démarrage peu coûteux et une bande passante élevée sont tous des avantages. La zone spectrale VLC fournit une bande passante presque infinie (380 780 nm), qui est un spectre global non contrôlé, ce qui entraîne des coûts de système inférieurs. En raison de la nature de la lumière, le système VLC est insensible aux interférences des canaux voisins et permet la réutilisation des fréquences dans différentes parties de la même structure, ce qui se traduit par une capacité abondante. Le système VLC offre également une sécurité renforcée au niveau de la couche physique puisque la lumière ne traverse pas d'obstacles opaques, ce qui rend l'écoute indiscrète impossible, comme c'est le cas avec les systèmes radio. Les avantages incluent la disponibilité d'appareils frontaux de base à faible coût, l'efficacité énergétique, des centaines de téra hertz de bande passante sans licence, la sécurité des personnes et des autres équipements électroniques, et la facilité d'intégration

dans l'infrastructure d'éclairage existante. Les systèmes VLC sont exempts d'évanouissement car le détecteur (photodiode) est de très grande taille, généralement des dizaines de milliers de longueurs d'onde, et l'absence d'évanouissement peut considérablement simplifier la conception des systèmes VLC. L'utilisation d'un système VLC présente certains inconvénients. Comme la lumière ne peut pas traverser les murs d'une pièce à l'autre, des points d'accès VLC connectés par une dorsale câblée devront être construits. De plus, le SNR est dégradé par l'étalement de l'impulsion reçue provoqué par la dispersion par trajets multiples. Les surfaces réfléchissantes telles que les murs, les fenêtres, les portes et les plafonds sont responsables de la dispersion par trajets multiples. Étant donné que ces composants réfléchissants fonctionnent comme des émetteurs miniatures qui dispersent le signal selon un schéma lambertien, les données envoyées arrivent au récepteur par de nombreux canaux, répartissant les impulsions transmises. De plus, le bruit de tir causé par des sources lumineuses ambiantes brillantes est inclus dans le signal reçu au niveau du récepteur (lumière du soleil et autres sources lumineuses), en conséquence, le bruit de fond corrompt le signal. De plus, par rapport au spectre VLC, la bande passante de modulation de courant possible des émetteurs (LED) est assez faible, ce qui implique que la bande passante de transmission est limitée par la bande passante des LED. De plus, bien que l'utilisation de LED blanches pour la communication soit intrinsèquement une connexion unidirectionnelle (liaison descendante), ce qui est excellent pour des applications telles que la diffusion de musique de fond, il peut être difficile de fournir une liaison montante à une structure d'émetteur portable. Pour atteindre des performances satisfaisantes, un système VLC nécessite un photodétecteur à large surface photosensible. Cependant, la capacité d'un photo détecteur est proportionnelle à sa taille, donc une zone photosensible élevée se traduit par une grande capacité, réduisant la bande passante disponible dans le récepteur. [10]

LE TABLEAU I.1 Montre la comparaison entre VLC et RF

Systemes VLC	Systemes RF
<ul style="list-style-type: none">• La bande passante n'est pas contrôlée.• Il n'y a pas d'interférence entre les connexions dans des pièces séparées.• Extrêmement sécurisé.• Il n'y aura pas d'évanouissement par trajets	<ul style="list-style-type: none">• Transmission il est possible de passer à travers les murs et autres choses.• Les utilisateurs ont beaucoup de liberté et de mouvement.

<p>multiples.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technologie rentable 	
<ul style="list-style-type: none"> • Plage dynamique • Il y a beaucoup de perte de chemin. • Installation de points d'accès pour la connectivité inter-chambres. • Émetteurs à bande passante de modulation étroite (LED). • L'ISI est causé par la dispersion par trajets multiples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interférence d'autres utilisateurs et systèmes. • Bande passante qui n'est pas illimitée. • Faible niveau de sécurité. • L'évanouissement par trajets multiples est une technique d'évanouissement de plusieurs trajets en même temps.

I.4.Principe de Fonctionnement:

Étant donné que les LED sont des semi-conducteurs, elles peuvent s'allumer et s'éteindre avec des temps de nanoseconde. En s'allumant et s'éteignant quelques milliers de fois par seconde, les données peuvent être envoyées en faisant une récurrence. En supposant qu'une LED soit allumée, elle communique une pièce 1, dans le cas où elle est éteinte, une pièce 0 (Voir figure I.2). Les changements de récurrence sont rapides au point qu'ils ne sont pas perceptibles à l'œil naturel, qui ne voit pas le strabisme et ne voit qu'une lumière décente. En ce qui concerne le débit, cela se compare à 1 Gbits/s contre un débit d'environ 100 Mbits/s pour le Wi-Fi. [11]

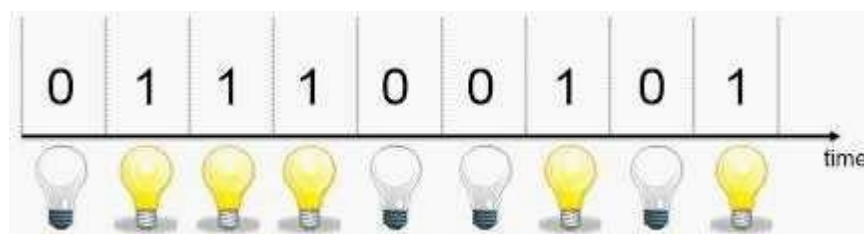


FIGURE I.2: Le principe de fonctionnement

L'innovation VLC est importante pour l'ensemble des communications optiques sans fil (OWC). Par conséquent, les normes optiques réelles peuvent être appliquées aux cadres VLC. À vrai dire, le transporteur dans VLC est constitué des faisceaux visibles utilisés pour l'éclairage. VLC est régulièrement représenté par une transmission de signes non négatifs et

non lucides. Il s'agit de la règle de correspondance dans laquelle trois parties principales sont pensées : un émetteur, un canal et un destinataire. [5]

I.5.Architecteur VLC :

Un émetteur VLC est un appareil qui convertit les données en signaux lumineux visibles qui peuvent être diffusés sur un support optique dans l'espace libre. La fonction de l'émetteur VLC est d'émettre simultanément de la lumière et de transmettre des données. Le transfert de données ne doit cependant pas interférer avec la fonction principale de l'appareil, qui est l'éclairage ou la signalisation. L'émetteur VLC doit être capable de s'adapter aux exigences d'éclairage en raison de ce souci. Cela implique qu'il doit utiliser la même puissance optique ou permettre une gradation si l'application l'exige. De plus, il ne devrait y avoir aucun scintillement visible de l'émetteur VLC. [12]

L'encodeur, qui transforme les données en un message modulé, est le cœur de l'émetteur VLC. L'encodeur régule le rythme auquel les LED sont commutées sur la base de données binaires. En conséquence, les données binaires sont transformées en un faisceau lumineux modulé en amplitude. La modulation d'amplitude on-off keying (OOK) est couramment utilisée pour moduler la lumière générée par les LED, bien que des techniques de modulation alternatives telles que multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) les discrètes multi-tones (DMT) ou la modulation à spectre étalé à séquence directe (DSSS) peuvent également être utilisés. L'utilisation de microcontrôleurs pour l'encodeur est une option rentable. Dans la plupart des cas, leur performance est suffisante pour fournir des résultats raisonnables. Dans des applications plus compliquées, cependant, un field programmable gate array (FPGA) peut être utilisé pour remplacer le microcontrôleur, ce qui peut donner de meilleures performances en utilisant des techniques de traitement de signal numérique. [13]

Les propriétés des LED limitent principalement les paramètres de l'émetteur VLC. Le débit de données (fréquence de transmission) est déterminé par la capacité de commutation des LED, tandis que la puissance de transmission et le modèle d'éclairage déterminent la zone de service de l'émetteur (angle d'émission). Actuellement, l'industrie SSL peut créer des LED avec des fréquences de commutation dans la gamme des dizaines de mégahertz. [14]

I.5.1-Emetteur VLC :

Un émetteur VLC est un transducteur électro-optique qui envoie des données en utilisant des ondes lumineuses perceptibles sur un support de transmission à distance. Les cadres VLC sont devenus une innovation plus adaptée au sort éventuel de la transmission d'informations à distance, généralement en raison des améliorations apportées à l'éclairage d'état fort. Les données de trafic, capturées en continu ou préenregistrées, sont équilibrées pour commuter les

LED au taux de transmission d'informations normal. La technique de régulation utilisée doit offrir une chaleur élevée à la lumière de base et simultanément la lumière doit être à peu près aussi brillante qu'on pourrait vraiment s'y attendre. La modulation de puissance/détection directe (IM/DD) fréquemment utilisée dans IR peut également être utilisée dans VLC. Un autre choix est le réglage de la position des battements (PPM), qui indique l'équilibre des données sur le transporteur de lumière. Le long de ces lignes, les données sont organisées avant d'aller au transporteur. Le spread spectrum est une autre stratégie envisageable. Il étend la protection contre l'impédance et le collage, et permet en outre la fondation de correspondances sécurisées. [15]

I.5.2-Recepteur VLC :

Le composant fondamental du récepteur VLC est le photodétecteur utilisé pour recueillir le rayonnement lumineux. Deux types fondamentaux de photodétecteurs sont utilisés dans les utilisateurs VLC : la photodiode et les phototransistors. L'appareil photo avancé, composé d'une variété de semi-conducteurs photo, est un outil décent pour obtenir le signal VLC dans des outils astucieux comme les PDA et les postes de travail., un cadre bénéficiaire total composé de pièces, par exemple, concentrateur, canal optique, haut-parleur et équilibreur, important pour capter la mesure de lumière la plus extrême censée changer le signal obtenu en un message. Les faisceaux traversent le concentrateur et le canal optique avant d'arriver au centre droit de l'identifiant. [16]

I.5.3-Canal de Transmission:

La plupart des systèmes optiques sans fil sont des systèmes à modulation d'intensité et à détection directe, intensité modulation/direct détection.

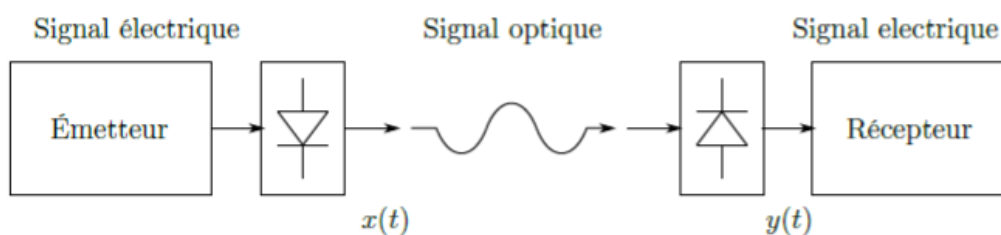


FIGURE I.3 Canal de Transmission IM/DD

Dans un cadre IM/DD, les données ne sont pas véhiculées par la récurrence ou l'étape mais par la puissance du signe optique. La transformation entre le signe électrique et la puissance optique $x(t)$ est complétée par une diode rayonnante (LED). L'onde optique est alors proliférée sur le canal optique distant. Dans la collecte, il est important de faire le changement inverse rendant envisageable de revenir à l'espace électrique. Cette capacité est garantie par la

photodiode. La photodiode effectue une localisation directe par exemple elle délivre un courant de photographie Y_t relatif à Dans un cadre IM/DD, l'information n'est pas véhiculée par la récurrence ou la scène mais par la puissance du signe optique. La conversion entre le signal électrique et l'intensité optique X_t est réalisée par une diode électroluminescente (LED). L'onde optique est alors propagée sur le canal optique sans fil. En réception, il est nécessaire de réaliser la conversion inverse permettant de revenir au domaine électrique. Cette fonction est assurée par la photodiode. La photodiode effectue une identification directe par exemple elle délivre un courant de photographie Y_t correspondant à la force optique obtenue. L'objectif principal du bénéficiaire est de déterminer les données contenues dans X_t à partir du signal obtenu Y_t . [7]

I.6-Avantages VLC :

I.6.1-Technologie Illimitée

La communication RF peut provoquer des dysfonctionnements de l'équipement électronique de haute précision comme celui que l'on trouve dans les hôpitaux ou dans les avions et pour cette raison, ces endroits sont soumis à des restrictions RF. D'autre part, en plus d'être sans danger pour le corps humain, VLC est également sans danger pour les équipements électroniques de haute précision, permettant son utilisation dans de tels endroits. [11]

I.6.2-Sécurité

La correspondance RF peut provoquer des problèmes de matériel électronique de grande précision comme celui que l'on trouve dans les cliniques ou dans les avions et, par conséquent, ces endroits sont limités en RF. Là encore, en plus d'être bien pour le corps humain, VLC est également protégé pour le matériel électronique de haute précision, permettant son utilisation dans de tels endroits. [11]

I.6.3-Pas d'interférence électromagnétique

Il n'y a pas d'interférence électromagnétique lorsque des ondes lumineuses sont utilisées. Les systèmes VLC sont appropriés pour une utilisation dans des zones exemptes de EMI telles que les hôpitaux, les centrales nucléaires et les avions. [9]

I.7-Inconvenient VLC :

I.7.1-Conditions strictes de LOS

En général, LOS améliore l'efficacité énergétique tout en réduisant la distorsion par trajets multiples. La condition LOS obligatoire peut être considérée comme un avantage dans certains cas, car elle réduit les interférences provenant d'autres récepteurs et améliore la sécurité des communications. D'autres applications, en revanche, perçoivent ce problème comme un sérieux inconvénient. Les communications non Los sont considérées comme plus

fiables, polyvalentes et résilientes. Parce qu'un élément placé entre l'émetteur et le récepteur peut entraver la communication jusqu'à ce qu'un autre itinéraire soit disponible, la condition requise de LOS a un impact négatif sur la mobilité et est le plus grand inconvénient de VLC dans certaines situations. [9]

I.7.2-Portée de transmission limitée

Les VLC ne peuvent pas rivaliser avec les communications RF en termes de portée de transmission. Malgré le fait que la portée de transmission des VLC peut être améliorée en ajustant les caractéristiques de l'émetteur et du récepteur, la portée de communication des VLC est encore beaucoup plus petite que celle des communications RF. La portée de communication peut être étendue du côté de l'émetteur en augmentant la puissance de transmission ou en utilisant un faisceau lumineux plus directionnel. Du côté du récepteur, la portée peut être étendue en utilisant des techniques d'amélioration du rapport signal sur bruit (SNR) telles qu'un récepteur avec un champ de vision limité, une lentille optique ou diverses techniques de filtrage. [9]

I.7.3-Sensibilité aux interférences

La vulnérabilité de VLC aux interférences est un autre problème. D'autres dispositifs d'éclairage, tels que des sources lumineuses incandescentes ou fluorescentes, peuvent entraîner un dysfonctionnement du VLC. Un bruit basse fréquence est produit par ces sources lumineuses en général, qui peut être réduit avec un filtre passe-haut. En plus des sources de lumière artificielle, la lumière du soleil est un élément perturbateur important dans les applications extérieures. La lumière non modulée du soleil introduit une composante CC importante qui peut être éliminée avec des filtres CC capacitifs. Le bruit optique de haute intensité, en revanche, peut saturer le récepteur et empêcher la transmission. [9]

I.8-Application de VLC :

I.8.1-Communication de véhicule a véhicule

En raison de la présence de feux de véhicule et de l'infrastructure actuelle des feux de circulation, VLC peut être utilisé pour la communication véhiculaire. L'avertissement coopératif de collision avant, la détection avant collision, les feux de freinage électroniques d'urgence, l'avertissement de changement de voie, l'assistant de mouvement des panneaux d'arrêt, l'assistant de virage à gauche, l'avertissement de violation des feux de circulation et l'avertissement de vitesse dans les virages font partie des applications hautement prioritaires identifiées par le projet de communication sur la sécurité des véhicules. Toutes les applications hautement prioritaires nécessitent une latence extrêmement faible et une accessibilité constante, un système de communication à lumière visible à grande vitesse

comme le Li-Fi peut être utilisé en raison de la latence autorisée exceptionnellement faible dans la communication de sécurité du véhicule. [16]

I.8.2-Panneaux d'affichage d'information

Dans les aéroports, les arrêts de bus et autres lieux où des données doivent être transmises, les panneaux sont souvent constitués d'un ensemble de LED modulées pour transmettre des informations. Le panneau de signalisation pour la transmission des données a été décrit. Ce style de panneau de signalisation peut être utilisé dans une variété de contextes, y compris les aéroports, les musées et les hôpitaux. [16]

I.8.3-Hopitaux

Les endroits sensibles aux ondes électromagnétiques (tels que les scanners IRM) dans les hôpitaux sont susceptibles de passer au VLC car il n'interfère pas avec les ondes radio des autres machines. Dans, un robot baptisé HOSPI a été proposé pour une utilisation dans le transport hospitalier. Le système de contrôle de HOSPI a été amélioré grâce à l'utilisation de VLC placés dans un bâtiment et de capteurs de navigation sur le robot. [16]

I.9-Standardisation :

La norme IEEE 802.15.7 pour les communications optiques sans fil est développée par l'organisation IEEE (institute of electrical and electronics engineers standards association), qui régit les normes (par exemple, 802.11 pour le Wi-Fi). Cette norme est utilisée par plusieurs entreprises dans leur développement.

Cette norme spécifie les couches PHY et MAC qui doivent être utilisées pour fournir des solutions globalement compatibles. La norme est capable de transmettre des services audio, vidéo et multimédia à des débits binaires adéquats. Il considère également la mobilité de la transmission optique, la compatibilité avec l'éclairage artificiel de l'infrastructure et les problèmes pouvant être causés par les interférences induites par l'éclairage ambiant. La couche MAC permet d'établir des connexions avec des couches supérieures plus courantes, telles que celles utilisées dans les protocoles TCP/IP. Enfin, la norme est conforme aux lois actuelles sur la sécurité des yeux des utilisateurs.

Selon les débits attendus, la norme définit trois couches PHY. La couche PHY I a été créée en pensant aux applications extérieures. PHY I fonctionne à des vitesses allant de 11,67 kbps à 266,6 kbps. La couche PHY II permet des débits allant de 1,25 Mb/s à 96 Mb/s. Lors de l'utilisation de plusieurs sources de transmission et d'une technologie de modulation appelée color-shift keying (CSK), la couche PHY III est acceptable. PHY III peut gérer des vitesses de données allant de 12 à 96 mégabits par seconde.

La modulation marche-arrêt (OOK) et le codage à modulation de position d'impulsion variable (VPPM) sont les formats de modulation approuvés pour PHY I et PHY II. L'horloge est intégrée dans les données transmises en représentant un 0 logique sous la forme d'un symbole OOK de "01" et un 1 logique sous la forme d'un symbole OOK de "10" avec une composante CC dans le codage manchester utilisé pour les couches PHY I et PHY II... Ceci est important car la composante CC permet d'éviter l'extinction de la lumière pendant une série prolongée de 0 logiques. [6]

I.10-Les modulations pour VLC :

I.10.1-Modulation OOK :

OOK est une stratégie de réglage simple dans laquelle le "1" informatisé est adressé par la présence du signe, en le comparant à l'état "ON", tandis que l'information "0" est adressée par un signe avec une valeur équivalent à rien, ou l'état "OFF". Le « ON » et le « OFF » adressent deux niveaux d'abondance indubitables, fondamentaux pour la correspondance, et ne garantissent pas que la source lumineuse est totalement éteinte. Pour OOK, la norme IEEE 802.15.7 note l'utilisation du code manchester pour garantir que le temps des battements positifs est équivalent à celui des battements négatifs, mais cela couple également la capacité de transfert de données attendue pour la transmission OOK. Cinq débits distincts sont utilisés, à savoir 11,67 kbit/s, 24,44 kbit/s, 48,89 kbit/s, 73,3 kbit/s et 100 kbit/s.

Là encore, pour des taux de pièce plus élevés, le codage run length limited (RLL) est utilisé, ce qui est d'autant plus terriblement efficace. L'assombrissement est maintenu en ajoutant une augmentation OOK qui modifie le résultat total au bon niveau. [17]

I.10.2- Modulation VPPM :

VPPM est une version PPM (pulse position modulation) créée spécifiquement pour les communications VLC. L'information est représentée par la position de l'impulsion dans le temps en modulation PPM. En fonction du niveau d'intensité lumineuse, le type VPPM introduit en outre une variation de largeur d'impulsion (PWM, pulse width modulation) Un rapport cyclique variable a été appliqué à une modulation manchester OOK. Étant donné que les séquences étendues de symboles "0" sont éliminées à l'aide de la modulation VPPM, le scintillement est réduit et l'approche PWM permet le contrôle de l'intensité lumineuse .[11]

I.10.3- Modulation CSK:

La touche de changement de variété que nous appelons le nom abrégé (CSK) de ce cadre utilise une LED RVB légèrement ombrée. De ces tons peuvent être joints par la lumière, communiquant des informations dans une variété similaire et donc l'épaisseur du résultat est cohérente et les fardeaux de ce cadre sont la complexité de l'envoi et de l'obtention à la dure.

Les scientifiques ont pensé à la norme CSK IEEE 802.15.7 pour développer davantage le débit d'informations que j'ai obtenu dans les cartes basses. Quoi qu'il en soit, fournir une lumière blanche à l'aide de phosphore jaune et de lumière bleue réduira la capacité d'échange, résolvez ce problème en créant une lumière blanche à l'aide de trois lumières LED RGB distinctes. Ce (CSK) est destiné à battre les imperfections PWM et les conceptions ponctuelles sont codées dans des ensembles de fréquences .[18]

I.10.4- Modulation OFDM:

- Largement utilisé en RF pour lutter contre les impacts de l'impédance entre les images
- Signaux OFDM : complexes et bipolaires

Le problème de scintillement est entièrement éliminé avec cette méthode. De plus, du fait que le flux lumineux émis est constant, le courant de commande est également constant. En même temps, cela réduit drastiquement les contraintes de la source. La complexité de la réception et la nécessité de pouvoir recevoir chaque teinte sont les limites de cette modulation. [19]

 **Ce dernier sera étudié plus en détail dans le chapitre suivant**

CONCLUSION

L'avenir de la technologie de communication par lumière visible est brillant. Cette invention a résolu la difficulté d'intégrer la technologie de communication à lumière visible dans l'infrastructure existante sans nécessiter d'ajustements importants. C'est une section en croissance rapide dans le domaine de la communication qui peut être établie rapidement et à faible coût

VLC est un type de communication qui utilise une source de lumière visible comme émetteur de signal, l'air comme canal de transmission et la photodiode appropriée comme récepteur de signal. La technologie VLC a gagné en popularité en raison de ses nombreux avantages (tels que la sécurité, la santé et la sécurité des yeux). VLC a un large éventail d'utilisations. [20]

Chapitre II

Orthogonal frequency-
division multiplexing (OFDM)

INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principes et quelques notions relatives aux systèmes de communication numériques par une description des systèmes de transmission numériques et décrire le fonctionnement d'une chaîne de transmission, de la source au destinataire, en passant par des caractéristiques du canal radio et on termine par les deux types des modulations multi-porteur et mono-porteur en plus des avantages et inconvénients des l'OFDM et ses applications

II.1. Définition

L'OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) est actuellement le système de communication le plus efficace en termes de spectre, combinant des techniques telles que la modulation numérique, le traitement numérique du signal et la transmission multiporteuse. Son taux d'utilisation du spectre, son taux d'utilisation de l'énergie et la complexité de son système sont tous très compétitifs, et c'est une caractéristique unique pour prendre en charge les communications mobiles. C'est une méthode populaire de communication multimédia mobile. OFDM signifie multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence. L'ensemble du canal est divisé en N sous-canaux par N sous-porteuses. Les informations sont envoyées en parallèle via des canaux.

Les porteuses orthogonales sont utilisées dans l'OFDM. Lorsque de nombreuses porteuses sont présentes dans un signal, elles se chevauchent, mais en raison de l'orthogonalité, elles n'interfèrent pas les unes avec les autres. En conséquence, les systèmes OFDM peuvent maximiser l'utilisation du spectre tout en évitant les interférences entre les canaux adjacents.

[21]

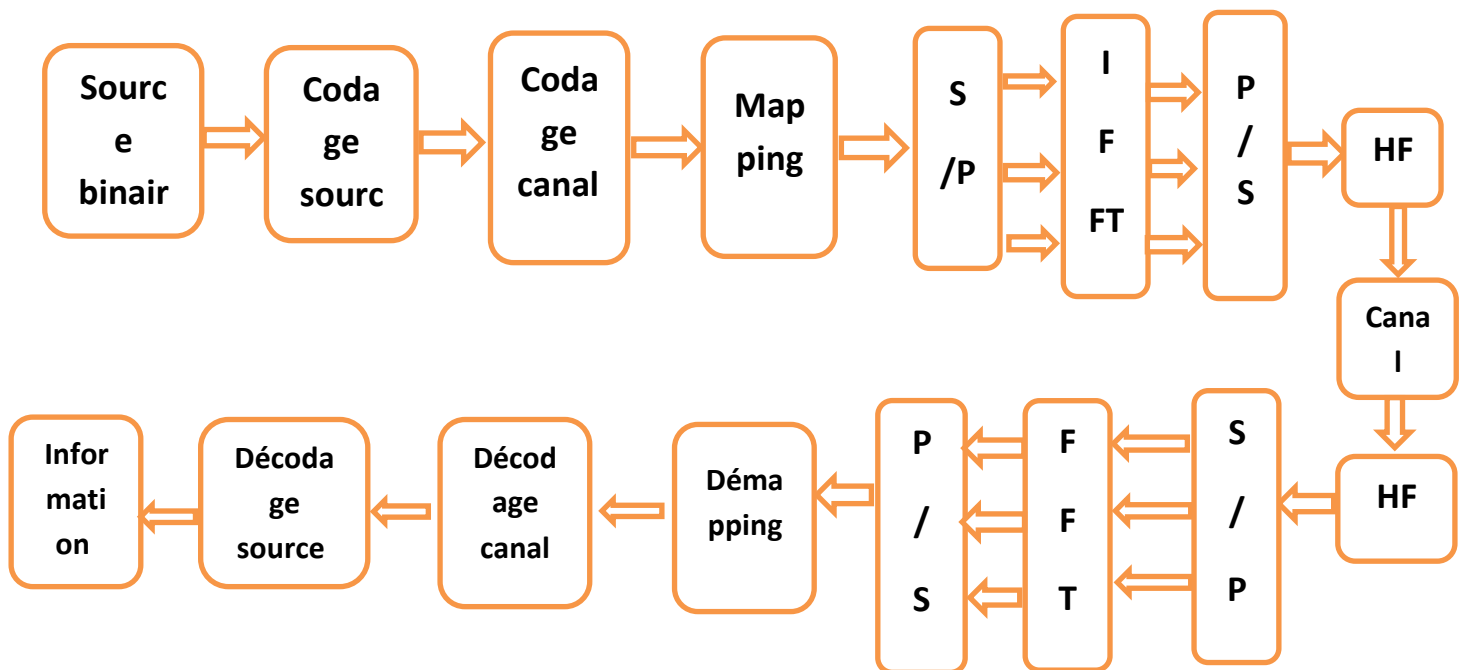


Figure II.1 : Schéma bloc de L'OFDM.

II.2. Principe de la modulation/démodulation OFDM

II.2.1-Principe de modulateur

Le signal résultant $s(t)$ correspondant à l'ensemble des N sous porteuses réassemblés en un symbole OFDM : (Figure II.2)

$$S(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f(k)t}, \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad (1)$$

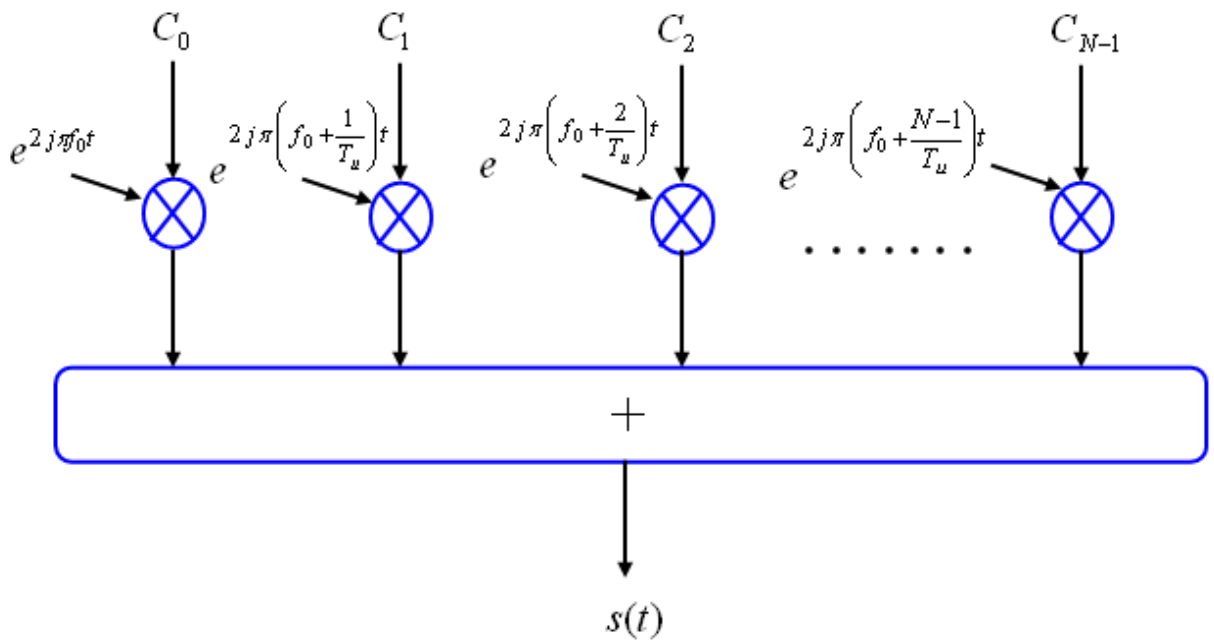


Figure II.2: Réalisation possible d'un modulateur OFDM

Figure II.2 illustre un signal OFDM résultant correspondant à l'ensemble des $N = 5$ sous porteuses réassemblés en un symbole OFDM

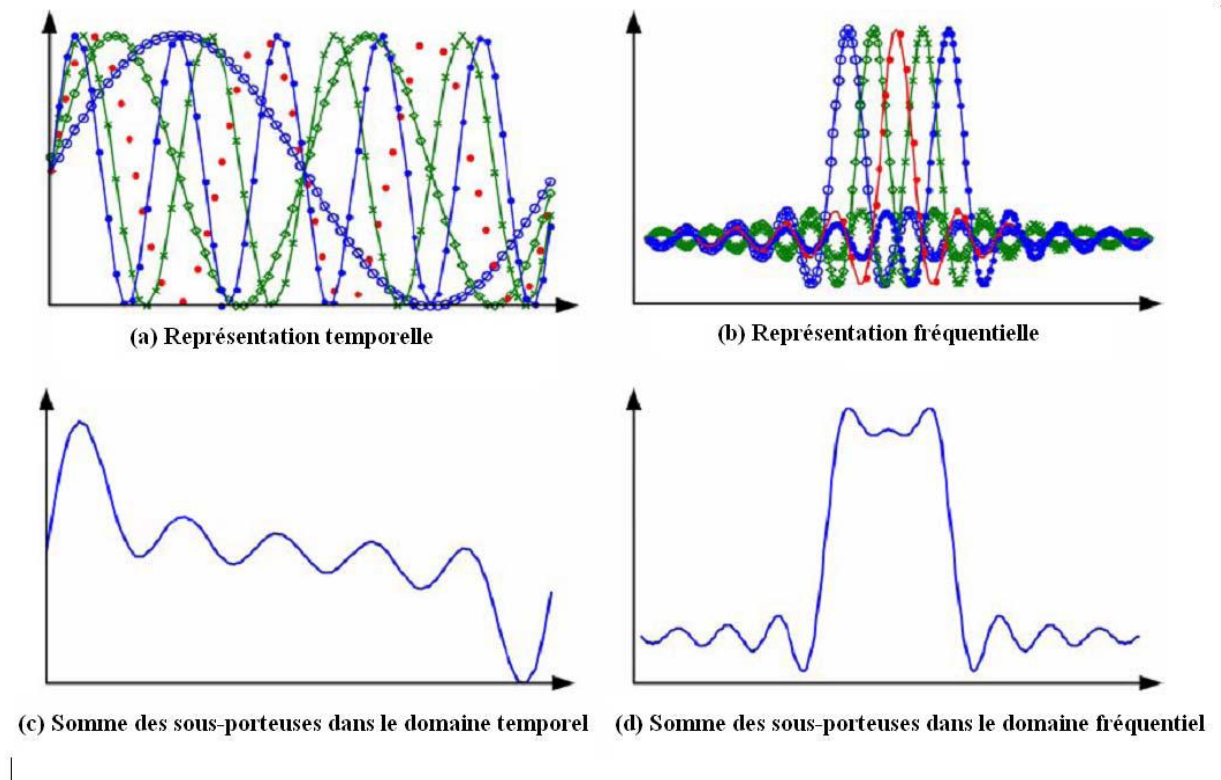


Figure II.3 Construction d'un signal OFDM avec 5 sous-porteuses

Il n'y a pas d'interférence avec d'autres sous-porteuses lorsque l'échantillonnage se fait précisément à la fréquence K_f d'une sous-porteuse. C'est ce qui permet de couvrir les spectres des différentes sous-porteuses et donc d'occuper le spectre de manière optimale.

Au récepteur, le signal obtenu s'écrit sur une durée symbole T_s :

$$Y_t = \sum_{K=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{j2\pi \left\{ f_0 + \frac{k}{T_s} \right\} t} \quad (2)$$

Où Y_t est la fonction de transfert de canal à l'instant t et autour de la fréquence F_k . Cette fonction est lente à changer et on peut s'attendre à ce qu'elle soit constante dans le temps T_s . **Figure II.4** [22]

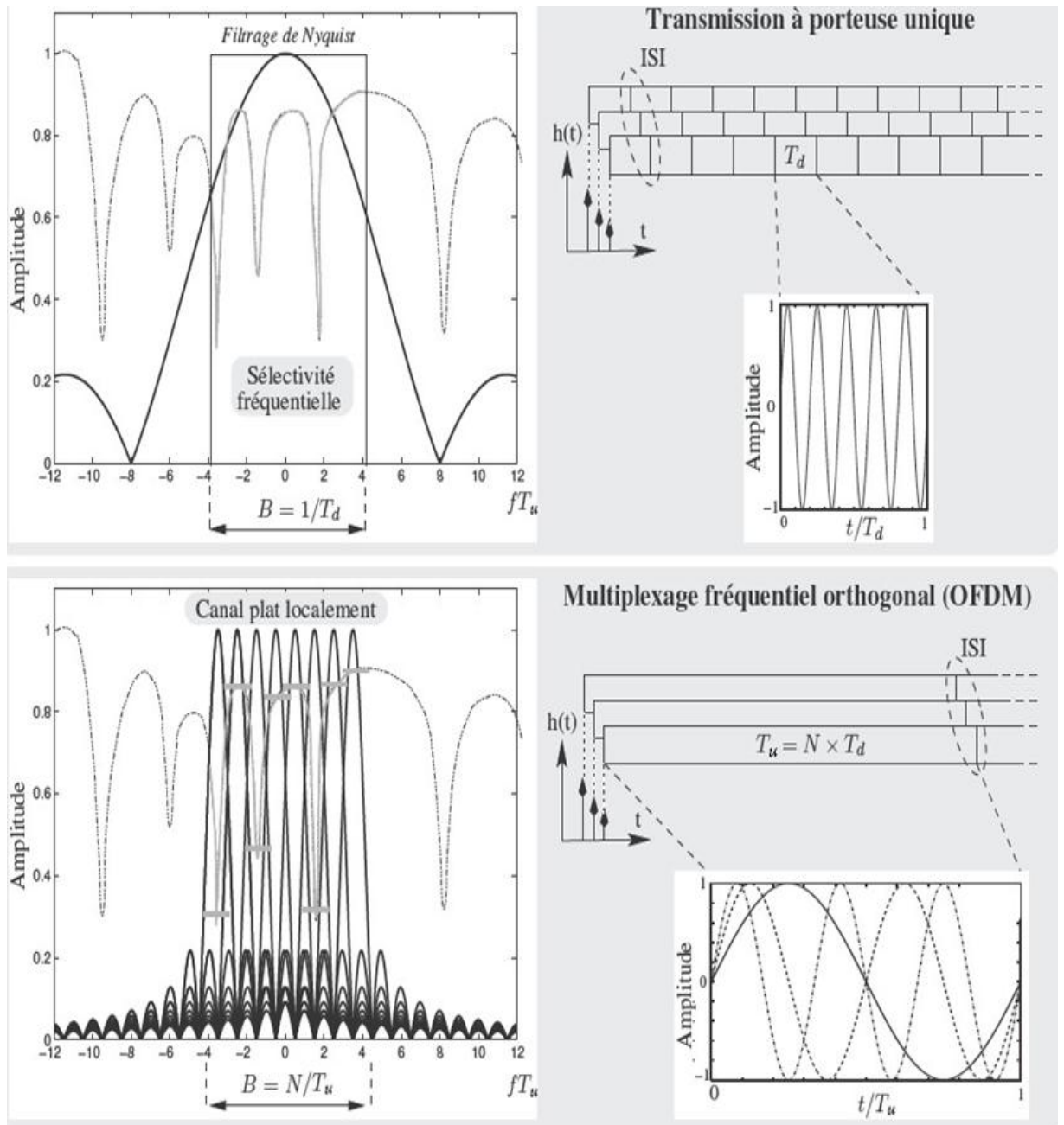


Figure II.4 Canal de Transmission

II.2.2-Principe de démodulateur

Démoduler le signal le long des N sous-porteuses selon la conception classique de figure II.5 serait une démodulation traditionnelle.[20]

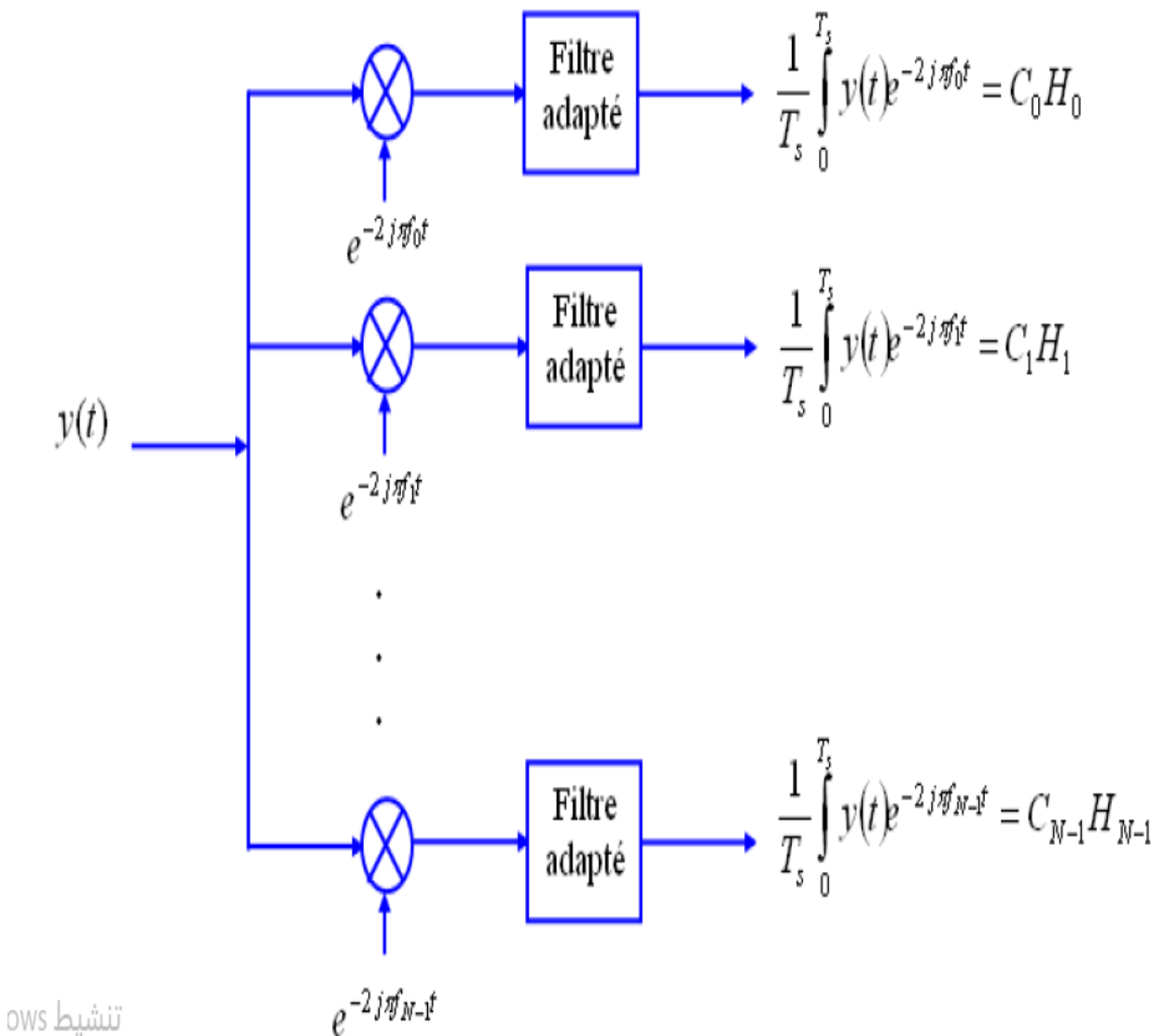


Figure II.5 Schéma de concept d'un démodulateur OFDM

II.3. Implantation numérique du modulateur/démodulateur

On obtient S_n défini en discrétisant le signal en sortie du modulateur OFDM et en le ramenant en bande de base pour l'examen numérique.

$$S_n = \sum_{K=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi n \frac{k}{N}} \quad (3)$$

En conséquence, une transformée de Fourier inverse discrète des C_k donne les S_n . Le calcul de la transformée de Fourier inverse est simplifié et peut être effectué à l'aide d'une IFFT de base en choisissant le nombre de sous-porteuses N tel que $N = 2^n$, ce qui donne le schéma numérique suivant :

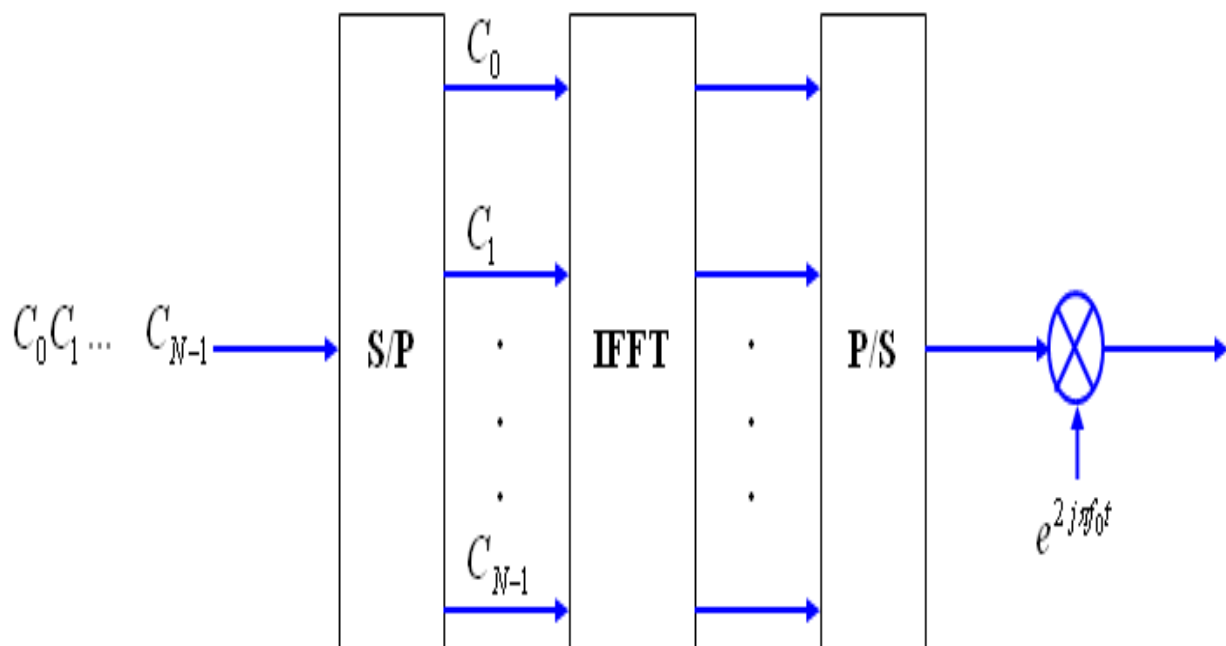


Figure II.6: Modulateur OFDM numérique

On définit le signal discrétisé y_n reçu en entrée du démodulateur sous la forme :

$$Y_n = y\left\{\frac{nT_s}{N}\right\} = \sum_{K=0}^{N-1} C_k H_k e^{j2\pi n \frac{k}{N(4)}}$$

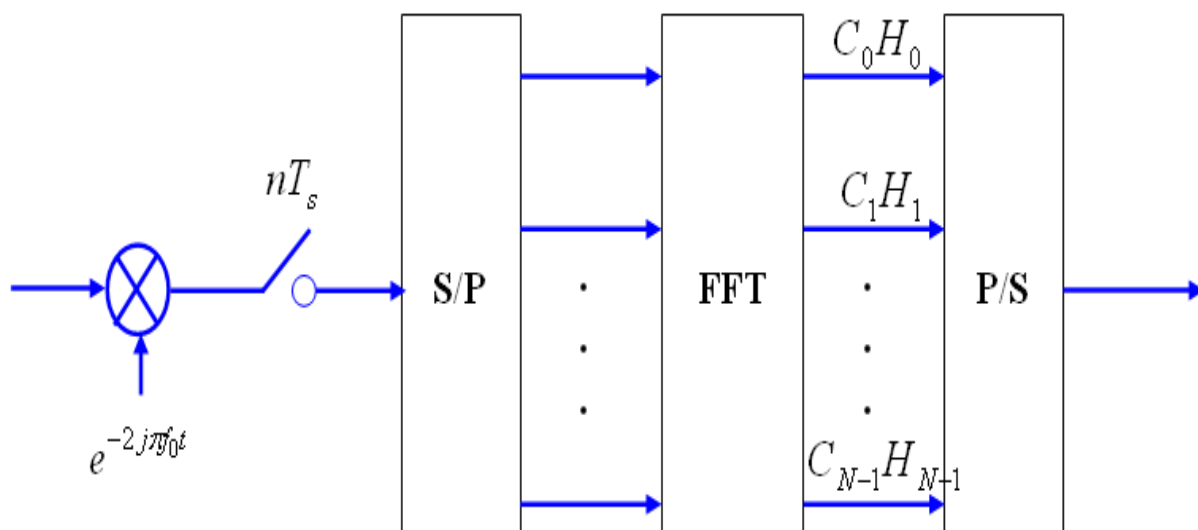


Figure II.7 : Démodulateur OFDM numérique

Du fait que Y_n est la transformée de Fourier discrète inverse de $C_k H_k$ la démodulation implique d'effectuer une transformée de Fourier directe discrète. Ce calcul peut être fait en utilisant une FFT puisque le nombre de sous-porteuses a été choisi comme une puissance de deux, $N=2^n$. Le résultat est le schéma fonctionnel illustré à la figure II.7. [22]

II.4. Notion d'orthogonalité

La distinction fondamentale entre l'OFDM et les autres schémas de modulation multiporteuse est que l'OFDM permet un grand chevauchement spectral entre les sous-porteuses, permettant une augmentation significative de leur nombre ou une réduction de la congestion spectrale. Cependant, pour que ce recouvrement n'ait pas de conséquences négatives, les porteuses doivent respecter une restriction d'orthogonalité temporelle et fréquentielle.

L'idée d'utiliser un grand nombre de transporteurs est presque terrifiante:

- De nombreux modulateurs/démodulateurs et filtres seront nécessaires
- Plus de bande passante sera nécessaire Heureusement

Ces deux problèmes peuvent être facilement résolus en définissant un espacement régulier strict.

$f_u = \frac{1}{T_u}$ Entre les sous-porteuses

Où T_u est la durée du symbole pendant laquelle le récepteur intègre le signal démodulé (utile ou actif).

De ce fait, les porteurs forment un ensemble orthogonal, tel que défini par les mathématiciens.

Ces schéma illustre tout[23]

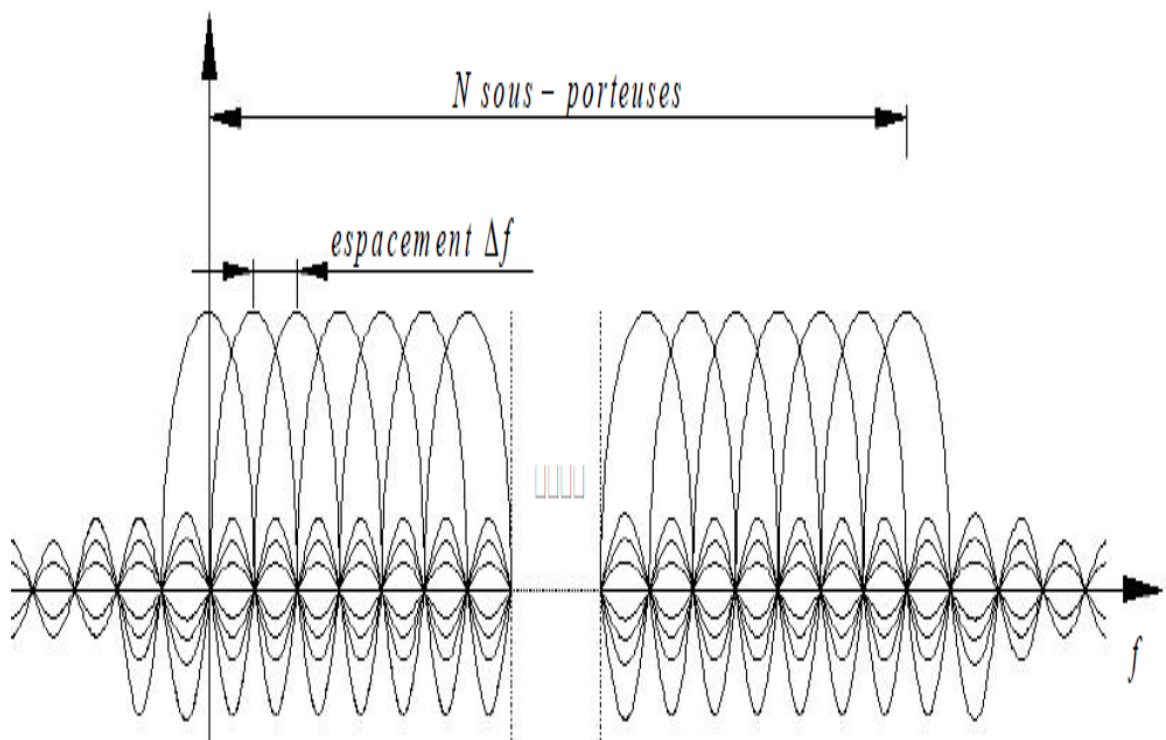


Figure II.8: Sous-porteuses orthogonales pour un système OFDM.

II.5. Caractéristiques de signal OFDM

II.5.1 Intervalle de garde

Les réflexions, les diffractions et les diffusions se produisent lorsque le signal se déplace entre l'émetteur et le récepteur. En conséquence, le récepteur reçoit de nombreuses copies du même signal, chacune avec un retard distinct. La propagation par trajets multiples est le terme utilisé pour décrire cela. Les trajets multiples produisent une dispersion sur les sous-porteuses distinctes d'un signal OFDM, comme le montre la figure II.9 on peut observer sur ce schéma que la dispersion provoque des interférences inter-symboles (ISI), qui peuvent se traduire par la perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses. Les performances du système de transmission OFDM en souffriraient. Dans ce scénario, l'ajout d'un intervalle de garde a été suggéré comme moyen de réduire l'effet indésirable du canal [2]

En réalité, il existe principalement deux types intervalle de garde :

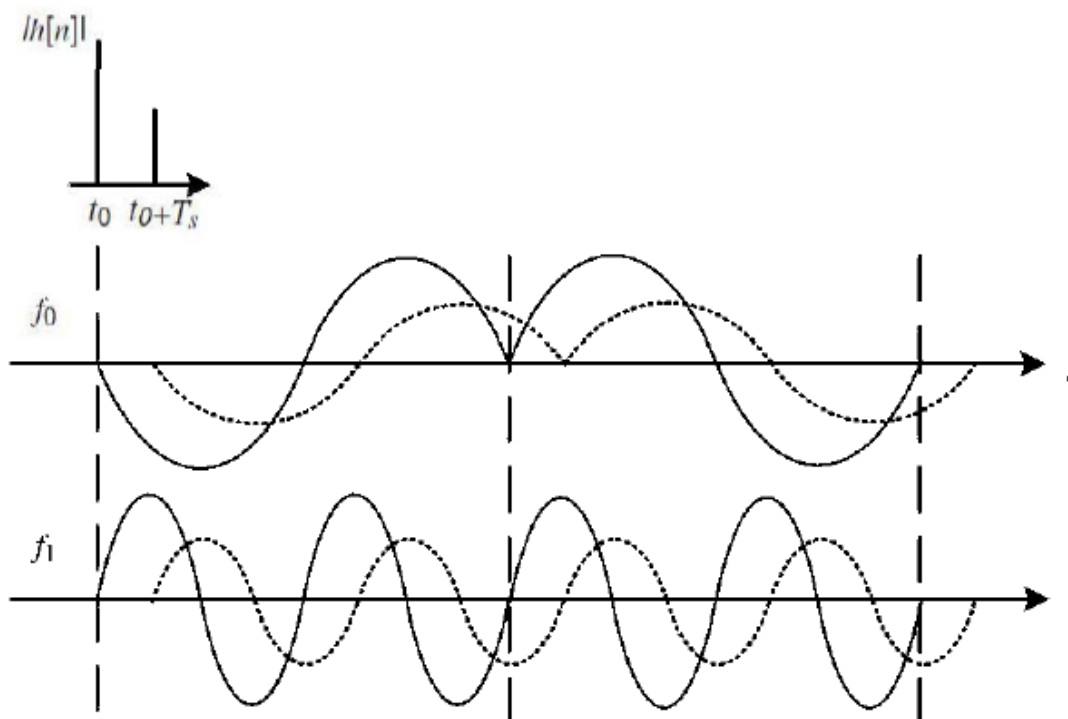


Figure II.9 Effet de la dispersion du canal sur les sous-porteuses d'un signal OFDM

La sous-porteuse (en bande de base) peut être représentée comme suit si le signal OFDM est pensé à l'origine comme un simple multiplexage fréquentiel.

$$s_k(t) = e^{ik\omega_u t} \quad (5)$$

$$\text{Avec } \omega_u = \frac{2\pi}{T_u} \quad (6)$$

Les porteuses doivent satisfaire la condition d'orthogonalité

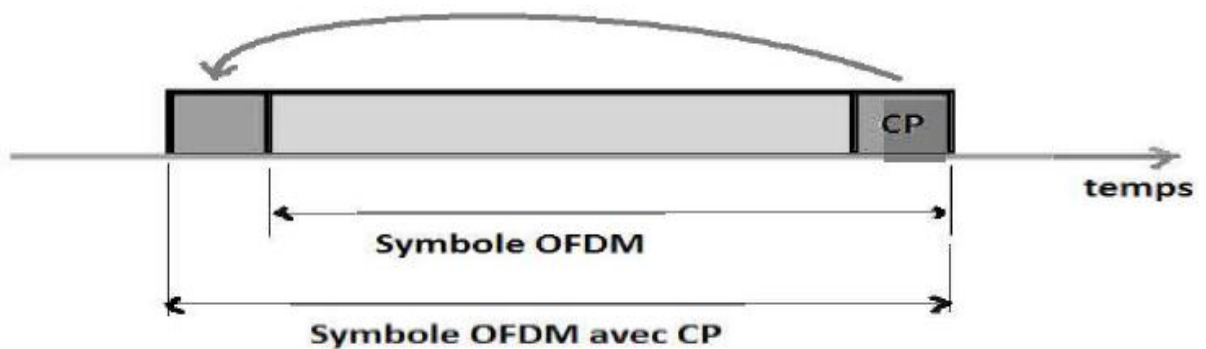
$$\int_{\tau}^{\tau+T} s_k(t) \cdot s_1(t) dt = 1 \quad ; k \neq 1$$

$$\int_{\tau}^{\tau+T} \varphi_k(t) \cdot \varphi_1(t) dt = T_u \quad ; k=1$$

Par conséquent, cette restriction est un critère d'orthogonalité de la fonction $\varphi_k(t)$ et cette fonctions $\varphi_k(t)$ établir une base orthogonale pour l'espace-temps-fréquence, facilitant la localisation des symboles et permettant un chevauchement spectral sans perte d'information .[2]

II.5.1.1 Préfixe cyclique (PC)

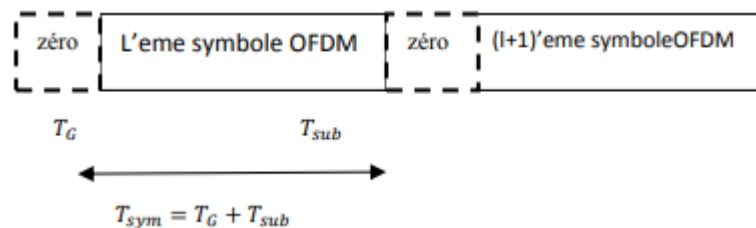
Comme le montre (La figure II.10) PC consiste à copier une partie de la fin d'un symbole OFDM à son début. De manière sur prenante préfixe cyclique consiste à répliquer une partie du début d'un symbole OFDM dans sa conclusion. Il a été démontré que l'ajout d'un intervalle de garde égal ou supérieur à la longueur de dispersion améliore les résultats. Le maximum du canal permet de maintenir l'orthogonalité entre les multiples sous-porteuses.



La figure II.10: Ajout de l'intervalle de garde

II.5.1.2 Zeropadding(ZP)

L'intervalle de garde dans ce cas est composé uniquement de zéros, contrairement à l'intervalle de garde de type PC. [22]



FigureII.11: Zeropadding

II.5.2 L'interférence entre symboles

Ce phénomène se produit lors de la propagation de plusieurs répliques de l'onde diffusée sur un canal multi-trajets, avec des amplitudes et des retards variables. Le signal a (avec retard r) croise le signal b et le signal c. [21]

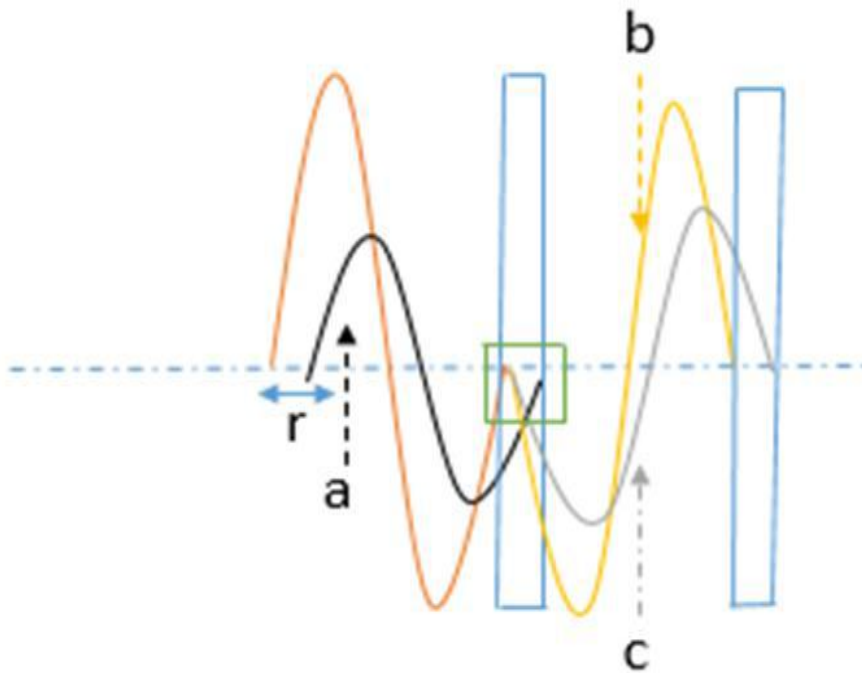


Figure II. 12 : Interférence entre symbole.

II.5.3 L'interférence entre porteuses

Des interférences entre les porteuses se produiront si le préfixe ajouté au début d'une trame OFDM est silencieux (pas de signal). Il est considérablement plus simple de raisonner dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel non échantillonné pour comprendre cette occurrence.[21]

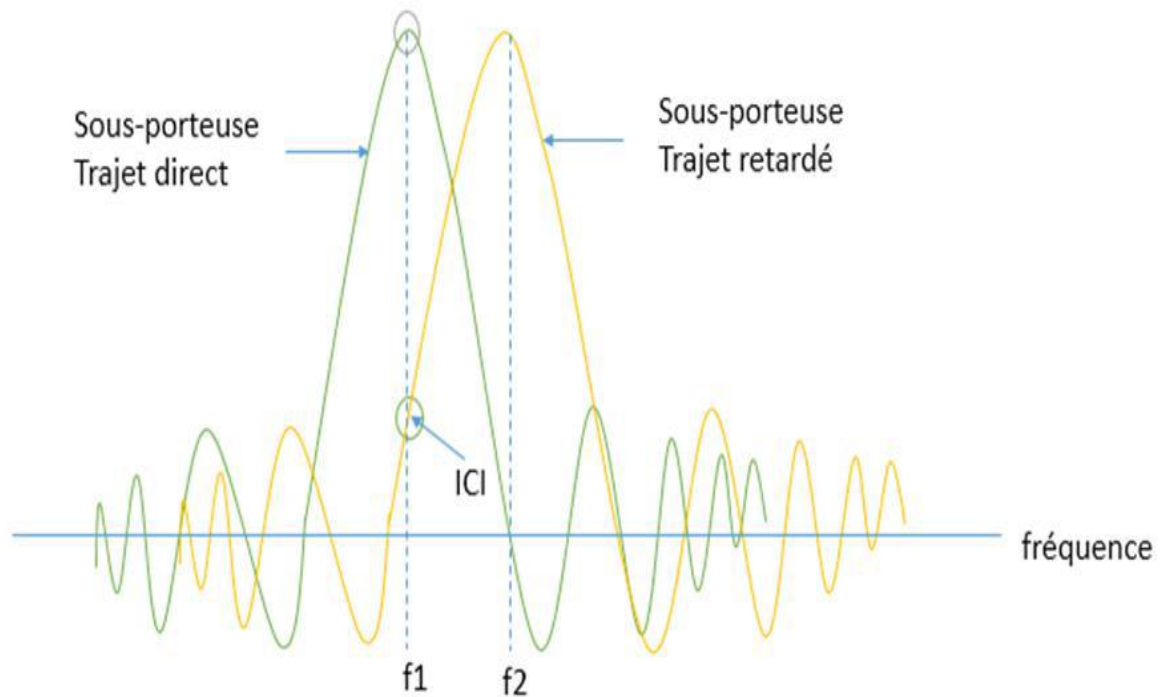


Figure II.13: Les interférences entrent porteuses

II.6. Les avantages de l'OFDM :

L'OFDM permet de supprimer relativement simplement l'impact des trajets multiples, qui est l'un des problèmes clés des systèmes à porteuse unique à mesure que le débit de transmission augmente, en sélectionnant une durée d'intervalle de garde appropriée. En revanche, du fait de la facilité avec laquelle IFFT/FFT l'implémente, il est largement utilisé dans les standards terrestres.

La forme d'onde OFDM n'a pas d'importance pour un canal de transmission fixe par satellite où les trajets multiples sont absents. On sait que dans les systèmes de radiocommunications mobiles, l'intervalle de garde est long car les retards des canaux de transmission sont étalés. L'absence de trajets multiples dans un canal satellite permet une réduction significative de la taille de l'intervalle de garde, qui n'est nécessaire qu'à la synchronisation. L'efficacité spectrale résultante peut être supérieure à celle d'un système monoporteuse.

Cependant, lors d'une diffusion OFDM, l'un des principaux problèmes est la synchronisation. Ceci est beaucoup plus important que dans la transmission monoporteuse. L'objectif de cette thèse est de fournir une structure de synchronisation pour une diffusion sur le canal aller d'un système satellitaire. Afin d'obtenir les meilleurs résultats, les ressources utilisées pour accomplir ce processus doivent être optimisées.

L'efficacité spectrale la plus élevée possible. Une comparaison avec l'efficacité spectrale des systèmes monoporteurs contemporains sera effectuée. [24]

II.7 Les inconvénients de L'OFDM :

II.7.1-Synchronisation

L'OFDM est extrêmement sensible aux erreurs de synchronisation de fréquence et de temps. La disparité des fréquences des oscillateurs locaux dans l'émetteur et le récepteur est une source d'erreur de synchronisation de fréquence. L'étalement doppler, quant à lui, est causé par le mouvement de l'émetteur et du récepteur.

Une synchronisation précise au niveau des symboles, des fréquences porteuses et de la fréquence d'échantillonnage doit être maintenue pour améliorer les performances d'une liaison OFDM. [25]

II.7.2-Rapport puissance crête a puissance moyenne (PAPR)

Dans un système OFDM, le PAPR (peak to average power ratio) est proportionnel au nombre de sous-porteuses employées. L'installation de convertisseurs analogique/numérique (DAC et DCA) est compliquée par un PAPR élevé. De même, lorsque le PAPR augmente, la

conception d'amplificateurs RF devient plus difficile. Des techniques de fenêtrage et d'annulation de pic peuvent être utilisées pour minimiser le PAPR. [25]

II.7.3-Interférence entre les canaux :

L'interférence dans le même canal est causée par l'utilisation de l'OFDM dans les réseaux de communication cellulaire (CCI). Des techniques d'antennes adaptatives peuvent être utilisées pour lutter contre ces interférences. [25]

II.8. Utilisation de l'OFDM :

OFDM est utilisé dans :

- Diffusion numérique terrestre (DVB-T, DVB-H)
- Diffusion numérique terrestre T-DMB
- Diffusion numérique DRM
- Diffusion numérique terrestre DAB
- ADSL, VDSL, modem courant porteur (homeplug) et modem câble (standard docsis) sont des exemples de connexions filaires
- 802.11a, 802.11g, 802.11n (Wi-Fi), 802.16 (WiMax) et (HiperLAN) sont des technologies de réseau sans fil.
- Ainsi que les réseaux mobiles de quatrième génération (4G) .[23]

CONCLUSION

L'OFDM s'est imposé comme l'une des technologies de liaison aérienne les plus importantes pour les futures communications sans fil à large bande. L'OFDM est utilisé pour éliminer rapidement les effets de l'affaiblissement par trajets multiples tout en offrant des vitesses de données énormes.

Le problème de nombreuses routes est l'un des problèmes les plus graves rencontrés par la transmission à haut débit. L'OFDM apparaît comme une bonne solution pour les trajets multiples, car il divise la bande de transmission en N sous-canaux orthogonaux. Un préfixe cyclique (intervalle de garde) est alors ajouté au début du symbole, et ce préfixe est identique à un segment de même longueur à la fin du symbole. Du fait de l'effet de plusieurs trajets, la longueur de cet intervalle est choisie supérieure à la valeur de durée maximale.

La modulation et la démodulation de l'OFDM est extrêmement simple, n'utilisant qu'un seul modulateur et un seul démodulateur. Cela se produit lorsque les différents éléments fondamentaux sont correctement

Chapitre III

Simulation
et résultats

INTRODUCTION

En raison des avantages inhérents tels qu'un spectre abondant sans licence, une plus grande sécurité et aucune interférence avec les systèmes RF existants, les systèmes VLC sont un complément intéressant aux systèmes RF. Les systèmes de transmission de données sans fil permettent une transmission de données à haut débit malgré les gains potentiels de la technologie VLC, un chevauchement inter symbole interférence (ISI) reste un goulot d'étranglement pour les performances du système en raison de la présence de trajets multiples dans les systèmes VLC à haut débit. Dans les systèmes de radiofréquence, le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) est une technologie utile pour la poursuite ISI. Les informations VLC sont représentées par l'intensité lumineuse car les systèmes VLC communiquent via les technologies de modulation d'intensité et de détection directe (IM/DD).

Par conséquent, les signaux transmis doivent avoir une valeur positive et non une valeur négative. Par conséquent, les techniques de radiofréquence OFDM traditionnelles ne sont pas compatibles avec les systèmes VLC. L'OFDM optique polarisé en courant continu (DCO-OFDM) a été proposé, mais il nécessite une portée de transmission et une LOS limitées. De plus, le signal doit être réel et non négatif.

Dans ce chapitre. Nous étudierons le concept de cette technologie ainsi que ses performances et l'effet du degré de non-linéarité sur les performances du système DCO-OFDM.

III.1. Les différents systèmes de VLC

III.1.1-Le système DCO-OFDM en détaille

L'ajout d'une polarisation CC pour créer un signal unipolaire à l'extrémité de l'émetteur est une approche réaliste pour garantir la non-négativité du signal OFDM. Toutes les sous-porteuses dans DCO-OFDM sont affectées, à l'exception des premières et $(N/2+1)$ e sous-porteuses, qui sont mises à zéro, ce qui donne un signal de sortie qui ne contient que des nombres réels (**FIGURE III.1**) comme indiqué précédemment, une symétrie hermitienne est nécessaire pour que la sortie du bloc IFFT contienne des signaux à valeur réelle. Comme le signal produit à partir d'une valeur réelle est toujours bipolaire, une polarisation en courant continu (CC) doit être introduite pour convertir le signal bipolaire en un signal unipolaire adapté à la transmission par la LED. [26]

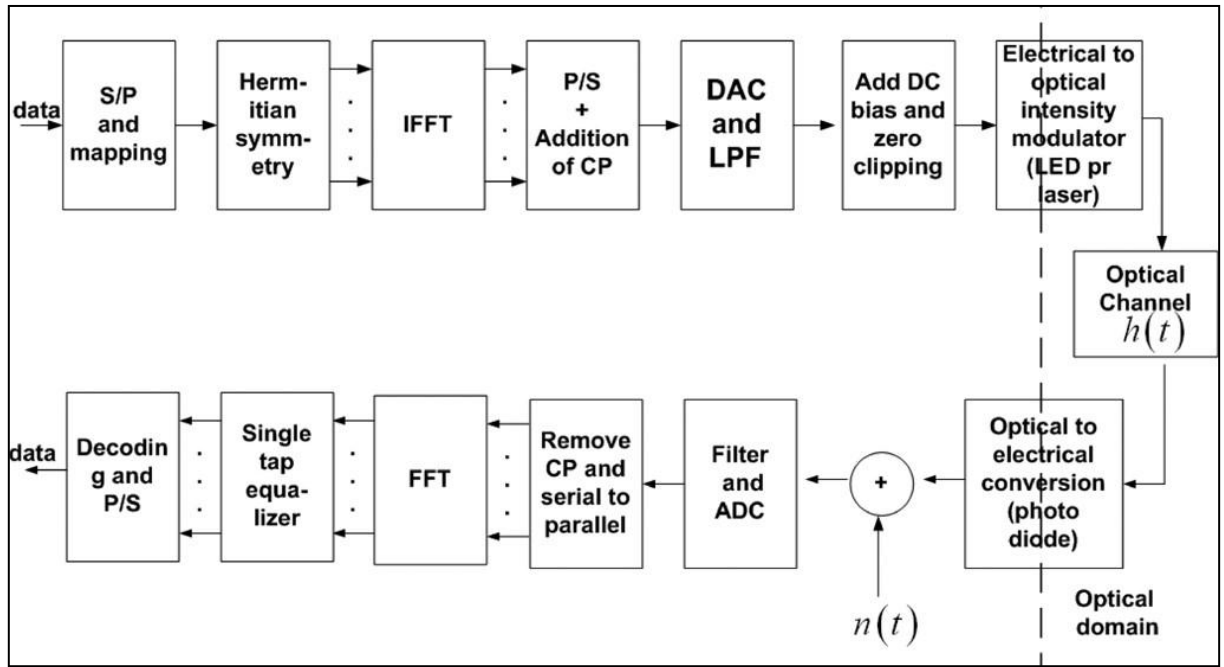


FIGURE III.1: Un schéma fonctionnel d'un système DCO-OFDM

Comme le montre la Figure III.1, un DCO-OFDM. Le modulateur $M - QAM$ convertit le flux binaire en symboles complexes, $X(k)$, où M est la taille de la constellation. Les symboles sont répartis sur N sous-porteuses, $X(k), 0 \leq K \leq N - 1$, désignant la taille de l'IFFT/FFT.

Pour toutes les sous-porteuses du schéma conventionnel, nous utilisons la même taille de constellation. Le signal de données complexe dans le système DCO-OFDM doit avoir une symétrie hermitienne, comme décrit ci-dessous.

$X(m) = X^*(N - m), 0 \leq K \leq N - 1$ et $X(0) = X(N/2) = 0$, où $X(m)$ est le même ou porteuse de signal, avec $X^*(m)$ désignant X (mconjugué.)'s la transformée de fourier rapide inverse est utilisée pour traiter le signal après cela (IFFT). Retour rapide (IFFT). La symétrie hermitienne de l'entrée garantit que le signal de sortie du TIFI, x , est réel. La formule suivante donne l'adresse de $X(k)$: [27]

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) e^{\frac{j2\pi km}{N}} \quad (7)$$

Le nombre de sous-porteuses de données distinctes est $N/2 - 1$ en raison de la symétrie hermitienne et $X(0) = X(N/2) = 0$, et $X(k)$ est un signal à valeur réelle. Cet article utilise la normalisation de la puissance électrique, qui fonctionne comme suit :

$$X_{\text{normalisé}}(k) = \frac{X(k)}{\sqrt{E[x^2(k)]}} \quad (8)$$

Le signal est ensuite rendu approximativement non négatif en ajoutant une polarisation CC appropriée à $X(k)$ normalisé $X_{biaisée}(k) = X_{normalisé}(k) + B$, où B spécifie la polarisation CC . La polarisation DC a été fixée comme une constante suite à la normalisation de la puissance électrique en (1). Tous les pics négatifs persistants ainsi que le biais $X_{biaisée}(k)$ seront écrêtés, provoquant un signal, comme illustré ci-dessous : [27]

$$\mathbf{X}_{coupée}(\mathbf{k}) = \frac{1}{2} (\mathbf{X}_{biaisé}(\mathbf{k}) + |\mathbf{X}_{biaisé}(\mathbf{k})|) \quad (9)$$

III.1.2-Le Système ACO-OFDM

J. Armstrong a suggéré le système ACO-OFDM. Seules des sous-porteuses d'ordre impair sont utilisées pour la transmission de données dans un système ACO-OFDM.

La distinction entre ACO-OFDM et DCO-OFDM est qu'ACO-OFDM ne nécessite pas de composant supplémentaire. Les sous-porteuses impaires sont modulées via un bloc IFFT pendant la transmission. Un bloc IFFT module l'impair. Du fait de la symétrie hermitienne, le signal obtenu est réel et bipolaire. Ce signal bipolaire est ensuite "écrêté à zéro", produisant un signal unipolaire ACO-OFDM. La construction d'une liaison ACO OFDM sous la forme de blocs émetteur et récepteur est illustrée à la Figure III.2. Les symboles à l'entrée du bloc IFFT sont représentés par un vecteur $X = [0, X_1, 0, \dots, X_{N_1}]$ avec uniquement des composantes impaires et une symétrie hermitienne. Le résultat de l'IFFT est un véritable signal bipolaire. Il existe un échantillon négatif correspondant de même amplitude pour chaque échantillon positif. Le signal reçu est sérialisé Avant d'être transformé en un signal analogique à l'aide d'un DAC et d'un filtre passe-bas.

Après cela, le signal analogique est écrêté à zéro, produisant un véritable signal unipolaire. La technique d'écrêtage zéro ne produit aucune pert d'information sur les sous-porteuses impaires en raison de la caractéristique d'antisymétrie . [26]

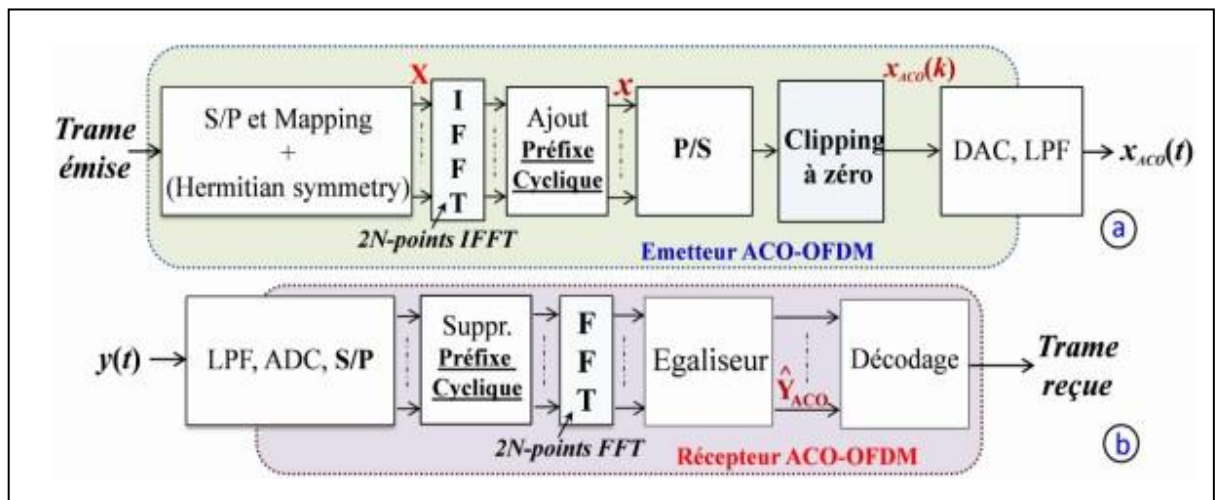


FIGURE III.2: Schéma Blocs d'un Système ACO-OFDM: (a) Émetteur, (b) Récepteur

III.1.3-Le Système ADO-OFDM

Pour augmenter l'efficacité de puissance optique du DCO-OFDM et l'efficacité du spectre du système ACO-OFDM, le système ADO-OFDM (OFDM asymmetrically clipped DC-biased optical) est présenté. Pour améliorer la transmission, les deux modulations ACO-OFDM et DCO-OFDM sont liées.

Au niveau du récepteur via un processus d'annulation d'interférence, les sous-porteuses paires sont alors démodulées. Pour ce faire, les symboles sont ramenés dans le domaine temporel via IFFT.

Ensuite, le bruit d'écrêtage est estimé localement pour permettre la reconstruction du signal de référence Y_{ACO} . En soustrayant ce signal Y_{ACO} du signal reçu Y , on trouve l'estimation du signal discret

Même les sous-porteuses sont représentées par Y_{even} . En conséquence, nous démodulons en DCO-OFDM en effectuant une FFT sur le signal Y_{even} et en ne considérant que les sous-porteuses paires à la sortie du bloc FFT. [26]

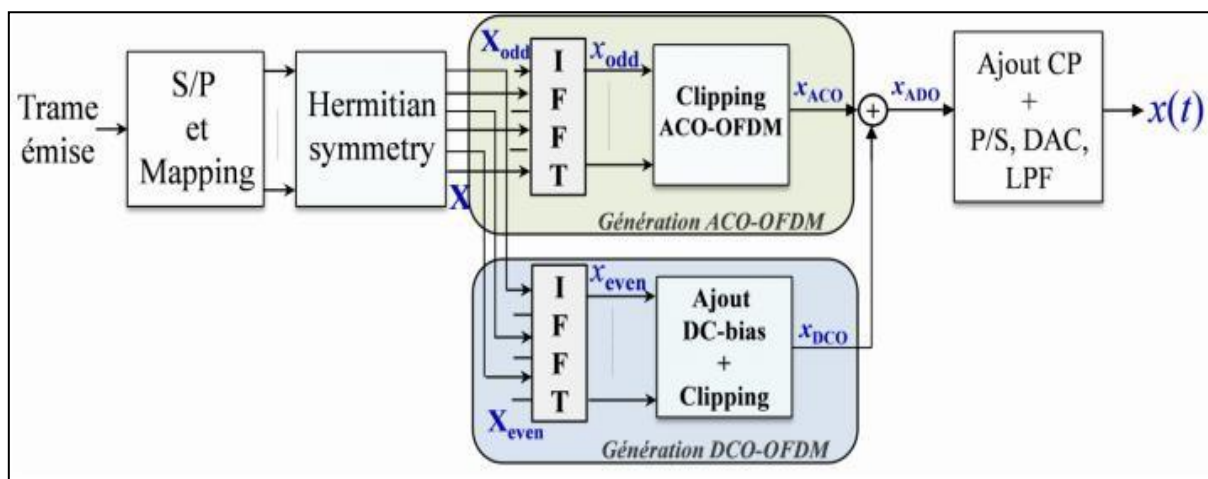


FIGURE III.3. Schéma synoptique d'une chaîne de transmission ADO-OFDM

III.1.4-Le système FLIP OFDM:

Dans les systèmes de communication optique sans fil (OWC) et les systèmes de multiplexage utilisés, la répartition orthogonale inverse de la fréquence (Flip OFDM) est utilisée pour garantir que les signaux non négatifs diffusent les parties positives et négatives du signal sur deux sous-trames OFDM successives. En utilisant les signaux dans les deux sous-trames, un

❖ Dans ce chapitre, nous étudierons en détail le système DCO-OFDM

III.3-Architecteur de DCO-OFDM VLC :

III.3.1-Modélisation de l'émetteur VLC-DCO-OFDM

L'émetteur du système DCO-OFDM est illustré à la FIGURE III.5. Un convertisseur série-parallèle (S/P) divise un flux de données série en symboles modulés en amplitude en quadrature (QAM) séparés. Soit S_k le signe sur la k ème sous-porteuse et N le nombre total de sous-porteuses. La symétrie hermitienne dans le domaine fréquentiel est nécessaire pour produire un vrai signal dans le domaine temporel : [28]

$$S_k = S_{N-K}^* \quad K = 1 \dots \dots \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (10)$$

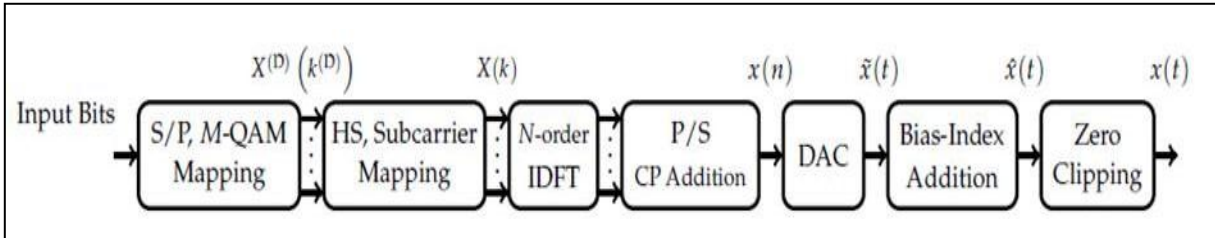


FIGURE III.5: Schéma Fonctionnel de l'émetteur DCO-OFDM

ainsi que les 0ème et $\frac{N}{2}$ ème sous-porteuses étant nulles, ou $S_0 = S_{N/2} = 0$. Par conséquent, la structure de trame DCO-OFDM est la suivante

$$S = \left[0, S_1, S_2, \dots \dots S_{\frac{N}{2}-1}, 0, S_{\frac{N}{2}-1}^*, \dots \dots, S_2^*, S_1^* \right] \quad (11)$$

L'application de la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) à S_k donne le signal dans le domaine temporel.

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{K=0}^{N-1} S_K e^{\frac{j2\pi kn}{N}} = \frac{2}{\sqrt{N}} \sum_{K=1}^{\frac{N}{2}-1} Re \left\{ S_K e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \right\} \quad (12)$$

pour $n = 0, \dots, N - 1$, où signifie une partie réelle de valeurs complexes.

Le signal transmis s_n doit être à la fois réel et non négatif pour que VLC utilise la modulation d'intensité (IM) pour faire fonctionner une LED. Un écrêtage réduit et une polarisation continue sont donc nécessaires. Un écrêtage supérieur peut également être nécessaire car une LED peut avoir une restriction sur la valeur maximale du signal d'entrée, par exemple, pour le contrôle de la luminosité ou l'ajustement dans la plage linéaire de la caractéristique de transfert. La procédure de découpage peut être décrite comme

$$S_{clip,n} = clip[S_n] \begin{cases} B_U \\ S_n \\ -B_L \end{cases} \begin{cases} S_n \geq B_U \\ -B_L < S_n < B_U \\ S_n \leq -B_L \end{cases} \quad (13)$$

où les bordures de découpage supérieure et inférieure sont désignées par B_U et $-B_L$. Le signal est davantage écrêté lorsque B_U et B_L sont plus petits. Le convertisseur numérique-analogique (DAC) reçoit le signal écrêté $S_{clip,n}$ et le convertit en signal temporel continu $S_{clip}(t)$. Ensuite, une polarisation continue B_L est introduite. pour obtenir un signal non négatif, utilisez $S_{clip}(t)$. en utilisant $S_{dc}(t) = S_{clip}(t) + B_L$, une LED est alors pilotée. [28]

III.3.2-Modélisation du récepteur DCO-OFDM-VLC

Le signal reçu doit d'abord être transformé par le PD dans le récepteur DCO-OFDM d'un signal optique en un signal électrique. De plus, un bruit de grenaille s'ajoute lors de cette conversion, ce qui a un impact sur les systèmes optiques. Jusqu'à présent, le post-traitement est identique à celui d'un récepteur OFDM traditionnel.

Le signal photodéfecté, $y(t)$, est projeté sur le convertisseur analogique-numérique (CAN) au niveau du récepteur (FIGURE III.6), suivi d'une conversion S/P et d'une suppression CP pour produire $y(n)$. En utilisant la DFT d'ordre N , les symboles FD reçus, $Y(k)$, sont obtenus:

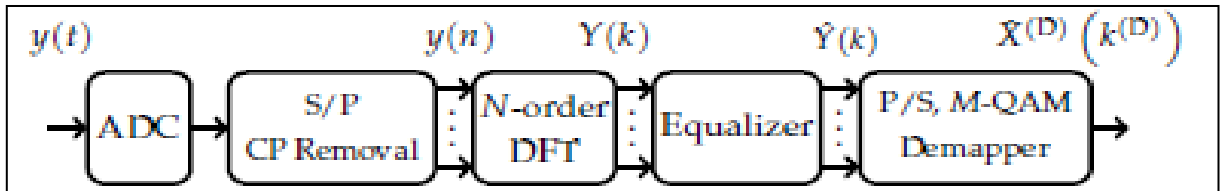


FIGURE III.6. Schéma récepteur DCO-OFDM-VLC

où $H(k)$ représente la réponse en fréquence du canal de la k -ième sous-porteuse. Le domaine fréquentiel est ensuite soumis à une égalisation à une prise, donnant l'équation :

$$\mathbf{Y}(\mathbf{k}) = \mathbf{X}(\mathbf{k}) + \mathbf{Z}(\mathbf{K}) \quad (14)$$

Où $\mathbf{X}(\mathbf{k})$ sont les symboles FD reçus estimés après égalisation (sans forçage), et $\mathbf{Z}(\mathbf{k}) = \mathbf{W}(\mathbf{k}) / \mathbf{H}(\mathbf{k})$ L'information transférée est identifiée comme :

$$\mathbf{X}^{(D)}(\mathbf{K}^{(D)}) = \mathit{argmin} \|\mathbf{Y}(\mathbf{K}^{(D)} + \mathbf{1}) - \mathbf{X}_Q\| \quad (15)$$

Où \mathbf{X}_Q représente tous les composants de Q . [26]

III.4-Explication détaillée du régime :

Le nombre de sous-porteuses de transport de données distinctes présentes dans DCO-OFDM est $(N/2) - 1$ en raison de la symétrie hermitienne. La sortie IFFT, x , est transformée de parallèle en série (P/S), après quoi un préfixe cyclique (CP), dont la longueur dépend de l'environnement optique et vise pour supprimer l'interférence intersymbole (ISI), est ajouté. Avec une précision comprise entre 12 et 16 bits, le signal résultant est transformé de numérique en analogique (DAC), et sa vitesse est basée sur la bande passante utilisée. Le bloc identique pour réduire le bruit aux fréquences proches, un filtre passe-bas (LPF) est introduit après le DAC. Par souci de simplicité, nous utiliserons un LPF idéal dans ce travail. La sortie de ce bloc sera appelée $x(t)$. Le signal $x(t)$ peut être traité comme une variable aléatoire gaussienne avec une moyenne et une variance nulle pour les grandes valeurs N . [29]

$$\sigma^2 = E\{x^2(t)\} \quad (16)$$

III.5-Modèle LED avec augmentation linéaire

Le comportement souhaité du modèle LED est le suivant :

$$i_{LED}(v_{LED}) = \begin{cases} h(v_{LED}) & v_{LED} \geq 0 \\ 0 & v_{LED} < 0 \end{cases} \quad (17)$$

où v_{LED} est la tension aux bornes de la LED et $i_{LED}(v_{LED})$ est le courant stabilisé à travers la LED.

$$h(v_{LED}) = \frac{f(v_{LED})}{\left(1 + \left(\frac{f(v_{LED})}{i_{max}}\right)^{2k}\right)^{1/2k}} \quad (18)$$

où $f(v_{LED})$ est la fonction caractérisant les caractéristiques I-V mesurées/de la fiche technique et i_{max} est le courant alternatif/pulsé maximal autorisé à travers la LED. L'équation du modèle LED avec palier peut donc être exprimée par l'équation suivante basée sur (18) :

$$i_{LED}(v_{LED}) = \frac{1}{2} [h(v_{LED}) + |h(v_{LED})|] \quad (19)$$

où $|x|$ désigne la valeur absolue de x

En fait l'équation proposée en (19) se stabilise. Dans une simulation de monte carlo, l'équation élimine les époques du domaine temporel du signal OFDM qui sont superposées à un niveau DC en fonction du point de polarisation étudié. Cependant, le facteur de coude k dans (17) est défini soit pour restreindre (écrêtage dur) soit pour écrête doucement (écrêtage doux) les pics supérieurs du signal OFDM. Le modèle est utilisé dans un système pratique pour conditionner le signal O-OFDM avant la modulation LED. À des fins de démonstration, les courbes LED pour différentes valeurs de k utilisant $f(v_{LED}) = v_{LED}$ at $i_{max} = 0.5$. [30]

III.6-Résultats et interprétation

L'étude des performances est basée sur un graphique du taux d'erreur sur les bits (BER) par rapport au SNR . Le taux d'erreurs sur les bits (BER) d'un système de communication est défini comme le rapport entre les bits erronés et le nombre total de bits transférés sur une période de temps donnée. Il s'agit de la probabilité qu'un seul bit erroné se produise dans les bits reçus, quel que soit le débit de transmission. Le taux d'erreur sur les bits, également appelé taux d'erreur sur les bits (BER), est calculé en divisant le nombre total de bits transférés sur un intervalle de temps donné par le nombre d'erreurs sur les bits. En comparant les signaux transmis et reçus et en calculant le nombre d'erreurs sur le nombre total de bits, le BER peut être calculé. Dans le cas de toute modulation, Dans la plupart des cas, le BER est exprimé sous la forme d'un rapport signal sur bruit (SNR). Le rapport signal sur bruit (SNR) est défini comme le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit, et il est généralement exprimé en décibels (dB). [28]

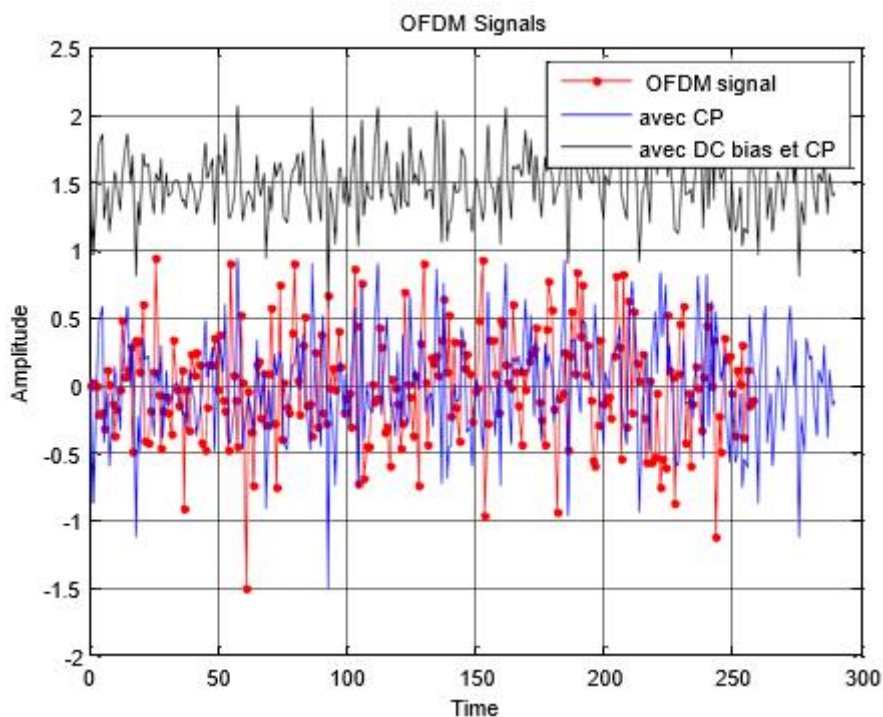


FIGURE III.7.signalOFDM avant et après l'ajout de CP et DC bias

Un CP est ajouté dans les systèmes OFDM pratiques pour maintenir l'orthogonalité entre les sous-canaux. de plus, une polarisation CC est introduite dans le signal OFDM bipolaire pour se conformer à la restriction de non-négativité, comme illustré à la **FIGURE III.7**

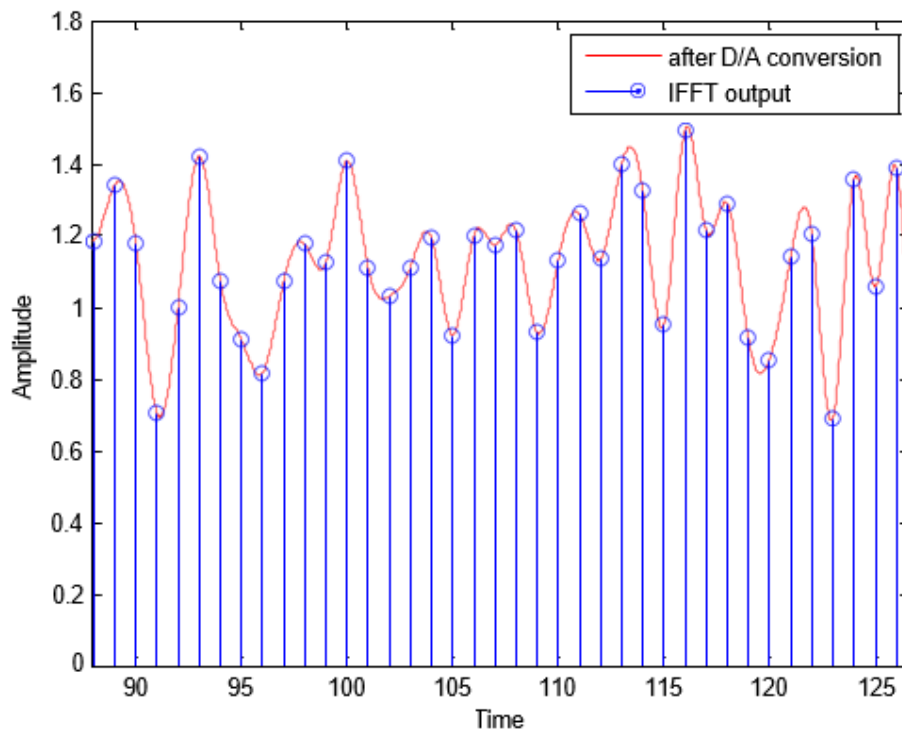


FIGURE III.8. Sortie IFFT et signal continu après conversion D/A

plusieurs composants de l'émetteur et du récepteur doivent avoir une large plage dynamique si le signal OFDM ne doit pas être déformé. Le signal analogique ou une version suréchantillonnée du signal numérique afin qu'elles réussissent. Cela est dû à la possibilité que les crêtes du signal, comme représenté sur la **FIGURE III.8**, puissent apparaître entre des échantillons discrets après que le signal a été transformé en D/A.

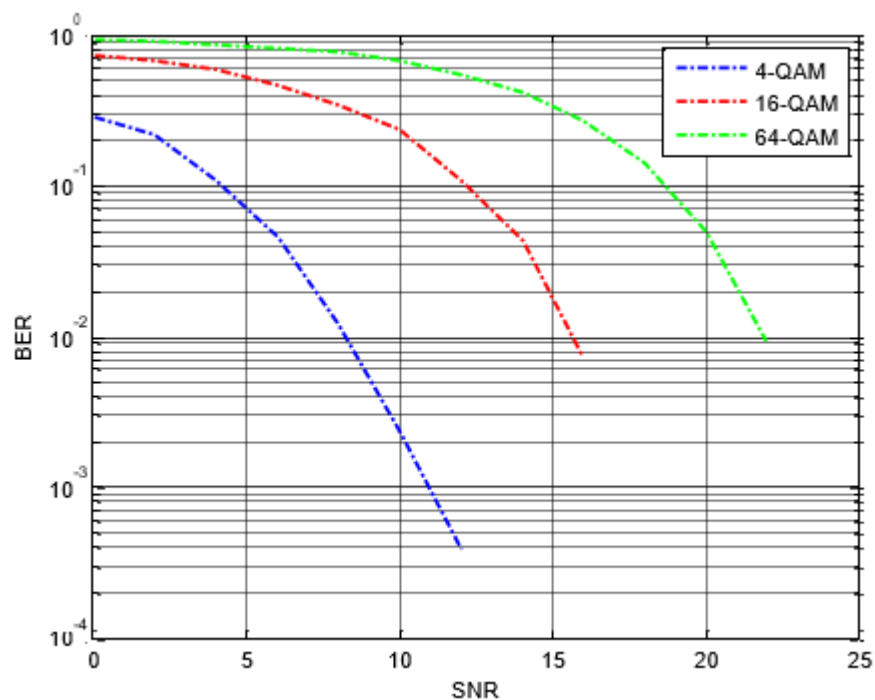


FIGURE III.9: BER vs SNR pour différents QAM pour le système DCO-OFDM VLC

La **FIGURE III.9** illustre les résultats de la simulation BER en fonction de SNR , il est clair que lorsque l'ordre de modulation QAM augmente, le BER augmente, c'est-à-dire qu'un SNR plus élevé est nécessaire pour obtenir le même BER lorsque QAM passe d'un ordre inférieur à un schéma d'ordre supérieur.

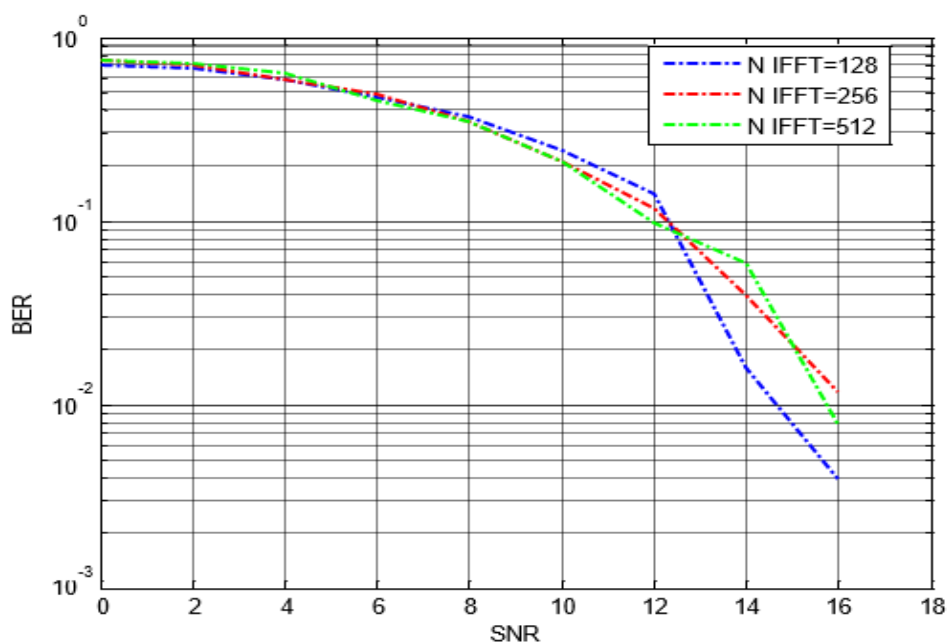


FIGURE III.10. BER vs SNR différentes tailles de l'IFFT

Représenter la **FIGURE III.10** Les différentes tailles de l'IFFT de SNR est fourni par le BER. Il ressort des résultats qu'une longueur IFFT plus longue conduit à un meilleur BER.

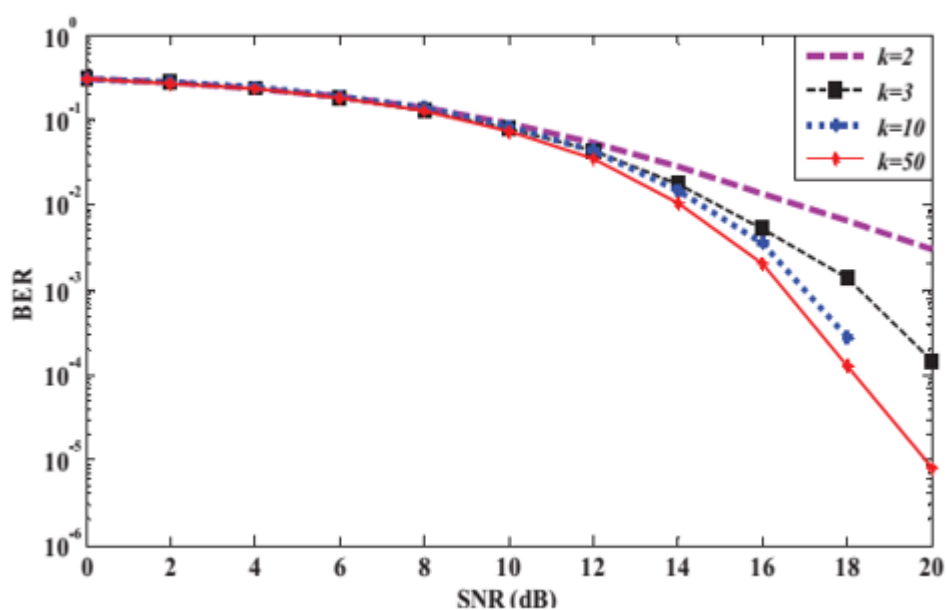


FIGURE III.11. BER vs SNR pour différents degrés de non-linéarité k

Le comportement de la LED devient plus linéaire à mesure que la valeur de k augmente. Comme le montre la **FIGURE III.11**, l'augmentation du facteur k améliorera, comme prévu, les performances du BER et, à mesure que le comportement de la LED se rapproche du modèle linéaire.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons parlé des systèmes de communication VLC et des différences les plus importantes entre ADO-OFDM et FLIP-OFDM, ACO-OFDM, DCO-OFDM, et nous sommes allés plus loin dans l'explication du système DCO et modèle LED avec incrément linéaire

Ensuite, nous avons examiné les performances d'un système DCO-OFDM pour les communications intérieures VLC. Nous avons également étudié le module de coude K. Les résultats obtenus nous montrent que lorsque la valeur K augmente, la valeur SNR diminue tandis que la valeur BER reste constante

CONCLUSION
GENERAL

CONCLUSION GENERAL

L'importance de l'OFDM optique à coupe symétrique est qu'il a la meilleure efficacité contre les interférences de radiofréquence car il est conçu pour surmonter les inconvénients des systèmes de porteuse traditionnels.

Nous avons également présenté des idées générales sur la communication par lumière visible VLC et décrit ses différents systèmes, en particulier DCO-OFDM. Par conséquent, nous concluons que de nombreuses formes d'OFDM sont utilisées pour répondre aux besoins et aux exigences des LED.

Il est également évident que la méthode DCO-OFDM pour la communication par lumière invisible peut être utilisée avec succès. Seule la moitié des sous-porteuses sont envoyées en DCO-OFDM, et la partie négative est écrêtée. En conséquence, il s'agit d'une approche très économe en énergie

Le but de ce travail est d'étudier l'effet du degré de non-linéarité sur les performances du système DCO-OFDM.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ✚ [1]C.W. Chow et autres... (Adaptive scheme for maintaining the performance of the in-home white-LED visible light wireless communications using OFDM .)Optics Communications.292.1 April 2013page .49
- ✚ [2]HAMIDAIT T ALEB .MIMO-OFDM pour les communications sans-fil dans les mines souterraines. memoire présenté comme exigence partielle de maitrise en télécommunications. université du québec en abitibi-témiscamingue. août 2017. Page05
- ✚ [3] MAX Fréjus O.SANYA .Déploiement de réseaux optiques d'accès NGPON les métropoles de pays en développement: proposition de nouvelles techniques d'implémentations de l'OFDM. Memoire de doctorat .université de LIMOGES 22 Octobre 2015 page 103
- ✚ [4] Union internationale des télécommunications UIT-R secteur radiocommunication de l'UIT. Utilisation de la lumière visible pour les communications à large bande. SM.2422-0.06/2018 Page 01
- ✚ [5]MAHYADINE SAID et BENMARS ALI KHAYREDINE .Système de commande a base de la communication VLC, application indoor .mémoire master . université 08 mai 1945 de guelma . JUN2019. Page (10.27)
- ✚ [6]A. R. Ndjiongue† , H. C. Ferreira† and T. M. N. Ngatched. Visible Light Communications (VLC) Technology. mémoire master.Memorial University, Newfoundland, Canada. 2006, page(1.2)
- ✚ [7]ALWIN POULOSE. VISIBLE LIGHT COMMUNICATION. MASTER OF TECHNOLOGY. Christ University. de Bengaluru.30-03-2017.page (02.38)
- ✚ [8] CHAABNA Ameer. Système de Communication par la Lumière Visible (VLC) : Architecture simplifiée et efficacité énergétique d'un système de positionnement. EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN 3ème CYCLE. Université 8 Mai 1945 Guelma. 2018/2019. Page 40
- ✚ [9] AZIZI HAOUA .BEN HAMDI NADA.Application de VLC -OFDM pour la technologie LIFI .MASTER ACADEMIQUE. UniversitéEchahidHammaLakhdard'El-Oued .2020-2021. Page (23.31.32)
- ✚ [10] Ahmed Taha Hussein. Visible Light Communication System. degree of doctor. University of Leeds.December 2016. Page 17
- ✚ [11]AFFOUNE Oussama NAIDJA Abderaouf. Visible light communication : Etude des performances d'un système MIMO. Mémoire de Projet de Fin d'Etudes 2 ème Année Master. Université 8 Mai 1945 Guelma. Septembre 2020. Page (18.20.23)

- [12] Alin-Mihai CĂILEAN. Study, implementation and optimization of a visible light communications system. Application to automotive field. THÈSE pour obtenir le grade de Docteur. De l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines . Décembre 2014 page (06.10)
- [13] Afgani, M.Z.; Haas, H.; Elgala, H.; Knipp, D., "Visible light communication using OFDM," Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2006. TRIDENTCOM 2006. 2nd International Conference on , vol., no., page.6
- [14] Terra, D.; Kumar, N.; Lourenco, N.; Alves, L.N.; Aguiar, Rui L., "Design, development and performance analysis of DSSS-based transceiver for VLC," EUROCON - International Conference on Computer as a Tool (EUROCON), 2011 IEEE , vol., no., page.1,4, 27-29 April 2011.
- [15] Navin Kumar. Visible Light Communication Based Traffic Information Broadcasting Systems. International Journal of Future Computer and Communication. Vol. 3, No. 1, February 2014 page 28
- [16] LatifUllah Khan. Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges. Digital Communications and Networks , Peshawar, Pakistan .N 03(2017) page(06.79)
- [17] CHERGUI Sofia. Conception et réalisation d'un système de communication bureautique par lumière visible (Li-Fi). En vue de l'obtention du diplôme : MASTER.Université Mohamed Khider Biskra. 2018 – 2019 page 28
- [18] Saif N. Ismail, and Muataz H. Salih A review of visible light communication (VLC) technology AIP Conference Proceedings · March 2020 page 04
- [19] Anne Julien-Vergonjanne, XLIM .Pourquoi et comment communiquer en Optique Sans Fils : de l'Infrarouge au Li-Fi . Ecole nationale supérieure d'ingénieurs de linoges . page 36
- [20] visible light communication -history- working- and application . circuits today. 04.04.2018.
- [21] Melle. LARBI Nacéra. Détection multi-utilisateurs dans le contexte de communication mobile : Exploitation de la combinaison OFDM/CDMA MÉMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT EN SCIENCE UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE D'ORAN MOHAMED BOUDIAF 2015 page 12

- [22] M. RANDRIARIJAONA Lucien Eline .ETUDE COMPARATIVE DES TECHNIQUES « OFDM » ET « MIMO ». MEMOIRE DE FIN D'ETUDES en vue de l'obtention du DIPLOME D'INGENIEUR.UNIVERSITE D'ANTANANARIVO ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE .07 Août 2010 page 16
- [23] HO Anh Tai. Application des techniques multiporteuses de type OFDM pour les futurs systèmes de télécommunications par satellite En vue de l'obtention du DOCTORAT. L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE 30 Mars 2009 page 16
- [24] ELDJEMAI ATALLAH .Performance d'un système MIMO-OFDM. Mémoire MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. 2018 /2019 page 14
- [25] Dishant Khosla et Sohni Singh et autre... OFDM Modulation Technique & its Applications: A Review Circulation in Computer Science International Conference on Innovations in Computing (ICIC 2017) page 105
- [26] bouslibachayma et bouzaouighada .etude d'un système de communication vlcdco-ofdm . mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique université 08 mai 1945 guelma . juillet 2021 . page (27.41)
- [27] AZIZI HAOUA et BEN HAMDANI NADA .Application de VLC-OFDM pour la technologie LIFI. mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique université Echahid Hamma Lakhdar El Oued 2020/2021
- [28] JIAHENG WANG et YANG XU.... Et autre .PAPR analysis for OFDM visible light communication. OPTICS EXPRESS Vol. 24, No. 24 | 28 Nov 2016
- [29] Pablo Palacios J'ativa_et Cesar A. Azurdia-Meza.... Et autre. BER Performance of OFDM-Based Visible Light Communication Systems. September 2019
- [30] Hany Elgala. A Study on the Impact of Nonlinear Characteristics of LEDs on Optical OFDM. Une thèse présentée en réponse partielle aux exigences du diplôme de docteur en philosophie en génie électrique. Jacobs University .March 2010