



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Télécommunications Avancées

THEME

**Etude des performances d'un
modulateur/démodulateur OFDM
Pour utilisation dans les systèmes
de communication sans fil**

Réalisé par :

- MAHBOUBI Amel.
- CHAHBA Fatiha.

Membres de jury :

Dirigé par : M^r. Farouk Boumehrez

Dr. **BEDDIAF Yassine**, Président.

Mme. **MAAMRI Fouzia**, Examinatrice.

Promotion 2016/2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Remerciement

Nous remercions Dieu le Tout-Puissant qui nous a donné le courage pour élaborer ce modeste travail.

Ce travail a été accompli à l'aide de plusieurs personnes que nous tenons à Remercier absolument.

Nous remercions tout d'abord notre encadreur

«M^r. Farouk BOUMEHREZ» de nous avoir apporté leurs valeureux conseils et soutiens durant la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également les membres de jury de nous avoir fait l'honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants et toutes les personnes qui

M'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de me donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé de prêt ou de loin dans l'élaboration de ce travail avec un conseil ou autre.

Dédicace

*Je tiens à la fin de ce travail à remercier **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.*

Mes remerciements vont également à mes parents de tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles et n'avoir jamais cessé de m'encourager tout au long de mes années d'étude.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail,

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent

AMEL

Dédicace

Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études.

Je dédie ce modeste travail :

« Ma chère Mère », qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour qu'elle me porte.

« Mon cher Père », pour tous ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.

Que dieu me le garde.

A mon frère «Cherif», «Sabir», «Mohamed», «Lamine»,

Et à Mes chères soeurs : « Zina», « Naziha», « Farida»

Je n'oublie pas et je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à tous mes amis surtout :

« Amel », «Sissi», « Zakia», « Fatima», « Lamyia », « Samiha », et

Tous mes collègues de l'étude sans exception.

FATIHA

ملخص

مقارنة بالشبكات السلكية، و من اجل الوصول الى جودة عالية في نقل المعلومات و الاتصال، انصبت دراسات الباحثين في الوقت الحالي على الشبكات اللاسلكية والتي تتميز بأكثر سرعة و اكبر تدفق لا سيما في المناطق الكثيرة العمران والحركة.

و ينجم عن هذه الشبكات الكثير من المسارات المتعددة و التداخل بين الرموز ولحد من هذه الظاهرة يعتمد على تقنية الأنظمة متعددة المداخل والمخارج وتدعى هذه التقنية بـ " او اف دي ام" كما يطلق عليها أيضا بالإرسال متعدد الترددات تعمل هذه الأخيرة على سهولة فك الإشارة المرسله

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة هذه التقنية وكذاك طريقة نقل البيانات من المرسل إلى المستقبل باستخدام التضمين وفك التضمين ومحاكات ذلك باستخدام برنامج ما تلاب .
الكلمات المفتاحية الشبكات اللاسلكية، او اف دي ام، قناة الضجيج، تضمين، فك التضمين

Abstract

Compared to wired networks and in order to achieve high quality in the transfer of information and communication, the goal of research studies at the present time are the wireless networks which are characterized by the fastest and largest flow especially in movement and urban areas

From the fainting resulting from multiple paths and the overlap between symbols and to reduce this phenomenon, a study was conducted several years ago to a method based on the technique of multi-entry systems and exits, this technique is called « OFDM » as also called multi-frequency transmission On the ease of decoding the sent signal.

The objective of this note is to study the technique and the method of transferring data from the sender to the receiver using modulation/demodulation and simulations using MATLAB program.

Keywords: Wireless communications, OFDM, AWGN, Modulation, Demodulation

Résumé

Par rapport aux réseaux câblés, afin d'atteindre de haute qualité dans le transfert de l'information et de la vitesse de communication, le but des études cible porté par des chercheurs à l'heure actuelle sont les communications sans fil qui sont caractérisé par plus grands porté et le plus grand flux par rapport aux réseaux câblés, en particulier dans les zones avec mouvement et urbaines

En raison de résultant de multiples et des chemins qui se chevauchent entre les symboles et de réduire ce phénomène a mené une étude il y a plusieurs années au style dépend des entrées multiples systèmes et quitte cette technique appelée la technologie « L'OFDM » ils ont également appelé plusieurs fréquences, les derniers travaux la facilité de décodage du signal envoyé.

L'objectif de cette note est une étude approfondie de cette technique et la méthode de transfert de données comme celle de l'expéditeur à l'avenir en utilisant modulation/démodulation et des simulations en utilisant le programme MATLAB.

Mots-clés: Communications sans fil, OFDM, BBGA, Modulation, Démodulation

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure : Inter Symbole Interférence (ISI), causé par le délai du trajet	06
Figure I.1 : Schéma d'une modulation.....	09
Figure I.2 : Spectre de fréquences.....	12
Figure I.3 : Intervalle de garde (Préfixe cyclique).....	14
Figure I.4 : Intégration du signal avec intervalle de garde.....	15

CHAPITRE II

Figure II.1 : Etalement spectral des signaux transmis d'après la technique de multiplexage en fréquence (FDM) et la technique de multiplexage à répartition en fréquences orthogonales.	20
Figure II.2 : Répartition fréquentielle des porteuses.....	20
Figure II.3 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM.....	21
Figure II.4 : Modulateur OFDM.....	22
Figure II.5 : Occupation de la bande passante.....	22
Figure II.6 : Démodulateur OFDM.....	23
Figure II.7 : Spectres de quatre porteuses orthogonales.....	24
Figure II.8 : Schéma bloc d'un système OFDM.....	26

CHAPITRE III

Figure III.1 : Calcification des réseaux sans fil.....	33
Figure III .2 : Étapes d'une chaîne de transmission numérique.....	34
Figure III .3 : Description d'un canal binaire symétrique.....	34
Figure III .4 : Diagramme du canal binaire symétrique.....	36
Figure III .5 : Un signal est déformé lorsqu'il parcourt plusieurs trajets différents entre l'émetteur et le récepteur.....	37

CHAPITRE IV

Figure IV .1 : Modulation à deux états de phase (BPSK).....	44
Figure IV.2 : Modulation à quatre états de phase (QPSK)	44
Figure IV.3 : Modulateur de phase QPSK	45
Figure IV.4 : Démodulateur de phase QPSK	45
Figure IV.5 : Modulateur QAM	46
Figure IV.6 : Démodulateur QAM	46
Figure IV.7 : Constellation d'une modulation 16-QAM	47
Figure IV.8 : représente un schéma bloc simplifié d'un système OFDM à une seule entrée	47
Figure IV.9 : Environnement de canal de Ric	48
Figure: IV.10 :Environnement de canal de Rayleigh	49
Figure IV.11 : Représentation de signal émis (1000 échantillons).....	50
Figure IV. 12 : Représentation de signal reçue.....	50
Figure IV. 13 : Signal après la modulation QPSK.....	51
Figure IV.14 : Représentation spectrale du signal OFDM à l'entrée du canal (AWGN)...	51
Figure IV. 15 : Représentation du signal OFDM à l'entrée du canal (AWGN).....	51
Figure IV.16 : Représentation spectrale du signal OFDM à la sortie du canal (AWGN)...	52
Figure IV.17 : BER en fonction du SNR (E_b/N_0)- (QPSK).....	52

LISTE DES ABREVIATIONS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line.
AM	Amplitude Modulation.
ATM	Air Traffic Management
AWGN	Additive White Gaussian Noise.
BBAG	Bruit Blanc Additif Gaussien.
BER	Bit Error Rate.
BLR	Boucle Local Radio.
BLU	Bande Latéral Unique.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
CBS	Canal Binaire Symétrique.
CCETT	Centre Commun d'Etudes de Télévisions et Télécommunication.
CDMA	Code Division Multiple Access.
COFDM	Coded - OFDM.
CISCO	Computer Information System Company.
CP	Cyclic Prefix .
CPL	Caribbean Premier League.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance.
DAB	Digital Audio Broad Casting.
DAN	Diffusion Audio Numérique.
DPSK	Digital Phase Shift Keying
DVB-T	Digital Vidéo Broad casting Terrestrial.
FBM	Filter Bank Multi Carrier.
FDM	Fréquence Division Multiplexing.
FFT	Fast Fourier Transform.
FM	Fréquence Modulation.
FSK	Frequency-Shift Keying

GFDM	Generalized Frequency Division Multiplexing.
HiperLan	High Performance LAN .
ICI	Inter Code Interférence .Inter-Carrier Interférence
IES	Interference Entre Symbole.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
ISI	Inter Symbol Interference.
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform.
ISDN	Integrated Services Digital Network.
ISI	Inter Symbol Interference.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
LAN	Local Area Network.
MC-CDMA	Multi Carrier Code Division Multible Access.
MTC	Multi-Tone Channel.
MIMO-OFDM	Multiple Inputs, Multiple Outputs-OFDM.
MSK	Minimun Shift Keying
OFDM	Orthogonal Fréquence Division Multiplexing.
PAPR	PeaK to Average Power Ratio.
PLC	Power Line Communication.
PM	Phase Modulation
PSK	Phase Shift Keying.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying.
SFN	Society for Neuroscience
SNR	Signal to Noise Ratio.
TDM	Time Division Multiplexing.
TDFI	Transformée de Fourier Discrète Inverse.
TFD	Transformée de Fourier Discrète.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

V-OFDM	Vector -OFDM.
W-OFDM	Wideband -OFDM.
WLAN	Wireless Local Area Network.
Wi-LAN	Worldwide Interoperability for Microwave Access.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network.
WPAN	Wireless Personal Area Network.
WWAN	Wireless Wide Area Network.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	02
PROBLAMATIQUE.....	05

CHAPITRE I: Les Modulations Multiporteuses

I.1 Introduction	08
I.2 Historique	08
I.3 La modulation	09
I.4 les intérêts de modulation	10
I. 5 Les différents types de modulation	10
I.6 Modulation multi porteuse	11
I.7 Systèmes de modulation multi-porteuse	12
I.8 Application de la modulation multi-porteuse	13
I.9 Notion d'orthogonalité	13
I.10 Préservation de l'orthogonalité (Intervalle de garde)	13
I.11 Critères de choix d'une modulation	15
I.12 Conclusion	16

CHAPITRE II : OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

II.1 Introduction	18
II.2 Historique	18
II.3 Système de multiplexage en fréquence	19
II.4 Etude de La Technique OFDM	20
II.5 Les techniques OFDM	23
II.6 Clarification des techniques	24
II.7 Schéma bloc d'un système OFDM	26
II.8 Les différents types de technique OFDM	28
II.9 Utilisations de l'OFDM	28

II.10 Avantages et Inconvénients	29
II.11 Conclusion	30

CHAPITRE III : Les Canaux Multi-Trajets

III.1 INTRODUCTION	32
III.2 Classification des réseaux sans fils	32
III.3 Canaux de transmission	33
III.4 Perturbations du canal	35
III.5 Canaux sélectifs	36
III.6 Le canal de propagation	37
III.7 Les canaux multi trajets	38
III.8 Conclusion.....	40

CHAPITRE IV : Simulation et Résultats

IV.1 Introduction	42
IV.2 Le taux d'erreur binaire (BER)	42
IV.3 Rapport signal sur bruit (SNR)	43
IV.4 Modulation de chaque sous-porteuse du signal OFDM	43
IV.5 Chaîne de transmission OFDM	47
IV.6 Canal à bruit blanc Gaussien	48
IV.7 Canal de Ric	48
IV.8 Canal de Rayleigh	49
IV.9 Réalisation de la chaîne de transmission OFDM sous MATLAB	50
IV.10 Effet de modulation OFDM et valeur du SNR sur le BER	52
IV.11 Discussion	53
IV.12 Conclusion	53
CONCLUSION GENERALE	55
BIBLIOGRAPHIE	57

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

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 dans de grands bâtiments tout en maintenant une qualité acceptable des communications.

La qualité des communications sans fil dépend principalement du canal. En général, le canal sans fil est un canal à trajets multiples qui varie continuellement dans le temps.

Le plus grand défi à relever dans le cas d'une conception de système de communication d'intérieur sans fil est de mettre en œuvre des techniques efficaces pour combattre adéquatement l'effet des trajets multiples.

La première génération de systèmes de communication a été proposée dans les années 1980. Le FDMA (Frequency Division Multiple Access) était la technique d'accès multiple utilisée pour créer des canaux physiques. Au début des années 1990, la transmission numérique a fait son entrée avec le système d'accès très connu.

L'OFDM est un type de transmission à multi-porteuses. Cette technique a tout d'abord été adaptée aux besoins de la radiodiffusion par voie de terre (DAB). En suite, elle a été utilisée pour la transmission numérique à haut débit sur les réseaux sans fil (WLAN).

La transmission OFDM consiste à répartir l'information sur un grand nombre de sous porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits. Elle convient à des types de propagation par trajets multiples. La répartition des symboles sur plusieurs sous porteuses est la propriété plus importante de la transmission OFDM. C'est elle qui engendre la robustesse contre le délai d'étalement et par conséquent diminue le taux de transmission par sous-porteuse.

Cette technologie utilisée pour le partage des ressources dans les transmissions de la station de base aux terminaux. Cette même technique est utilisée dans le cas du WIMAX pour les communications à voix montante.

Le but de ce mémoire est étudié et simulé la modulation OFDM pour les communications sans fil pour évaluer les performances pouvant résulter des différents choix possibles de paramètres.

Ce mémoire a été divisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les modulations multi porteuses. Il contient l'historique, principe, les types de modulations et les applications, ainsi que la propriété de l'orthogonalité

Deuxième chapitre est dédié à l'historique de l'OFDM, ainsi que le principe de fonctionnement, schéma bloc, les différent type de modulation OFDM, Avantages et inconvénients.

Au troisième chapitre nous avons abordé une rappelle sur les réseaux sans fil, nous avons aussi parlés sur les canaux multi-trajet et ces types.

Dans le quatrième chapitre nous avons présenté les résultats de simulations et l'analyse de ceux-ci. qui modélisé avec le programme MATLAB. Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle de système OFDM et sa chaine de transmission.

Finalement, une conclusion générale permettra de résumer l'ensemble du travail effectué et les perspectives susceptibles de compléter le présent travail.

PROBLEMATIQUE

PROBLEMATIQUE

Un signal radiofréquences est émis sur un canal, qui constitue son support physique. Ainsi toute transmission numérique est limitée par les contraintes physiques de son support.

Un canal est dit sélectif en fréquence lorsqu'il ne se comporte pas identiquement suivant la fréquence du signal.

Certaines fréquences seront transmises plus rapidement que d'autres, ou encore seront atténuées plus que d'autres. Le signal sera alors déformé lors de la transmission ; les données seront dispersées dans le temps, pouvant mener à des interférences entre symboles. Communément appelées ISI (Inter Symbole interférences).

Ce phénomène de sélectivité en fréquence est aggravé par la présence de trajets multiples pour un même signal transmis. Du fait des nombreuses réflexions que le signal peut subir en environnement urbain, le récepteur recevra une série d'échos d'amplitudes et de retards variables.

Cette problématique du canal à trajets multiples est critique dans le cas d'un canal radio mobile, c'est-à-dire lorsque le récepteur et l'émetteur ne sont pas fixes relativement.

Ces différents trajets pourront alors générer des interférences constructrices ou destructrices, suivant la localisation du récepteur relativement à l'émetteur et suivant les caractéristiques des obstacles rencontrés. Des interférences destructrices peuvent mener à la perte totale du signal.

D'autre part, le gain du canal de propagation vu par le récepteur peut, non seulement varier de manière significative d'un symbole à l'autre, mais également à l'intérieur d'un même symbole. Cette variation est principalement due aux changements des conditions de propagation entre l'émetteur et le récepteur. [1] [8]

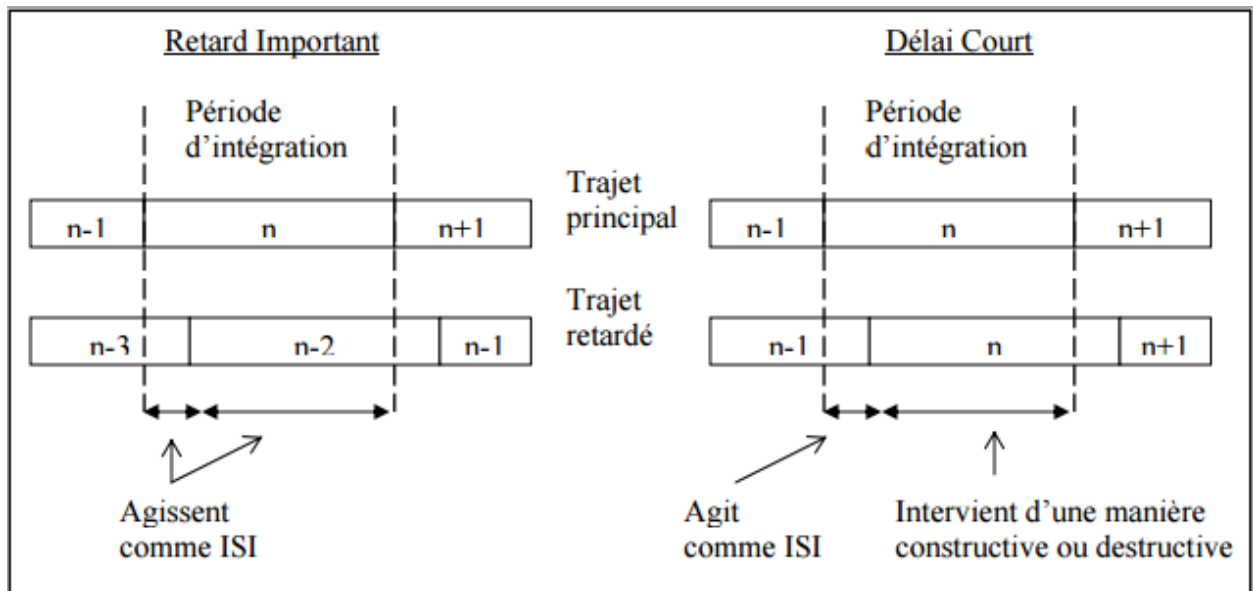


Figure : Inter Symbole Interférence (ISI), causé par le délai du trajet. [42]

Ces problématiques sont d'autant plus d'actualité que les débits transmis augmentent exponentiellement et donc la bande de fréquence nécessaire pour transporter ces informations à haut débit.

En modulation multi porteuses, il s'agit d'effectuer un multiplexage fréquentiel basé sur la notion de sous- porteuses orthogonales. La variation du gain du canal durant la période d'un symbole conduit à la perte de l'orthogonalité entre les sous-porteuses, ce qui rend la récupération des données transmises difficiles, voir impossible au niveau du récepteur. Ce phénomène est connu sous le nom d'Inter Carrier Interférences ou ICI. C'est particulièrement dans ce cadre que se situe notre travail en proposant des techniques permettant de diminuer l'effet des ICI au niveau d'une communication avec modulation multi porteuses. L'élimination des interférences du type ICI est basée principalement sur les techniques d'estimation du canal. [8]

Ils nécessitent de plus la connaissance à tout instant de la fonction de transfert du canal de transmission.

La famille des modulations multi porteuses dont fait partie l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) permet de répondre à cet enjeu en utilisant des sous-porteuses peu sensibles aux multi trajets et à la sélectivité en fréquence, faciles à égaliser. [1]

Chapitre I:
Les Modulations
multiporteuses

I.1 Introduction:

L'un des premiers soucis du physicien est de transmettre une information à distance. Cela peut aller de quelques mètres à plusieurs millions de kilomètres. L'un des moyens implicite mais réel est la radiocommunication basé sur trois des cinq sens que sont la parole et l'ouïe et depuis quelques dizaines d'années la vue, les radiocommunications connaissent un tel essor de nos jours que certaines restrictions deviennent nécessaires. Le principe de la transmission est la modulation.

Les techniques qu'on appelle multi porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonalisant les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de Fourier rapide. [2]

I.2 Historique:[3]

L'histoire des modulations multi-porteuses a commencé il y a plus de 40 ans avec un système précurseur appelé Kineplex conçu pour des liaisons radio militaires en bande HF (1.8-30Mhz).

- ❖ **1875-1876** : Naissance du multiplexage fréquentiel.
- ❖ **Octobre 1876** : Brevet sur le télégraphe acoustique - Principe du FDMA (Thomas Edison).
- ❖ **1910** : Multiplexage analogique de plusieurs porteuses sur canal téléphonique (Georges Squier).
- ❖ **1918** AT&T réussit le multiplexage de 5 porteuses sur canal téléphonique.
- ❖ **1967** : L'utilisation de la transformée de Fourier pour la modulation et la démodulation fut proposée pour la première fois par Saltzberg. [4]
- ❖ **1970** : Brevet sur l'orthogonalité des porteuses « Orthogonal Frequency Division Multiplexing», US Patent 3 488 445 6 Jan. 1970
- ❖ **1971** : Weinstein et Ebert proposent d'utiliser la FFT pour l'OFDM Du canal téléphonique à la 4G
- ❖ **1980** : Cioffi développe la DMT pour l'ADSL Peled and Ruiz inventent l'intervalle de garde (ISCASSP 1980)

- ❖ **1981** : Première publication sur le PAPR par Greenstein et Fitzgerald
- ❖ **1987-88** : Allard et Lasalle (CCETT) proposent d'associer codage et OFDM (COFDM)
Naissance du DAB, DVB-T
- ❖ **Années 90, 2000, ...** : OFDM pour le Wifi, WiMax, 3G LTE, 4G (MC-CDMA), CPL,

I.3 La modulation:

La modulation est un processus d'encodage de l'information à partir d'une source d'une manière convenant à la transmission. Il implique de traduire un signal de message de bande de base à un signal de bande passante .Le signal de bande de base s'appelle le signal de modulation et le signal de bande passante s'appelle le signal modulé. La modulation peut être faite en modifiant certaines caractéristiques des ondes porteuses selon le signal de message. Le dispositif qui effectue cette modulation, en général électronique est un modulateur. L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation. [4]

I.3.1 Principe de Modulation:

La modulation et la démodulation sont deux étapes dans la communication d'une information entre deux utilisateurs. Par exemple, pour faire communiquer deux utilisateurs de courriels par une ligne téléphonique, des logiciels, un ordinateur, des protocoles, un modulateur et un démodulateur sont nécessaires. La ligne téléphonique est le canal de transmission, sa bande passante est réduite, il est affecté d'atténuation et de distorsions. La modulation convertit les informations binaires issues des protocoles et des logiciels, en tension et courant dans la ligne.

Le type de modulation employé doit être adapté d'une part au signal (dans ce cas numérique), aux performances demandées (taux d'erreur), et aux caractéristiques de la ligne.

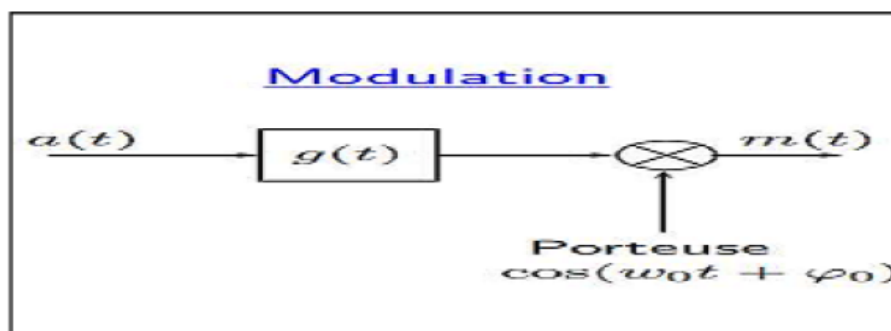


Figure I.1 : Schéma d'une modulation.

La modulation permet donc de translater le spectre du message dans un domaine de fréquences qui est plus adapté au moyen de propagation et d'assurer après démodulation la qualité requise par les autres couches du système.

Le but des modulations analogiques est d'assurer la qualité suffisante de transmission d'une information analogique (voix, musique, image) dans les limites du canal utilisé et de l'application.

Le but des modulations numériques est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable par les protocoles et correcteurs amont et aval. Dans l'empilement des protocoles OSI (architecture standard des télécommunications numériques), la modulation est l'élément principal de la couche physique. [5]

I.3.2 Démodulation: [6]

Le but de toute démodulation est de récupérer le message transmis par modulation. Il faut donc éliminer le signal de la porteuse en modifiant le moins possible le message transmis.

I.4 les intérêts de modulation : [41]

- ❖ Facilite l'accès multiple : en traduisant le spectre en bande de base des signaux provenant de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquence, de multiples utilisateurs peuvent être logés à l'intérieur d'une bande du spectre électromagnétique.
- ❖ Augmente la portée de communication : les signaux en bande de base de basse fréquence souffrent de l'atténuation et ne peuvent donc pas être transmis sur de longues distances. La conversion à une bande de fréquence plus élevée se traduit par une longue distance de transmission.
- ❖ Réduction de la taille de l'antenne : La hauteur de l'antenne est inversement proportionnelle à la fréquence de signal rayonné et donc le rayonnement du signal haut fréquence diminue la taille de l'antenne

I. 5 Les différents types de modulation:[7]

I.5.1 Modulations analogiques:

En modulation analogique, la modulation est appliquée à la porteuse ou aux sous-porteurs proportionnellement au signal à transmettre, en modifiant l'amplitude ou l'argument de l'onde sinusoïdale.

- a) **La modulation d'amplitude (AM):** Comme son nom l'indique ce type de modulation correspond à une modification de l'amplitude de l'onde porteuse par le signal information.
- b) **La modulation de fréquence (FM):** Comme son nom l'indique ce type de modulation correspond à une variation de la fréquence de l'onde porteuse par le signal information.
- c) **La modulation a bande latéral unique (BLU):** C'est une modulation d'amplitude comportant une seule raie spectrale.
- d) **La modulation de phase (PM) :** Comme son nom l'indique ce type de modulation correspond à une variation par saut de phase de l'onde porteuse.

I.5.2 Modulations numériques:

En modulation numérique, les paramètres de la porteuse : fréquence, amplitude ou angle (argument), sont commutés entre plusieurs valeurs discrètes selon les codes binaires à transmettre.

- a) **La modulation de fréquence (FSK) :** Cette modulation permet de distinguer le symbole zéro de l'absence d'information ce qui permet la transmission asynchrone.
- b) **La modulation de phase à deux états (BPSK) :** La modulation est simple, mais la démodulation est plus complexe puisqu'il faut récupérer la phase de la porteuse.
- c) **La modulation de phase à quatre états (QPSK) :** Cette modulation permet de diviser la largeur de spectre par 2 par rapport à la BPSK.
- d) **La modulation à saut de phase minimal (MSK) :** Les modulations dites à saut de phase minimal sont des modulations à 4 états de phase qui n'autorisent que les transitions d'un état à un état voisin.
- e) **La modulation de phase différentielle (DPSK) :** Cette modulation est plus simple que la précédente, mais elle est plus sensible au bruit.
- f) **Les modulations combinées amplitude-phase (MAQ) :** Cette modulation est performante et surtout utilisée pour les applications de transmission radioélectriques

I.6 Modulation multi porteuse :[8]

Les techniques qu'on appelle multi porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. L'implémentation de la modulation et de la démodulation se fait à l'aide de la transformée de Fourier rapide FFT (Fast Fourier Transform).

Le multiplexage en fréquence est bénéfique pour les transmissions dans des canaux sélectifs en fréquence qui comportent des trajets multiples. C'est pourquoi on trouve cette

technique dans les normes de diffusion du son numérique dans des mobiles (DAB Digital Audio Broadcasting) , de télévision numérique terrestre (DVB-T Digital Video Broadcasting terrestrial) , de communications numériques hauts débits (ADSL Asynchronous Digital Subscriber Line) sur la boucle locale téléphonique, ainsi que dans l'étude des normes de communications pour réseaux locaux à l'intérieur des bâtiments (Hiperlan 2). Suivant les applications, cette technique se nomme OFDM ou MTC (Multi-Tone Channel).

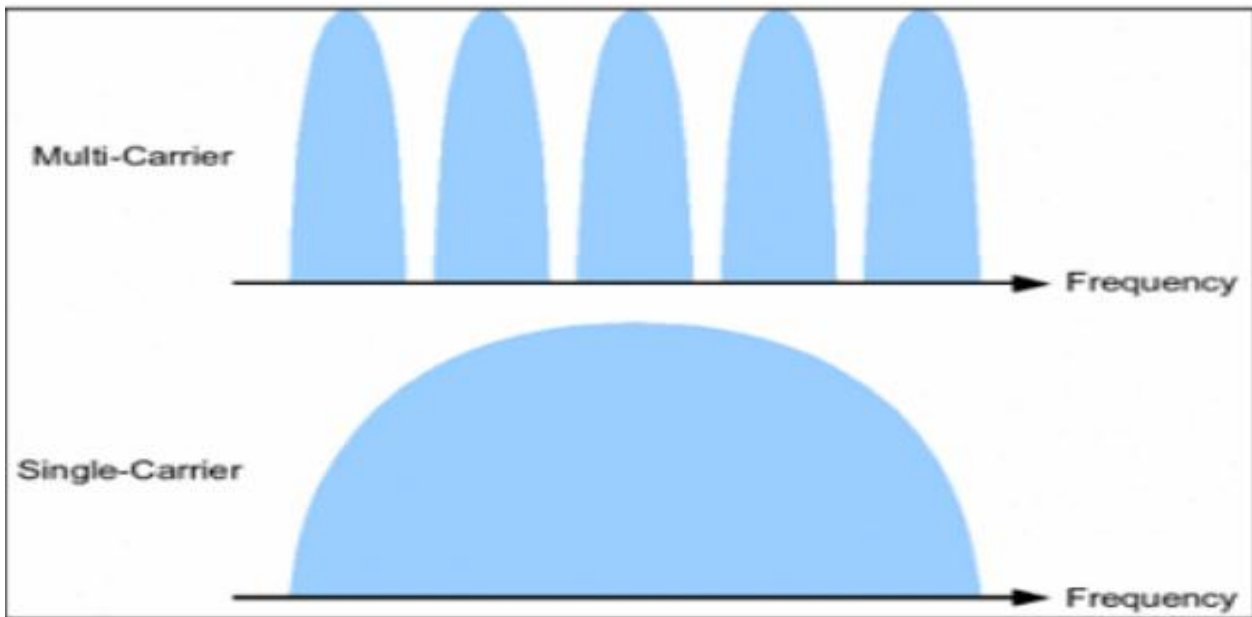


Figure I.2 : Spectre de fréquences.

I.6.1 Principe des modulations multi porteuses:

Le principe est de transmettre des données numériques en parallèle modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit dans un système conventionnel de transmission de données en série, les symboles sont transmis séquentiellement : le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante disponible .

I.7 Systèmes de modulation multi-porteuse : [9]

Il existe plusieurs formes de techniques de modulation multi-porteuse qui sont en usage d'être étudiée pour une utilisation actuelle et future. Certains des systèmes plus connues sont résumées ci-dessous.

- ❖ Generalized Frequency Division Multiplexing, GFDM.
- ❖ Filter Bank Multi Carrier, FBM
- ❖ Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM.

I.8 Application de la modulation multi-porteuse:[10]

La modulation multi-porteuse est retenue pour plusieurs applications telles que la norme de diffusion de son numérique DAB (Digital Audio Broad casting) et de télévision numérique terrestre DVB-T (Digital Vidéo Broad casting Terrestrial), pour ses propriétés de robustesse vis-à-vis de la sélectivité en temps et en fréquence des canaux à trajets multiples et pour son efficacité spectrale.

Il y a aussi d'autres applications comme :

I.8.1 Le système ADSL : L'Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) est une technique de communication numérique de la famille xDSL. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS (en anglais ISDN, soit Integrated Services Digital Network), pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel via un filtre ADSL branché à la prise.

I.8.2 Le système Hiperlan 2 : Le système Hiperlan 2 est une norme de réseaux locaux sans fil fonctionnant à 5 GHz et qui utilise un mode de transmission de type OFDM sur un canal de 20 MHz.

I.9 Notion d'orthogonalité :[11]

L'orthogonalité est la propriété fondamentale qui permet de transmettre des signaux d'informations multiples dans un même canal et de les détecter sans interférence. Mathématiquement, l'orthogonalité de deux fonctions $f(t)$ et $g(t)$ dans l'intervalle $[a,b]$, est définie par la relation suivante:

$$\int_a^b f(t) g(t) dt = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Il y a deux types d'orthogonalité :

- ❖ Orthogonalité temporelle.
- ❖ Orthogonalité fréquentielle.

I.10 Préservation de l'orthogonalité (Intervalle de garde) :

Une même suite de symboles arrivant à un récepteur par deux chemins différents se donc s'additionner provoquant ainsi les deux types de défauts suivants :

- ❖ L'interférence intra symbole: Addition d'un symbole avec lui-même légèrement déphasé.
- ❖ L'interférence inter symbole: addition d'un symbole avec le suivant plus le précédant légèrement déphasé.

Entre chaque symbole transmis, on insère une zone "morte" appelée intervalle de garde.

De plus, la durée utile d'un symbole sera choisie suffisamment grande par rapport à l'étalement des échos. Ces deux précautions vont limiter l'interférence inter symbole.

La durée pendant laquelle est émise l'information diffère de la période symbole car il faut prendre en compte, entre deux périodes utiles, un "temps de garde" qui a pour but d'éliminer l'ISI qui subsiste malgré l'orthogonalité des porteuses. Pour que cet intervalle de garde soit efficace sa durée doit être au moins égale à l'écho non négligeable le plus long (celui qui a le retard maximal).

Entre la période symbole, la période utile et l'intervalle de garde s'instaurent donc la relation :

$$T_S = T_u + T_g \text{ (Le temps de garde).}$$

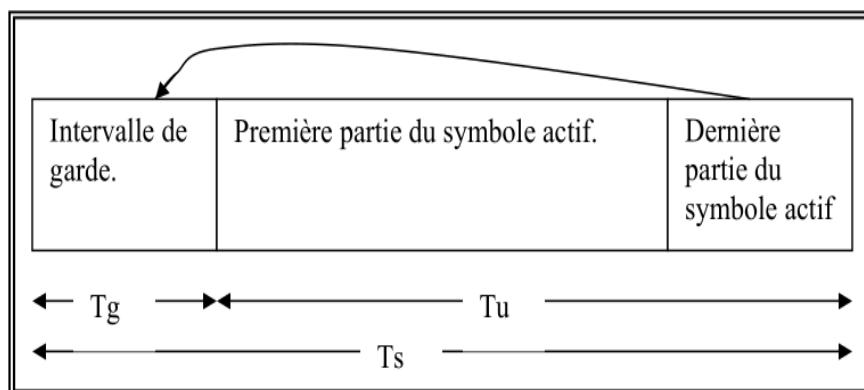


Figure I.3 : Intervalle de garde (Préfixe cyclique).

La figure I.3 illustre l'adjonction d'un intervalle de garde. La période du symbole est prolongée de manière à être supérieure à la période d'intégration T_u . Toutes les porteuses étant cycliques à l'intérieur de T_u , il en va de même pour l'ensemble du signal modulé.

Le segment ajouté au début du symbole pour former l'intervalle de garde est donc identique au segment de même longueur à la fin du symbole. Tant que le retard d'un trajet par rapport au trajet principal (le plus court trajet) est inférieur à l'intervalle de garde, les composantes du signal à l'intérieur de la période d'intégration viennent toutes du même symbole : Le critère d'orthogonalité est satisfait. Les brouillages ICI (Inter Code Interférence) et ISI (Inter Symbol Interférence) ne se produisent que lorsque le retard relatif est plus long que l'intervalle de garde.

La longueur de l'intervalle est choisie de manière à correspondre au niveau de trajets multiples prévu. Elle ne devrait pas représenter une trop grande partie de T_u , pour ne pas sacrifier

trop de capacité en données (et de rendement spectral). Pour la DAB, on utilise un intervalle de garde d'environ $T_u/4$.

Pour accepter des retards très longs (comme pour les «trajets multiples artificiels» d'un réseau SFN), T_u doit donc être étendue, couvrant des centaines et des milliers de porteuses.

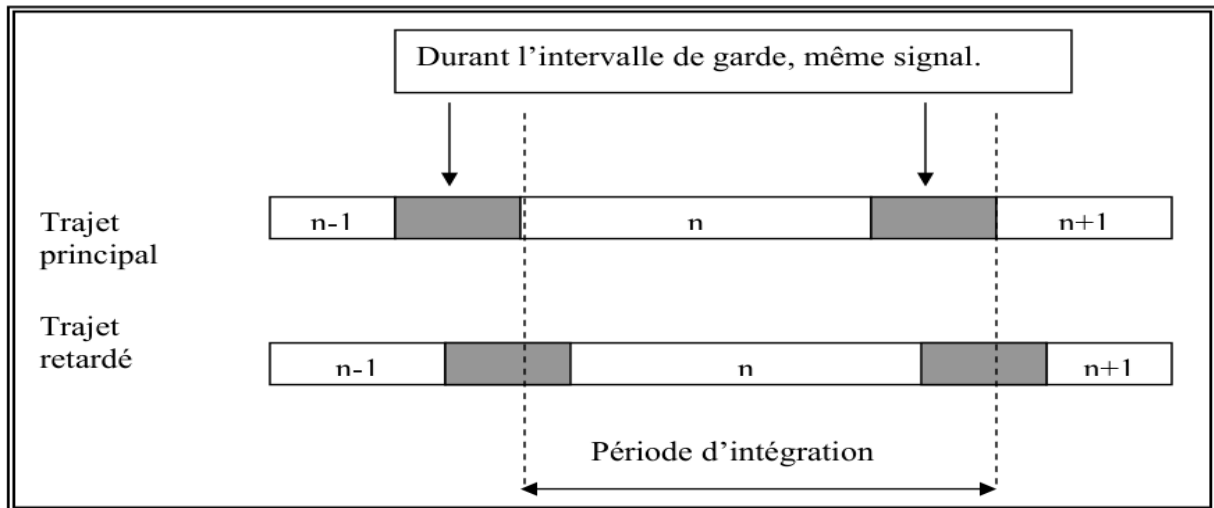


Figure I.4 : Intégration du signal avec intervalle de garde.

Les signaux, arrivant de différents trajets peuvent s'ajouter de manière constructive ou destructive. En fait, il est possible de montrer que le signal démodulé à partir d'une porteuse donnée est très similaire au signal émis : il est simplement multiplié par la réponse fréquentielle équivalente du canal (à propagation par trajets multiples) sur la même fréquence porteuse. [11]

I.11 Critères de choix d'une modulation :

- ❖ minimisation de l'occupation spectrale (largeur de bande) pour un débit binaire donné
- ❖ minimisation de la probabilité d'erreur dans un environnement de transmission donné (notamment, le SNR) ;
- ❖ maximisation de l'efficacité spectrale (rapport entre le nombre de bits transmis par seconde et la largeur de bande utilisée) ;
- ❖ complexité des circuits en émission et réception ;
- ❖ immunité par rapport aux perturbations (amplificateurs à saturation, y phénomène d'évanouissement,...) ;
- ❖ compromis à trouver entre simplification des équipements et performances (ex : pour le GSM, modulation GMSK à enveloppe constante ; pour EDGE, modulation à enveloppe non-constante)

I.12 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présenté une définition sur la modulation avec leurs différents types et plus précisément la modulation multi-porteuse. Ensuite, nous avons brièvement décrit la technique de l'orthogonalité et leurs types ou nous nous sommes intéressés, plus particulièrement à la technique d'intervalle de garde qui fait une partie important dans la techniques OFDM. Ce dernier va être expliqué dans le chapitre suivant.

Chapitre II:

OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

II.1 Introduction:

Les techniques qu'on appelle multi porteuses OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) consistent à transmettre des données numériques simultanément en les modulant sur un grand nombre de porteuses. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps.

L'idée principale de l'OFDM consiste à diviser la bande spectrale disponible en sous-canaux (sous-porteuses). Cette subdivision spectrale conduit à des sous canaux dont la bande de fréquence reste très faible par rapport à la bande de cohérence du canal.

Ceci garantit la propriété de non sélectivité en fréquence du canal [13]. Pour obtenir une efficacité spectrale élevée, les réponses fréquentielles des sous-canaux sont en partie non disjointes mais orthogonales, d'où l'appellation OFDM.

II.2 Historique:

La modulation multi-porteuse a été introduite à la fin des années 50, sa première utilisation était dans des systèmes de communications hautes fréquences militaires. Quelques années plus tard elle a été améliorée avec l'apparition du concept des signaux orthogonaux à bande limitée, concept que l'on appellera par la suite "Orthogonal Frequency Division Multiplexing" (OFDM) ou multiplex à division de fréquences orthogonales. La mise en œuvre de l'OFDM à l'époque consistait à utiliser des filtres de Nyquist [14].

Du fait de la complexité à générer des bancs de filtres de sinusoides, l'OFDM n'a pas tout de suite intéressé les industriels civils. 20 ans plus tard le schéma de modulation-démodulation a été simplifié avec l'utilisation de la transformée de Fourier discrète inverse (TDFI) à l'émission et de la TFD au niveau du récepteur, ce qui rend facile son implémentation numérique.

Dans le milieu des années 1980, la technique OFDM a été développée dans les domaines industriels civils tels que le projet de radiodiffusion numérique DAB (Digital Audio Broadcasts) [14].

II.3 Système de multiplexage en fréquence :

Le système de multiplexage en fréquence (FDM) est un système de transmission classique qui consiste à subdiviser toute la bande de fréquence du signal en N sous canaux de fréquences sans chevauchement.

Chaque sous canal est modulé par un symbole distinct et les N sous canaux sont multiplexés en fréquence. Une bande de garde en fréquence est insérée entre les canaux afin d'éviter le chevauchement spectral et pour éliminer l'interférence inter symbole (ISI).

Ce système qui est utilisé depuis les années 60 dans des applications militaires et civiles mène à une utilisation inefficace du spectre disponible.

L'OFDM qui a été proposé vers la fin des années 60 permet à l'utilisateur d'obtenir une meilleure efficacité spectrale due à l'orthogonalité des porteuses et au chevauchement fréquentiel des canaux.

En 1971 une grande partie de la recherche s'est concentrée sur le développement d'une transmission multi porteuses d'efficacité élevée, basée sur des porteuses de fréquences orthogonales. On a appliqué la transformée de Fourier discrète (DFT) aux systèmes de transmission de données parallèles en tant qu'élément du processus de modulation et de démodulation.

Il a fallu attendre les années 80 pour que l'on prenne conscience de l'intérêt et des applications des systèmes OFDM. En effet, ces systèmes amènent une solution efficace et pratique pour les canaux à trajets multiples qui présentent des échos importants. La propagation des signaux dans de tels canaux cause de très fortes distorsions du signal reçu et ceci en fonction du nombre d'échos, de leurs retards et de leurs atténuations.

Dans un système FDM, les porteuses sont espacées de telle manière que les signaux reçus peuvent utiliser les filtres et les démodulateurs conventionnels. Dans les récepteurs des bandes de garde sont utilisées entre les différentes porteuses dans le domaine de la fréquence ce qui diminue l'efficacité spectrale.

La figure II.1 illustre l'efficacité de la largeur de bande requise pour un signal OFDM par rapport à un signal FDM. Pour réaliser la technique de modulation à porteuses multiples avec chevauchement, il est toutefois nécessaire de réduire l'interférence entre les sous porteuses. Ceci est réalisé par l'orthogonalité fréquentielle des sous porteuses.

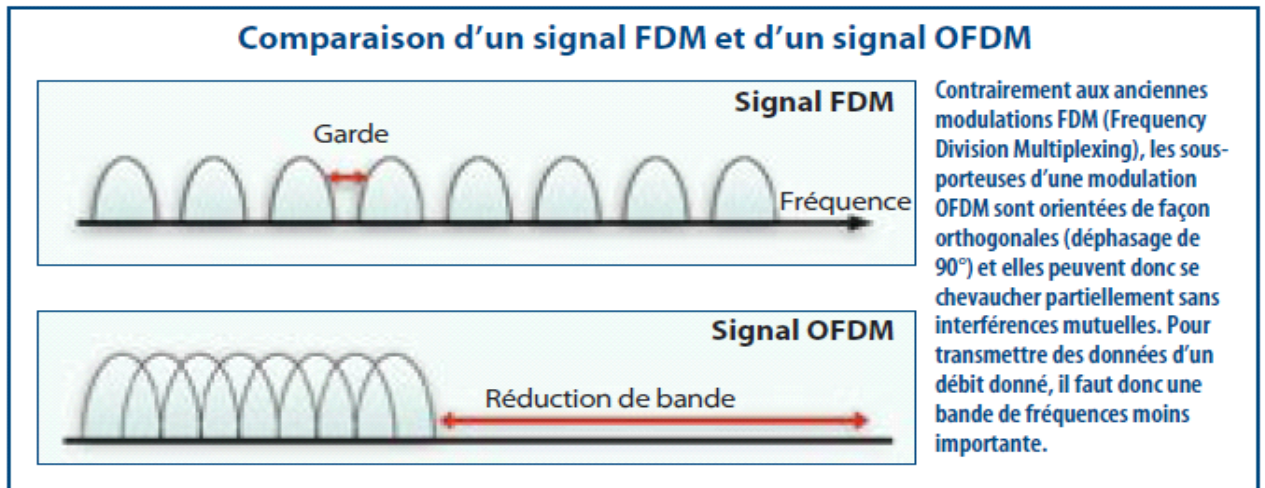


Figure II.1 : Etagement spectral des signaux transmis d'après: la technique de multiplexage en fréquence (FDM) et la technique de multiplexage à répartition en fréquences orthogonales.[15]

II.4 Etude de La Technique OFDM:

II.4.1 Définition :

L'OFDM [16] est une technique de transmission ayant pour objectif de répartir sur un grand nombre de porteuses le signal numérique que l'on souhaite émettre Figure II.2.

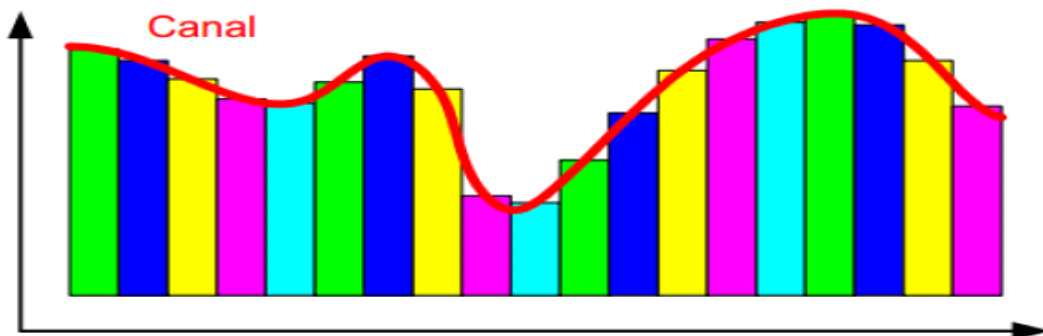


Figure II.2 : Répartition fréquentielle des porteuses

L'OFDM est utilisé dans les réseaux sans fil et les réseaux cellulaires, sans oublier la télévision numérique. Il consiste à transmettre les données en parallèle sur un très grand nombre de sous-porteuses. L'OFDM est resté une technique prépondérante car elle est utilisée pour de nombreuses applications comme la télévision numérique DVB (Digital VideoBroadcasting) ou la norme ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) permettant des liaisons internet à haut débit ; cette technique OFDM s'adapte parfaitement aux communications mobiles, et paraît incontournable pour les standards de troisième et quatrième génération.

II.4.2 Principe et fonctionnement : [17]

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 II.3, 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 .

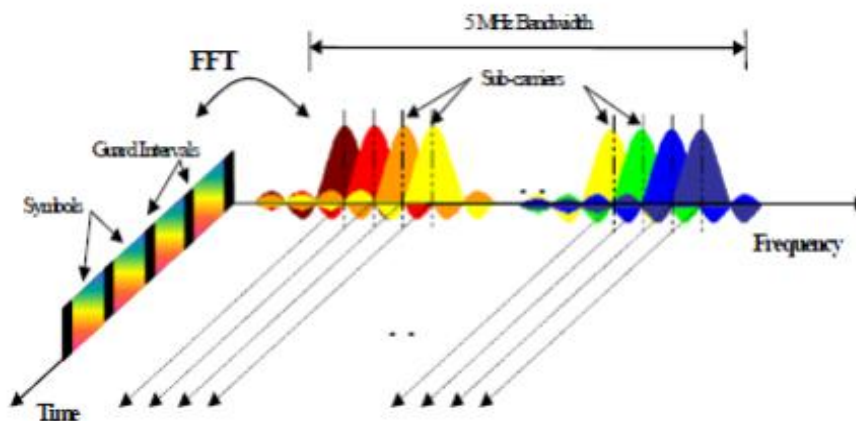


Figure II.3 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM. [18]

La technique de transmission OFDM est basée sur l'émission simultanée sur n bandes de fréquence (situées entre 2 et 30 MHz) de N porteuses sur chaque bande. Pour le cas de l'UMTS la bande allouée est de 5 MHz figure II.3. Le signal est réparti sur les porteuses.

Les fréquences de travail sont choisies en fonction des réglementations, les autres sont « éteintes » de manière logicielle. Le signal est émis à un niveau assez élevé pour pouvoir monter en débit, et injecté sur plusieurs fréquences à la fois. Si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée.

II.4.2.1 Principe de la modulation :

Si on pose que le signal modulé en bande de base $s(t)$ est échantillonné par une période T_s/N . Appelons T_s la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données.

Les échantillons S_n s'écrivent :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \dots \dots \dots (3)$$

L'équation (2) représente la Transformé de Fourier Inverse des symboles c_k déduis de la constellation du QPSK ou QAM, donc il suffit d'appliqué l'algorithme de la FFT (Fast Fourier Transform) sur ces symboles c_k pour réaliser la modulation OFDM. Le schéma de principe du modulateur OFDM en utilisant l'algorithme de la transformée de Fourier rapide inverse est présenté dans la figure II.4.

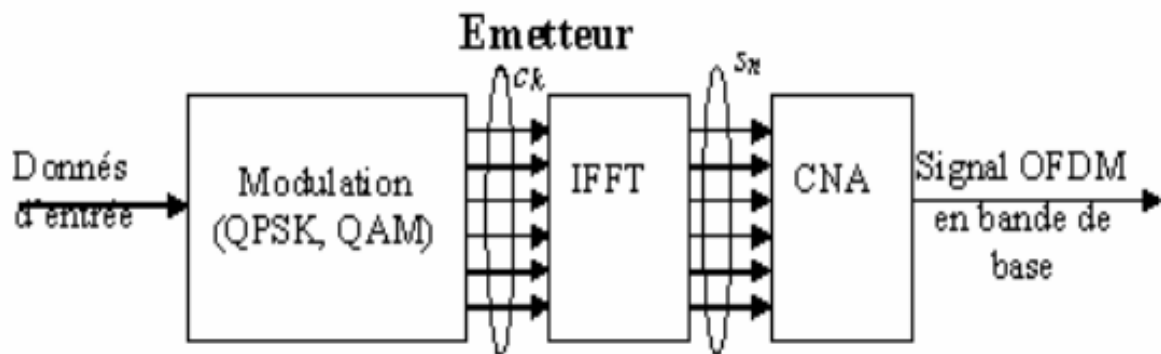


Figure II.4.: Modulateur OFDM.

II.4.2.2 Principe de la démodulation:

Le signal OFDM occupe la bande passante B à partir de la fréquence porteuse f_0 comme le montre le schéma de la Figure II.5.

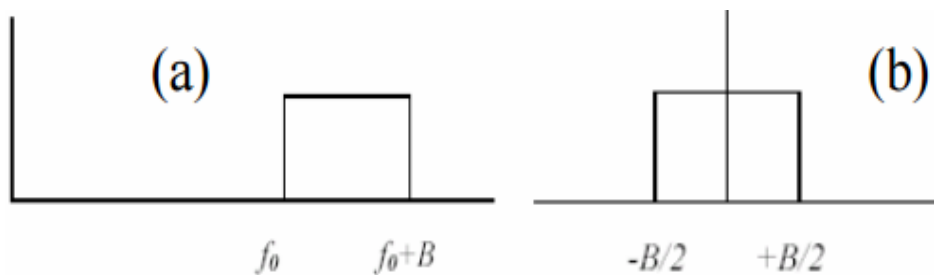


Figure II.5 : Occupation de la bande passante

Pour démoduler, on va d'abord transposer le signal en bande de base, donc effectuer une translation de $f_0+B/2$, fréquence médiane de la bande passante. Le spectre occupera la bande $[-B/2, B/2]$, comme on le voit sur le schéma de la Figure II.5(b). La bande passante du signal étant $B/2=N/2T_s$, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à $2B/2$ soit N/T_s . L'échantillonnage se fera aux temps $t_n=nT_s/N$

Où le signal émis est :

$$s(t) = e^{2j\pi t f_0} \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \dots \dots \dots (3)$$

Le signal reçu est :

$$y(t) = e^{2j\pi t f_0} \sum_{k=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{2j\pi (f_0 + \frac{k}{T_s}) t} \dots \dots \dots (4)$$

La Figure II.6 présente le schéma de principe du démodulateur OFDM.

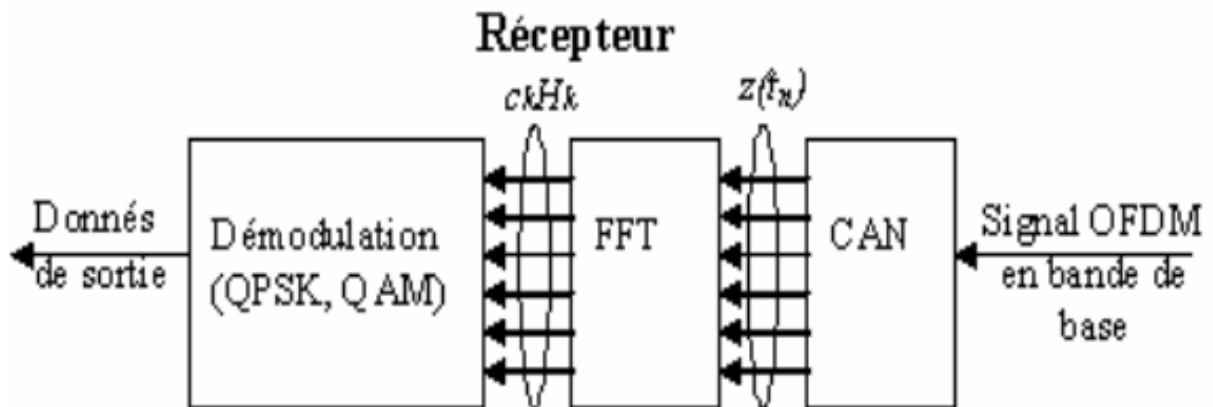


Figure II.6. : Démodulateur OFDM

II.5 Les techniques OFDM :

Les techniques de modulations classiques sont sensibles aux IES dans le cas d'un canal à trajets multiples. Pour compenser cet effet négatif, des processus d'égalisation sont utilisés. Cependant, leur mise en place s'est avérée d'une grande complexité surtout lorsque le canal varie beaucoup dans le temps ou suivant la fréquence du signal.

Les techniques de modulations multi-porteuses sont apparues pour remédier à ce problème en éliminant les IES et en simplifiant l'égalisation. L'information est alors, répartie sur un grand nombre de sous-porteuses. Ainsi dans un canal de transmission avec des chemins multiples où certaines fréquences seront détruites à cause de la combinaison destructive de chemins, le système sera tout de même capable de récupérer l'information perdue sur d'autres fréquences porteuses qui n'auront pas été affectées [14].

En OFDM, les porteuses sont conçues de manière à ce qu'elles soient orthogonales entre elles [14]. Le spectre relatif à chaque porteuse voit alors ses zéros correspondre aux fréquences centrales des autres porteuses. Cela leur permet d'être placées très proches les unes des autres sans interférence. De plus, chacune de ces porteuses opère sur une bande très étroite dans laquelle le canal est plat (Flat Fading) figure II.7.

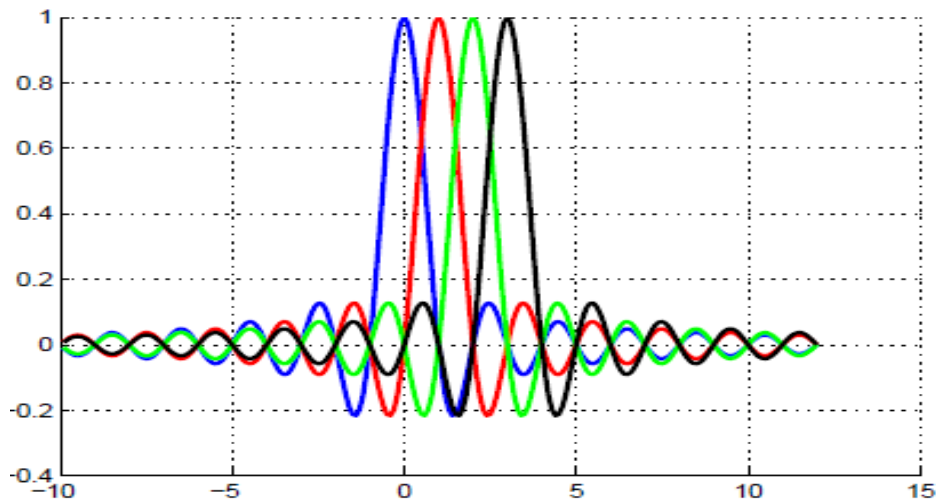


Figure II.7: Spectres de quatre porteuses orthogonales

De par sa structure, l'OFDM permet, également, d'améliorer l'efficacité spectrale d'un système de communication. D'autres avantages, entre autres, qui justifient l'intérêt qu'on lui porte actuellement sont la simplicité de sa mise en place (utilisation des fonctions duales IFFT FFT) et l'utilisation d'un intervalle de garde pour lutter contre l'IES. Cependant, comme toute modulation numérique, il présente quelques défauts qui nécessitent d'être corrigés. Nous en citons la perte en termes de bande utile occupée et de débit dus à l'utilisation de cet intervalle de garde. Par exemple, 20% de la bande allouée est consommée par cet intervalle dans la norme IEEE802.11a.

De même, sa structure le rend très sensible aux décalages fréquentiels et au bruit de phase des équipements qui pourront causer la perte de l'orthogonalité entre les sous-porteuses et donc l'apparition d'IES.

II.6 Clarification des techniques :

L'utilisation de la technique OFDM permet d'augmenter la robustesse du signal reçu par rapport à l'évanouissement sélectif de fréquence ou l'interférence à bande étroite. C'est son avantage principal.

Dans un système de porteuse simple, une simple interférence ou un évanouissement, peut faire échouer le lien en entier, mais dans un système à porteuses multiples, seulement un petit

pourcentage des sous porteuses sera affecté. Le codage de canal pour la détection et la correction d'erreur peut alors être employée pour reconstruire l'information perdue.

Examinons par exemple la modulation en quadrature (QAM) d'une porteuse par des informations numériques. A chaque symbole, la porteuse transmise est présentée suivant une phase et une amplitude particulière, choisie dans la constellation utilisée.

Un symbole donné achemine un certain nombre de bits d'informations, égal au logarithme base 2 du nombre d'états différents dans la constellation. Par exemple, une modulation à 16QAM a $16 = 2^4$ états différents avec chaque symbole portant 4 bits d'information. On suppose que ce signal est reçu suivant deux chemins, avec un délai maximum entre eux égale à τ_{\max} . Si l'on considère le l^{me} symbole reçu, le récepteur s'efforcera de démoduler les données envoyées dans ce symbole en examinant toutes les informations reçues, en direct et avec retardement, par rapport à ce l^{me} symbole.

Lorsque le délai maximum est supérieur à une période d'un symbole, le signal reçu du second trajet agit uniquement comme un brouillage, puisqu'il n'achemine que des informations appartenant à un ou plusieurs symbole(s) précédent(s). Ce brouillage intersymbole est reconnu par l'interférence inter-symbole (ISI).

Lorsque le retard est inférieur à une période d'un symbole, seule une partie du signal reçu de ce trajet agit comme un brouillage, puisqu'elle n'achemine que des informations appartenant au symbole précédent. Le reste achemine des informations du symbole utile, qui peut s'ajouter de manière constructive ou destructive aux informations du trajet principal.

La technique OFDM est utilisée pour éviter d'avoir un débit très élevé sur une seule porteuse. Cette technique divise ce débit élevé en plusieurs canaux parallèles de bas débits, chacun acheminé par le propre sous-porteur.

Ceci veut dire que la technique des signalisations OFDM consiste à répartir aléatoirement des symboles numériques de durée T_u (temps utile du symbole numérique) sur différentes porteuses modulées en QPSK ou QAM dans l'étude considérée.

La technique OFDM découpe le canal en cellules selon les axes du temps et des fréquences. Le canal est alors constitué d'une suite de sous bandes de fréquences et d'une suite de segments temporels. A chaque cellule, fréquence / temps, est attribuée une sous porteuse dédiée.

L'information à transporter est répartie sur l'ensemble de ces sous porteuses, modulée chacune a faible débit. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant « t ». Chacune des sous-porteuses est orthogonale en fréquence à la précédente.

Une même suite de symboles arrivant par deux chemins différents se présente comme la même information arrivant à deux instants différents et qui s'additionnent. Ces échos provoquent l'interférence inter symbole. [19]

II.7 Schéma bloc d'un système OFDM :

Figure II.8 représente un système OFDM complet. Il comporte un émetteur, un récepteur et un canal radio à travers lequel se fait la transmission. On a d'abord le générateur des données qui vont être transmises, ensuite on a un convertisseur série parallèle qui divise les données à son entrée en des flux de données parallèles de débits réduits.

On a encore le bloc de modulation numérique (QAM, 16-QAM ... QPSK), le bloc d'insertion et d'omission de temps de garde, les blocs FFT et IFFT pour la modulation et démodulation des sous-porteuses et enfin les blocs caractérisant le canal de transmission. A la sortie, on rejoint les flux de données parallèles pour reconstituer les données initiales. [20]

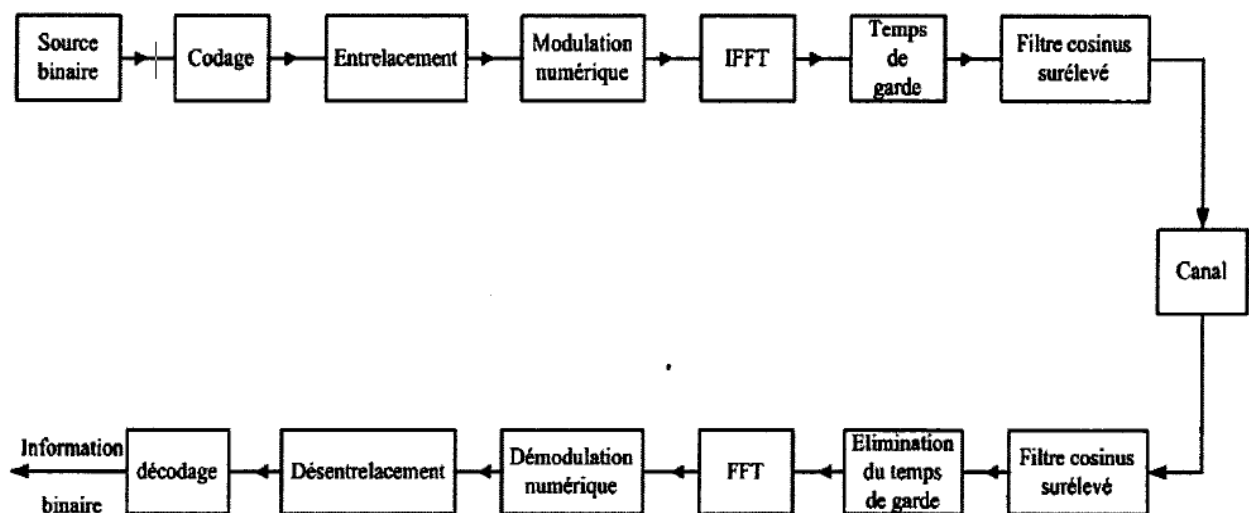


Figure II.8. Schéma bloc d'un système OFDM

II.7.1 Codage du canal :

Les imperfections de tout système de communication jumelées aux imperfections des canaux de communication utilisés contribuent à générer des erreurs dans l'information reçue par le destinataire. Une augmentation de la puissance du signal transmis ou du rapport énergie par bit sur densité spectrale de bruit (E_b/N_0) réduit généralement le taux d'erreurs par bit et peut rendre l'information reçue utile. Les conséquences économiques d'une telle approche sont coûteuses.

Il est donc important d'utiliser le principe de codage correcteur d'erreurs qui fournit une solution plus acceptable à ce problème.

Le codage correcteur d'erreurs est devenu une technique dont l'utilisation est essentielle dans les systèmes de communications numériques à haut débit afin d'améliorer les performances d'erreurs. L'amélioration de la performance est mesurée par le gain de codage, représenté par la réduction du rapport E_b/N_0 requis pour obtenir une certaine probabilité d'erreur par bit dans un canal Gaussien. Le codage par bloc et le code de convolution sont le plus souvent utilisés pour la correction d'erreurs.

II.7.2 Décodage :

Le décodage est une opération qui transforme les séquences binaires codées en informations intelligibles. Cette étape supprime les redondances ajoutées à l'émission et corrige certaines erreurs. Les données sont ensuite décompressées en insérant les redondances enlevées lors du codage source à l'émission.

II.7.3 Entrelacement :

Dans le système de communication qui utilise la signalisation OFDM, l'évanouissement profond dans le spectre de fréquences peut rendre des groupes de sous porteuses moins fiables que d'autres. Ceci génère des erreurs de bits qui peuvent se produire en salves au lieu d'être aléatoirement dispersées.

A l'émetteur, les bits codés sont permutés d'une certaine manière permettant, que les bits adjacents soient séparés par plusieurs bits non erronés après l'entrelacement. A récepteur, une permutation inverse est faite avant le décodage. Ceci est appelé le désentrelacement. L'inconvénient de l'entrelacement est que le décodeur doit attendre le remplissage du désentrelacement. Ceci cause un délai proportionnel à la taille de l'entrelacement. Deux types d'entrelacement par bloc existent, l'entrelacement par bit et l'entrelacement par symbole.

II.7.4 Modulation numérique :

Le choix du type de la modulation numérique dépend en général de deux conditions essentielles. La première est de limiter la bande passante requise pour transmettre un message à une vitesse donnée. La deuxième est reliée à la possibilité de transmettre un signal par voie hertzienne ou de partager un canal de communication.

II.8 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.

II.9 Utilisations de l'OFDM : [21] [22]

L'OFDM possède une grande efficacité spectrale et plus une égalisation très simple du canal de transmission sélectif en fréquence. A cause des conditions de propagation dans l'aire du signal électromagnétique, mais aussi de la réglementation des télécommunications, l'émission du signal dans le canal de transmission doit se faire dans une bande de fréquence limitée et autour d'une porteuse.

La forte mobilité des terminaux mobiles en association avec l'augmentation des bandes de fréquence faite que ces canaux de transmission deviennent de plus en plus difficiles impliquant une diminution des performances du système global.

La modulation multi porteuses OFDM utilisée par :

- ❖ DAB : DAB - OFDM constitue la base pour la diffusion audio numérique (DAB) standard dans le marché européen. Diffusion audio numérique (DAB) à l'aide de l'OFDM a été normalisée en Europe et constitue la prochaine étape de l'évolution au-delà de la radio diffusion FM offrant transmission sans interférence.
- ❖ HDTV
- ❖ les réseaux LAN sans fil
- ❖ IEEE 802.11g
- ❖ IEEE 802.16 Système d'accès sans fil à large bande.
- ❖ Système de transmission ATM sans fil
- ❖ IEEE 802.11a
- ❖ ADSL: Asymmetric Digital subscriber line.
- ❖ PLC: Power line communication.

II.10 Avantages et Inconvénients : [23]

Les principaux avantages et inconvénients de la modulation l'OFDM sont nombreux, on peut en citer [16]

II.10.1 Avantages : [24]

- ❖ **L'immunité à la décoloration sélective** : l'un des principaux avantages de l'OFDM est qu'elle est plus résistante à la décoloration à fréquence sélective que les systèmes à bande unique parce qu'elle divise le canal global en plusieurs signaux à bande étroite qui sont affectés individuellement comme plate fading sous-canaux.
- ❖ **Résistance aux interférences** : une interférence apparaissant sur un canal peut être limitée de la bande passante et de cette façon n'affectera pas toutes les sous-chaînes. Cela signifie que toutes les données sont perdues.
- ❖ **L'efficacité du spectre** : un important avantage OFDM est qu'elle permet d'utiliser efficacement le spectre disponible.
- ❖ **Résistant à l'ISI** : Un autre avantage de l'OFDM est qu'il est très résistant à l'inter-symbole et aux interférences. Cela résulte du faible taux de données sur chacun des sous-canaux.

- ❖ **Résistantes aux effets à bande étroite** : en utilisant l'entrelacement et codage de canal adéquat, il est possible de recouvrer des symboles perdues en raison de la sélectivité du canal et de l'interférence à bande étroite. Toutes les données ne sont perdues.
- ❖ **L'égalisation du canal plus simple** : l'un des problèmes avec les systèmes CDMA était la complexité de l'égalisation du canal qui de vient être appliqués dans l'ensemble du canal.
- ❖ Egalisation fréquentielle simple.
- ❖ Robustesse aux interférences de trajets multiples [25].
- ❖ Codage et entrelacement adapté pour réduire le taux d'erreur [25].
- ❖ Modulateur et démodulateur réalisés par une IFFT et une FFT [25].
- ❖ Robustesse en termes d'égalisation [25].

Le système utilisant la technique d'OFDM n'est pas parfait, il a des inconvénients qu'il faut prendre en considération en faisant la conception et surtout au niveau de sa mise en œuvre matérielle.

L'OFDM a en effet certains inconvénients mentionnés ci-dessous par rapport à la modulation d'une seule porteuse [26].

II.10.2 Inconvénients :

- ❖ La synchronisation émetteur / récepteur.
- ❖ Doppler, ainsi que les offsets en fréquence entre les oscillateurs locaux RF, génèrent une translation fréquentielle qui perturbe l'orthogonalité des N sous- porteuses, en introduisant une interférence entre les symboles (ISI). Pour y remédier on doit prévoir un système d'estimation et de correction de ces offsets.
- ❖ Fluctuation d'enveloppe: Le signal OFDM présente une forte fluctuation d'enveloppe et donc un PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) élevé [27], exigeant une grande linéarité de la chaîne de transmission, en particulier au niveau de l'amplificateur de puissance, qui va présenter alors, un rendement médiocre, donc incompatible avec une consommation optimisée pour une application mobile.
- ❖ Sensible au décalage fréquentiel ce qui engendre une perte d'orthogonalité entre es sous porteuses [25].
- ❖ Le signal peut présenter un PAPR (PeaK to Average Power Ratio) élevé. [27]

II.11 Conclusion:

Ce chapitre consacré à une étude détaillée sur le principe , la théorie de la technique OFDM et leurs utilisations et citer les avantages et l'inconvénients de cette technique.

Chapitre III:

Les Canaux Multi-Trajets

III.1 Introduction :

Un réseau sans fil est un réseau dans lequel deux terminaux ou plus peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu. Les réseaux sans fil se divisent en plusieurs catégories différentes selon la taille de la zone géographique à couvrir [28].

Dans ce chapitre, nous commençons par dresser un état de l'art des réseaux sans fil existants. Le fonctionnement de ces réseaux peut être plus ou moins perturbé en fonction des environnements dans lesquels ils ont été déployés. Cela est dû aux différents phénomènes physiques que subit l'information lors de son passage par le canal de propagation [29].

III.2 Classification des réseaux sans fils : [30]

On distingue :

- ❖ Les réseaux personnels sans fil (**WPAN**).
- ❖ Les réseaux locaux sans fil (**WLAN**).
- ❖ Les réseaux métropolitains sans fil (**WMAN**).
- ❖ les réseaux étendus sans fil (**WWAN**).

Chacune de ces catégories regroupe différents standards de communication:

III.2.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN) :

Le réseau personnes sans fil (WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseau est adapté à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable,.....) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison.

III.2.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Le réseau local sans fil (WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Ayant un fonctionnement cellulaire, il permet de relier entre eux les terminaux présents dans la zone de couverture à partir de points d'accès reliés à un réseau fixe.

III.2.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :

Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN pour Wireless Metropolitan Area Network) sont des réseaux destinés à connecter aussi bien des entreprises que des particuliers à leurs opérateurs (téléphonie fixe, internet, télévision. . .).

Cette connexion s'étend sur l'échelle d'une métropole par voie hertzienne. Connus également sous le nom Boucle Local Radio (BLR), les WMAN cherchent à offrir à leurs abonnés les mêmes performances (débit, . . .) que les réseaux filaires classiques tout en minimisant les coûts des installations.

III.2.4 Les réseaux étendus sans fil (WWAN) :

Nous avons vu précédemment que les réseaux WLAN permettent à l'utilisateur d'accéder aux services offerts dans une zone limitée. Les réseaux WWAN (pour Wireless Wide Area Network) [30], quant à eux, couvre une zone s'étendant sur une échelle nationale, voir mondiale, pour offrir cet accès. Grâce à cela, l'abonné peut avoir accès à une multitude de services (aller sur internet, consulter ses courriels, . . .) presque partout où il se trouve. Ces réseaux sont plus connus comme étant les réseaux cellulaires mobiles.

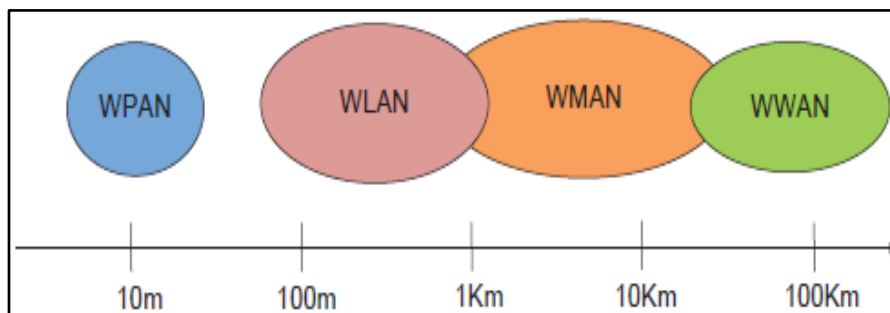


Figure III.1: Classification des réseaux sans fil.

III.3 Canaux de transmission : [31]

Les systèmes de transmission numérique de l'information véhiculent des données entre deux entités élémentaires que sont la source et le destinataire.

III.3.1 Canal binaire symétrique :

Le canal binaire symétrique (CBS) est un canal discret dont les alphabets d'entrée et de sortie sont finis et égaux à $\{0,1\}$. On considère dans ce cas que le canal comprend tous les éléments de la chaîne comprise entre le codeur de canal et le décodeur correspondant (Figure III.2).

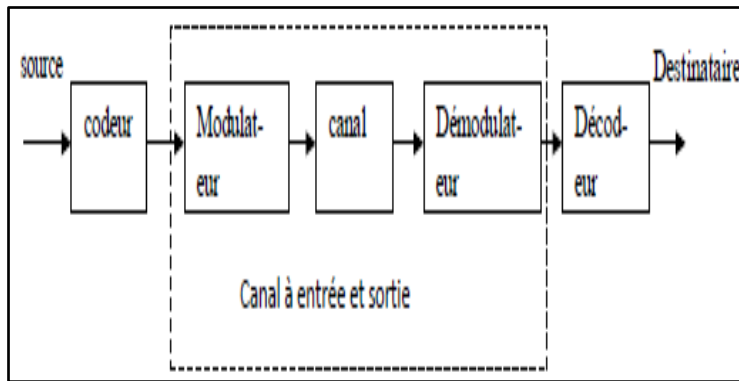


Figure III. 2: Description d'un canal binaire symétrique.

On note respectivement a_k et y_k les éléments à l'entrée et à la sortie du CBS. Si le bruit et autres perturbations causent des erreurs statiquement indépendantes dans la séquence binaire transmise avec une probabilité p , alors :

$$\Pr(y_k = 0 \mid a_k = 1) = \Pr(y_k = 1 \mid a_k = 0) = p$$

$$\Pr(y_k = 1 \mid a_k = 1) = \Pr(y_k = 0 \mid a_k = 0) = 1 - p$$

Le fonctionnement du CBS est résumé sous forme de diagramme sur la figure III.3. Chaque élément binaire à la sortie du canal ne dépend que de l'élément binaire entrant correspondant, le canal est appelé sans mémoire.

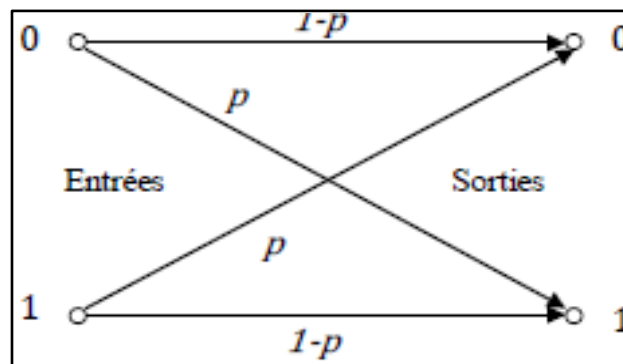


Figure III.3 : Diagramme du canal binaire symétrique.

III.3.2 Canal à bruit additif blanc gaussien :

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmission numérique, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG). Ce bruit modélise à la fois les bruits d'origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d'origine externe (bruit d'antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu'il représente une transmission quasi-parfaite de l'émetteur au récepteur. Le signal reçu s'écrit alors :

$$R(t)=s(t)+v(t).....(5)$$

Où $v(t)$ représente la BBAG, caractérisé par un processus aléatoire gaussien de moyenne nulle, de variance σ_v^2 et de densité spectrale de puissance bilatérale $N_0/2$. La densité de probabilité conditionnelle de r est donnée par l'expression :

$$P(r|s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v}} e^{-\frac{(r-s)^2}{2\sigma_v^2}} \dots\dots\dots(6)$$

III.4 Perturbations du canal :[32]

Les perturbations du canal électromagnétique peuvent être de trois formes : le bruit radioélectrique, l'affaiblissement à grande échelle et les évanouissements à moyenne et à petite échelle.

III.4.1 Bruit radioélectrique :

Le bruit radioélectrique est l'ensemble des perturbations ne contenant pas d'informations utiles au signal émis. Il est classé en deux catégories : le bruit interne et le bruit externe. Le bruit interne correspond au bruit généré par les différents composants d'un système de transmission. Les bruits externes au système sont d'origines extra-terrestres ou terrestres. Les bruits extra-terrestres perturbent essentiellement les liaisons spatiales ou les voies montantes vers les satellites. Le bruit terrestre est dû :

- ❖ à l'absorption sélective des ondes par les molécules de l'atmosphère à certaines fréquences précises,
- ❖ aux parasites atmosphériques,
- ❖ au rayonnement de l'environnement,
- ❖ À l'activité humaine,

En plus de la tendance générale de l'affaiblissement du signal, s'additionnent deux autres fluctuations : les évanouissements à moyenne et à petite échelles.

III.4.2. Evanouissement à moyenne échelle :

Les évanouissements à moyenne échelle sont causés par des zones d'ombres dues à des immeubles ou des éléments du relief. Ils se déterminent par la moyenne locale de l'affaiblissement. La distribution statique de la moyenne locale a été étudiée expérimentalement. Cette distribution est influencée par la hauteur des antennes, la fréquence de fonctionnement et le type d'environnement. Cependant, des observations ont permis de constater que la puissance moyenne reçue approche une distribution normale lorsqu'elle est tracée en logarithmique.

III.5 Canaux sélectifs : [33]

Dans les communications à haut débit, les transmissions sont limitées par des contraintes, physiques : le bruit dû aux imperfections des systèmes et la nature physique des composants affectent la transmission du signal émis. La déformation du signal au cours de la propagation est également une autre contrainte physique. Elle impose une bonne séparation temporelle des informations émises afin qu'elles restent bien séparées à la réception. La transmission d'un train de symboles s'accompagne presque inévitablement d'une dispersion des données dans le temps. Elle est à l'origine de l'interférence entre symboles. Les signaux réfléchis par les immeubles, les voitures ou le sol provoquent un phénomène nommé « affaiblissement par trajets multiples »: selon la longueur des différents chemins parcourus, le signal dévié arrive à l'émetteur plus ou moins longtemps après le signal principal, donc déforme plus ou moins celui-ci figure.III.4.

L'importance de ce phénomène dépend de la fréquence (les pertes sont plus faibles pour les basses fréquences et plus importantes pour les hautes fréquences) et varie lorsque le récepteur se déplace : il est bien connu des automobilistes, qui entendent le son de leur autoradio s'affaiblir par endroits ou qui captent moins bien les stations dans les tunnels. Ce phénomène d'évanouissement ou « fading » résulte des variations aléatoires des phases du signal dans le temps (après réflexion sur un obstacle). Elles peuvent engendrer des signaux s'ajoutant de façon destructive en réception.

Le signal résultant sera alors très faible ou nul. Les signaux multiples peuvent aussi s'ajouter de manière constructive, le signal résultant sera alors plus puissant que le trajet direct. Il faut noter que les multi-trajets n'ont pas que des inconvénients puisqu'ils permettent que la communication soit possible même lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vision directe. C'est en particulier en exploitant cette particularité que des communications transcontinental les peuvent avoir lieu.

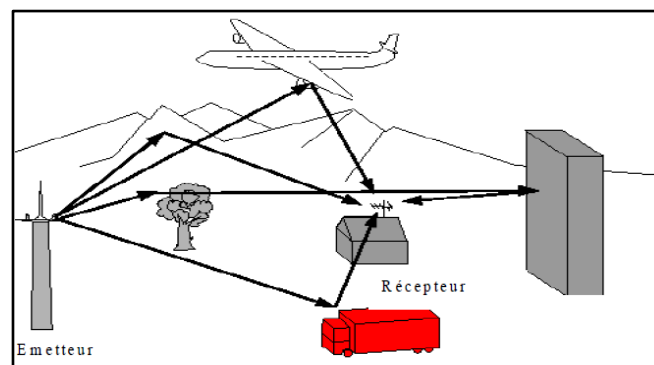


Figure III.4 : Un signal est déformé lorsqu'il parcourt plusieurs trajets différents entre l'émetteur et le récepteur

Un signal est déformé lorsqu'il parcourt plusieurs trajets différents entre l'émetteur et le récepteur les bits de données qui arrivent au récepteur sont retardés par des réflexions sur des

immeubles, sur des voitures ou sur le sol, parce que leur trajet est un peu plus long que celui des bits qui arrivent directement. Le signal déformé, qui résulte de l'addition de tous les symboles, peut-être mal interprété par le récepteur [33].

III.6 Le canal de propagation : [34].

L'étude du canal de propagation est une étape importante dans la définition et le dimensionnement de nouveaux systèmes de communications sans fil. En effet, le canal de transmission peut être modélisé comme un filtre linéaire permettant de représenter la transformation d'un signal électrique d'entrée $e(t)$ en un signal électrique de sortie $s(t)$ par le biais des ondes électromagnétiques figure III.5. En d'autres termes, le canal de propagation correspond à l'environnement traversé par les ondes électromagnétiques lors d'une transmission d'information entre un émetteur et un récepteur. On prendra soin de différencier le canal de propagation, qui ne tient compte que des différentes interactions subies par les ondes électromagnétiques dans l'environnement, du canal de transmission qui ajoute en plus les caractéristiques des diagrammes de rayonnement des antennes d'émission et de réception.

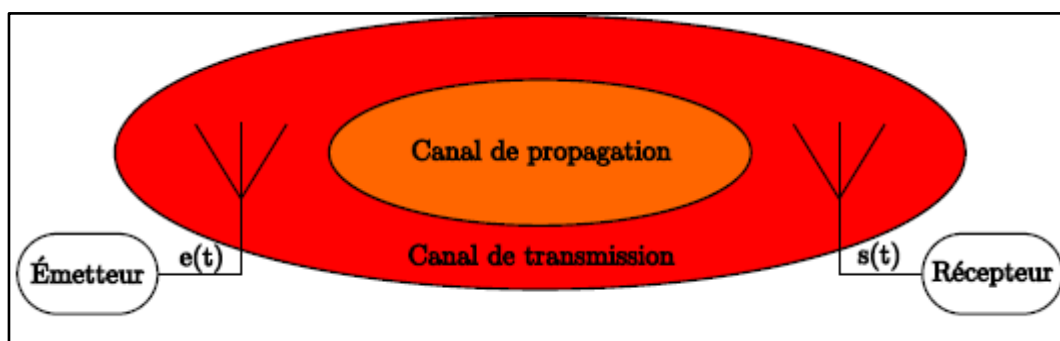


Figure III .5 : Le canal de propagation et le canal de transmission

II.6.1 Les variations du canal de propagation :

Comme on a pu le voir précédemment, la propagation des ondes radio obéit à une multitude de phénomènes qui en font un mécanisme complexe, surtout lorsqu'il y a des obstacles entre l'émetteur et le récepteur. L'onde, suit plusieurs chemins qui en raison de leur longueur et de leur vitesse de propagation induisent des temps d'arrivée différents, de telle sorte que le récepteur peut recevoir différentes répliquent du même signal à des instants différents. Ces phénomènes dépendent bien sûr de la fréquence utilisée et de la nature des obstacles rencontrés (murs en béton, forêt dense, façade en verre, etc.).

III.6.2 Classification des canaux :

Les différentes classifications pour le canal de propagation sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau III.1 : Classification des canaux [35]

		Domaine fréquentiel ou retard	
		Canal non sélectif en fréquence (canal à bande étroite) $B \ll B_c$	Canal sélectif en fréquence (canal à large bande) $B \gg B_c$
Domaine temporel ou Doppler	Canal a évanouissements lents (canal non sélectif dans le temps) $T_s \ll T_c$	- Canal non dispersif ou canal à évanouissement plat -En réception, il n'est pas nécessaire de mettre en place un égaliseur	- Canal dispersif en fréquence ou canal à évanouissement temporel plat
	Canal a évanouissements rapides (canal sélectif dans le temps) $T_s \gg T_c$	- Canal dispersif en temps ou canal a évanouissement fréquentiel plat	- Canal dispersif en temps et en fréquence

III.7 Les canaux multi trajets : [36]

Le milieu de propagation des ondes électromagnétiques comporte souvent plusieurs obstacles nuisant à la transmission de l'information. Ceux-ci peuvent être d'origine physique tel que les édifices, montagnes, gratte-ciel ou encore le sol. Ces obstacles causes des diffractions, réflexions et réfractions des ondes contribuant à la dégradation du signal émis. Un canal multi trajet est caractérisé par la propagation de plusieurs ondes dans l'espace entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi, le signal reçu est composé de la somme de l'onde transmise et des ondes réfléchies. Plusieurs types de canaux multi trajets furent développés afin de considérer les différents milieux de propagation existants. Deux de ces canaux émulés lors des expériences pratiques, le canal de Ric et le canal de Rayleigh.

III.7.1 Paramètres du canal à trajets multiples :

Il y a quatre paramètres qui sont utiles pour décrire les caractéristiques globales du canal par trajets multiples sont :

- ❖ Le gain total du canal « G » qui est utile pour estimer la quantité du rapport signal sur bruit d'un système de communications.
- ❖ La valeur efficace du délai d'étalement « crêt » qui varie de quelques centaines de nano secondes pour des locaux intérieurs à plusieurs micro secondes pour des locaux extérieurs.
- ❖ La bande de cohérente «Be» qui est une quantité dépendante de la valeur efficace du délai d'étalement.
- ❖ L'étalement Doppler « BN » qui est la bande en fréquence dans laquelle le spectre Doppler est non nul.

III.7.2 Paramètres de propagation d'un canal multi trajet :

Plusieurs facteurs affectent la propagation de l'onde électromagnétique dans l'espace libre comme la densité de la pluie, les conditions météorologiques et le coefficient de réflexion des fenêtres sur les édifices. Ainsi, le mécanisme de dégradation du signal transmis peut être exprimé par les trois paramètres de propagation fondamentaux suivant:

III. 7.2.1 Atténuation :

L'atténuation d'un signal transmis dans l'espace libre est principalement en fonction de la distance parcourue. Le mécanisme de perte d'amplitude exprimée en dB.

III.7.2.2 Délais :

Le délai de transmission entre l'émetteur et le récepteur est également causé par la distance parcouru. L'onde électromagnétique se propageant à la vitesse de la lumière dans l'air,

III.7.2.3 Étalement Doppler :

Le déplacement Doppler caractérise la déviation de fréquence de la porteuse lorsqu'une des sources est en mouvement. Il est exprimé en fonction de la vitesse du mobile (v) en m/s, de la fréquence porteuse (f_p) en Hz, ainsi que de la vitesse de la lumière $C=3.10^8$ m/s

$$f_d = \frac{v \cdot f_p}{c} \dots \dots \dots (7)$$

L'étalement Doppler, quant à lui, représente l'étalement fréquentiel du signal reçu.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu général du modèle des canaux à trajets multiples avec leurs problèmes.

De plus, nous avons inclus des études spécifiques sur certaines applications de la transmission numérique à l'intérieur des bâtiments et des locaux à plusieurs espaces fermés. Nous avons pris en considération dans notre étude les canaux à trajets multiples et leurs problèmes.

Chapitre IV:
Simulation et Résultats

IV.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous présentons une chaîne de transmission OFDM mise en œuvre à l'aide d'outil de logiciel MATLAB. L'objectif de cette manipule c'est la démonstration des étapes de conception d'un simulateur OFDM, la validation et par la suite les résultats obtenus. Nous établirons une comparaison des systèmes de type OFDM utilisant les différents types de modulation numérique et les trois type des canaux (Gaussien, Rice et Rayleigh) et sont Performances, par rapport à ce paramètre critique qu'est le rapport BER.

IV.2 Le taux d'erreur binaire (BER) :

Toute transmission de signal étant dégradée du fait de son environnement, il faut définir les grandeurs permettant d'évaluer les performances d'une transmission selon le type de modulation mis en œuvre. La qualité de la liaison est définie par le rapport signal à bruit (SNR : Signal to Noise Ratio) qui correspond à une mesure directe de la puissance relative de bruit comparée à celle du signal. Ce rapport permet de prédire la performance du système en termes de qualité de la réception. Cependant d'autres grandeurs peuvent être définies, plus appropriées dans le cas des modulations numériques.

La qualité d'un signal analogique est dégradée par toute distorsion ou atténuation non linéaire engendrée dans le canal de transmission, mais aussi dans les divers modules électroniques.

Dans le cas d'un signal numérique, la qualité en réception ne sera réduite que si les effets nuisibles produits dans le canal (bruit, multi-trajets, interférences, évanouissements...) conduisent à confondre plusieurs symboles (ou bits) du signal binaire. De manière à quantifier la dégradation subie par un signal numérique, ou de spécifier la qualité que attendue d'une transmission numérique, on caractérise la liaison par la notion du "taux d'erreur binaire" ou Bit Error Rate (BER) [36]. Il s'agit du taux d'erreur mesuré à la réception d'une transmission numérique par comparaison avec le signal source ; il se définit par la relation ci-dessous :

$$\text{BER}(\%) = \text{Nombre bits erronés} / \text{Nombre de total bits reçus}$$

Ce taux détermine le nombre d'erreurs apparues avant la modulation et juste après la démodulation, il augmente a cause des perturbations : équipement ou réseau défectueux, pointage incorrect d'une antenne, longueur de canal, etc.

IV.3 Rapport signal sur bruit (SNR):

Ce terme fait référence au signal démodulé perçu après le processus de démodulation. Le bruit total est celui extrait du réseau de transmission plus le bruit intégré au signal de modulation sous la forme de bruit d'amplitude, de bruit phase et d'interférence inter symboles ainsi que d'autres dégradations de la modulation.

On le calcule à l'aide de l'une ou l'autre des formules représentées ci-dessous :

$$\left(\frac{S}{N}\right) (dB) = 10 \log \frac{P_s}{P_N} \dots\dots\dots(8)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{P_s}{P_N} \dots\dots\dots(9)$$

PS : Puissance du signal en W.

PN : Puissance de bruit en W.

IV.4 Modulation de chaque sous-porteuse du signal OFDM :

Dans un système OFDM, les bits d'informations pour chaque sous-porteuse sont modulés par la modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), 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 [37].

En général, la constellation de chaque sous-porteuse montre un changement aléatoire d'amplitude et de phase provoqué par l'environnement par trajets multiples. Parmi les modulations utilisées dans un système OFDM, la plus robuste est la modulation QPSK qui code 2 bits par symbole.

IV.4.1 Modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying):

C'est une modulation à deux états de phase ($k = 1$ et par suite $M = 2$). Si la phase à l'origine est nulle, les états de phase sont représentés sur la figure IV. 1. Les deux états de phase sont séparés de 180° , et ne peuvent contenir qu'un bit par symbole. Pour des applications requérant un débit binaire plus important, ce type de modulation est inefficace.

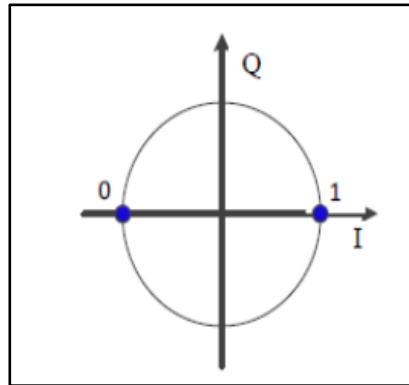


Figure IV .1 : Modulation à deux états de phase (BPSK). [38]

IV.4.2 Modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying):

La modulation QPSK, est une modulation à quatre états de phase (k = 2, soit M = 4), comme le représente la figure IV.2

Ce type de signal permet de moduler deux bits par symbole. Pour une bande passante du signal émis identique, son débit binaire est le double de celui de la modulation BPSK. De même, pour un débit binaire identique, elle permet de réduire la bande passante par deux. Les états de phase de la modulation QPSK correspondent à :

$$\varnothing_n = (2n + 1) \frac{\pi}{4}, 0 \leq n \leq 4 \dots \dots \dots (10)$$

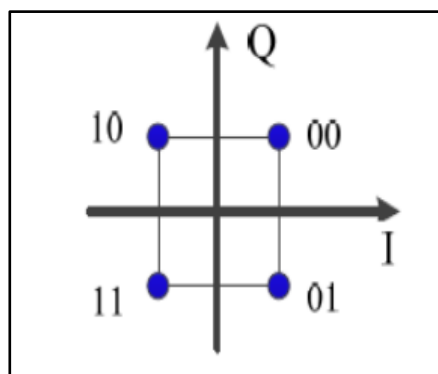


Figure IV.2 : Modulation à quatre états de phase (QPSK). [38]

La bande passante du signal QPSK vaut $B = 2/T$ autour de la porteuse. L'efficacité spectrale est : $\eta = \log_2 (M) = 2$ (M est la taille des mots à transmettre, ici M = 2).

Circuits de modulation et de démodulation :

La figure suivante présente une structure simple de modulateur IQ :

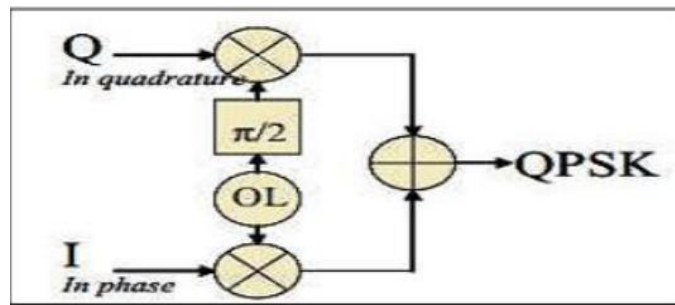


Figure IV.3: Modulateur de phase QPSK.

Le démodulateur le plus basique est représenté sur la figure suivante :

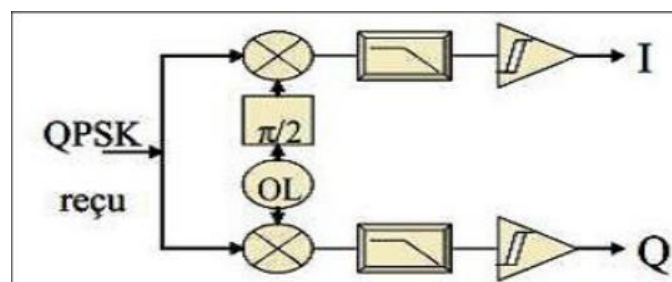


Figure IV.4 : Démodulateur de phase QPSK

Avantage (QPSK) : [39]

Cette modulation permet d'augmenter l'efficacité spectrale sans modifier la bande passante allouée.

IV.4.3 Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) : [38]

La QAM ou Modulation d'amplitude en quadrature résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses sinusoïdales déphasées l'une de l'autre de 90° (d'où le nom de quadrature). Elle peut aussi être vue comme une modulation de phase et d'amplitude. Elle permet des débits élevés avec une rapidité de modulation relativement faible. La QAM16 utilise 4 bits par symbole.

Avantages et inconvénients (QAM) : [39]

- ❖ 2 fois plus d'info sur la même bande.
- ❖ Plus sensible que la DSB-SC aux erreurs de porteuse générée au récepteur.
- ❖ Erreur de fréquence ou de phase produit de la diaphonie (cross talk)

La figure suivante présente une structure simple de modulateur QAM :

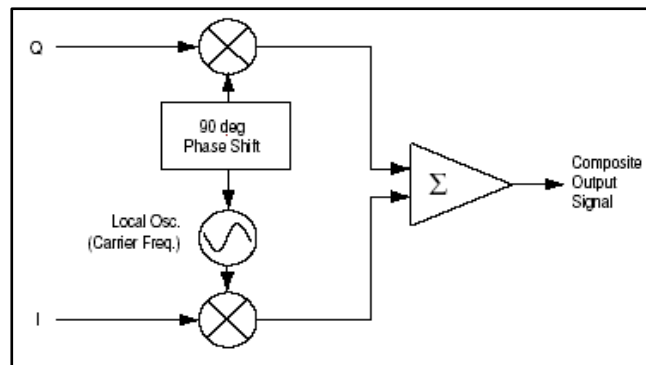


Figure IV.5: Modulateur QAM.

Le démodulateur le plus basique est représenté sur la figure suivante :

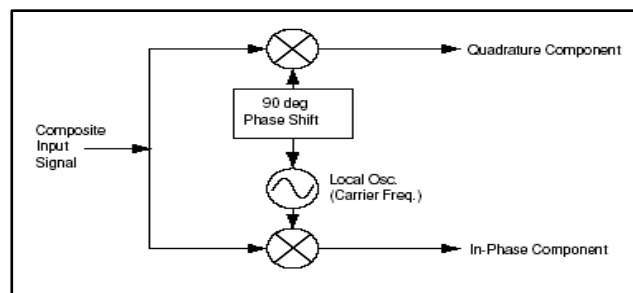


Figure IV.6: Démodulateur QAM.

Nous intéresserons uniquement à la modulation à 16 états (16 QAM). Les autres (32 AM, 256 QAM...)

IV .4.2.1 Modulation 16-QAM : [38]

La modulation 16-QAM est une forme de modulation d'amplitude. Elle est constituée de 16 états formés à partir de 4 combinaisons de bits sur la voie I et de quatre autres combinaisons sur la voie Q. Il y a donc 16 états de transition possibles pour ce type de modulation.

Chaque symbole, est composé de quatre bits : 2 bits sur la voie I et 2 sur la voie Q. Le diagramme de constellation d'une modulation 16-QAM est représenté sur la figure 4.3.

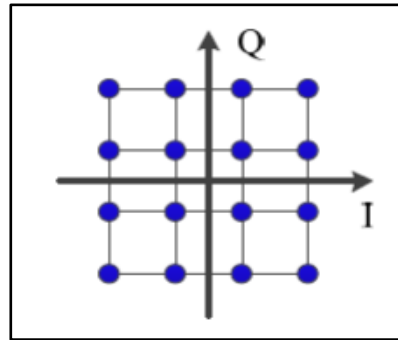


Figure IV.7 : Constellation d'une modulation 16-QAM. [38]

IV.5 Chaîne de transmission OFDM: [40]

La figure IV.8, représente un schéma bloc simplifié d'un système OFDM à une seule entrée et une seule sortie. Sur le côté de l'émetteur, les symboles (QAM/PSK) modulés sont mappés à N sous porteuses orthogonales. Ceci est effectué à l'aide d'une opération de transformée de Fourier discrète inverse (IDFT). Souvent, l'IDFT est effectuée avec un algorithme de transformée de Fourier rapide inverse (IFFT), qui est efficace du point de vue calcul. Ensuite, le CP (Cyclic Prefix) est inséré et une conversion parallèle-série est effectuée préalablement à la transmission sur l'interface air.

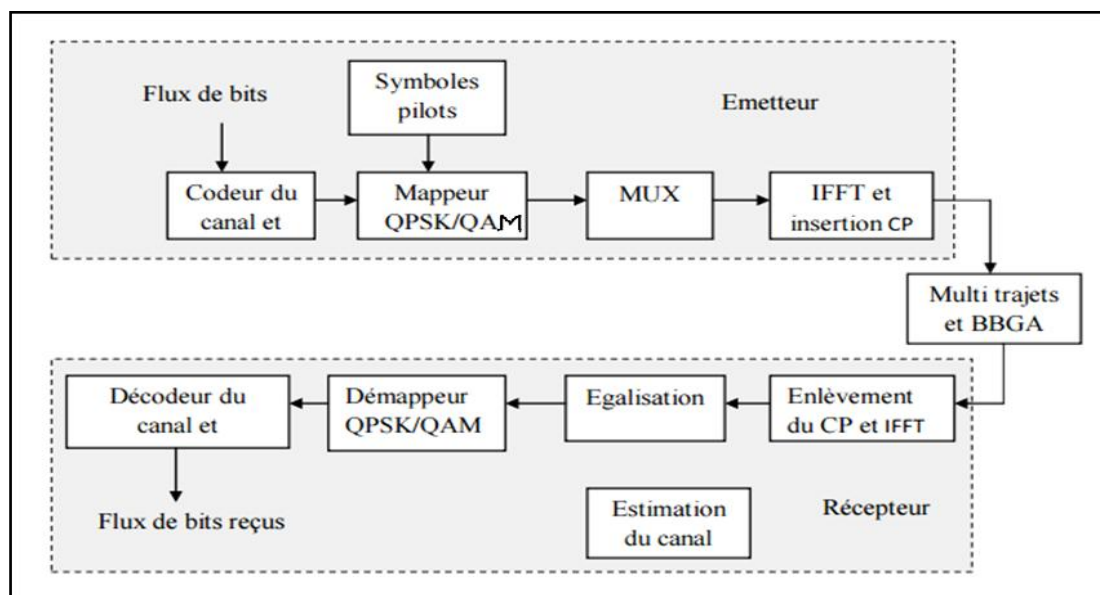


Figure IV.8 : représente un schéma bloc simplifié d'un système OFDM à une seule entrée

Au niveau du récepteur, les opérations inverses sont effectuées. Une fois le signal est au niveau du récepteur, le CP, qui aurait subi des interférences de la part des symboles OFDM précédents, est enlevé. Puis, une opération de transformé de Fourier rapide (FFT) amène les

données au domaine fréquentiel. De cette manière, l'estimation du canal et l'égalisation est simplifiée

IV.6 Canal a bruit blanc Gaussien : [43]

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG, AWGN en anglais ' Additive White Gaussian Noise). Ce bruit modélise à la fois les bruits d'origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d'origine externe (bruit d'antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu'il représente une transmission quasi-parfaite de l'émetteur au récepteur. Le signal reçu s'écrit alors sous la forme:

$$Y(t) = x(t) + b(t) \dots \dots \dots (11)$$

IV.7 Canal de Ric : [44][45]

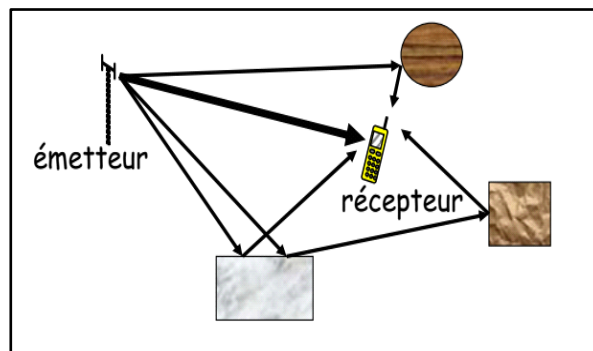


Figure IV.9 : Environnement de canal de Ric.

Le canal de Ric est caractérisé par la propagation d'une onde directe et de plusieurs ondes réfléchies entre l'émetteur et le récepteur. (Existence d'une ligne de vue).

Le comportement statistique de l'enveloppe du signal reçu est exprimé par la loi de Rice. Celle-ci est décrite par la fonction de densité de probabilité P(r) suivante :

$$P(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\left(\frac{r^2 + \alpha^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot \alpha}{\sigma^2}\right), & r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \dots \dots \dots (12)$$

Où r est l'enveloppe du signal reçu, α^2 est la puissance moyenne de la composante directe, σ^2 est la puissance moyenne des composantes réfléchies et I_0 est la fonction de Bessel du premier ordre modifiée. Il est à noter que ce modèle stochastique considère l'indépendance statistique des paramètres de chaque trajet. Les propriétés de cette loi sont abondamment éditées dans la littérature scientifique et tout particulièrement

Propagation LOS : un signal direct plus puissant que les autres

$$Y(t) = \alpha(t) s(t) + n(t) \dots \dots \dots (13)$$

IV .8 Canal de Rayleigh : [44][45]

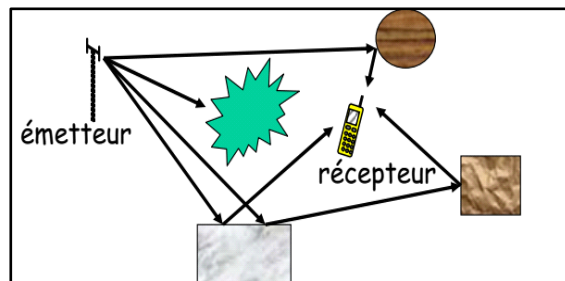


Figure: IV.10 : Environnement de canal de Rayleigh.

Le canal de Rayleigh est un cas particulier du canal de Rice par le fait qu'il ne comporte pas de composante directe (Pas de ligne de vue). Ainsi, l'enveloppe du signal résultant comporte seulement des composantes réfléchies. Ce canal caractérise essentiellement les milieux urbains, tel le centre-ville de Montréal, où le signal reçu est composé des réflexions du signal émis sur les édifices et les gratte-ciels. De ce fait, en partant de la formule (13) et en éliminant la composante directe α , on obtient la loi de Rayleigh. L'enveloppe du signal résultant est obtenue par la fonction de densité de probabilité suivante:

$$P(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}, & r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \dots \dots \dots (14)$$

IV.9 Réalisation de la chaine de transmission OFDM sous MATLAB:

Nous considérons plus particulièrement dans cette étude la modulation QPSK pour l'évaluation des performances du système OFDM.

IV.9.1 Emission/ Réception du système OFDM (canal AWGN):

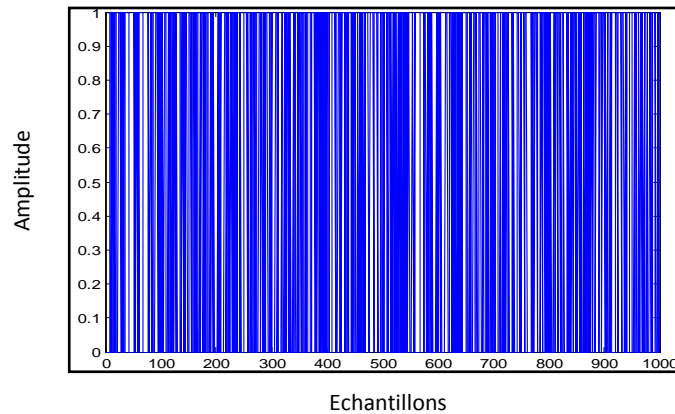


Figure IV.11 : Représentation de signal émis (1000 échantillons).

La figure IV. 11 représente le signal d'entrée qui est un signal binaire aléatoire à partir d'une distribution uniforme discrète.

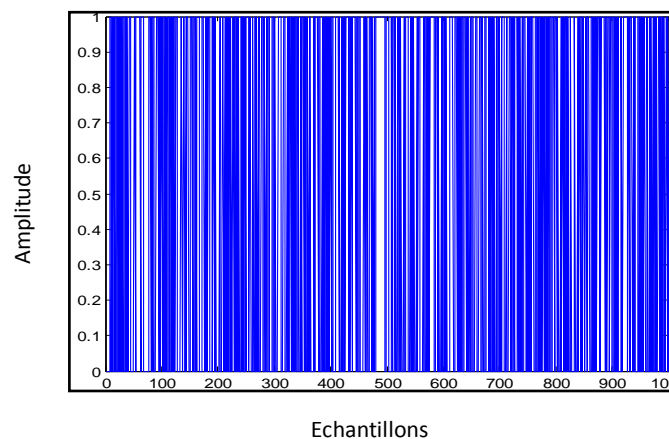


Figure IV.12 : Représentation de signal reçue.

La figure IV.12 représente le signal à la sortie de la chaine de transmission avec une différence négligeable par rapport à le signal émis.

- En suite nous représentons les signaux après modulation et démodulation QPSK :

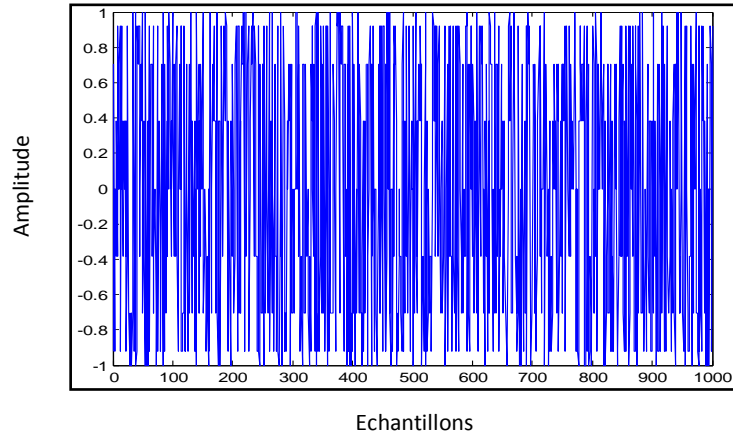


Figure 13 : Signal après la modulation QPSK.

La figure 13 représente le signal modulé à la sortie du modulateur QPSK, ainsi que La figure 14 représente le signal démodulé à la sortie du démodulateur QPSK qui est transité à travers un canal (AWGN) avec E_b/N_0 entre 0 et 16.

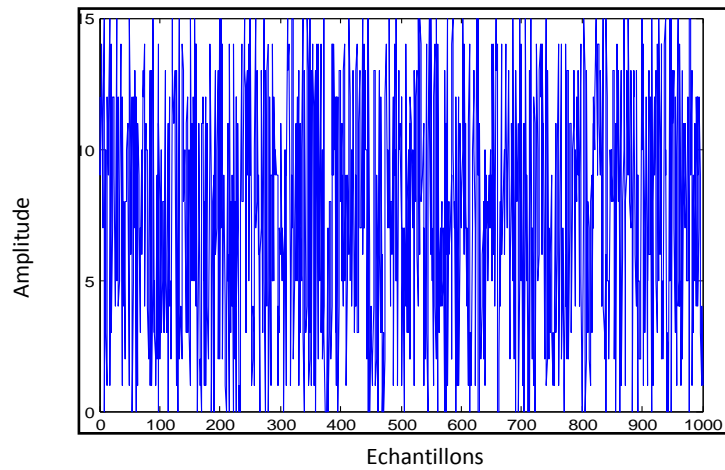


Figure IV.14 : Signal à la sortie du démodulateur QPSK

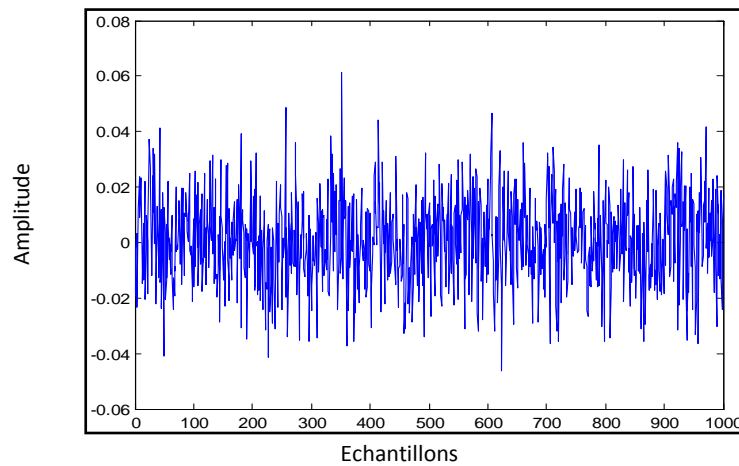


Figure IV. 15: Représentation du signal OFDM à l'entrée du canal (AWGN).

On peut visualiser les sous- porteuses à l'entrée du canal ; chaque pic représente une sous-porteuse.

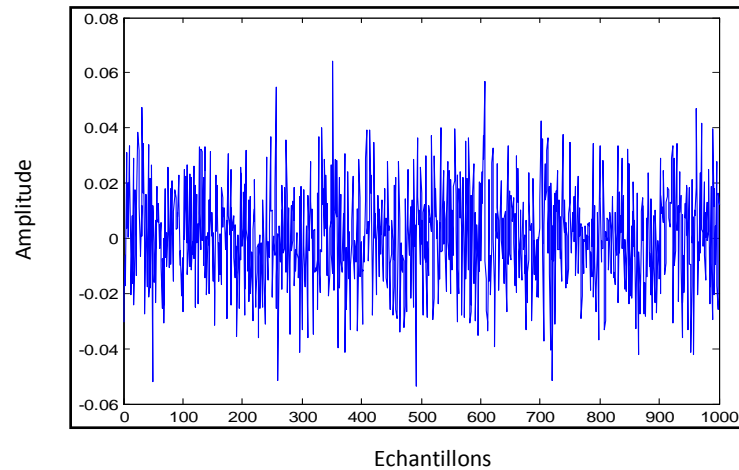


Figure IV.16: Représentation spectrale du signal OFDM à la sortie du canal (AWGN).

A la sortie du canal, figure 16, on remarque que le signal n'est pas fortement dégradé par le bruit introduit au niveau du canal.

IV.10 Effet de modulation OFDM et valeur du SNR sur le BER :

La performance de l'OFDM dépend du rapport signal sur bruit. La figure IV.17 illustre les courbes de performance obtenues dans le cas de la modulation QPSK (2048 porteuses).

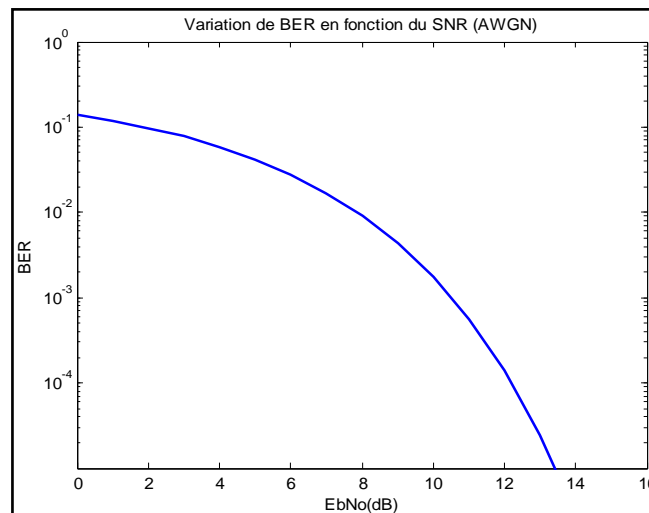


Figure IV.17 : BER en fonction du SNR (E_b/N_0)- (QPSK).

A partir de la Figure IV.1 on remarque que le taux d'erreur bit (BER) est très petit si on augmente le SNR et très important quand la valeur est autour de 0.

IV.10.1 Discussion :

- ❖ On observe que pour la modulation QPSK, la variation de BER est rapide jusqu'à ce qu'elle prenne une valeur de zéro, et comme nous savions quand le BER est égal à zéro donc la transmission du signal est efficace.
- ❖ Comme la valeur du SNR est assez grande le BER diminue.
- ❖ Pour des faibles SNR (E_b/N_0), les perturbations principales du signal ce qui donne des grandes valeurs du BER.

Les recherches récentes ont opté pour la modulation QPSK comme technique de modulation pour les signaux OFDM transmis dans un canal.

Les principaux critères de choix de la modulation sont:

- ❖ La densité de la constellation qui peut favoriser soit une faible énergie de transmission, soit un faible taux d'erreurs.
- ❖ L'occupation spectrale du signal modulé faisant intervenir le débit binaire et la largeur de la bande occupée par le signal modulé.
- ❖ La complexité de réalisation.

OFDM facilite le codage et l'entrelacement de sous-porteuses dans le domaine de fréquence, ce qui peut fournir la robustesse contre les erreurs. En d'autres termes, OFDM est résistant à l'interférence comme elle est robuste contre les interférences.

IV.11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de simulation d'une modulation et démodulation OFDM d'un point de vue taux d'erreur binaire, ainsi que les paramètres de la chaîne de transmission.

Pour cette raison, nous avons réalisé une chaîne de base de la technique OFDM, qui permet d'obtenir de meilleures qualités du signal à la réception en éliminant la sélectivité de canal et le phénomène d'interférence entre symboles (IES) et donc plus l'ordre de diversité augmente plus le taux d'erreur diminue et plus le signal à la réception est optimal.

CONCLUSION GENERALE
& PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES

Les systèmes de communications ont beaucoup évolué ces dernières années, surtout les systèmes sans fil et de plus en plus la nécessité d'utilisation d'une grande vitesse de transmission de données s'imposent. Mais la technologie existante a des contraintes pour suivre la progression de la vitesse de transmission nécessaire ; plusieurs méthodes et techniques ont vu le jour pour remédier à ce problème.

Dans ce travail, nous avons étudié et analysé les performances de modulations et démodulations OFDM dans les system de communications sans fils. Préalablement à cela, Nous avons examiné en détail les performances des systèmes OFDM en commençant par discuter des principes généraux de la modulation OFDM. Nous avons passé sur le principe de l'orthogonalité et l'utilité de l'intervalle de garde pour combattre les interférences. Nous avons terminé par la présentation de plusieurs types de cette technique et leurs avantages et inconvénients.

Ensuite nous avons présenté une définition sur Les techniques OFDM, l'origine et ces principes et en va réaliser une transmission associé à une modulation OFDM, c'est-à-dire la combinaison entre les différentes canaux de transmission.

Les simulations réalisées dans ce travail sont sous forme d'algorithme exécuté dans l'outil MATLAB, ont permis de mettre en relief l'intérêt d'une transmission OFDM du point de vue du taux d'erreur binaire. Ainsi que le paramètre de transmission des canaux multi trajets.

Finalement, il reste tellement de directions à prospecter dans l'étude des systèmes de communication sans-fils.

Nous pouvons faire ressortir les constatations suivantes : En présence de bruit AWGN important (SNR faibles et moyens), notre simulation perd en robustesse.

Perspectives

La technologie MIMO permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur, ceci peut être utilisé pour augmenter le débit et minimiser le taux d'erreur binaire (TEB).

La combinaison des techniques MIMO et OFDM a été adoptée dans les communications sans fil en raison des nombreux avantages de l'OFDM et des avantages des systèmes MIMO. A titre d'exemple, la technique MIMO-OFDM est utilisée dans la norme IEEE 802.11n de communication sans fil pour augmenter la capacité du canal ainsi que dans la technique LTE et Wi Max.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: P.Gruyer & S.Paillard, « Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM », pierre.gruyer@enst-bretagne.fr, simon.paillard@enst-bretagne.fr , 12 décembre 2005
- [2]: J.A. Bingham, «Multicarrier modulation for data transmission»: An idea whose time has come," IEEE Commun. Mag., vol. 28, pp. 5-14, May 1990.
- [3]: Y. Louet , « Les modulations multi-porteuses », Supelec - Campus de Rennes Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes – UMR CNRS 6164 1 Jeudi 10 Juin 2010 Colloque Geii– Rennes.
- [4]: M.L.Doeltz, Z.T.Heald and D.L.Maritin, «binary data transmission techniques ».
- [5]: Transmission d'un signal modulation et démodulation», [http://ephz.fr /cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf](http://ephz.fr/cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf)
- [6] : <http://ebrois.free.fr/cours/electronique/am/am.htm>. Connectée le : 12/05/2017 à 14:25.
- [7]: Types de modulation les plus appropriés Disponible sur :<http://www.liaslab.fr>», connectée le: 17/06/2017 à 11 :45
- [8]: B. Abdelkhalek, « Estimation du Canal et Elimination des Interférences ICI dans les Communications Mobiles avec Modulation OFDM », Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister, Universite Mentouri Constatine, Disponible sur : <https://fr.scribd.com/doc/242265896/Baouni-A-pdf> connectée le: 19/06/2017 à 00 :04
- [9]: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design /multi carrier modulation /basics-techniques-tutorial.php>,
- [10]: J. Vodrazka , «Multi-Carrier Modulation and MIMO Principale application on Subscriber Lines » , disponible sur : www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07_04_033.pdf .
- [11] : Allocations de ressources radio dans un réseau local sans fil (WLAN) de type OFDM.
- [12] : Université de Tunis elmanar, « Etude comparative des canaux WSSUS en standard ».
- [13]: H.Schulze, K.Lüders & Schultz, «Theory and Applications of FDM and CDMA». Edition J. Wiley and sons, 2005.

- [14]: L. Hanzo, T. Keller, « OFDM and MC-CDMA for Broadband multiuser communications, WLAN and Broadcasting », Edition John Wiley and Sons, 2nd edition, 2006.
- [15]: MESURES 799 - NOVEMBRE 2007 - www.mesures.com
- [16] :https://www.youtube.com/results?search_query=%D9%85.+%D8%A3%D9%85%D9%8A%D8%B1+%D8%B9%D8%B2%D8%AA++ofdm.
- [17]: « Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G », Laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'information (L.E.T.I) Ecole nationale d'Ingénieurs de Sfax, BP W 3038 Sfax –Tunisie, Phone (+216) 74 274 088 - Fax : (+216) 74 275 595.
- [18]: « Cours de Réseaux 802.11 », université Sid Mohamed Ben Abdallah 2014/2015.
- [19]: Mémoire Présenter À L'école de Technologie Supérieur.
- [20]: Diplôme d'Etudes Approfondies, Réseaux de télécommunications , « Allocations de ressources radio dans un réseau local sans fil (WLAN) de type OFDM ».
- [21]: 07CERG0343 : sylvain Traverso, « Thèse présentée à l'université de Cergy-pontoise », le 16 novembres 2007
- [22]: M.Bhardwaj, «A Review on OFDM: Concept, Scope and its Applications », department of electronics and instrumentation», disponible sur: www.iosrjournals.org.
- [23]: https://www.youtube.com/results?search_query=%D9%85.+%D8%A3%D9%85%D9%8A%D8%B1+%D8%B9%D8%B2%D8%AA++ofdm
- [24]: « Etude et Simulation d'une Transmission de Type OFDM Pour Les Communications Sans Fil ».
- [25]: Thèse de Doctorat de L'université Pierre et Marie Curie Ecole doctorale Informatique, Télécommunications et Electronique
- [26]: J.H. Stott, « The how and why of COFDM », EBU TechnicalReview, 1998
- [27]: C. Alexandar & D.Ruyet Cnam , « Presentation_ofdm : «Modulations Multi porteuses ».
- [28]: H. Labiod, H. Afifi, & C. D. Santis, « Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WiMAX». Springer, 2007.
- [29]: « Etude de la qualité de service (QOS) dans les réseaux sans fil », thèse pour master informatique université Abou bakr Belkaid Telecom 2010/2011.
- [30]: K. Chaplin, « Wireless LANs vs. Wireless WANs», November 2009,Thèse N° [43-2009].
- [31]: P. Guguen, «Techniques multi-antennes émission-réceptionx applications aux réseaux domestiques sans fil » ; PhD thesis in electrical engineering, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes ,2003.

- [32]: « Etudes théoriques et expérimentales de systèmes de transmissions MIMO-OFDM ».
- [33]: A. Paulraj, R. Nabar, & D. Gore, « Introduction to Space-Time Wireless Communications », C. U. Press, Ed., 2003 .
- [34]: « Mesures actives en environnements réels et maîtrisés dans un contexte WiMAX ».
- [35]: V. Y. VU, « Conception et réalisation d'un sondeur de canal multi-capteur utilisant les corrélateurs cinq ports pour la mesure de propagation à l'intérieur des bâtiments », PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, décembre 1995.
- [36]: C. Servin, « Réseaux et Télécommunications », 2^{ème} Edition Dunod, Paris016.
- [37]: R.V. Née & R. Prasad, « OFDM for Wireless Multimedia Communications », Artech.
- [38]: P. Common, « Communications numériques à l'usage de l'ingénieur », Edition L'Harmattan, 2010.
- [39]: http://strategiestm.com/spip.php?page=print&id_article=1008, Connectée le: 19/06/2017 à 15 :10.
- [40]: M. Joindot et A. Glavieux, « Introduction aux Communications Numériques », Collection Pédagogique de Télécommunication, Ellipses, 1995. House Publishers, 2000.
- [41]: ENSEEIHT , « Télécom-Réseaux – Electronique », SCR, Année 2007-2008.
- [42] : H. Hijazi. « Estimation de canal radio mobile à évolution rapide dans les systèmes à modulation OFDM », Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, 2008.
- [43]: canal Girard_François.pdf.
- [44]: « Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil ».
- [45]: S. R. Saunders and A. Aragon, « Antennas and Propagation for Wireless communication Systems », Wiley & Sons, 2. a. ed., May 2007.