



1. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M/GE/2020

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE
MASTER ACADEMIQUE**

Filière : Génie électrique

Spécialité : Télécommunication

Thème

**EFFET DU BRUIT DU CANAL SUR LA TRANSMISSION
OFDM**

Présenté par :

BENYEKKOU Amine ILYES

BENSALAH Mohamed Noureddine

Soutenu le 27 /08/ 2020 devant le jury composé de :

Président : DR DAOUD MOHAMED

Examineur : DR BENAOUALI MOHAMED

Encadreur : Professeur YAGOUBI BENABDELLAH

Année Universitaire : 2019 / 2020

Table des matières

	1.	وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.....	1
		Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.....	1
		جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم.....	1
		كلية العلوم والتكنولوجيا.....	1
		Faculté des Sciences et de la Technologie.....	1
		SOMMAIRE.....	Error! Bookmark not defined.
		REMERCIEMENTS.....	4
Chapitre 1			12
	I.1.	INTRODUCTION.....	2
	I.2.	ARCITICTURE GENERAL D'UN CANAL DE TRANSMISSION.....	2
	I.3.	Canal de transmission.....	Error! Bookmark not defined.
	I.4.	Caractéristiques d'une transmission I.4.1.Signal à bruit.....	4
	I.4.2.	Atténuation.....	Error! Bookmark not defined.
	I.4.3.	Débit binaire.....	Error! Bookmark not defined.
	I.5.	Différents canaux de transmission.....	Error! Bookmark not defined.
	I.5.1.	Transmission guidée.....	Error! Bookmark not defined.
	-	Transmission guidée dans un câble.....	6
	-	Transmission guidée dans une fibre optique.....	6
	I.5.2.	Transmission libre dans l'air.....	6
	I.6.	Définition des réseaux sans fil.....	6
	I.7.	Les catégories de réseaux sans fil.....	7
	-	Les réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personale Area Network):.....	7
	-	Réseaux locaux sans fil (WLAN : Wireless Local Area Network) :.....	7
	-	Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN : Wireless Metropololitan Area Network)	8
	-	Les réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network) :.....	8
	I.8.	Techniques de transmission dans les réseaux sans fil :.....	9
	I.8.1.	Transmission par les ondes infrarouges:.....	9
	I.8.2.	Transmission par les ondes radios :.....	10
	I.9.	Fonctionnement d'un réseau sans fil :.....	10
	I.9.1.	Réseau avec infrastructure.....	10
	I.9.2.	Réseau sans infrastructure.....	10
	I.10.	Modèles des canaux de communications sans fil.....	12
	I.10.1	Canal de propagation par trajets multiples.....	12
	I.11.	Les Variations du canal de propagation.....	14
	I.12.	Canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN).....	15
Chapitre 2			17
	II.1.	Introduction.....	17
	II.2.	Modulation mono porteuses.....	17
	II.3.	Modulation multi-porteuses.....	18
	II.4.	Principe de la de modulation.....	18
	II.5.	La démodulation numérique.....	19
	II.6.	Principe de la démodulation.....	19

II.7.	L'Orthogonalité	21
II.8.	Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation).....	22
II.8.1.	Principe	23
II.8.2.	Avantages et inconvénients (QAM).....	23
II.1.1.	Modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying)	24
II.2.	Intervalle de garde.....	24
-	Il existe trois types d'intervalle de garde	25
-	Les deux types d'intervalles de garde qui sont couramment utilisés sont : ZP, CP [14].	25
	Préfixe cyclique.....	26
II.3.	Implémentation numérique.....	26
II.3.1.	Implémentation numérique de la séquence de modulation.....	26
II.3.2.	Implémentation numérique du démodulateur	27
II.4.	Avantages de l'OFDM	28
II.5.	Inconvénients de l'OFDM	28
	Conclusion	29

Chapitre 3

30

III.1.	Introduction	30
III.2.	Historique de l'OFDM.....	30
III.3.	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	30
III.3.1.	Principe	30
III.3.2.	Description mathématique	32
III.3.3.	Porteuses orthogonales	32
	La condition précédente est vérifiée :	33
III.4.1.	Les différents types de technique OFDM C-OFDM (Coded - OFDM).....	35
	MIMO-OFDM (Multiple Inputs, Multiple Outputs-OFDM)	35
V-	OFDM (Vector -OFDM).....	35
	W-OFDM (Wide band OFDM).....	35
	Flash-OFDM.....	35
III.4.2.	Les systèmes utilisent OFDM	36
III.5.1.	Avantages OFDM	37
III.6.	Conclusion	39

Chapitre 4

40

	Présentation du logiciel de travail :	37
	Transmission :	38
	Constellation :	38
	Interprétation :	40
	Réception sans bruit du canal :	40
	Démodulation OFDM :	41
	Constellation à la réception :	41
	Identification de la constellation :	42
	L'effet d'un parasite :	43
	Influence du bruit sur le signal transmis :	43
	Le rapport des bits erronés BER (Bit Error Rate en anglais)	44
	Conclusion :	46

REMERCIEMENTS

Nous sommes heureux de vous présenter ce modeste travail qui a abouti grâce à tous ceux qui nous ont aidés par leur appui, leur soutien moral et matériel.

Tout d'abord, On voudrait remercier le Pr YAGOUBI BENABDELLAH pour avoir consacré une partie de son temps à nous encadrer, par ses conseils, sa patience et son aide précieuse.

Et messieurs les membres du jury, Mr DAOUD MOHAMED : président du jury et Mr BENOUALI MOHAMED : Examineur et Mr YAGOUBI BENABDELLAH : encadreur pour leur évaluation constructive.

Nous profitons de cette dernière occasion pour exprimer notre gratitude à tout le corps enseignant et tous les membres de notre université, côtoyés au court de ces années.

On remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier l'effet du bruit Gaussien additif du canal de transmission sur le signal OFDM reçu. Ce travail consiste à implémenter le système OFDM sous SCILAB qui est un logiciel libre. Les simulations ainsi effectuées ont permis de montrer l'avantage du système OFDM par rapport à d'autres systèmes de modulation. L'étude de simulation sur le BER montre que celui-ci ne reste nul même en présence d'un bruit du canal mais de faible puissance. Cependant, si la puissance du bruit augmente, le BER augmente indiquant la présence de bits erronés. Cette étude permet, donc, de prévoir la qualité de la transmission OFDM en fonction de la puissance du bruit du canal.

Abstract

The aim of this work is to study the effect of the transmission channel additive Gaussian noise on the received OFDM signal. This work consists in implementing the OFDM system under the free software SCILAB. The simulations performed have shown the advantage of the OFDM system over other systems of modulation. The simulation study shows that the BER remains null even in the presence of a noise in the channel but with a weak power. However, if the noise power increases then the BER increases indicating the presence of bits errors. This study, thus, allows predicting the quality of the OFDM transmission with respect of the channel noise.

خُلَاصَة

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الضوضاء الغوسية المضافة لقناة الإرسال على إشارة (د م) المستقبلية يتكون هذا العمل من تطبيق نظام (مضاعفة قسم التردد المتعامد) تحت سيلاب وهو برنامج مجاني أظهرت عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها على هذا النحو ميزة نظام (مضاعفة قسم التردد المتعامد) على أنظمة التعديل الأخرى باستطاعة منخفضة. تبين دراسة محاكاة معدل الخطأ في البتات (ب ه ص) أن معدل الخطأ في البتات يظل صفراً حتى في وجود ضوضاء القناة ولكن ومع ذلك، إذا زادت قدرة الضوضاء، فإن معدل الخطأ في البتات يزداد مشيراً إلى وجود بتات خاطئة ولذلك، فإن هذه الدراسة تجعل من الممكن التنبؤ بجودة إرسال (د م) كدالة لقوة ضوضاء القناة

0-1LISTE D'ABREVIATIONS

OFDM	Orthogonal Fréquence- Division Multiplexant
RSB	Rapport Signal sur Bruit
WPAN	Wireless Personale Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WIFI	Wireless Fidélité
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WWAN	Wireless Wide Area Network
GSM	Global System for Mobile communications
GPRS	General Paquet Radio Service
UMTS	Universel Mobile Télécommunication System
<i>QAM</i>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
WMAN	Wireless Métropolitain Area Network
AWGN	Additive White Gaussien Noise
<i>ADSL</i>	<i>Asynchrone Digital Subsidier Line</i>
<i>PAM</i>	<i>Pulse Amplitude Modulation</i>
<i>DAB</i>	<i>Digital Audio Broad casting</i>

0-2LISTE DES FIGURES

1-1	FIGURE 1 : L'ARCHITECTURE DES SYSTEMES DE TELECOMMUNICATION	4
1-5	FIGURE 2 : ARCHITECTURE DE RESEAUX SANS FIL	7
1-6	FIGURE 3 : CLASSIFICATION DES RESEAUX SANS FIL	9
1-7	FIGURE 4 : RESEAU AD HOC	12
1-8	FIGURE 5: PROPAGATION PAR MULTI-TRAJETS	13
1-9	FIGURE 6 :CANAL DE RAYLEIGH	14
1-10	FIGURE 7 :CANAL DE RICE	14
1-11	FIGURE 8 :LES VARIATIONS DE LA PUISSANCE REÇUE EN FONCTION DE LA DISTANCE PARCOURUE	15
2-3	FIGURE 9 : SCHEMA DE LA MODULATION OFDM	19
2-4	FIGURE 10 : SCHEMA DU PRINCIPE DU DEMODULATEUR OFDM	20
2-5	FIGURE 11 : SPECTRE EN SORTIE DU MODULATEUR OFDM	22
2-6	FIGURE 12 :MODULATION QAM	23
2-7	FIGURE 13 : MODULATION DE PHASE QPSK	24
2-8	FIGURE 14 : INTERVALLE DE GARDE	24
2-9	FIGURE 15 : LES DIFFERENTS INTERVALLES DE GARDE	25
2-12	FIGURE 16 : LA MODULATION OFDM NUMERIQUE	27
2-14	FIGURE 17 : SCHEMA DE LA DEMODULATION OFDM NUMERIQUE	28
3-1	FIGURE 18 : SCHEMA BLOC D'UN SYSTEME OFDM	31
3-2	FIGURE 19 : DIFFERENCE ENTRE LA TECHNIQUE FDM ET OFDM	31
3-6	FIGURE 20 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UN DEMODULATEUR OFDM	34
3-8	FIGURE 21 : SPECTRE DU SIGNAL EN SORTIE DU MODULATEUR OFDM, DECOMPOSE SUR CHAQUE PORTEUSE	35
4-1	FIGURE 22 : SIGNAL NUMERIQUE A TRANSMETTRE	37
4-2	FIGURE (23) : SIGNAL 16QAM CORRESPONDANT AU SIGNAL NUMERIQUE DE LA FIGURE (22)	38
4-3	FIGURE 24 : DIAGRAMME DE CONSTELLATION	39
4-4	FIGURE 25 : SIGNAL MODULE EN OFDM TRANSMISSION IFFT	39
4-5	FIGURE 26 : RECEPTION DU SIGNAL MODULE EN OFDM	40
4-6	FIGURE 27 : SIGNAL QAM REÇU	41
4-7	FIGURE 28 : DIAGRAMME DE CONSTELLATION	42
4-8	FIGURE29 : AFFECTATION DU DIAGRAMME DE CONSTELLATION	42
4-9	FIGURE 30 : EFFET D'UN PARASITE	43

4-10	FIGURE 31 : EFFET DU BRUIT BLANC GAUSSIEN SUR LE SIGNAL OFDM TRANSMIS	44
4-11	FIGURE 32 : INFLUENCE DU BRUIT SUR LA CONSTELLATION	45

INTRODUCTION

GENERALE

La communication évolue jour après jour, année après année, toujours des nouveautés dans différents systèmes surtout les sans fil qui sont de plus en plus dans la nécessité d'utilisation de plus grande vitesse de transmission de données ; plusieurs méthodes et techniques ont vu le jour pour remédier à ce problème. Afin d'arriver à des performances élevées dans l'environnement à trajets multiples, les réseaux sans fils s'appuient sur la modulation multi-porteuse OFDM (Orthogonal Fréquence Division Multiplexant) en combinaison avec des techniques de modulation.

L'OFDM utilise un ensemble orthogonal de sous-porteuses, il est de loin le cas le plus populaire des systèmes multi porteuses qui a été proposé dans le but de partager les différents sous-ensembles de ces sous-porteuses avec une orthogonalité qui permet une utilisation optimale des ressources spectrales.

Ce mémoire comporte les chapitres suivants :

- **Le 1^{er} chapitre** présentation complète sur le canal de transmission et le réseau sans fil,
- **Le 2^{ème} chapitre** est consacré à la notion de modulation omni et multi porteuse, ainsi qu'une étude des différentes techniques pour OFDM,
- **Le 3^{ème} chapitre** concerne l'historique de l'OFDM, ainsi que sa description générale avec ses avantages et ses inconvénients, et présentation des caractéristiques de propagation,
- **Le 4^{ème} chapitre** une simulation sur SCILAB de transmission OFDM ainsi que l'effet du bruit avec ces résultats.

Aux termes de ces études, une conclusion générale est donnée.

CHAPITRE 1

présentation complète sur le canal de transmission et le réseau sans fil,



CHAPITRE 2

consacré à la notion de modulation omni et multi porteuse, ainsi qu'une étude des différentes techniques pour OFDM,



CHAPITRE 3

concerne l'historique de l'OFDM, ainsi que sa description générale avec ses avantages et ses inconvénients, et présentation des caractéristiques de propagation



CHAPITRE 4

une simulation sur scilab de transmission ofdm ainsi que l'effet du bruit avec ces résultats.

Chapitre 1

LES RESEAUX SANS FIL

I.1. INTRODUCTION

Dans la télécommunication, les signaux transportant une information doivent passer par un moyen de transmission d'un point à un point.

Actuellement, il paraît évident d'avoir à partir de son smartphone, une conférence vidéo avec un correspondant à une grande distance, d'acheter un article en ligne tout en étant chez soi à la maison. Mais il est important de savoir que les systèmes de télécommunication que nous apprécions tant n'ont pas toujours permis de tels avantages.

Un regard depuis les premiers dispositifs de communication jusqu'à la naissance du téléphone mobile, nous montre l'évolution surprenante qu'a connue les sciences et technologies de communications et ces dernières années ont été marquées par la montée en puissance d'une véritable révolution des réseaux informatique.

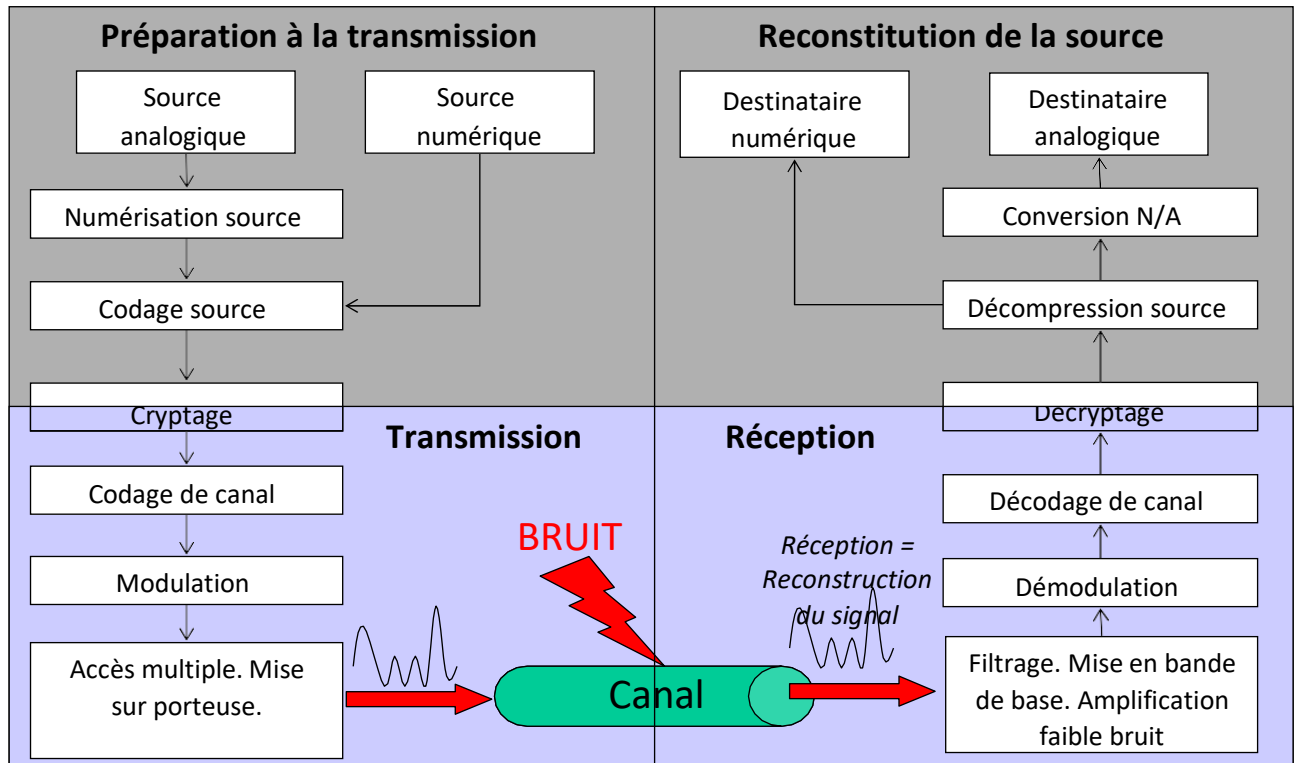
I.2. ARCHITECTURE GÉNÉRALE D'UN CANAL DE TRANSMISSION

Les systèmes de télécommunication numérique sont basés sur l'architecture présentée à la figure ci-dessous (**figure 1**). La source primaire d'information peut être soit de type analogique qu'on numérise ensuite (exemple la voix pour un téléphone mobile) soit directement de type numérique. L'information analogique est ensuite échantillonnée et numérisée à travers un étage de conversion analogique numérique. La taille du message binaire original ainsi produit est en général très importante et contient en outre un grand nombre de redondance. Il subit alors un codage de source, qui a pour but de le mettre dans un format standard d'échange et de réduire sa taille (compression).

Le codage source peut aussi comporter une étape de cryptage dans le cas où l'on souhaite sécuriser le transfert des données et leur archivage. Les Systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, La fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soient d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. Le principe du système de transmission est alors d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

Une chaîne de transmission comprend trois éléments essentiels :

1. Une source.
2. Un canal de transmission
3. Un destinataire [1].



1-1 Figure 1 : l'architecture des systèmes de télécommunication

I.3. CANAL DE TRANSMISSION

Le canal de transmission est un média de communication d'information. Il relie la source au destinataire et permet l'envoi du message. On peut dire aussi canal de propagation et par d'autre définition, la communication est l'ensemble des phénomènes qui peuvent intervenir lorsqu'une personne transmet une information à plusieurs autres personnes à l'aide du langage articulé ou d'autres codes (ton de la voix, gestuelle, regard, respiration...) il peut être présenté sous la forme d'un ensemble de phénomènes contribuant à la dégradation de la qualité du signal lors de son transport entre l'émetteur et le récepteur. L'effet de ces phénomènes peut, plus ou moins, s'accroître en fonction de la nature de l'environnement dans lequel sont placés l'émetteur et le récepteur ainsi que des positions respectives [2].

I .4. CARACTERISTIQUE D'UNE TRANSMISSION

I .4.1. SIGNAL A BRUIT

Toute transmission implique la superposition au signal transmis de perturbations non désirées, appelées « Bruit » ou parasites.

Le rapport signal à bruit est le quotient sans dimension de la puissance du signal P_S sur celle du bruit P_B :

$$R_{SB} = \frac{P_S}{P_B}$$

1-2

PS: puissance du signal (W)

PB : puissance du bruit (W)

$$R_{SB} = 10\log\left(\frac{P_S}{P_B}\right)$$

1-3

On peut exprimer ce rapport en décibel :

RSB : Rapport signal à bruit (dB)

I.4.2. ATTENUATION

$$A = -10\log\left(\frac{P_S}{P_e}\right)$$

1-4

L'atténuation en décibel est définie par :

A : Atténuation du signal (dB)

I.4.3. DEBIT BINAIRE

Le débit binaire est une mesure de la quantité d'information par unité de temps. Il s'exprime en bits par seconde ou un de ses multiples en utilisant les Système internationaux : kb/s, Mb/s [3].

I.5. DEFFIRENTS DE CANEAUX

Une transmission d'information se fait toujours à distance, un support physique assure le lien entre la source et le destinataire. Nous allons présenter les principaux supports couramment utilisés comme média de transmission

I.5.1. TRANSMISSION GUIDEE

- TRANSMISSION GUIDEE DANS UN CABLE

Les premiers systèmes de communication moderne, comme le télégraphe et le téléphone, reposent sur la propagation d'un signal électrique guidé le long d'un conducteur électrique.

On utilise pour cela un matériau conducteur entouré d'un isolant. Un câble est un guide dans lequel un signal électrique peut se propager.

- TRANSMISSION GUIDEE DANS UNE FIBRE OPTIQUE

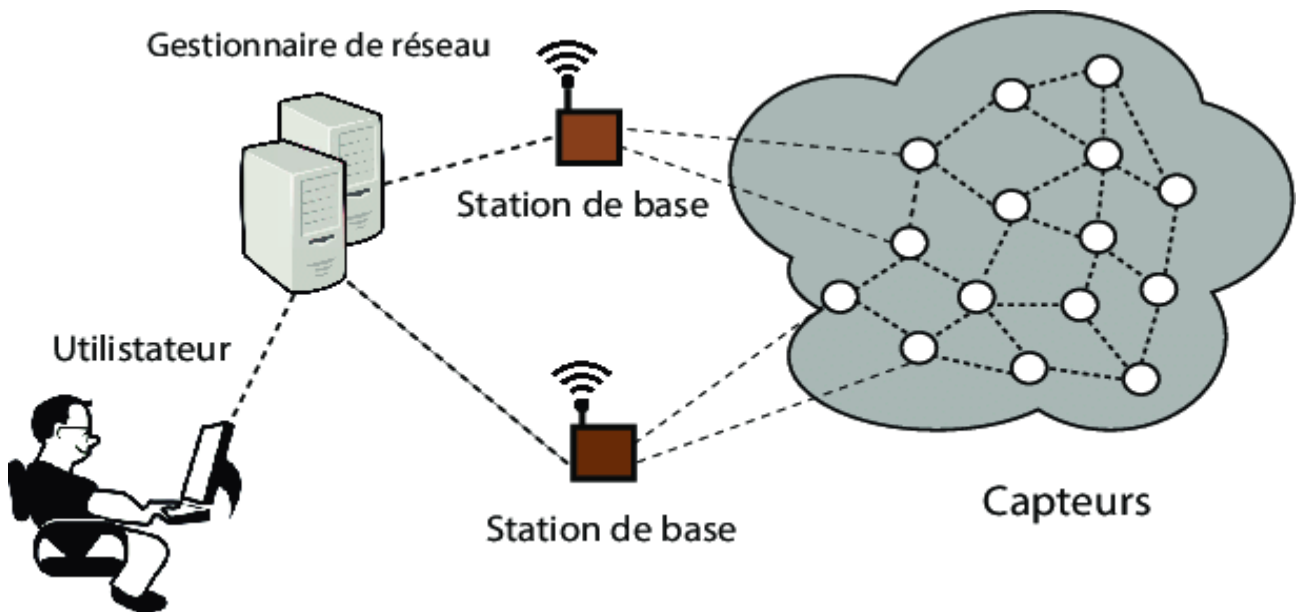
Une fibre optique se compose d'un cœur et d'une gaine d'indice optique plus faible. La lumière peut ainsi être piégée par réflexions totales successives à l'intérieur du cœur de la fibre. Une fibre optique est un guide dans lequel un signal lumineux (laser) peut se propager.

I.5.2. TRANSMISSION LIBRE DANS L'AIR

Une information peut également être transmise dans l'air en utilisant une onde électromagnétique de fréquence élevée comme support. L'onde est alors modulée. La modulation consiste à modifier une ou plusieurs caractéristiques de l'onde afin d'y incorporer le signal.

I.6. DEFINITION DES RESEAUX SANS FIL

Un réseau informatique numérique qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radio. Il peut être associé à un réseau de télécommunication pour réaliser des interconnexions à distance entre nœuds dans lequel 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 [4].



1-5 Figure 2 : architecture de réseaux sans fil

I.7. LES CATEGORIES DE RESEAUX SANS FIL

On distingue quatre catégories :

- **LES RESEAUX PERSONNELS SANS FIL (WPAN : WIRELESS PERSONALE AREA NETWORK):**

Faible portée : l'ordre de quelques dizaines mètres autour de l'utilisateur ce type de réseau sert généralement à relier les périphériques ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fils entre deux machines et il n'a pas de station relais.

La principale technologie **WPAN** est la technologie Bluetooth, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmand en énergie, ce qui le rend particulièrement adapté à une utilisation au sein de petits périphériques. La version 1.2 réduit notamment les interférences avec les réseaux Wi-Fi

- **RESEAUX LOCAUX SANS FIL (WLAN : WIRELESS LOCAL AREA NETWORK) :**

Le réseau local sans fils (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. Il permet de relier entre eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes. Le Wifi (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres.

□□IEEE 802.16.

□□Débit = 1 10 Mbps.

□□Portée de 4 à 10 kilomètres.

- **LES RESEAUX METROPOLITAINS SANS FIL (WMAN : WIRELESS METROPOLOLITAN AREA NETWORK)**

□□Fournit un accès réseau sans fil à des immeubles connectés par radio à travers une antenne extérieure à Des stations centrales reliées au réseau filaire.

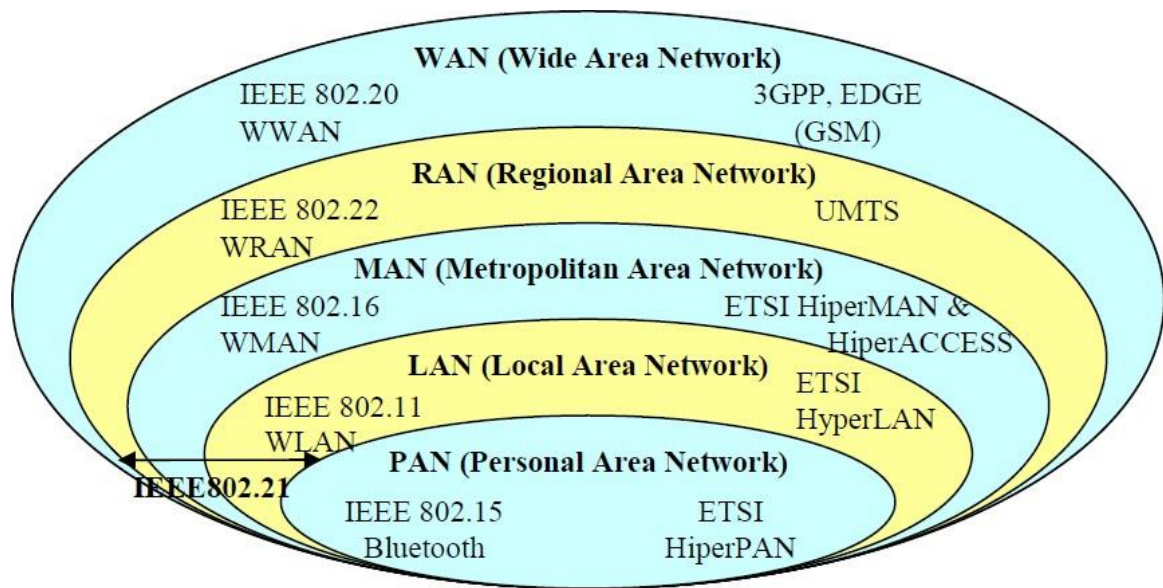
Le réseau sans fil (MAN) appelé aussi «Last Mile Broadband Access Solution» permet des raccordements à des réseaux large bande dans les secteurs qui ne sont pas servis par le câble ou le xDSL (Cross -Digital SUBSCRIBER-Line).

- **LES RESEAUX ETENDUS SANS FIL (WWAN : WIRELESS WIDE AREA NETWORK) :**

GSM (Global System for Mobile communications).

GPRS (General Packet Radio Service).

UMTS (UNIVERSAL Mobile Télécommunication System).



1-6 Figure 3 : Classification des réseaux sans fil

I.8. TECHNIQUES DE TRANSMISSION DANS LES RESEAUX SANS FIL :

Il existe principalement deux méthodes pour la transmission dans les réseaux sans fil :

I.8.1. TRANSMISSION PAR LES ONDES INFRAROUGES:

La transmission par les ondes infrarouges nécessite que les appareils soient en face l'un des autres et aucun obstacle ne sépare l'émetteur du récepteur (Car la transmission est directionnelle). Cette technique est utilisée pour créer des petits réseaux de quelques dizaines de mètres. (Télécommande de : télévision, les jouets, voitures...).

I.8.2. TRANSMISSION PAR LES ONDES RADIOS :

La transmission par les ondes radios est utilisée pour la création des réseaux sans fil (plusieurs kilomètres). Les ondes radios ont l'avantage de ne pas être arrêtés par les obstacles car sont émises d'une manière omnidirectionnelle. Le problème de cette technique est la perturbation extérieure qui peut affecter la communication à cause de l'utilisation de la même fréquence par exemple.

I.9. FONCTIONNEMENT D'UN RESEAU SANS FIL :

Le téléphone sans fil communique avec un correspondant par l'intermédiaire du socle qui fait office de point d'accès vers le réseau téléphonique. De même, chaque ordinateur du réseau sans fil muni d'une carte réseau adéquate peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un point d'accès réseau. Ce dernier peut être physiquement connecté au réseau câblé et fait alors office de point d'accès vers le réseau câblé.

Bien entendu, plus on s'éloigne du point d'accès, plus le débit diminue : pour un débit de 1 Mbps, la portée est de 460 m dans un environnement sans obstacle et de 90 m dans un environnement de bureau classique.

Le réseau sans fil offre deux modes de fonctionnement différents : le mode avec infrastructure et le mode sans infrastructure.

I.9.1. RESEAU AVEC INFRASTRUCTURE

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés station de base sont munis d'une interface sans fil pour la communication directe avec des sites mobiles ou unités mobiles, localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé.

Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées. Dans ce modèle, une unité mobile doit être, à un instant donné, directement connectée à une seule station de base [5].

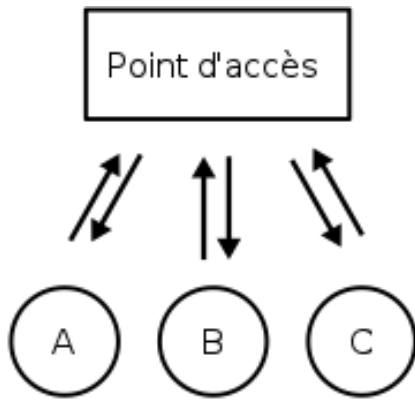
I.9.2. RESEAU SANS INFRASTRUCTURE

Le réseau sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (Independent Basic Service Set) ne comporte pas l'entité site fixe, tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière

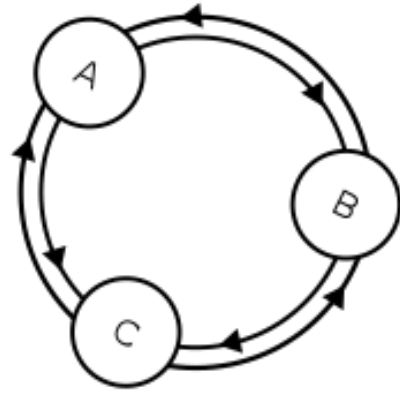
directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil.

L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé de stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et à la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

La différence entre le mode Ad hoc et le mode avec infrastructure est que dans le premier mode, la communication entre deux machines se fait directement si elles se trouvent à la portée l'une de l'autre,



Echanges en mode infrastructure



Echanges en mode ad-hoc

1-7 Figure 4 : Réseau ad hoc

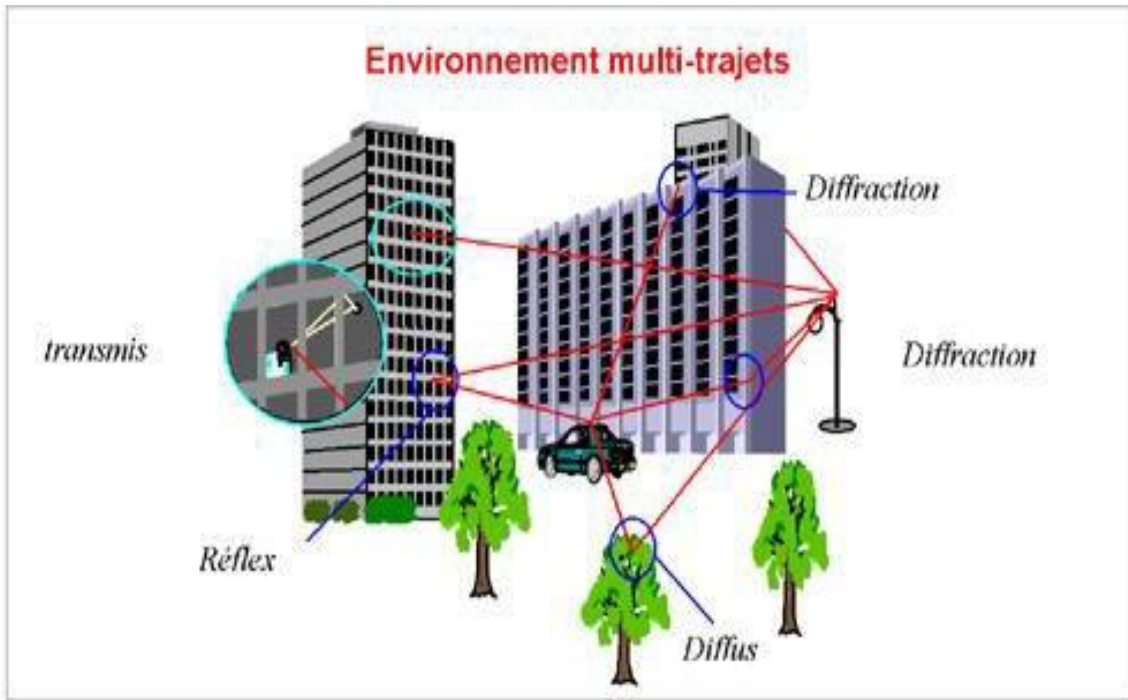
alors que dans le second mode, toutes les communications passent par le point d'accès[6].

I.10. MODELES DES CANAUX DE COMMUNICATIONS SANS FIL

Dans la conception des systèmes de communications, il est nécessaire de construire les modèles mathématiques qui caractérisent le milieu de propagation. Les modèles les plus utilisés dans les communications sans fil sont donnés dans la suite.

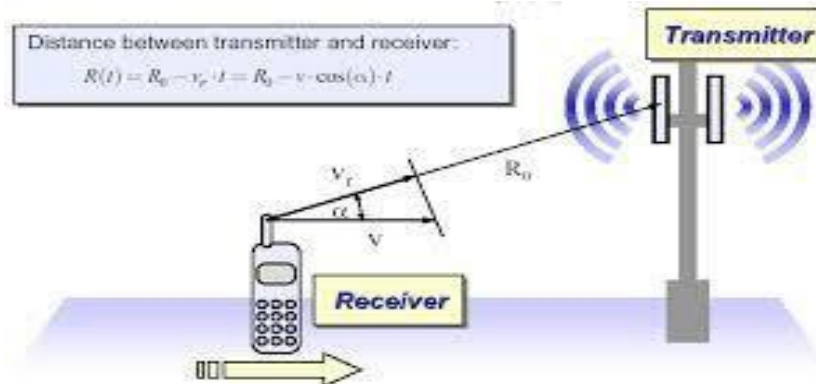
I.10.1 CANAL DE PROPAGATION PAR TRAJETS MULTIPLES

La propagation en espace libre représente un cas idéal. Mais en réalité, le canal de propagation est l'endroit de multi trajets à cause des obstacles qui entourent l'émetteur et le récepteur (Figure 5). Dans ce cas, plusieurs répliques du signal émis arrivent au récepteur à travers plusieurs trajets qui possèdent différents états d'atténuation, de déphasage et des retards (dus à la longueur du trajet)[6].



1-8 Figure 5: Propagation par multi-trajets

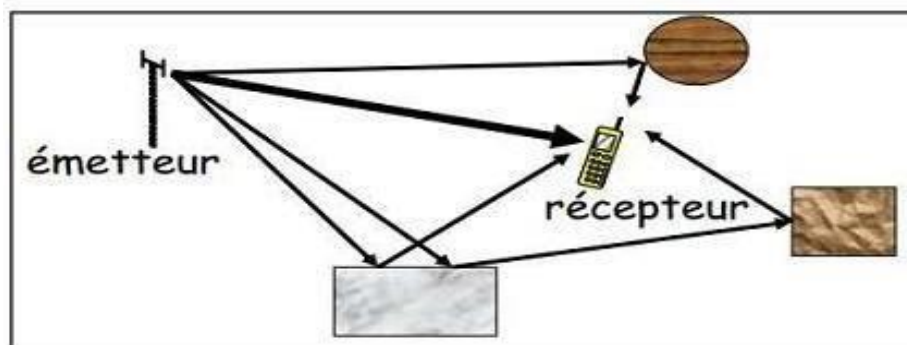
Lors de la propagation multi-trajets, deux situations de propagation sont généralement distinguées [7]. La première est désignée par le terme NLOS (None Line Of Sight) où il n'y a pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, la densité de probabilité de l'amplitude d'évanouissement du signal total reçu la suit la loi de Rayleigh (Figure6).



1-9 Figure 6 : canal de Rayleigh

Alors que, la deuxième situation aura lieu lorsqu'il existe un trajet direct prépondérant (Line Of Sight,

LOS) (Figure 7) et par conséquent l'amplitude d'évanouissement est caractérisée par la distribution d'Erice.



1-10 Figure 7 : canal de Rice

Selon la nature des objets rencontrés durant le parcours des trajets multiples, divers phénomènes électromagnétiques sont dégagés tels que : la réflexion, la diffraction et la diffusion sur des obstacles [8].

I.11. LES VARIATIONS DU CANAL DE PROPAGATION

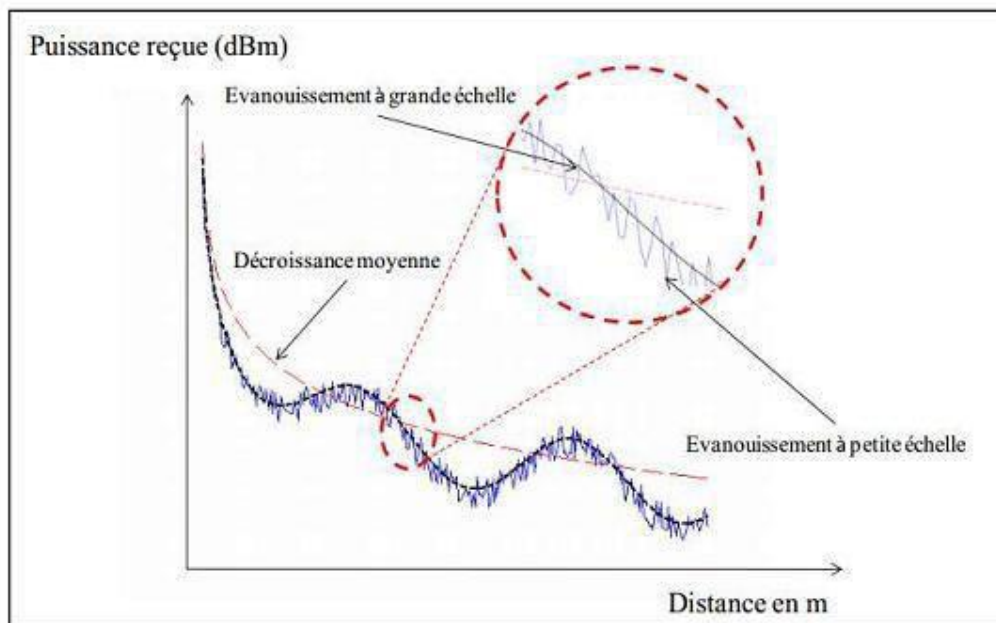
Lors de la propagation de l'émetteur vers le récepteur, les phénomènes électromagnétiques engendrent plusieurs répliques du signal émis (Propagation multi-trajets). A la réception, ces répliques arrivent à

Différents instants avec des atténuations et déphasages donnés. On distingue ainsi trois types de variations de la puissance reçue.

La décroissance moyenne de la puissance reçue est due à l'augmentation de la distance entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception.

L'évanouissement à grande échelle représentant la fluctuation de la puissance moyenne reçue par un déplacement de l'ordre de la dizaine de la longueur d'onde.

L'évanouissement à petite échelle lié aux interférences constructive et destructive entre les différentes répliques du signal émis au niveau de l'antenne réceptrice.



1-11 Figure 8 : les variations de la puissance reçue en fonction de la distance parcourue

1.12. CANAL A BRUIT BLANC ADDITIF GAUSSIEN (AWGN)

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 :

$$y(t) = x(t) + b(t)$$

1-12

CONCLUSION

Les réseaux sans fil en général, et le WIFI en particulier sont des technologies moderne et très utile dans la vie quotidienne et très utilisées dans de divers domaines comme l'industrie, la santé et le domaine militaire. Cette diversification d'utilisation revient aux différents avantages qu'apportent ces technologies, comme la mobilité, la simplicité d'installation (absence de câblage) c'est-à-dire dans un réseau sans fil les stations ne sont plus reliées entre elles physiquement par un câble mais par l'intermédiaire d'un support sans fil

Chapitre 2

MODULATION **MONO-**
PORTEUSE/MULTI
PORTEUSES

II.1. INTRODUCTION

Le signal en télécommunication transporte l'information et l'a fait passer par un moyen de transmission entre un émetteur et un récepteur.

On peut définir la modulation comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission (porteuse)

Il existe deux types de modulation principalement utilisées :

L'amplitude ou AM (Amplitude Modulation)

La fréquence ou FM (Fréquence Modulation)

Une porteuse (généralement sinusoïdale) est une onde modulée par un signal d'entrée dans le but de transporter des informations. Elle a généralement une fréquence beaucoup plus élevée que le signal d'entrée dans le but de :

Transmettre une information à travers l'espace sous forme d'onde électromagnétique (comme pour la radio)

Permettre à plusieurs porteuses de fréquences différentes de partager un même support physique par multiplexage fréquentiel [9].

II.2. MODULATION MONO PORTEUSES

Une porteuse de fréquence radio est utilisée pour transporter les informations. Par conséquent, l'information sous forme de bits symbole est modulée par une seule porteuse [10].

Nous abordons maintenant le problème de la transmission en bande de base d'un message numérique constitué par une suite de symboles S_q émis à raison de $1/T$ symboles par seconde.

Dans le cas d'une transmission mono-porteuse, le signal en sortie de l'émetteur a pour expression :

$$s(t) = \sum_{q=-\infty}^{+\infty} x[q] \cdot h_{TX}(t - qT)$$

2-1

Où T est la durée du symbole et $H_{TX}(\tau)$ est la forme d'onde à l'émission (en général un filtre demi-Naquis). Le signal émis est alors transmis dans un canal de propagation.

II.3. MODULATION MULTI-PORTEUSES

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. Le gain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonales les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de Fourier rapide.

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 de télévision numérique terrestre, DVB- T de communications numériques hauts débits, MTC, ADSL. Suivant les applications, cette technique se nomme OFDM.

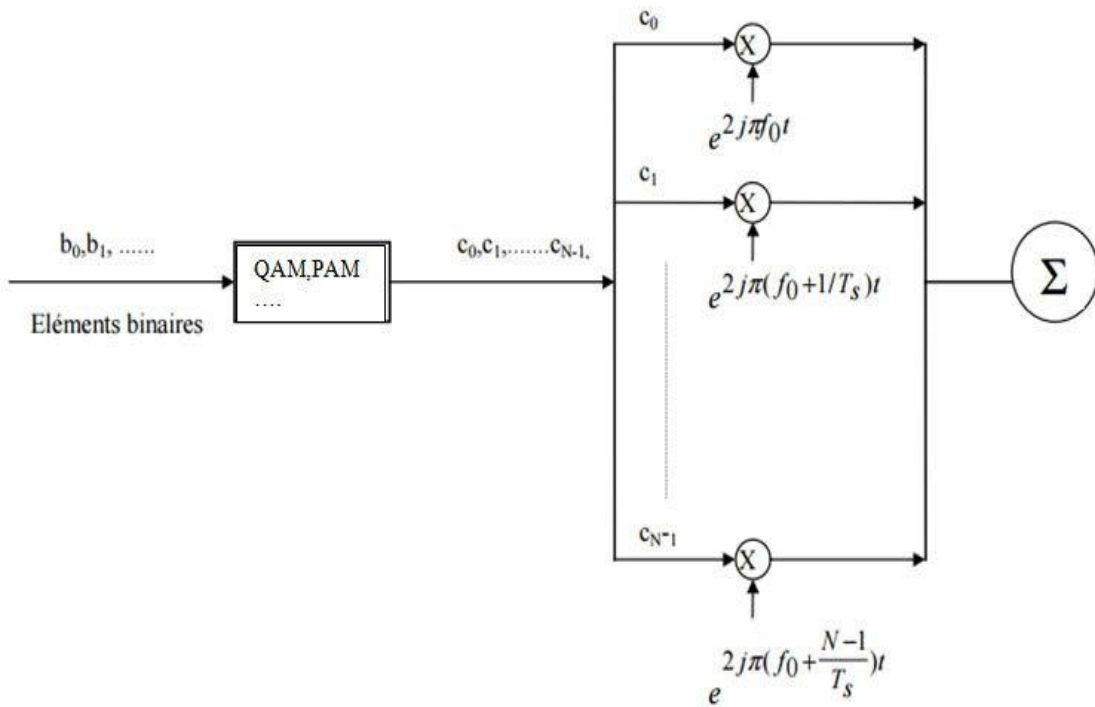
Le principe est de transmettre des données numériques en parallèle modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit. Dans un système conventionnel de transmission de données en série, les symboles sont transmis séquentiellement (le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante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

II.4. PRINCIPE DE LA DE MODULATION

Pour la préparation des données à transmettre sur les N porteuses, Les symboles doivent être regroupés par des paquets de N . Les symboles sont des nombre complexes offrent les constellations souvent de type QAM ou PSK. Le signal est modulé par le K ème train de symboles parmi les N trains. Et C_k la forme complexe de signal porteur modulé du train K . Le rassemblement des symboles OFDM nous donne le signal total $s(t)$.

$$s(t) = \sum_{K=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi f_k t}$$

2-2



2-3FIGURE 9 : Schéma de la modulation OFDM

II.5. LA DEMODULATION NUMERIQUE

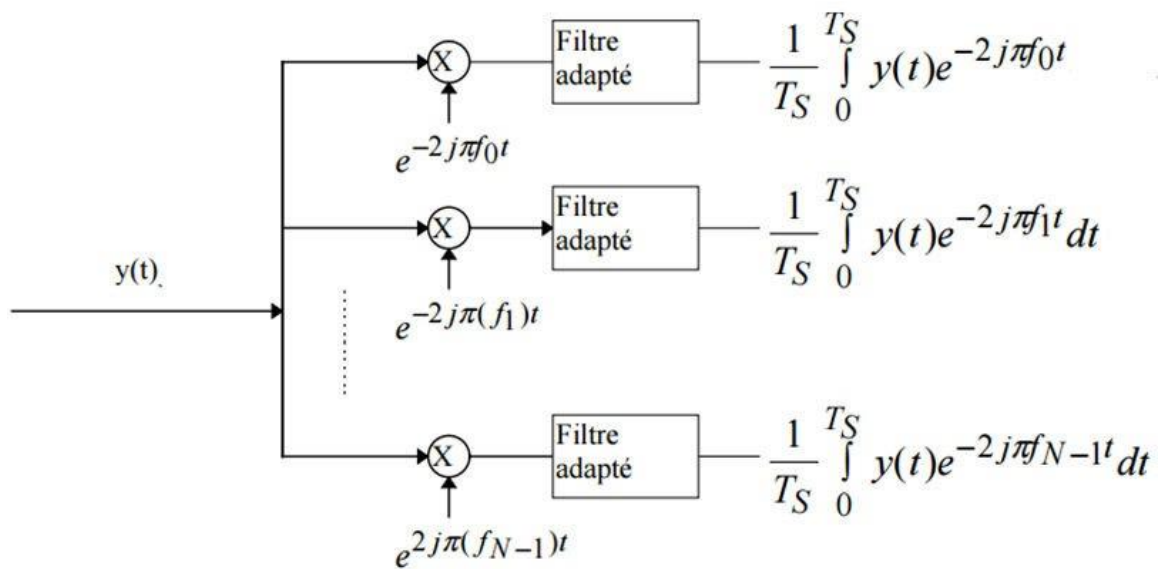
La démodulation permet de récupérer l'information envoyée par l'émetteur. C'est la fonction de base du récepteur. Son implantation dépend évidemment de la modulation utilisée [11].

II.6. PRINCIPE DE LA DEMODULATION

$$y(t) = \sum_{K=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{j2\pi f_k t}$$

2-4

Le signal parvenu au récepteur s'écrit sur une durée symbole T_s :

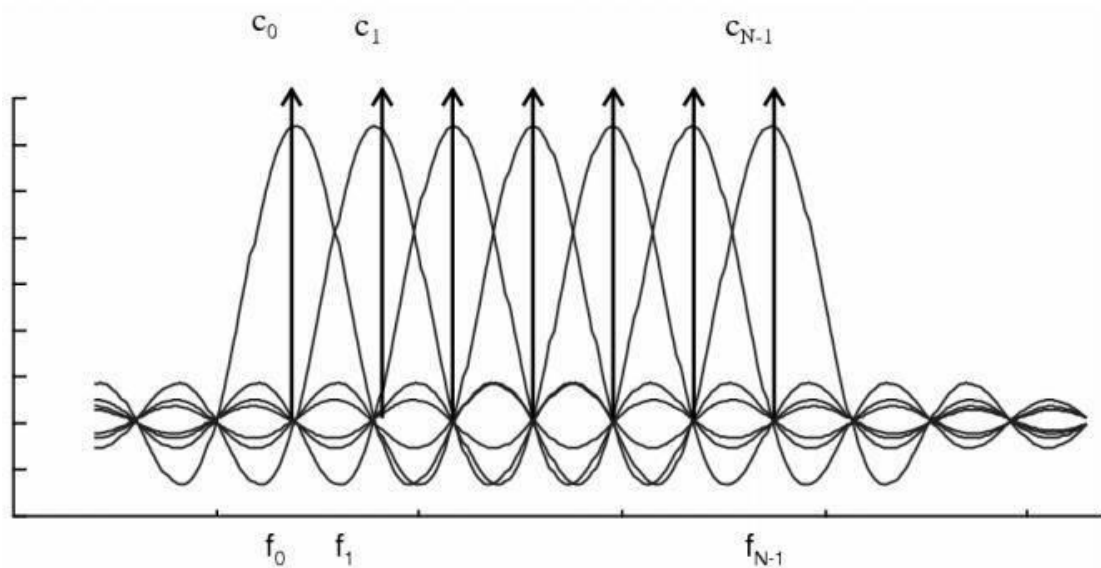


2-5 FIGURE 10 : Schéma du principe du démodulateur OFDM

$H_K(t)$ est la fonction de transfert du canal qui varie lentement. La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous porteuses

II.7. L'ORTHOGONALITE

La technique de modulation OFDM autorise un fort recouvrement spectral entre les sous porteuses. Cependant, les porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité dans les domaines temporel et fréquentiel au même temps pour un bon fonctionnement. L'orthogonalité se réalise si l'espace entre deux fréquence adjacentes $F_N=1/T_N$ (figure II.5). En effet chaque symbole moduler par une porteuse pendant une fenêtre rectangulaire de durée temporelle, sinus cardinal représente son spectre en fréquence [12].



2-6Figure 11 : Spectre en sortie du modulateur OFDM

Ainsi, il n'existe pas des interférences avec les autres sous porteuse, c'est ce qui permet le recouvrement de spectre des différentes porteuses et une occupation optimale du spectre. En doit choisir le nombre de sous porteuse N a fin qui remplir les deux conditions primordiales $TS \gg Tm$ afin de pouvoir considérer le canal plat, et $TS \ll 1/Bd$.

II.8. MODULATION QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

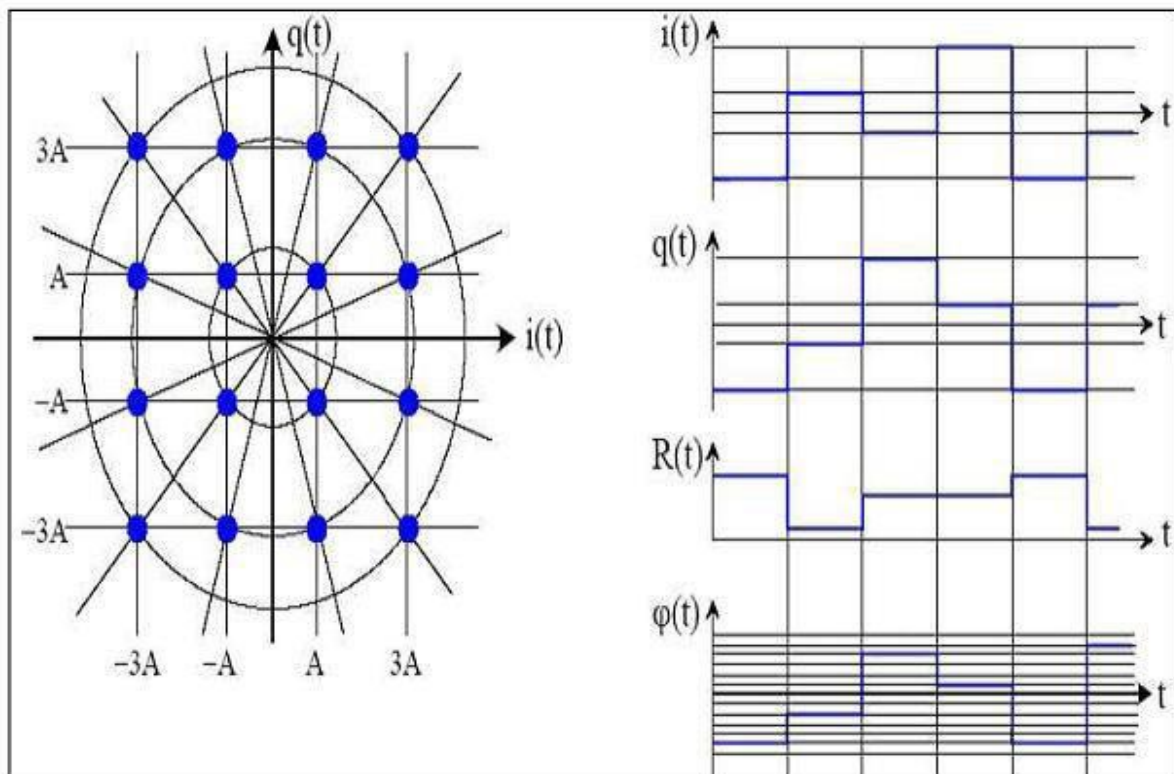
La QAM ou Modulation d'amplitude en quadrature résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses sinusoïdales déphasées l'une de l'autre de 90° (d'où le nom de quadrature). Elle peut aussi être vue comme une modulation de phase et d'amplitude. Elle permet des débits élevés avec une rapidité de modulation relativement faible. La QAM16 utilise 4 bits par symbole [13].

Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons uniquement à la modulation à 16 états (16QAM). Les autres (32 QAM, 256 QAM...) peuvent être déduites facilement de cet exemple.

:

II.8.1. PRINCIPE

La figure montre le diagramme de constellation et les signaux temporels $i(t)$, $q(t)$, $R(t)$ et $\phi(t)$



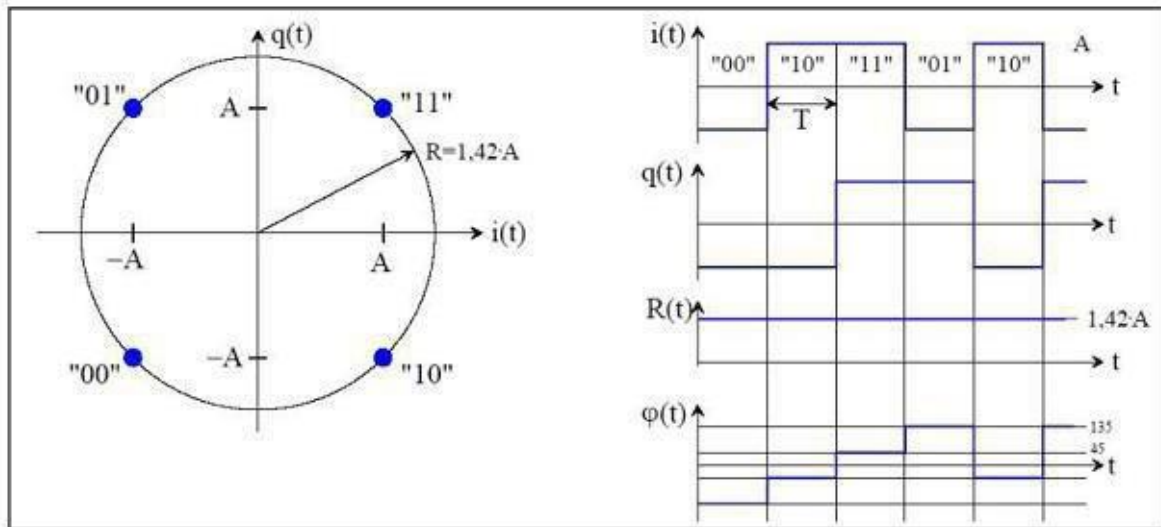
2-7 Figure 12 : Modulation QAM

Si on veut une modulation 32QAM, il faut doubler le nombre d'états (pour gagner un bit par rapport à 16 QAM). La sensibilité au bruit devient beaucoup plus forte.

II.8.2. AVANTAGES ET INCONVENIENTS (QAM)

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

II.1.1. MODULATION QPSK (QUATERNARY PHASE SHIFT KEYING)



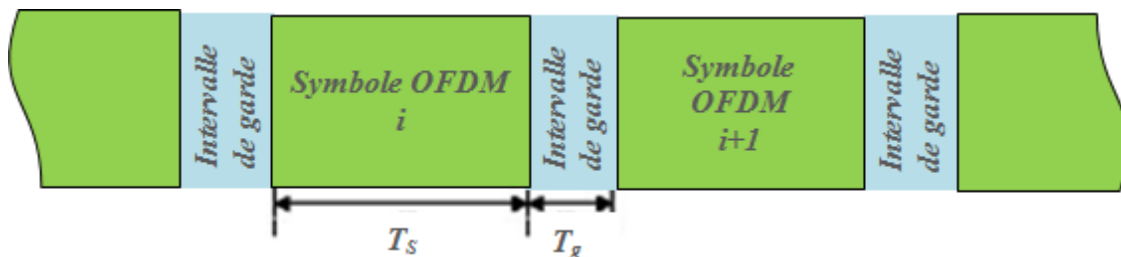
2-8Figure 13 : Modulation de phase QPSK

La modulation QPSK code deux bits par symbole. La figure suivante montre le diagramme de constellation et les signaux temporels $i(t)$, $q(t)$, $R(t)$ et $\phi(t)$. Le signal modulé $X_M(t)$ est trop difficile à dessiner

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

II.2. INTERVALLE DE GARDE

Les symboles subissent des échos et un symbole émis parvient au récepteur sous forme de plusieurs symboles atténués et retardés. Un symbole émis lors d'une période OTS peut se superposer à un écho provenant du symbole émis à la période $(i-1)TS$, il se produit alors des interférences. Pour éviter ces interférences, on ajoute un intervalle de garde d'une durée T_g . Chaque symbole est précédé par une extension périodique du signal lui-même, la durée du symbole totale transmis est alors $T=TS+TG$. Pour que les interférences soient éliminées.



2-9Figure 14 : Intervalle de garde

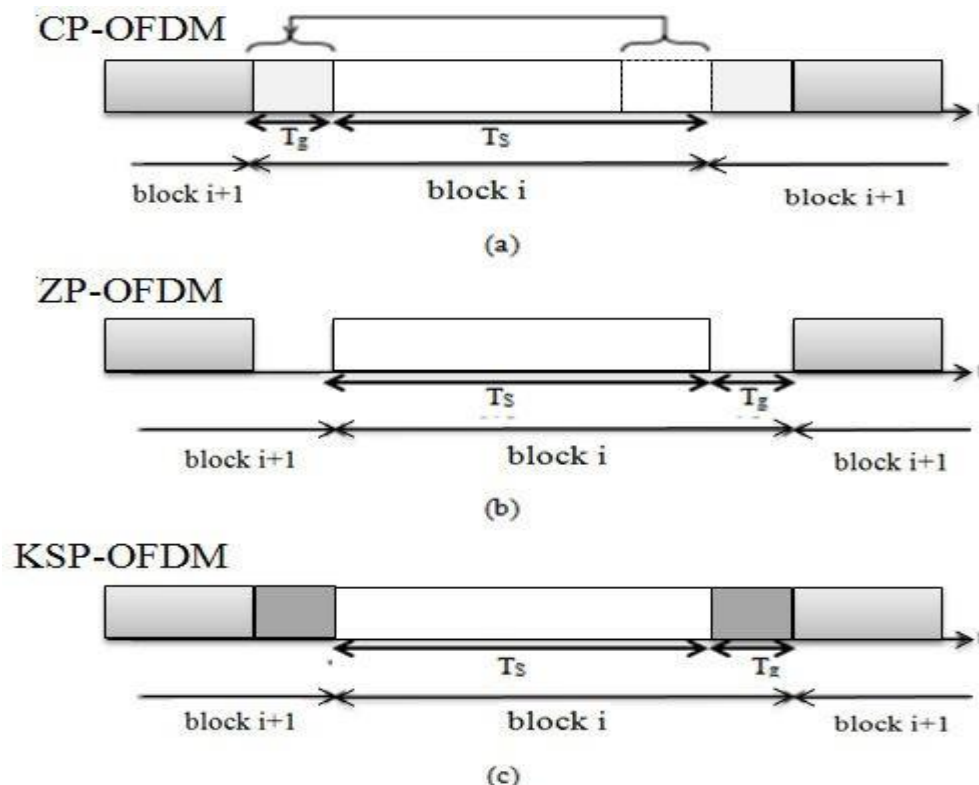
- **IL EXISTE TROIS TYPES D'INTERVALLE DE GARDE**

CP : Est une technique qui consiste à insérer une copie d'un bloc d'information à transmettre en amont de la trame. Plus clairement, il s'agit de récupérer une partie des informations à transmettre et d'insérer ces informations en début de trame appeler **PREFIXE CYCLIC (CP-OFDM)**.

ZP : Insérer des zéros au lieu d'intervalle de garde et aucun signal est transmis pendant l'intervalle de garde, appeler **zéro-remplissage (ZPOFDM)**.

KSP : Où l'intervalle de garde est constitué de symboles pilotes, cette technique d'intervalle de garde peut être utile pour résoudre l'ambiguïté de synchronisation temporelle qui se produit avec d'autres techniques d'intervalle de garde.

- **LES DEUX TYPES D'INTERVALLES DE GARDE QUI SONT COURAMMENT UTILISES SONT : ZP, CP [14].**



2-10 Figure 15 : Les différents intervalles de garde

PREFIXE CYCLIQUE

Soit un signal $s = [s_0 \ s_1 \ \dots \ s_{N_p-1}]$ une section du signal

$ST(n)$ transmis et soit $h = [h_0 \ h_1 \ \dots \ h_{p-1}]$

La réponse impulsionnelle (coefficients) du canal supposé LIT.

La méthode du Préfixe cyclique qui est appliquée en OFDM pour éviter les interférences inter-symboles, consiste à insérer les $P-1$ derniers termes $SD = [s_{N_p-p+1} \ s_{N_p-p+2} \ \dots \ s_{N_p-1}]$ du signal s (symbole OFDM) au début du même symbole OFDM s , soit

$$SC = [s_{N_p-p+1} \ s_{N_p-p+2} \ \dots \ s_{N_p-1} \ s_0 \ s_1 \ \dots \ s_{N_p-1}] = [SD \ s]$$

Cette insertion de $P-1$ derniers termes revient à mettre la matrice circulante SC de s au milieu de la matrice $S1$ de la convolution linéaire ; la matrice circulante est à partir de la 1^{ème} ligne jusqu'à la (N_p+P-1) 1^{ème} ligne. Autrement dit pour avoir le résultat de cette convolution circulaire, il suffit de supprimer les $P-1$ premiers termes et les $P-1$ derniers termes du résultat final de la convolution linéaire qui est une réaction naturelle du canal (LIT) de transmission.

II.3. IMPLEMENTATION NUMERIQUE

Dans les communications à haut débit, les débits sont limités par des contraintes physiques : Le bruit dû aux imperfections des systèmes et la nature physique des composants affectent la transmission du signal émis. On réduit dans ce cas les erreurs de transmission en numérisant les informations. De plus l'implémentation numérique offre aussi l'opportunité d'ajouter des codes correcteurs d'erreurs afin de protéger le signal des perturbations engendrées par le canal de transmission.

II.3.1. IMPLEMENTATION NUMERIQUE DE LA SEQUENCE DE MODULATION

L'analyse algébrique indique que le signal de sortie $s(t)$ est sous la forme :

$$s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{K=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}}$$

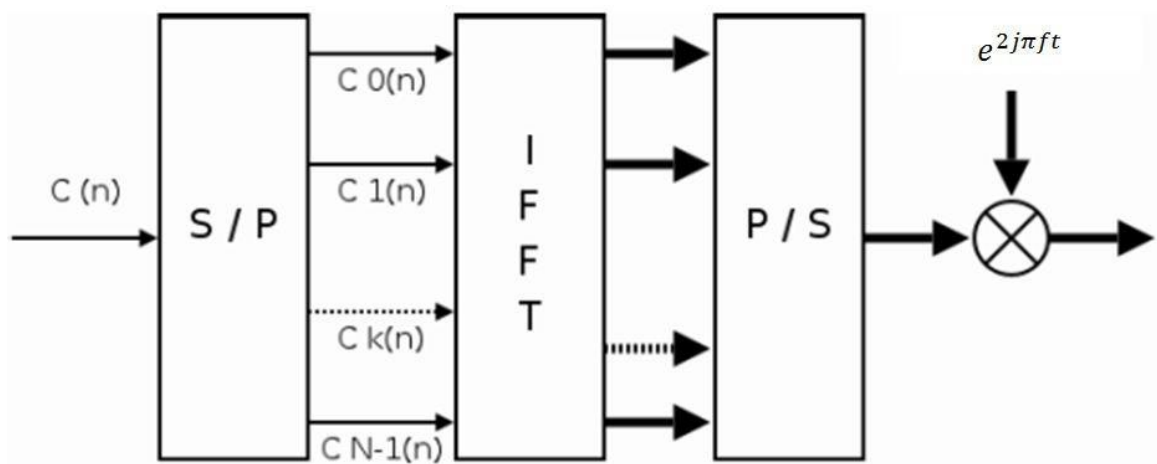
2-11

En discrétisant ce signal et en le ramenant en bande de base pour l'étude numérique on obtient une sortie $s(n)$ sous la forme [15]:

$$S_n = \sum_{K=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}}$$

2-12

Les $s(n)$ sont donc obtenus par une transformée de Fourier inverse discrète des $c(k)$. En choisissant le nombre de porteuses N , le calcul de la transformée de Fourier inverse se simplifie et peut se calculer par une simple IFFT menant au schéma numérique suivant :



2-13 Figure 16 : La modulation OFDM numérique

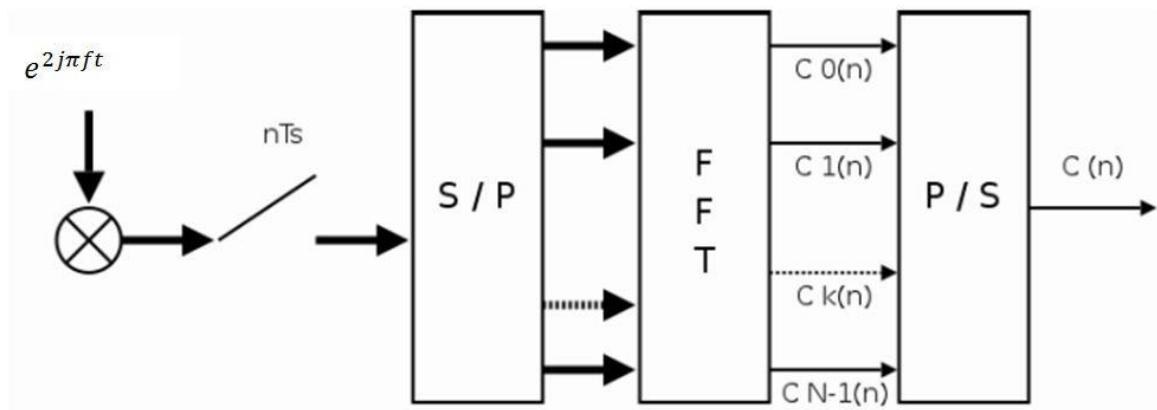
II.3.2. IMPLEMENTATION NUMERIQUE DU DEMODULATEUR

L'analyse théorique définit le signal discrétisé reçu au niveau du démodulateur sous la Forme :

$$z(t_n) = z\left(\frac{nT_s}{N}\right) = z_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}}$$

2-14

Z_n est la transformée de Fourier discrète inverse la démodulation consiste donc à effectuer une transformée de Fourier directe discrète. Le nombre de porteuses ayant été choisi tel que $N = 2n$, on peut réaliser ce calcul à l'aide d'une FFT. On obtient alors le schéma de principe suivant :



2-15 Figure 17 : schéma de la démodulation OFDM numérique

II.4. AVANTAGES DE L'OFDM

- L'efficacité d'utilisation de la bande passante de la fréquence
- Des évanouissements sélectifs (évanouissements sélectifs en fréquence) de forte capacité qui réduisent la complexité de l'égaliseur.

II.5. INCONVENIENTS DE L'OFDM

- La synchronisation de la fréquence porteuse
- Le taux élevé de crête à puissance moyenne

CONCLUSION

Définition sur la modulation on générale avec leurs différent types et plus précisément la modulation multi-porteuse.

Chapitre 3

TRANSMISSION OFDM

III.1. INTRODUCTION

La technique de modulation OFDM (Orthogonal fréquence-division multiplexage) consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses de signal numérique que l'on veut transmettre. L'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en «Orthogonale » les porteuses, ce qui permet d'obtenir un meilleur recouvrement spectral. L'implémentation de la modulation et de la démodulation s'effectue à l'aide de circuits performants basée sur la transformée de Fourier rapide (FFT).

III.2. HISTORIQUE DE L'OFDM

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 Fréquence Division Multiplexage" (OFDM). La mise en œuvre de l'OFDM à l'époque consistait à utiliser des filtres de Naquis [16]. Du fait de la complexité à générer des bancs de filtres de sinusoïdes, 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 (TFDI) 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.

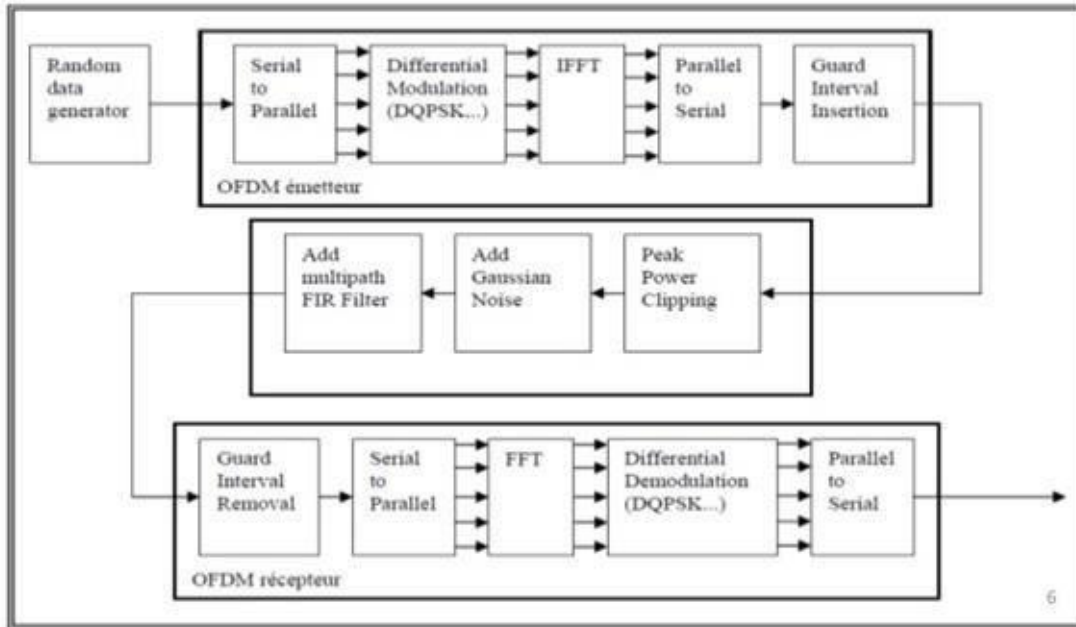
III.3. OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)

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. Ce chapitre montre comment une telle transmission se fait simplement à partir de transformées de Fourier et comment est obtenue l'orthogonalité entre sous-porteuses. Il aborde les avantages, mais aussi les problèmes posés par l'OFDM dans les systèmes radios et les techniques permettant de les compenser.

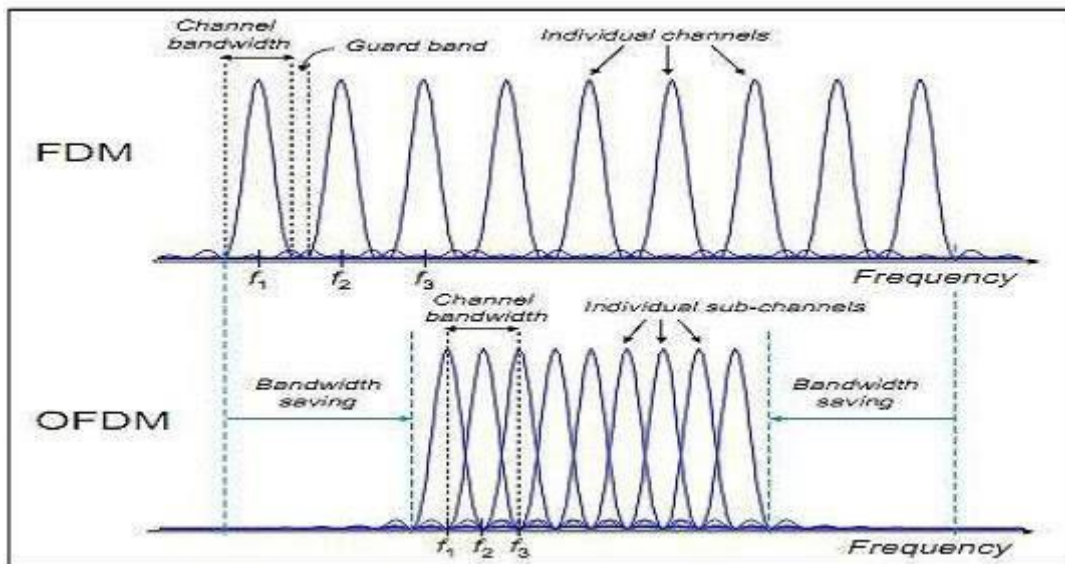
III.3.1. PRINCIPE

Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (des émetteurs, par exemple) indépendants et à des fréquences différentes. Pour que les fréquences des sous-porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences

Donnée, l'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales entre elles. Les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre eux [17].



3-1 Figure 18 : Schéma bloc d'un système OFDM



- Schéma d'un système OFDM complet comportant un émetteur, un récepteur et un

3-2 Figure 19 : Différence entre la technique FDM et OFDM

canal radio à travers lequel se fait la transmission

- OFDM est en fait un cas particulier de la FDM. Pour FDM, il n'y a aucune relation spéciale entre fréquences porteuses, f_1 , f_2 et f_3 .

III.3.2. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE

LE PRINCIPE D'UN MODULATEUR OFDM EN BANDE DE BASE :

après un codage Bit/Symboles des bits à transmettre, les symboles complexes $\{X_i\}_{i=1,2,\dots}$ sont successivement regroupés par blocs de N (conversion série/parallèle), mis en forme sur une durée T (forme d'onde $g(t)$) puis envoyés sur les N porteuses $\{f_n\}_{n=-N/2 \dots N/2 - 1}$ afin de former le signal de sortie. Durant l'intervalle du temps $[iT, (i+1)T]$, le signal OFDM généré s'écrit :

$$S_i(t) = \sum_{N=-N/2}^{N/2-1} X_{i,n} g\left(t - iT - \frac{T}{2}\right) e^{j2\pi f_n t}$$

3-3

Il représente le 2ème symbole OFDM, symbole OFDM, tandis que les $\{X_{i,N}\}_{n=-N/2 \dots N/2-1}$ représentent les N symboles complexes $\{X_i\}$ qu'il transporte. Le signal reçu s'écrit de façon suivante :

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{N=-N/2}^{N/2-1} X_{i,n} g\left(t - iT - \frac{T}{2}\right) e^{j2\pi f_n t} + n_n(t)$$

3-4

III.3.3. PORTEUSES ORTHOGONALES

Nous définissons l'efficacité spectrale comme étant le débit binaire transmis par unité de fréquence. Dans une transmission de type OFDM, le choix de l'écartement entre les porteuses va influencer sur cette efficacité spectrale. Plus l'espace entre porteuses est grand, plus nous avons besoin de bande passante pour transmettre un même débit, plus l'efficacité spectrale diminue. Pour garantir une efficacité spectrale optimale, il faut que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles, tout en garantissant une absence d'interférence entre les

informations qu'elles transportent afin que le récepteur soit capable de les retrouver.

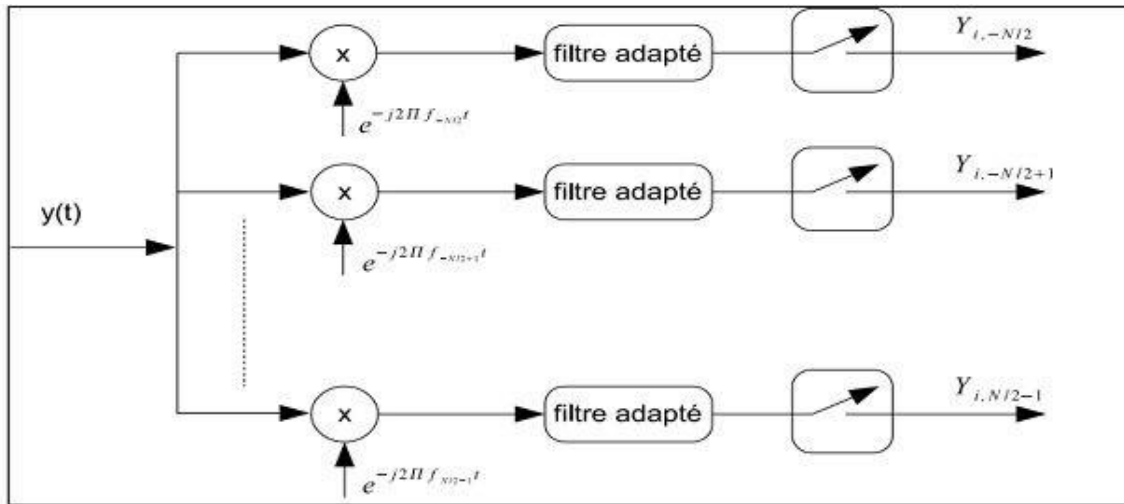
LA CONDITION PRECEDENTE EST VERIFIEE :

- Dans le domaine temporel si les fonctions

$$\psi_{i,n}(t) = g(t - iT - T/2)e^{2J\pi fnt} \quad \text{Sont orthogonales.}$$

3-5

- Dans le domaine fréquentiel si le spectre de chaque porteuse est nul aux fréquences des autres porteuses. Ce spectre dépend de $G(f) = \text{TF}[g(t)]$.



3-6 Figure 20 : Schéma de principe d'un démodulateur OFDM

On parle de condition d'orthogonalité des porteuses. L'orthogonalité temporelle de la fonction $\psi_{i,n}(t)$ est indispensable dans la mise en œuvre d'un signal OFDM.

En 1966, les travaux de R. W. Chang ont permis de démontrer que l'orthogonalité des fonctions $\psi_{i,n}(t)$ se traduit par des conditions sur le module et la phase $\deg(t)$. Parmi les fonctions disponibles, celle qui est la plus utilisée est la fonction qui porte : $(t) = \text{Rect} [0, T]$, [[18].

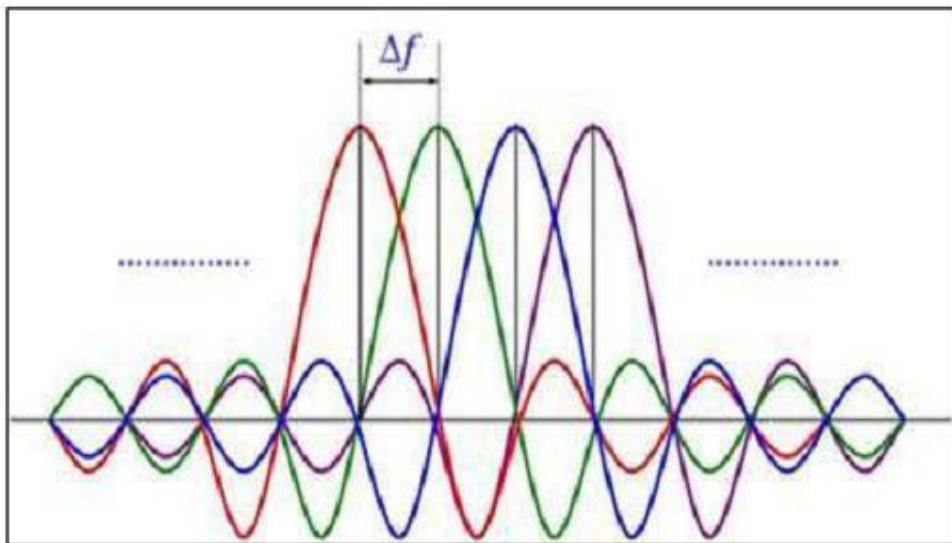
Supposons que les symboles émis sont de moyenne nulle et de variance, le spectre du signal modulé sur la porteuse n s'écrit de la façon suivante :

$$S_n(f) = \frac{\sigma^2}{T} \sin^2[\pi(f - f_n)T]$$

3-7

Ce spectre s'annule aux fréquences $\{f = f_n + k/T\}$ pour tout entier k . $1/T$ est donc l'espacement inter-porteur minimal qui garantit à la fois l'orthogonalité entre les porteuses et une efficacité spectrale optimale. Le spectre d'un signal OFDM est la somme de tous ces spectres.

Notons que lorsque la mise en forme est une fonction rectangulaire de longueur T , les filtres adaptés en réception sont des intégrateurs sur la durée T .



3-8 Figure 21 : Spectre du signal en sortie du modulateur OFDM, décomposé sur chaque porteuse

III.4.1. LES DIFFERENTS TYPES DE TECHNIQUE OFDM

III.4.2. 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 (WIDE BAND 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.

III.4.3. LES SYSTEMES UTILISENT OFDM

- 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 radiodiffusion 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.

III.5.1. AVANTAGES OFDM

OFDM a été utilisé dans de nombreux systèmes sans fil haut débit en raison des nombreux avantages qu'elle offre [19].

- **L'IMMUNITÉ A LA DECOLORATION SELECTIVE** : l'un des principaux avantages de l'OFDM est qu'il est plus résistant à la décoloration à fréquence sélective que les systèmes à bande unique parce qu'il divise le canal global en plusieurs signaux à bande étroite qui sont affectés individuellement comme plate fading sous-canaux.
- **RESISTANCE AUX INTERFERENCES** : 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** : Utilisation de la garde-fréquence sous-porteuses de chevauchement, un important avantage OFDM est qu'elle permet d'utiliser efficacement le spectre disponible.
- **RESISTANT A L'ISI** : Un autre avantage de l'OFDM est qu'il est très résistant à l'inter-symbole et interférences inter-images. Cela résulte du faible taux de données sur chacun des sous-canaux. Résistant aux effets à bande étroite : en utilisant l'entrelacement et le codage de canal adéquat, il est possible de recouvrer des symboles perdus en raison de la sélectivité du canal et de l'interférence à bande étroite. Pas 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 devait être appliquée dans l'ensemble du canal. Un avantage de l'OFDM est que le recours à de multiples sous-canaux, l'égalisation du canal devient beaucoup plus simple.

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 [20].

- Il est plus sensible au décalage de fréquence et au bruit de phase.
- Il représente des variations d'amplitudes sur des intervalles dynamiques assez larges. Ceci exige des amplificateurs de puissances RF avec un taux de puissance crête à moyen relativement élevé.

III.6.CONCLUSION

Dans ce chapitre on s'est focalisée sur la technique OFDM en parcourant toutes les étapes nécessaires soit pour la génération du signal OFDM soit pour l'extraction à la réception du signal utile.

Chapitre 4

SIMULATION D'UNE TRANSMISSION DE TYPE OFDM ET INFLUENCE DU BRUIT DU CANAL DE TRANSMISSION

PRESENTATION DU LOGICIEL DE TRAVAIL :

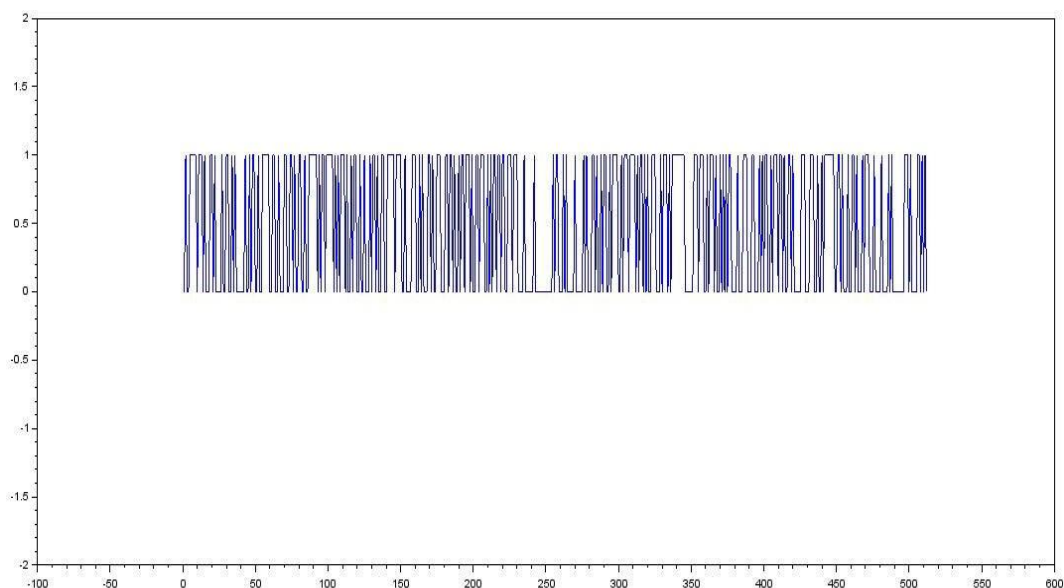
SCILAB est un logiciel de calcul numérique développé par l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) et distribué gratuitement sur presque tout type d'ordinateurs (PC Windows, Linux, Unix, Macintosh) et il possède son propre langage de programmation (très proche de celui de MATLAB), de nombreuses fonctions préprogrammées, et des possibilités étendues de visualisation graphique. Il est très simple, très convivial et s'impose de plus en plus comme un outil incontournable dans l'enseignement, la recherche et le développement. C'est un des logiciels utilisés pour l'épreuve d'analyse numérique de l'agrégation de mathématiques.

Il permet de réaliser des simulations numériques basées sur des algorithmes d'analyse numérique.

Il sera donc utilisé pour la résolution approchée d'équations différentielles, d'équations aux dérivées partielles ou de systèmes linéaires, non linéaires, etc...

Conversion numérique/analogique

Le signal illustré dans la figure (22) représente un signal numérique de 512 bits à transmettre. Le signal numérique ou bien informatique est généralement un signal de courte durée ne pouvant se propager sur une grande distance. On utilise alors une onde appelée porteuse pour transporter le signal numérique ce qui revient à convertir le signal numérique en un signal analogique. Pour un bon débit il est préférable d'utiliser la modulation QAM pour la conversion N/A. Cette procédure de conversion est discutée dans la suite.

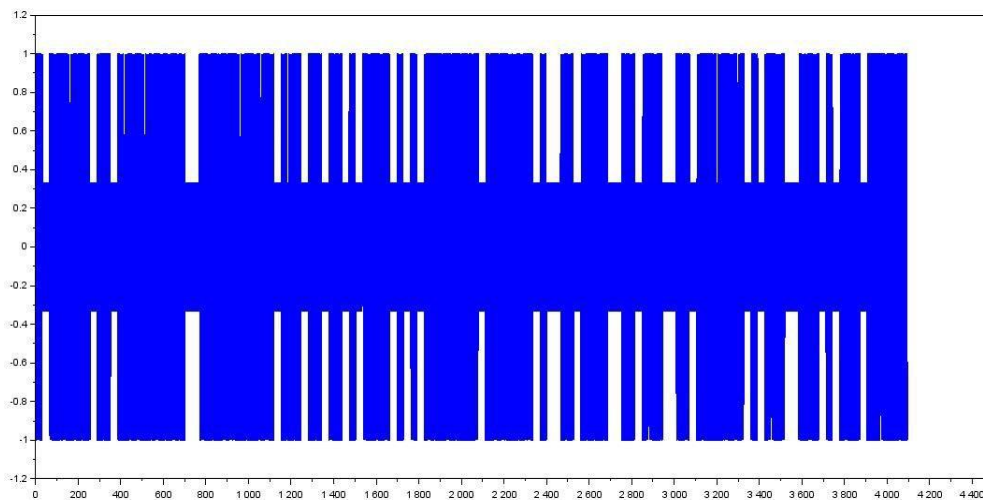


4-1FIGURE 22 : Signal numérique à transmettre

TRANSMISSION :

LA MODULATION EN AMPLITUDE QUADRATURE DE PHASE (QAM)

Le signal numérique montré dans la figure (22) doit être, donc, converti en un signal analogique à l'aide de la modulation en amplitude quadrature de phase (QAM) ce qui permet de compresser les données de l'information à transmettre et facilite l'identification de la constellation à la réception. Le signal QAM ainsi obtenu sera, ensuite, modulé par multiplexage par division des fréquences orthogonales (OFDM). La figure (23) montre le signal 16QAM correspondant au signal numérique de la figure (22).

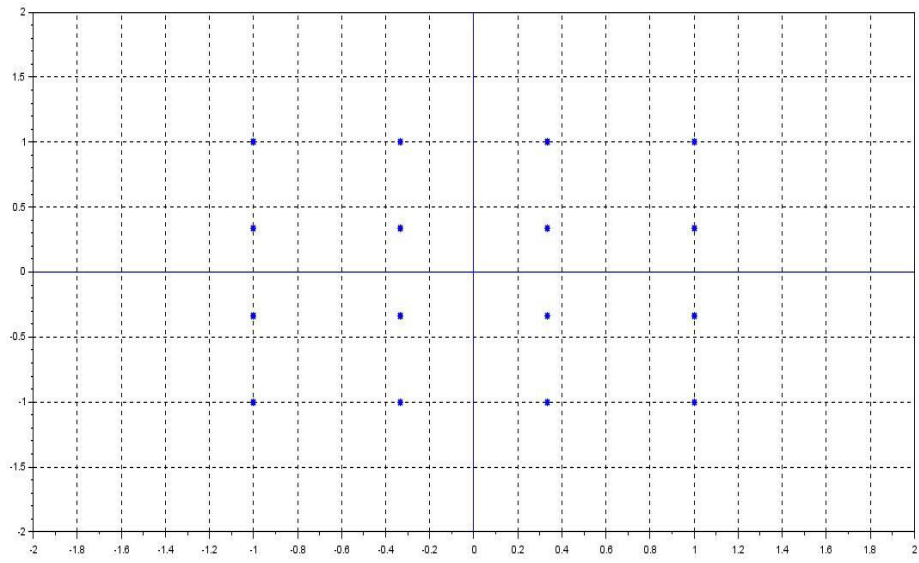


4-2 Figure (23) : Signal 16QAM correspondant au signal numérique de la figure (22).

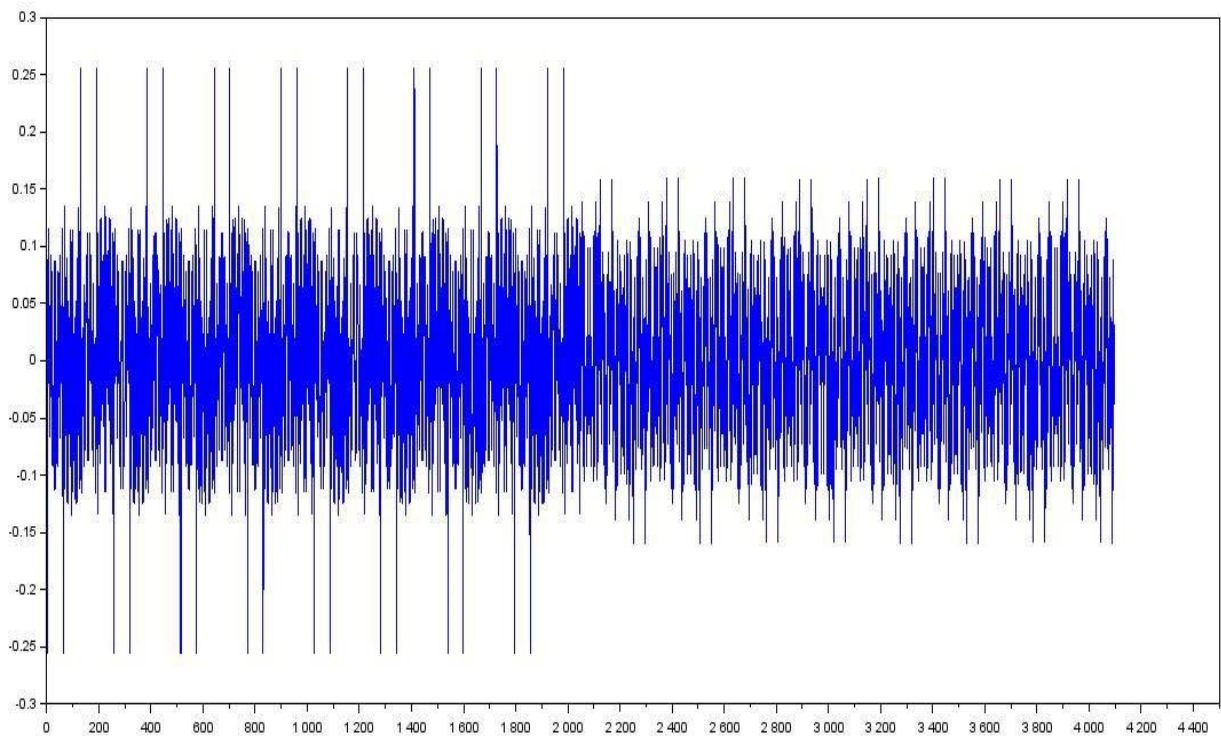
CONSTELLATION :

La modulation 16QAM correspond à la représentation de chaque symbole binaire (4 bits ou quad bit) dans la base $[\cos (WT), \sin (WT)]$. Cette représentation permet de définir la constellation illustrée dans la figure (24) ci-dessous.

Dans la constellation 16qam illustrée dans la figure (24), les bits de l'information numérique sont regroupés par 4 bits appelés symboles binaires. Chaque symbole est représenté par un point dans la base $[\cos (WT), \sin (WT)]$ formée par deux ondes déphasées de 90° . Cette procédure de modulation discutée plus haut, s'appelle modulation en quadrature de phase (QAM). Les coordonnées de ces points varient selon la structure géométrique de la constellation choisie, dans notre cas on a choisi une forme carrée dans laquelle les points voisins sont équidistants horizontalement et verticalement.



4-3 Figure 24 : Diagramme de constellation



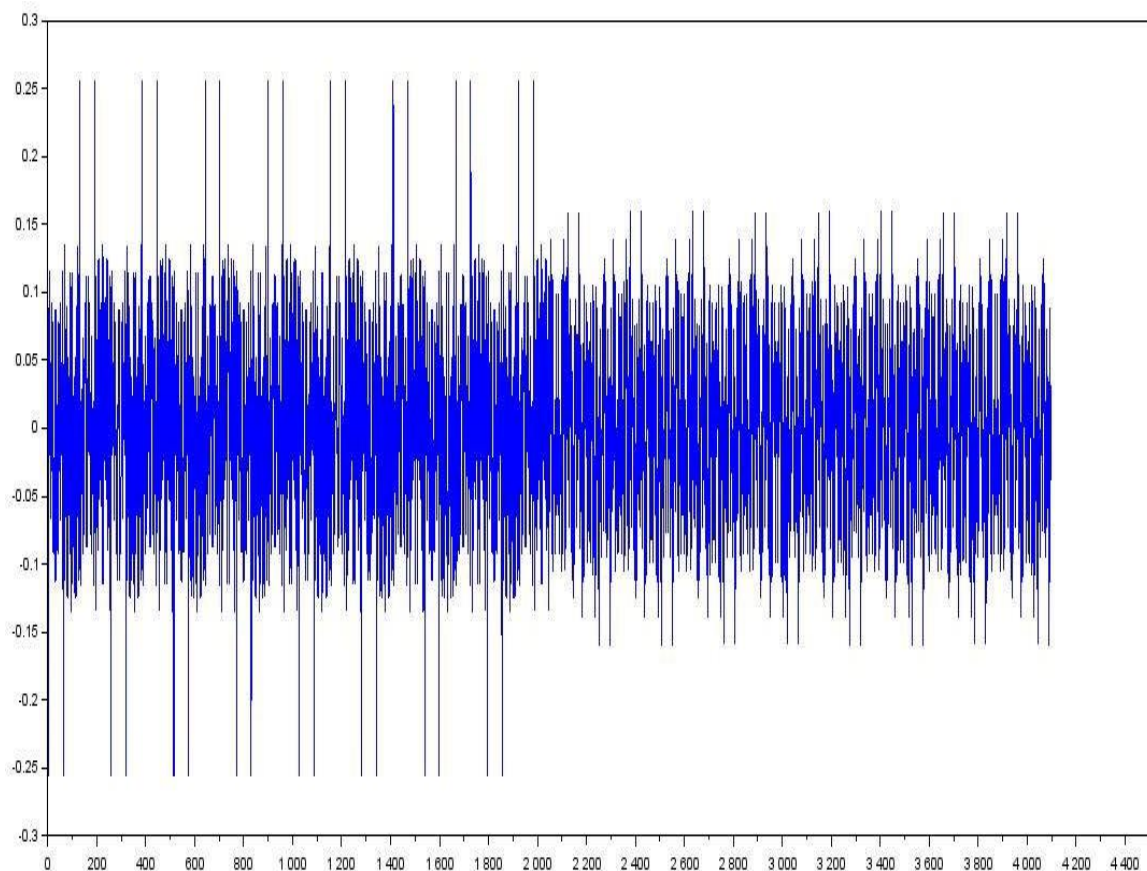
4-4 Figure 25 : Signal modulé en OFDM transmission IFFT

INTERPRETATION :

Après que nous avons fait la conversion série-parallèle sur les échantillons du signal converti en analogique par modulation QAM, on a appliqué la transformée de Fourier discrète inverse (TFDI) à l'émetteur. L'application de cette dernière correspond à la modulation OFDM car il est bien connu que la TFD possède la propriété d'orthogonalité (figure(25)).

RECEPTION SANS BRUIT DU CANAL :

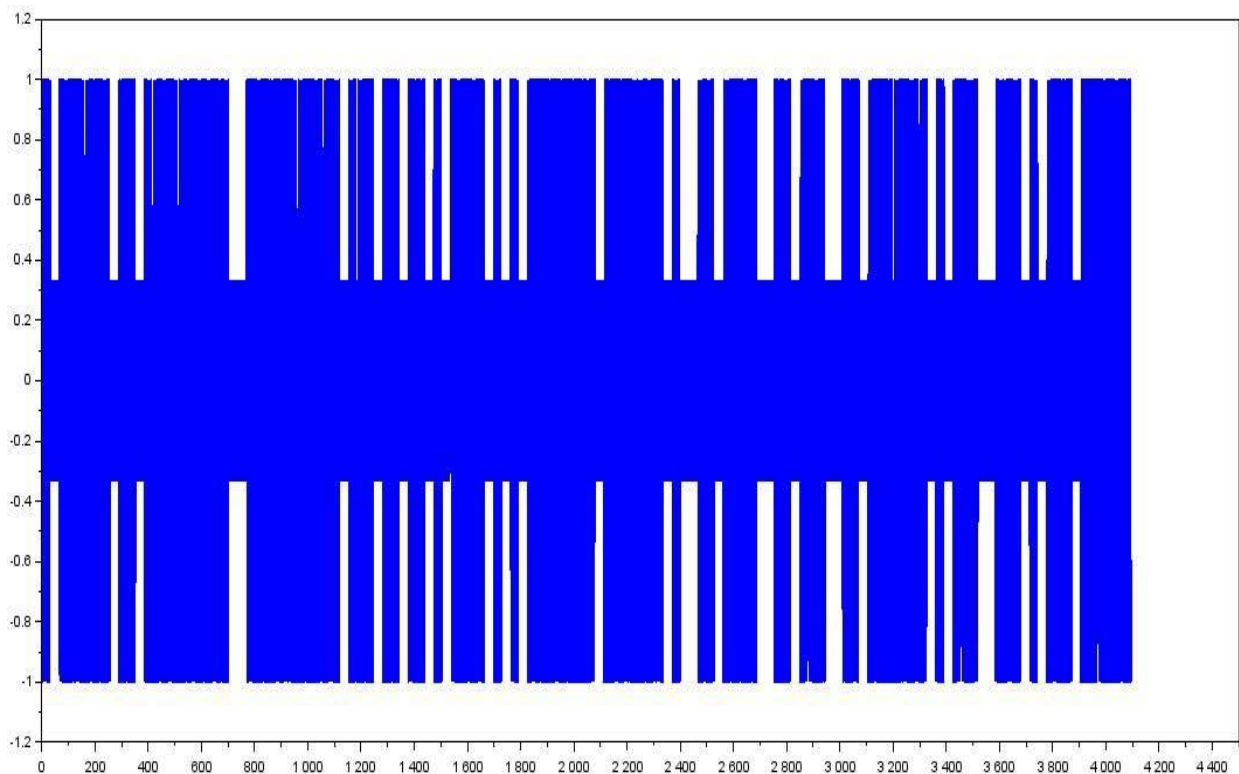
La figure (26) montre le signal IFFT reçu en négligeant toute interaction avec le canal de transmission



4-5 Figure 26 : Réception du signal modulé en OFDM

DEMODULATION OFDM :

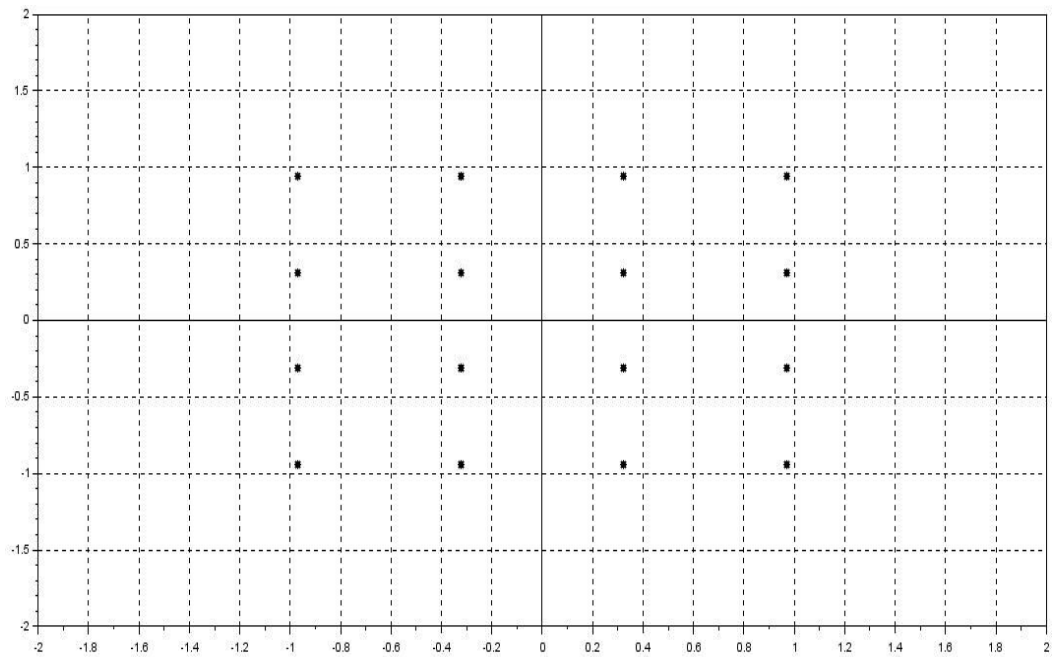
La figure (26) représente le signal IFFT reçu qui doit être ensuite démodulé par la FFT. Ce signal obtenu à la réception est, évidemment, identique à celui de la transmission puisque on n'a pas pris en considération l'effet du canal de transmission. Donc, après qu'on a réceptionné le signal modulé on va maintenant appliquer la FFT pour récupérer le signal modulé en QAM illustré dans la figure (27).



4-6 Figure 27 : Signal QAM reçu

CONSTELLATION A LA RECEPTION :

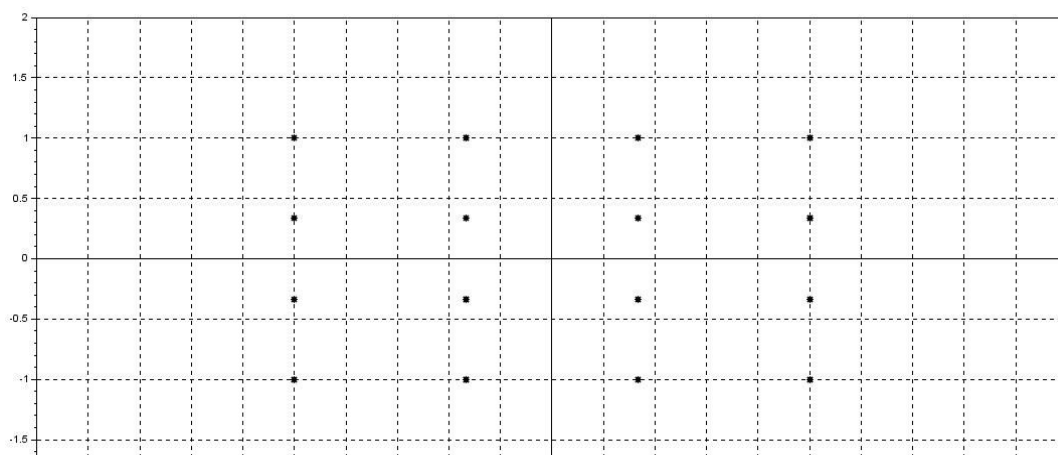
La figure (28) montre la constellation du signal reçu. On constate qu'il y a un décalage de la constellation. Ce décalage des points de la constellation reçue par rapport à celle transmise est surtout dû à la nature du filtre appliqué à la réception. Dans notre cas on a appliqué un filtre passe bas de Tchebychev d'ordre $K=2$



4-7 Figure 28 : Diagramme de constellation

IDENTIFICATION DE LA CONSTELLATION :

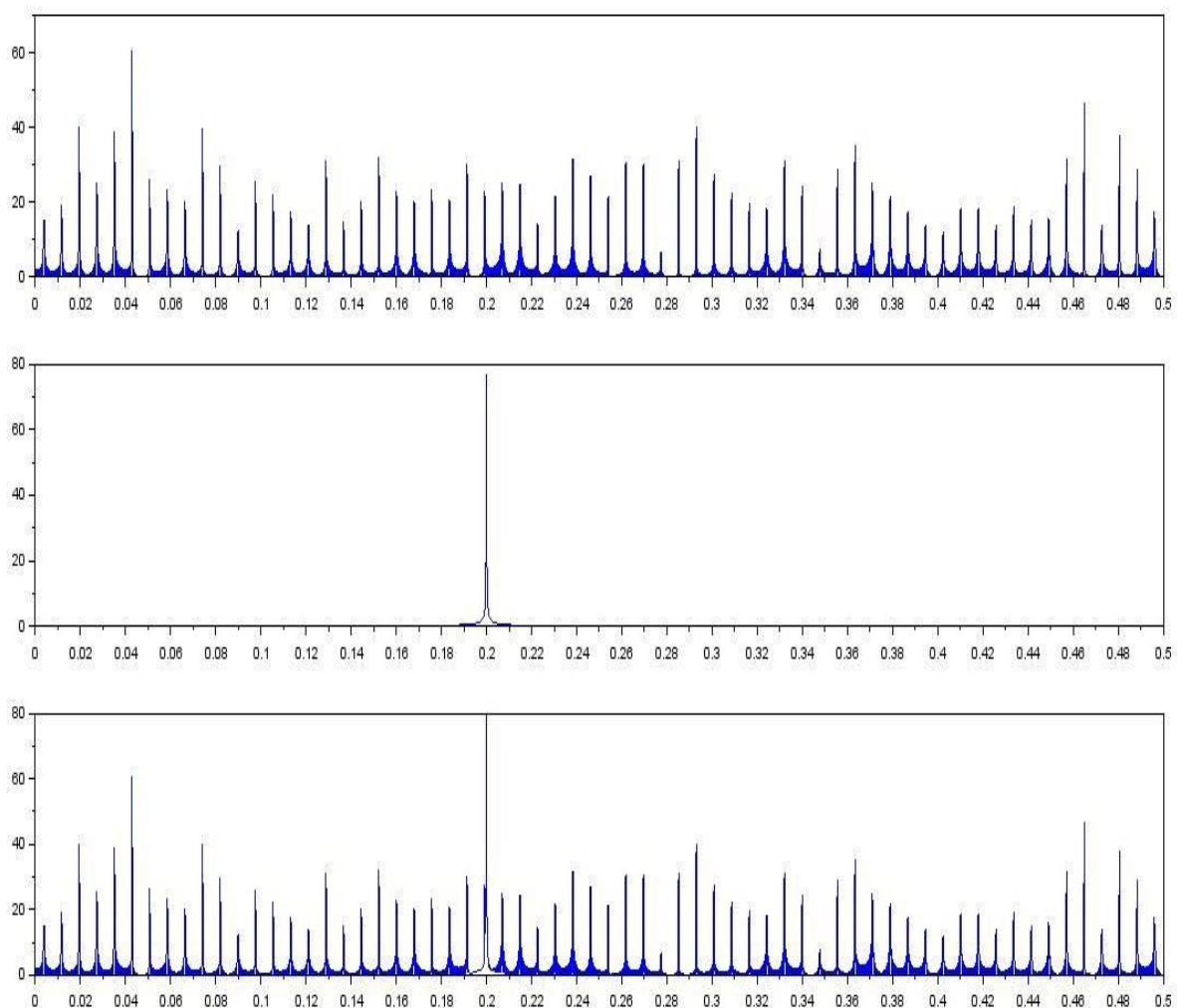
La figure (29) montre qu'il est plus facile d'identifier la constellation en absence de bruit du canal en affectant chaque point de la constellation reçue à un point de la constellation transmise qui lui est plus proche.



4-8 Figure 29 : Affectation du diagramme de constellation

L'EFFET D'UN PARASITE :

La figure suivante représente l'effet du réseau électrique sur le câble de la transmission OFDM. Nous avons introduit un signal alternatif de fréquence égale à celle du réseau pour simuler l'influence de celui-ci sur le signal transmis lorsqu'il est très proche du réseau. La figure en haut représente le signal OFDM dans l'espace de Fourier, celle au milieu illustre le signal du réseau et en fin la figure en bas montre le pic du réseau. Il est clair que la présence de ce pic perturbe la transmission.

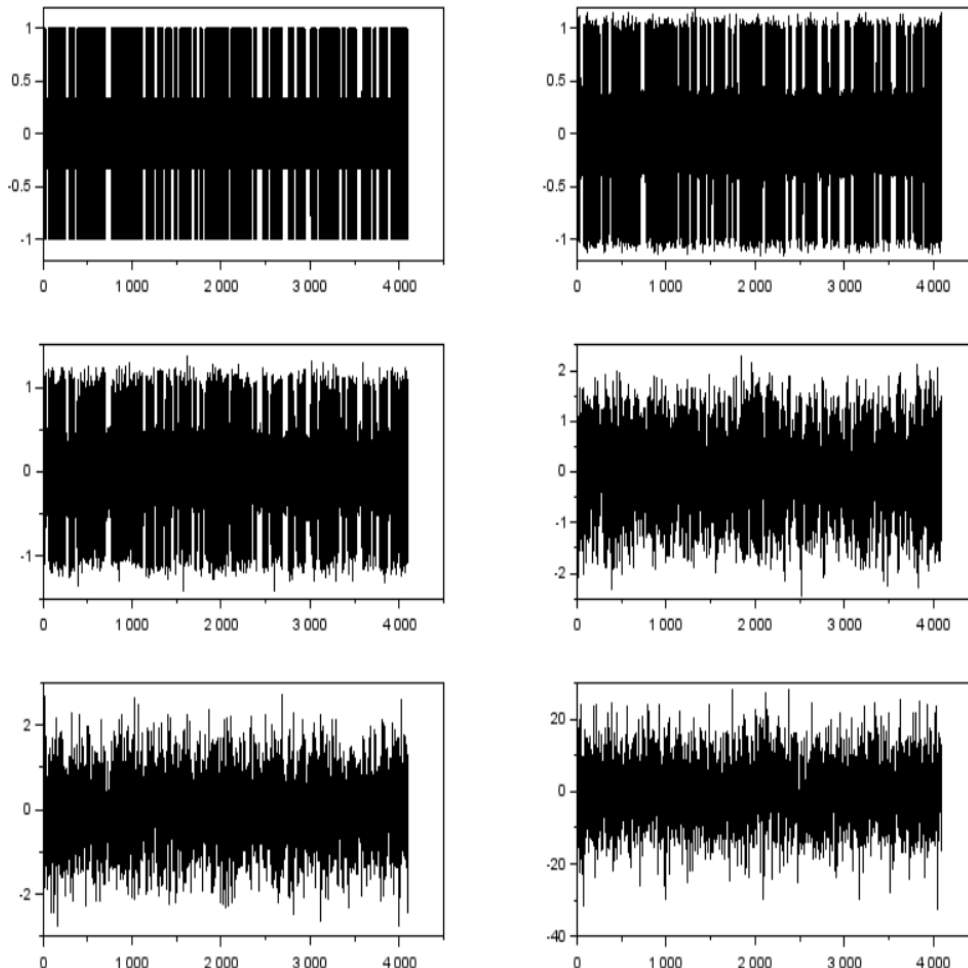


4-9 Figure 30 : Effet d'un parasite

INFLUENCE DU BRUIT SUR LE SIGNAL TRANSMIS :

En supposant que l'influence du réseau est négligeable, on peut se focaliser uniquement sur l'effet du bruit de l'environnement naturel du canal. Ce bruit du canal est souvent simulé par un bruit blanc Gaussien.

La figure suivante illustre l'effet du bruit blanc Gaussien sur le signal OFDM transmis. Cette figure montre qu'au fur et à mesure que la puissance du bruit (ou écart type) augmente, le signal devient de plus en plus bruité. Ce bruit qui peut être additif lors de la transmission du signal, peut donc affecter clairement la qualité de la transmission.

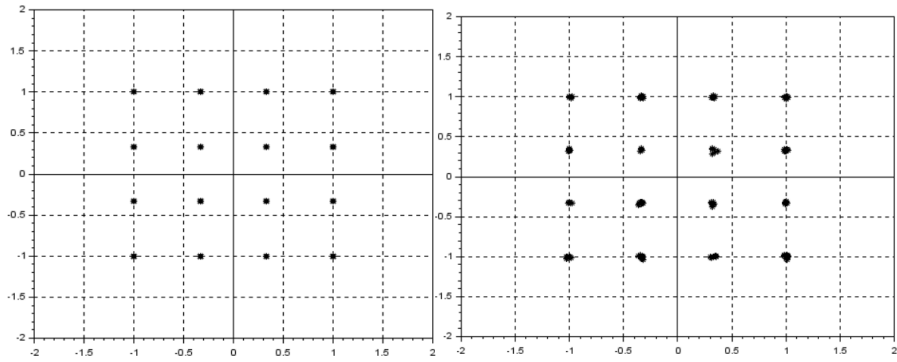


4-10 Figure 31 : effet du bruit blanc Gaussien sur le signal OFDM transmis

Signal OFDM bruité par un bruit blanc Gaussien centré d'écart types de gauche-à droite et de haut en bas $\sigma_{gm} = [0 \ 0.01 \ 0.02 \ 0.08 \ 0.1 \ 1.5]$.

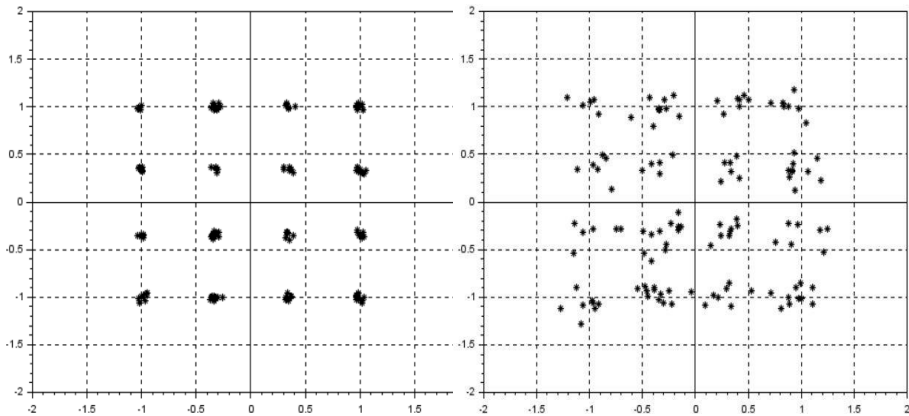
LE RAPPORT DES BITS ERRONES BER (BIT ERROR RATE EN ANGLAIS)

Cet effet du bruit peut être illustré aussi par la constellation reçue suivante. On constate que la constellation devient de plus en plus désordonnée lorsque l'écart type du bruit augmente et par conséquent la constellation devient plus difficile à identifier. Le nombre de bits erronés à la réception peut être estimé en évaluant le rapport de la différence des bits transmis et reçus sur le nombre de bits transmis. Ce rapport qui est illustré dans la figure suivante, indique la proportion de bits erronés lors de la transmission bruitée. On remarque que le BER est nul pour un bruit faible puissance, puis il augmente avec la puissance du bruit



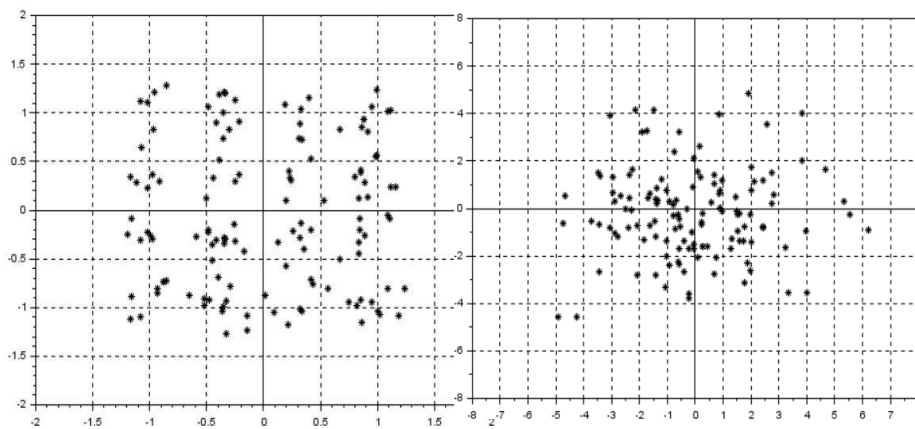
sgm=0 et ber=0

sgm=0.01 et ber=0



sgm=0.02 et ber=0

sgm=0.08 et ber=0



sgm=0.1 et ber=0.01

sgm=1.5 et ber=0.455

4-11 Figure 32 : Influence du bruit sur la constellation

CONCLUSION :

Ce chapitre résume l'essentiel de notre étude sur l'effet du bruit du canal sur la transmission ofdm. Le point le plus important de cette étude est que la transmission sans erreur de bits est possible même en présence de bruit mais de faible puissance. Cette étude a permis aussi d'analyser le BER en fonction de la puissance du bruit du canal, ce qui permet de prévoir la qualité de la transmission ofdm.

**CONCLUSION
GENERALE**

Le canal de transmission englobe le milieu de propagation ainsi que les composants de traitement analogique du signal présents dans l'émetteur et le récepteur en déformant les signaux transmis, le canal limite les performances de la chaîne de communication. Par conséquent, une modélisation adaptée est requise pour prévoir les performances du système.

Les échantillons nécessaires pour effectuer la FFT (pour décoder le symbole), peuvent être pris n'importe où sur la longueur du symbole. Cela permet d'éviter les trajets multiples et d'assurer une tolérance de synchronisation temporelle du symbole.

Enfin on conclut que Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence est une technologie importante car de nombreuses normes de communication en cours d'élaboration exigent les avantages de haut débit et de trajets multiples qui sont possibles.

Ce manuscrit présente une étude bien approfondie sur l'implémentation de système OFDM sous SCILAB, les simulations réalisées dans ce travail ont permis de voir l'avantage du système OFDM et aussi l'influence du bruit du canal de transmission sur le signal OFDM reçu. Nous avons constaté que le BER reste nul même en présence d'un bruit du canal mais faible puissance. Cependant, si la puissance du bruit augmente, le BER augmente indiquant la présence de bits erronés. Cette étude permet, donc, de prévoir la qualité de la transmission OFDM en fonction de la puissance du bruit du canal.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bakri Hadj Ali, « **Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil** », Mémoire Pour l'obtention du Diplôme de Magister, Université ABOU BAKR BELKAID – Tlemcen, 2012, Disponible sur <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/1195/1/Bakir-Haj-Ali.pdf>.
- [2] J. D. Parsons, « **The Mobile Radio Propagation Channel** », vol. 2. WILEY, October 2000.
- [3] « **Transmission d'informations** », Disponible sur : <http://www.websciences.com/documents/terminale/tedo21/teco21.php?imp=1>.
- [4] Adil BELHOUI « **Etudes théoriques et expérimentales de systèmes de transmissions MIMO-OFDM** », pour obtenir le grade de Docteur de L'université de LIMOGES, Discipline : Electronique des Hautes Fréquences et Optoélectronique Présentée et soutenue par Adil BELHOUI le 19 Octobre 2009.
- [5] HADDACHE, « Les réseaux sans fil (Wireless Networks) », Disponible sur [:http://www.univbouira.dz/fr/index.php/cours/category/687-Mr%20HADDACHE%20%20Informatique?Download=3929:03%20Les%20r%C3%A9seaux%20sans%20fils](http://www.univbouira.dz/fr/index.php/cours/category/687-Mr%20HADDACHE%20%20Informatique?Download=3929:03%20Les%20r%C3%A9seaux%20sans%20fils).
- [6] ALAA CHOUMANE, « Synthèse d'un canal de propagation par système multi antennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité », Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Université de Limoges, 2011, Disponible sur : <http://epublications.unilim.fr/theses/2011/choumanealaa/choumane-alaa.pdf>.
- [7] S. R. Saunders and A. Aragon, « **Antennas and Propagation for Wireless communication Systems** », Wiley & Sons, 2. a. ed., May 2007.
- [8] Sizun, « Radio WAVE Propagation for Télécommunication Application », Springer-Verlan, Berlin, 2005.
- [9] « **Transmitter and Receiver Technique** » http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf.
- [10] Yvon Sosthène Yameogo « Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptées au système SC-FDMA » traitement du signal et de l'image. Université Rennes 1, 2011 Français Disponible sur : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00657895v1/document>
- [11] <http://ebrois.free.fr/cours/electronique/am/am.htm>.
- [12] université de Tunis el Manar « **étude comparative des canal WSSUS en standard**

- [13] M. Joindront et A. Glaveux, « **Introduction aux Communications Numériques** », Collection Pédagogique de Télécommunication, Ellipses, 1995.
- [14] Dieter Van Walden and Heidi Steendam DIGCOM research group “**Iterative EM Based Channel Estimation for KSP-OFDM**”, TELIN Dept., Ghent University Saint Pieter’s NIEUWSTRAAT 41, 9000 Gent, Belgium
- [15] Pierre GRUYER, Simon PAILLARD, “**Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM** “, 12 décembre 2005
- [16] L. HANZO, T Keller « **OFDM and MC-CDMA for Broadband multiuser communications, WLAN and Broadcasting** », Edition John Wiley and Sons, 2nd edition, 2006, ISBN-13 978-0- 470-03007-3.
- [17] « **Cours de Réseaux 802.11**» université SID MOHAMED BEN ABDALAH 2014/2015
- [18] R. W. CHANG, « **Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission** », Bell System Technical Journal, volume 46, pages 1775–1796, Dec. 1966.]
- [19] <http://www.radio-electronic.com/info/rf-technology-design/ofdm/ofdm-basicstutorial.php>
- [20] W. G. JEON, K. H. Chang, and Y. S. Cho, « **An equalization technique for orthogonal frequency-division multiplexing systems in time-variant multipath channels**», IEEE Trans. Commun., vol. 47, pp. 27-32, Jan. 1999.