

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد ابن باديس

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRONIQUE

N<sup>o</sup> d'ordre : M..../GE/2021

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

## MASTER EN GENIE ELECTRONIQUE

Filière : électronique

Spécialité : système de télécommunication

Par

HAMMOU SOUHILA

HARENDI ASMAA

### Dé bruitage d'un canal de transmission OFDM par K-means

Soutenu le 04 /07/ 2021 devant le jury composé de :

Président : M. Daoud Mohamed MCA université de Mostaganem  
Examineur : M. Ouled Ali Abdelaziz MCA université de Mostaganem  
Encadreur : M. Yagoubi Benabdellah Pr université de Mostaganem

Année universitaire : 2020/2021

# *Remerciements*

*Au terme de ce travail :*

*Nous remercions, Tout d'abord, ALLAH pour la volonté, la force, la santé et la patience qu'il m'a donné afin de réaliser ce travail.*

*Nous tenons à adresser mes plus chaleureux remerciements au Mr Yagobi, et lui exprimer toute ma reconnaissance pour son encadrement, ses précieux conseils, son soutien constant, sa confiance et sa patience, ainsi que pour ses remarques pertinentes et ses contributions considérables tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Nous avons l'honneur et le plaisir de travailler sous sa direction pendant mon projet de Master.*

*Nous tonons également à remercier tous les membres de jury qui m'ont fait un grand honneur en acceptant l'évaluation de ce modeste travail.*

*Nous aimerions également remercier mes enseignants et les responsables de département de l'université de Mostaganem.*

*Nous adressons mes remerciements aussi à mes collègues de la promotion du master 2021.*

*Nous remercions toutes les personnes qui m'ont aidé durant mes études universitaires.*

*Merci du fond du cœur.*

# *DEDICACE*

*Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir terminé mes études.*

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères à  
Mes yeux :*

*À ma très chère mère, raison de mon existence. Pour tes  
Sacrifices, ton soutien, ta générosité et ta tendresse. Tu étais  
Toujours là près de moi pour me soutenir, m'encourager et  
Me guider avec tes précieux conseils.*

*À mon très cher père, l'épaule solide, source de sacrifice.  
Pour ta tendresse, ton soutien, tes conseils et tes  
Encouragements.*

*A mes très chers frères *Abdelkader* et *Abderrahmane* et  
Ma cher sœur *Amina*.*

*A toute la famille sans exception.*

*A mon binôme *Asmaa* et sa famille.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*HAMMOU SOUHILA*

# *DEDICACE*

*Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir terminé mes études.*

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères à  
Mes yeux :*

*À ma très chère mère, raison de mon existence. Pour tes Sacrifices, ton soutien, ta générosité et ta tendresse. Tu étais Toujours là près de moi pour me soutenir, m'encourager et Me guider avec tes précieux conseils.*

*À mon très cher père, l'épaule solide, source de sacrifice. Pour ta tendresse, ton soutien, tes conseils et tes Encouragements.*

*A mes très chers frères Omar et Chikhe et Djawede et  
Ma cher sœur Sarah.*

*A toute la famille sans exception.*

*A mon binôme Asmaa et sa famille.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*HARENDI ASMAA*

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>CHAPITRE 01 : le canal de transmission et le réseau sans fil</b>	
Introduction .....	2
1.1 La chaîne de transmission numérique.....	2
1.1.1. Canal de transmission.....	3
1.1.2. Caractéristiques d'une transmission.....	4
1.1.3. Les différents types de canaux de transmission.....	4
1.2. Définition des réseaux sans fil.....	5
1.2.1. Les catégories de réseaux sans fil.....	5
1.2.2. Technique de transmission dans les réseaux sans fil.....	7
1.3. Fonctionnement d'un réseau sans fil.....	8
1.4. Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil.....	9
1.4.1. Les avantages des réseaux sans fil.....	9
1.4.2. Les inconvénients du réseau sans fil.....	10
1.5. Réseau WIMAX.....	10
1.5.1. Contribution de WIMAX.....	11
1.5.2. Fonctionnement du WIMAX.....	11
1.6. Modèle des canaux de communication sans fil.....	12
1.6.1. Canal de propagation par trajets multiples.....	12
1.6.1.1. Les variations du canal de propagation.....	13
1.6.1.2. Distribution de Rayleigh.....	14
1.6.1.3. Distribution de Rice.....	15
1.6.2. Canal à bruit additive gaussien(AWGN).....	15
Conclusion .....	16

# SOMMAIRE

---

## **CHAPITRE 02 : Modulation mono/multi porteuse et accès multiples**

Introduction .....	18
2.1. Transmission numérique.....	18
2.2. Définition de modulation.....	19
2.3. Principe de modulation.....	19
2.4. Intérêts de modulation.....	19
2.5. Les différents types de modulation .....	20
2.6. Avantages de la modulation.....	20
2.7. Inconvénients de la modulation.....	20
2.8. Démodulation.....	20
2.9. Modulation numérique mono-porteuse.....	21
2.9.1. Principes généraux.....	21
2.9.2. Les type de la modulation mono-porteuse .....	21
2.9.3. Comparaison ASK/FSK/PSK.....	24
2.10. Modulation multi- porteuse.....	25
2.10.1. Principe.....	25
2.10.2. Systèmes de modulation multi-porteuse.....	26
2.11. Intervalle de garde.....	27
2.11.1. Les types de l'intervalle gardent.....	28
2.12. Porteuses orthogonales.....	28
2.12.1. Les type d'orthogonalité.....	29
Conclusion .....	29

## **CHAPITRE 03 : Etude de la technique de transmission OFDM**

Introduction .....	31
3.1. Historique de L'OFDM.....	31
3.2. Modulation de l'OFDM.....	31
3.3. Principe de la modulation /démodulation OFDM.....	33
3.4. Réalisation et égalisation.....	34

# SOMMAIRE

---

3.5. Principe de la démodulation.....	36
3.6. Les différents types de technique OFDM.....	37
3.7. Les systèmes utilisent OFDM.....	37
3.8. Paramètres OFDM .....	37
3.9. Avantages de l'OFDM.....	38
3.10. Inconvénients de l'OFDM.....	38
Conclusion .....	38

## **CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM**

Introduction.....	40
4.1. Présentation du logiciel.....	40
4.2. Conversion le signal numérique/analogique.....	40
4.3. La constellation.....	41
4.4. Interprétation.....	42
4.5. Explication.....	42
4.6. Démodulation OFDM.....	43
4.7. L'effet du bruit sur le signal de transmission.....	43
Conclusion.....	48
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>49</b>

## LISTE D'ABREVIATION

---

### *LISTE D'ABREVIATION*

- ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line
- ATM:** Asynchronous Transfer Mode
- CISCO:** Computer Information System Company
- C-OFDM:** Coded-OFDM
- CP:** Cacique Prefix
- DAB:** Digital Audio Broadcasting
- DFT:** Discrete Fourier Transform
- DMT:** Discrete Multimode
- DSC:** Density Spectral Cacique
- FFT:** Fast Fourier Transform
- FM:** Frequency Modulation
- IFFT:** Inverse Fast Fourier Transform
- IDFT:** Inverse Discrete Fourier Transform
- IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineer
- MCM:** Multi Carrier Modulation
- MDA:** Modulation D'Amplitude
- PLC:** Power Line Communication
- RFID:** Radio Frequency Identification
- RSB:** Rapport Signal sur Bruit
- TDM:** Time Division Multiplexing
- V-OFDM:** Vector-OFDM
- WIFI:** Wireless Fidelity
- WCP-OFDM:** Weighted Periodic Prefix- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
- ZP:** Zero Padding



# *RESUME*

---

## RESUME

La communication sans fil fait l'objet d'études par un grand nombre de chercheurs. Dans ce travail, nous avons étudié l'effet du bruit provenant de l'environnement naturel du canal sur la transmission 4QAM-OFDM. Nous avons supposé ce bruit de canal comme étant un bruit blanc gaussien centré additif.

Pour appuyer ces études, plusieurs systèmes ont été simulés à l'aide d'un logiciel(Scilab), et le but de ce travail est de chercher une possibilité d'éliminer ce bruit afin de reconstruire l'information utile à la réception. Pour cela nous avons choisi l'algorithme K-means vue son efficacité de pouvoir retrouver les meilleurs référents des agrégats.

**Mots - clés:** 4QAM, OFDM, scilab, K-means

## ABSTRACT

Wireless communication is the subject of study by a large number of researchers. In this work, we investigated the effect of noise from the natural environment of the channel on 4QAM-OFDM transmission. We assumed this channel noise to be additive centered Gaussian white noise.

To support these studies, several systems have been simulated using software (scilab), and the aim of this work is to seek a possibility of eliminating this noise in order to reconstruct the useful information at the reception. We have, therefore, chosen the K-means algorithm due to its efficiency in being able to find the aggregates.

**Keywords:** 4QAM, OFDM, scilab, K-means



*INTRODUCTION*  
*GENERALE*

# INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, il y a beaucoup de développement dans le domaine des systèmes de communication, en particulier des systèmes sans fil, et le besoin croissant d'utiliser la haute vitesse transfert de données requis. Mais la technologie actuelle à des limites pour surveiller la propagation de la vitesse de transmission nécessaire, plusieurs façons et des techniques ont vu le jour pour remédier à ce problème. Pour atteindre les performances dans un environnement à trajet multiples, les réseaux sans fil reposent sur modulation multi porteuse OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui combiner avec des technique d'édition.

La transmission OFDM consiste à répartir l'information sur un grand nombre de sous-parties vecteurs, créant ainsi des sous-canaux très étroits. Il convient aux espèces reproductrices avec plusieurs chemins. La propriété est la distribution des symboles sur plusieurs sous vecteurs plus important que l'envoi d'OFDM. Il génère de la force contre le retard par extension, il réduit le débit de transmission de chaque sous porteuse.

Le but de ce mémoire est de bruitage d'un canal de transmission OFDM par DWT et/ou K-means et son implémentation dans l'outil de simulation Scilab.

La thèse est organisée en quatre chapitres comme suit : le premier chapitre présente la chaîne de transmission numérique, la dernière technologie sur les réseaux sans fil et ses catégories sont répertoriées, différentes architectures et normes.

Dans le second chapitre, on se concentrera sur l'étude de la modulation mono porteuse et multi porteuse, ainsi la base de la technique de transmission numérique OFDM.

Le chapitre suivant introduit l'historique de l'OFDM, ainsi son principe de modulation et démodulation, et description générale avec ses avantages et ses inconvénients.

Dans le dernier chapitre nous avons fait des simulations sur Scilab sur transmission OFDM, ainsi des résultats d'un signal bruit.

Enfin, nous finalisons notre mémoire avec une conclusion générale.

*CHAPITRE 01 :*  
*LE CANAL DE*  
*TRANSMISSION*  
*ET LE RESEAU*  
*SANS FIL*

## Introduction:

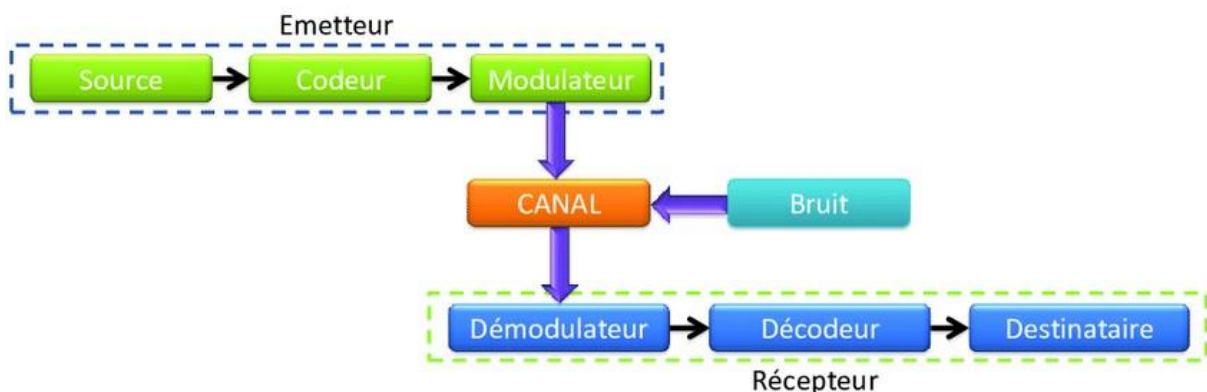
Dans les communications filaires et sans fil, les signaux qui transportent des informations doivent passer par le support de transmission entre l'expéditeur et le récepteur.

Les dernières années ont été marquées par l'émergence de la révolution des réseaux informatiques, en alliant connectivité et mobilité. Ces nouvelles technologies sont en train de modifier radicalement les systèmes. Les réseaux sans-fil connaissent actuellement un succès très important dont leur nombre croît très rapidement au sein des entreprises et du grand public. Ils offrent en effet une flexibilité largement supérieure aux réseaux filaires, en s'affranchissant notamment des problèmes de câblage et de mobilité des équipements. Il existe plusieurs familles de réseaux sans fil, chacune étant développée par des organismes différents et donc incompatibles entre elles.

### 1.1. La chaîne de transmission numérique:

Canal de transmission est un support permettant transition d'une certaine quantité d'information. On divise un système de transmission en trois grandes parties : une source d'information (associée à un transmetteur), un destinataire (associé à un récepteur), et le canal de communication.

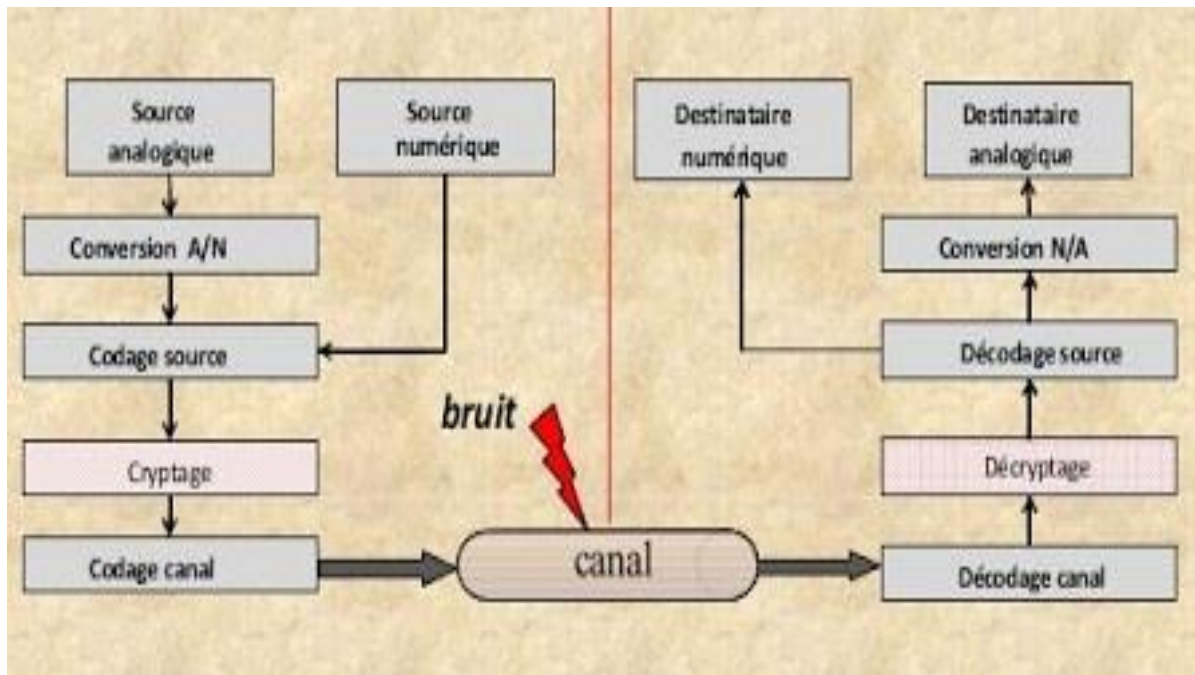
Chaîne de transmission contiens un modèle probabiliste qui d'écrit un signal sortant comme un signal entrant. Cela correspond à des situations réelles comme la transmission d'un signal logique sur un fil ou d'un message sur l'internet, mais les canaux réels ne sont pas entièrement fiables et les erreurs ne se produisent pas de façon systématique.



**Figure 1.1:** schéma d'un système de transmission numérique [1]

### 1.1.1. Canal de transmission:

Le canal de transmission est l'appareil qui transmet les informations (signal) entre l'expéditeur et le destinataire. Aussi appelé canal de diffusion. Ce canal pourrait être présenté sous la forme d'un ensemble de phénomènes qui contribue à la détérioration de la qualité du signal lors de sa transmission entre l'émetteur et le récepteur. L'effet de ces phénomènes peut être mis en évidence, à un degré plus ou moins important, selon la nature de l'environnement et l'emplacement de l'émetteur et du récepteur, ainsi que leurs positions respectives. [2]



**Figure 1.2:** architecture d'un canal de transmission [3]

### 1.1.2. Caractéristiques d'une transmission:

#### 1.1.2.1. Signal à bruit :

Toute transmission de la superposition comprend le signal transmis de perturbations indésirables, appelé « bruit » ou interférence.

Le rapport signal à bruit est un produit sans dimension de la puissance du signal  $P_S$  sur celle du bruit  $P_B$  :  $R_{SB} = P_S / P_B$  (1.1)

$P_S$  : puissance du signal (w)

$P_B$  : puissance du bruit (w)

On peut exprimer ce rapport en décibel :  $R_{SB} = 10 \log (P_S / P_B)$  (1.2)

$R_{SB}$  : rapport signal à bruit (dB)

#### 1.1.2.2. Atténuation :

L'atténuation en décibel est définie par :  $A = 10 \log_{10} (P_S / P_B)$  (1.3)

$A$  : atténuation du signal (dB)

#### 1.1.2.3. Débit binaire :

Les signaux numériques sont constitués d'une série des nombres binaires. Le débit binaire (ou bit-rate) est la quantité de données numériques transmis par unité de temps. Il s'exprime en bits par seconde (bps). [4]

### 1.1.3. Les différents types de canaux de transmission : [5]

Les informations sont toujours transférées à distance et le support physique assure le lien entre la source et le destinataire. Dans cette partie, nous présenterons les principaux supports couramment utilisés comme supports de transport.

#### 1.1.3.1. Communication électrique filaire :

Les informations sont transmises par un « signal électrique », c'est-à-dire une onde électromagnétique se propageant à travers un câble métallique. Il existe deux classes de lignes de transmission utilisées dans les télécommunications : le câble bifilaire et le câble coaxial. La principale caractéristique du câble est son impédance.

#### 1.1.3.2. Communication optique filaire :

Les fibres optiques sont des guides pour les ondes électromagnétiques dont les fréquences est de l'ordre du spectre lumineux. La lumière est dirigée le long des fibres par de multiples réflexions. Les deux principaux avantages des fibres optiques sont très grandes bandes passantes ainsi que leurs faibles atténuations.

### 1.1.3.3. Radio communication :

Les radiocommunications utilisent la propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère. Ce support est généralement réservé à la transmission par liaison satellite ou par faisceaux hertziens ainsi qu'aux communications mobiles. L'antenne est le principal dispositif de transmission ou de réception d'un signal via un canal radio ou micro-ondes. L'avantage des radiocommunications par rapport aux autres supports communication (fil et fibres optiques) est le faible cout d'installation d'un réseau à grande échelle.

### 1.2. Définition des réseaux sans fil :

Un réseau sans fil (Wireless network) est, comme son nom l'indique, est un réseau à travers lequel différentes stations ou systèmes peuvent communiquer entre eux au moyen d'ondes radio. Grâce aux réseaux sans fil, l'utilisateur a la possibilité de rester connecté lors de ses déplacements dans un environnement géographique assez étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". La norme la plus utilisée largement utilisée pour les réseaux sans fil est la norme IEEE 802.11, mieux connue sous le nom de Wifi. [6]

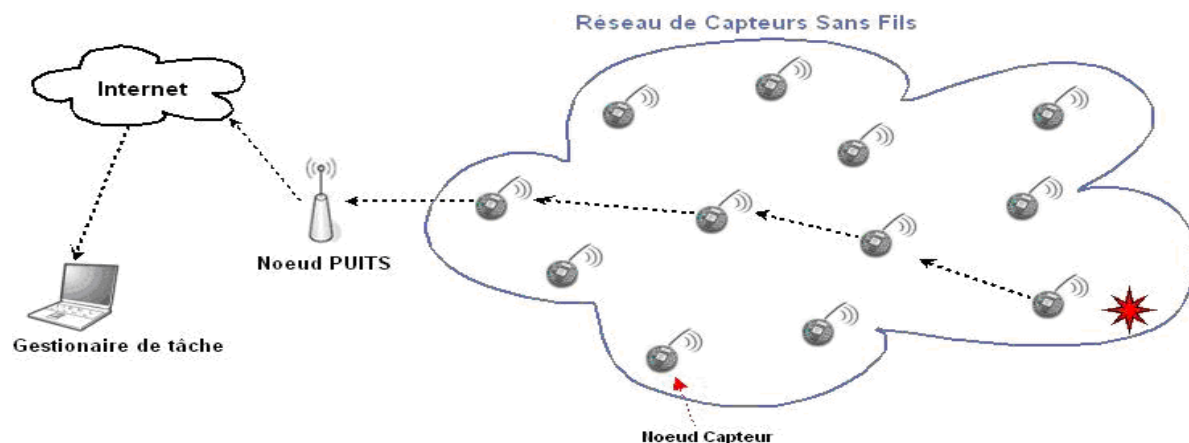


Figure 1.3 : architecteur d'un réseau de capteur sans fil [7]

#### 1.2.1. Les catégories de réseaux sans fil :

La classification selon la zone de couverture donne quatre catégories de réseaux :

##### 1.2.1.1. Réseaux personnels sans fils (WPAN):

Un réseau personnel sans fil (également appelé réseau sans fil unique ou réseau domestique sans fil et le WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil de courte portée (de l'ordre de quelques dizaines mètres). Ce type de réseau est généralement utilisé pour connecter des périphériques (imprimante, téléphone portable, électroménagers, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans connexion filaire ou pour permettre la communication sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN sont:

\*Bluetooth (IEEE 802.15.1, débit: 1Mbps, portée max 30 mètres)



## **CHAPITRE 01 : le canal de transmission et le réseau sans fil**

---

\*HomeRF (Home Radio Frequency, débit: 10Mbps, portée 50 à 100 mètres)

\*Zigbee (IEEE 802.15.4, débit: 250 kb/s, portée max 100 mètres)

\*Liaisons infra rouge (débit: quelques méga bps, portée quelques mètres) [8]

### **1.2.1.2. Réseaux locaux sans fils (WLAN):**

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 Wi-Fi (ou IEEE 802.11)

\*HiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0)

### **1.2.1.3. Réseaux étendus sans fils (WWAN):**

Le réseau étendu sans fil WWAN (Wireless Wide Area Network) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes:

-GSM (Groupe Spécial Mobile)

- GPRS (General Packet Radio Service)

- UMTS (Universel Mobile Télécommunication System)

### **1.2.1.4. Réseau métropolitains sans fil (WMAN) :**

Le réseau métropolitain sans fil WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16 est généralement appelé Wimax. Il permet des débits de l'ordre de 70 Mbit/s avec une portée de l'ordre de 50Km. [9]

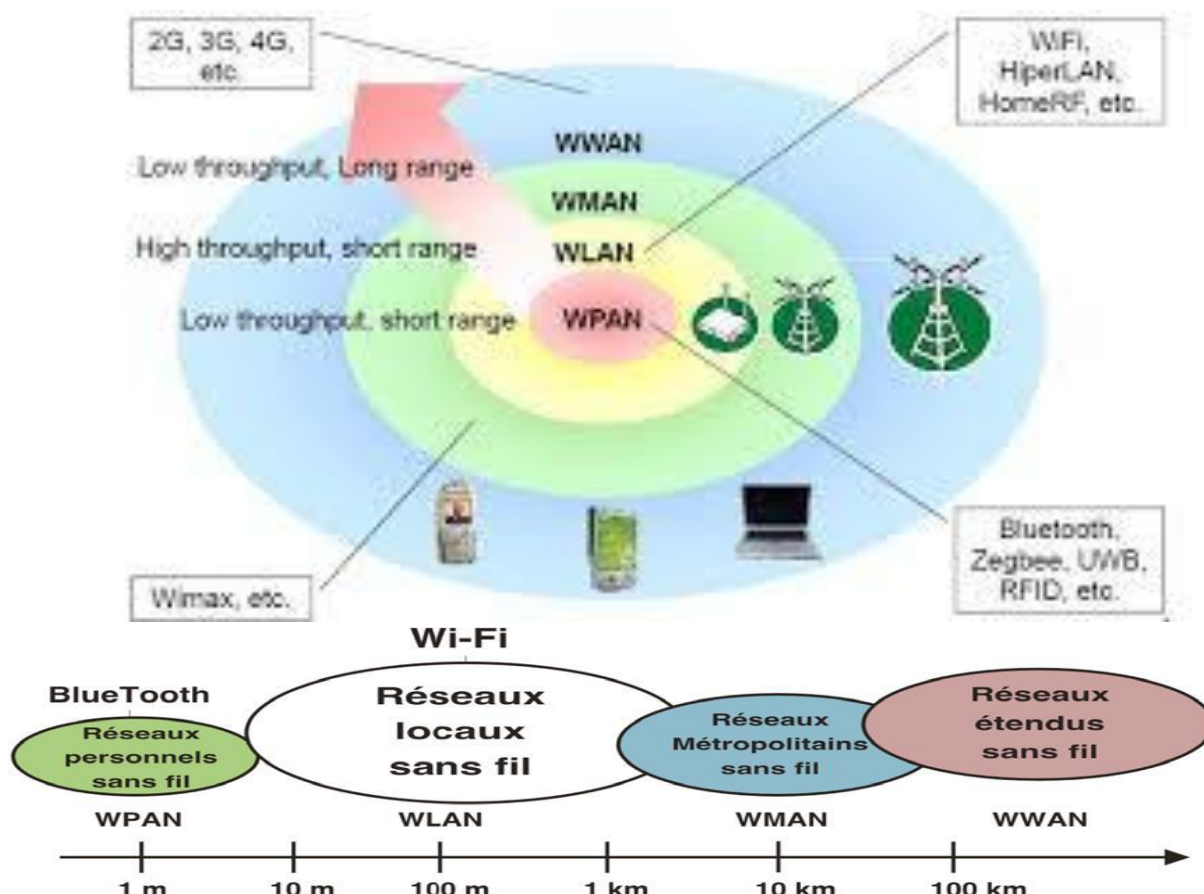


Figure 1.4 : Les différentes technologies sans fil. [10]

### 1.2.2. Technique de transmission dans les réseaux sans fil:[11]

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

#### 1.2.2.1. Transmission par radio fréquence:

La radiofréquence est une forme de transmission électromagnétique utilisée dans les communications sans fil. Les signaux RF sont faciles à générer, allant de 3kHz à 300GHz. Ils sont utilisés dans les communications sans fil en raison de leur capacité à pénétrer à travers les objets et à parcourir de longues distances.

#### 1.2.2.2. Transmission infrarouge:

Les radiations infrarouges sont des radiations électromagnétiques avec des longueurs d'onde plus longues que la lumière visible. Ils sont généralement utilisés pour les communications à courte portée. Ces signaux ne traversent pas les objets solides.

#### 1.2.2.3. Transmission par micro-ondes:

Les micro-ondes sont la forme de transmission électromagnétique utilisée dans les systèmes de communication sans fil. La longueur d'onde des micro-ondes varie d'un mètre à un millimètre. La fréquence varie de 300MHz à 300GHz. Ils sont largement utilisés pour les communications interurbaines et sont relativement moins coûteux.

### 1.3. Fonctionnement d'un réseau sans fil:

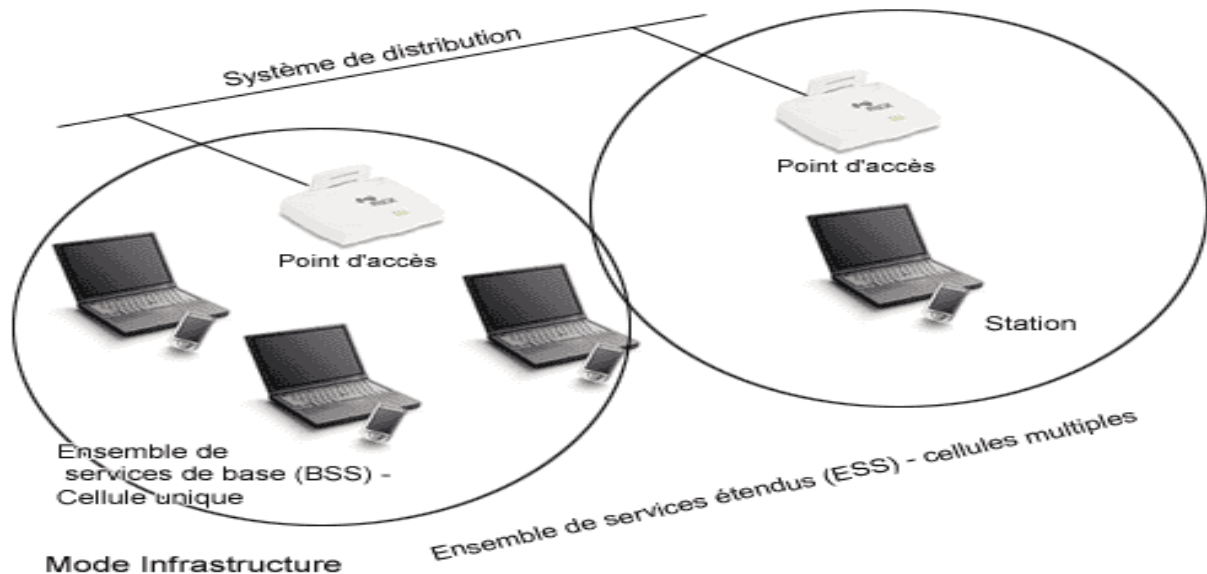
La création d'un réseau sans fil (Wireless LAN) permet aux ordinateurs de communiquer entre eux, sans être connectés à des câbles réseaux, et cela se fait par la propagation des ondes radio. Cette mise en œuvre peut se faire de deux manières :

Via un point d'accès équipé d'une antenne Wifi : mode « avec infrastructure ».

En connectant plusieurs ordinateurs Wifi directement entre eux : en mode « ad hoc ».

#### 1.3.1. Réseau avec infrastructure :

En mode avec infrastructure, chaque ordinateur de poste (notée STA) est connecté à un point d'accès via une liaison sans fil. L'ensemble constitué du point d'accès et des stations de sa zone de couverture est appelé ensemble de services de base (en anglais basic service set, dénommé BSS) et forme une cellule. Chaque BSS est identifié par un identifiant par un BSSID, qui est un identifiant de 6 octets (48 bits). En mode infrastructure, le BSSID correspond à l'adresse MAC du point d'accès. [12]

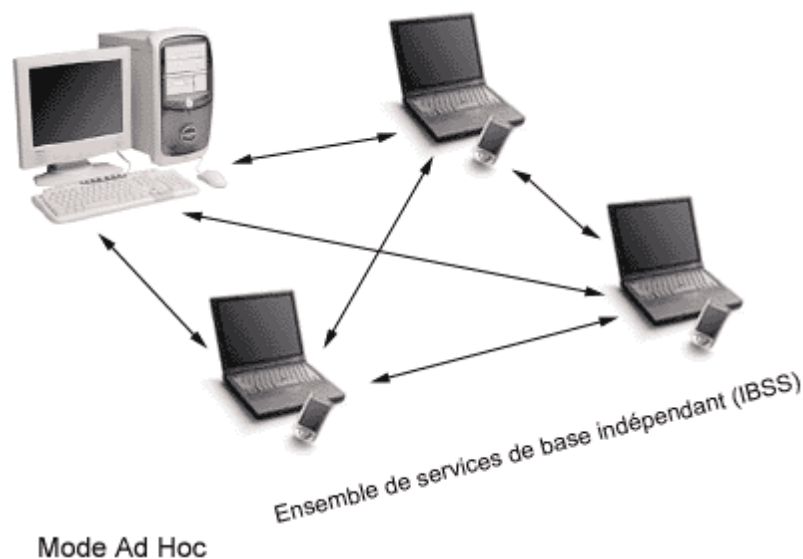


**Figure 1.5** : réseau avec infrastructure [13]

### 1.3.2. Réseau sans infrastructure :

Un réseau sans infrastructure appelé aussi réseau Ad hoc, les appareils sans fil du client communiquent entre eux pour former un réseau point à point (peer-to-peer en anglais), c'est-à-dire un réseau dans lequel chaque appareil joue à la fois le rôle temps .Client et point d'accès.

L'ensemble formé par les différentes stations est appelé ensemble de services de base indépendants (en anglais, l'independent basic service set, en abrégé IBSS). Ainsi IBSS constitue un réseau éphémère qui permet aux personnes d'une même pièce d'échanger des données.



**Figure 1.6 :** réseau sans infrastructure [14]

## 1.4. Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil : [15]

### 1.4.1. Les avantages des réseaux sans fil :

**Navigation :** c'est évidemment la principale caractéristique d'un WLAN, contrairement à un réseau statique, l'utilisateur peut accéder à des informations partagées ou se connecter en ligne sans avoir à être physiquement connecté au réseau.

**Facilité et flexibilité :** le réseau sans fil peut être utilisé dans des emplacements temporaires, couvrir des zones difficiles d'accès avec des câbles et connecter des bâtiments distants.

**Facilité d'installation :** l'installation d'un WLAN est relativement rapide et facile par rapport à un réseau local, éliminant le besoin de tirer des câbles pour traverser les murs et les plafonds. Pour cette raison, les WLAN peuvent être installés là où les câbles ne peuvent pas

être facilement, par exemple pour couvrir un événement limité dans le temps, comme une foire commerciale, une conférence ou une compétition sportive.

**Fiabilité :** la transmission sans fil s'est avérée efficace dans les domaines civils et militaires. Bien que les interférences des ondes radio puissent réduire les performances d'un WLAN, elles sont très rares. Une bonne conception du WLAN combinée à la distance limitée entre les différents équipements radio (groupe de station ou points d'accès), permet au signal radio d'être transmis correctement et permet des performances similaires à celles d'un réseau LAN filaire.

**Coût :** l'investissement initial en matériel est certes plus élevé que pour un réseau filaire, mais à moyen terme, ces coûts seront réduits. De plus, les coûts d'installation et de maintenance sont quasi nuls, car il n'y a pas de câbles à installer et les modifications de la structure du réseau n'entraînent pas de dépenses supplémentaires.

**Structure :** la topologie WLAN est particulièrement flexible, car elle peut être modifiée rapidement. Cette structure n'est pas statique, comme dans les réseaux locaux câblés, mais dynamiques. Il s'accumule au fil du temps en fonction du nombre d'utilisateurs qui se connectent et se déconnectent.

### 1.4.2. Les inconvénients du réseau sans fil :

**Qualité et continuité du signal :** ces notions ne sont pas garanties du fait des problèmes pouvant venir des interférences, du matériel et de l'environnement.

**Sécurité :** la sécurité des réseaux sans fil n'est pas encore tout à fait fiable du fait que cette technologie est novatrice.

**Limitation de propagation :** le signal subit un affaiblissement dû à la réflexion, réfraction, diffraction et absorption.

**Bande passante :** limitée dans les réseaux sans fil, et donc des vitesses plus faibles que les réseaux filaires.

### 1.5. Réseau WIMAX :

WIMAX (World wide Inter operability for Microwave Access) est une norme basée sur la norme de transmission sans fil IEEE 802.16. Le WIMAX permet d'obtenir des débits supérieurs et inférieurs de 70 Mbit/s dans la gamme des fréquences radio de 2 à 11 GHz sur une portée de 50 Km. Les révisions de la norme se répartissent en deux catégories : WIMAX fixe et WIMAX portable.

### 1.5.1. Contribution de WIMAX : [16]

L'objectif du WIMAX est de fournir une connexion Internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres. Le standard WIMAX possède l'avantage de permettre une connexion sans fil entre une station de base et des milliers d'abonnés sans nécessiter de ligne visuelle directe (LOS ou NLOS). Dans la réalité le WIMAX ne permet de franchir que de petits obstacles tels que des arbres ou une maison mais ne peut en aucun cas traverser les collines ou les immeubles. Le débit réel lors de la présence d'obstacle ne pourra ainsi excéder 20Mbit/s sur une portée de 20 km. Le cœur de la technologie WIMAX est la station de base (BTS), c'est à dire l'antenne centrale chargée de communiquer avec les antennes d'abonnés (subscribers antennas) au sein d'une boucle locale radio. La boucle locale radio est une technologie de connexion sans fil par ondes hertziennes. Pour faire une BLR (Boucle Locale Radio), l'opérateur doit disposer d'une station de base (antennes) et le client d'une antenne et un modem.

### 1.5.2. Fonctionnement du WIMAX :

L'un des objectifs de WIMAX est la fonctionnalité de service, également appelée boucle locale ou connexion du dernier kilomètre. Il s'agit de connecter à Internet des utilisateurs qui ne peuvent actuellement pas bénéficier d'un accès haut débit en raison de l'absence d'infrastructure filaire. En pratique, le WIMAX fonctionnera de manière similaire au Wifi mais à un débit plus élevé, sur de plus grandes distances et pour un plus grand nombre d'utilisateurs. WIMAX peut accéder à Internet dans certaines zones qui ne sont pas encore proposées par certains FAI.

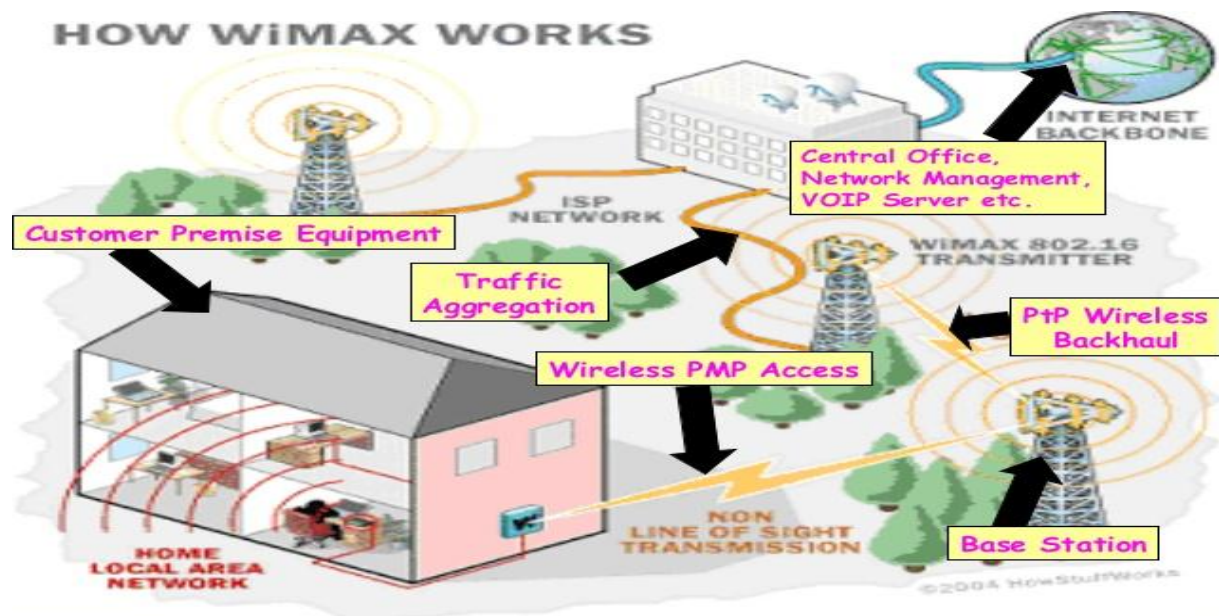


Figure 1.7 : Le principe de fonctionnement du WiMAX (réseau WMAN) [17]



## CHAPITRE 01 : le canal de transmission et le réseau sans fil

Le système WIMAX se compose de 2 parties principales.

-Tout d'abord une antenne WIMAX (station de base) peut être comparée à une antenne GSM. Une antenne peut théoriquement donner accès à une zone de 8000km<sup>2</sup>.

-Récepteur WIMAX: le récepteur avec l'antenne sera dans une petite boîte (semblable aux modems actuels qui sont installés dans les ordinateurs portables). Il peut également être intégré directement dans un ordinateur portable comme avec le wifi sur les ordinateurs portables actuels.

L'antenne WIMAX (base station) pourra se connecter directement à Internet à l'aide d'une connexion filaire haut débit. Il peut également se connecter à une autre antenne. Cette technologie permettra, comme déjà mentionné, de fournir un accès même aux endroits les plus reculés. L'utilisateur se connectera à l'antenne via son propre terminal WIMAX ou ses puces intégrée. La transmission ne nécessitera pas que vous soyez bien en vue (line de soupir: LOS).

En effet, l'utilisateur n'aurait pas besoin d'être en ligne directe pour se connecter à l'antenne.

### 1.6. Modèle des canaux de communications sans fil:

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

#### 1.6.1. Canal de propagation par trajets multiples:

La reproduction en espace libre est un cas idéal. Mais le canal de propagation est en réalité un lieu à trajets multiples en raison des obstacles autour de l'émetteur et du récepteur (Figure 1.8). Dans ce cas, plusieurs répliques du signal transmis arrivent au récepteur par plusieurs chemins des atténuations, des déphasages et des retards différents (dus à la longueur du chemin).

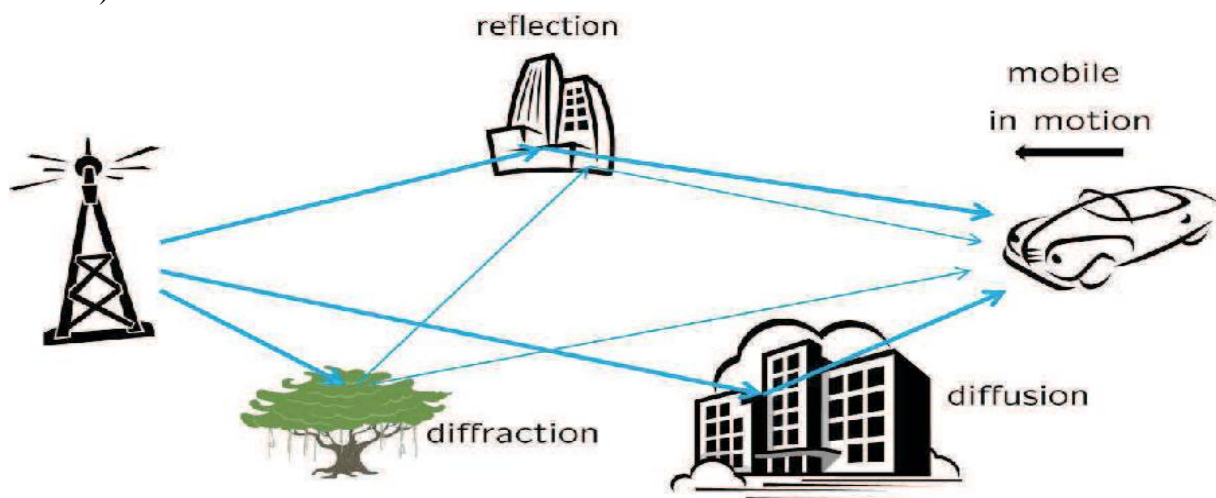
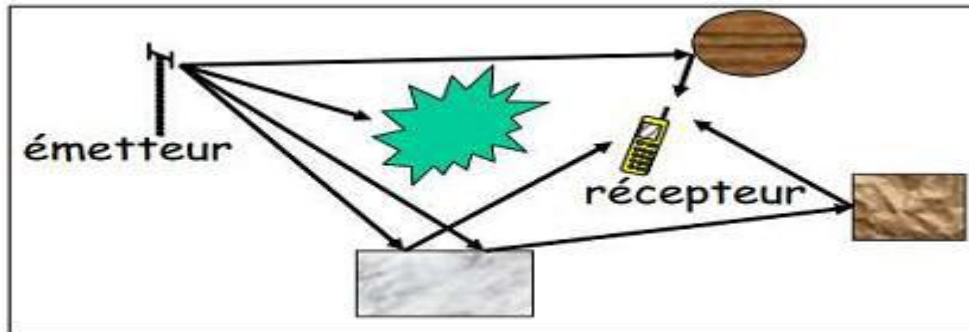


Figure 1.8 : Propagation par multi-trajets [18]

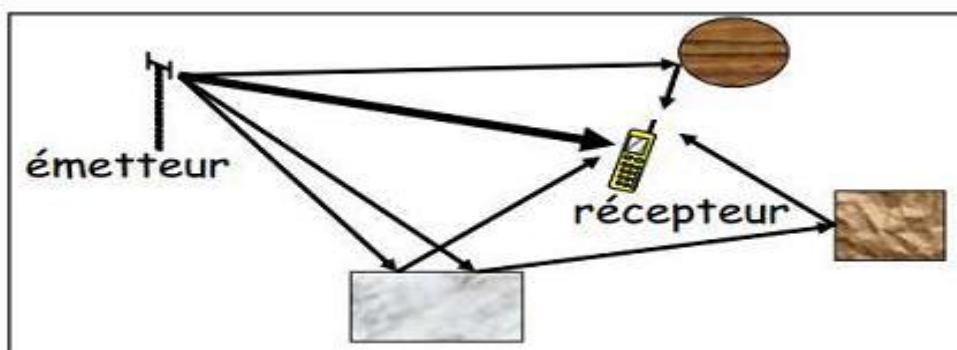
## CHAPITRE 01 : le canal de transmission et le réseau sans fil

Lors de la propagation trajets multiples, on distingue généralement deux états de propagation. La première est appelée NLOS (None LINE Of Sight) car il n'y a pas de ligne de vue entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, la densité de probabilité d'amplitude d'évanouissement du signal total reçue la suit la loi de Rayleigh.



**Figure 1.9 :** Pas de ligne de vue (propagation NLOS) : canal de Rayleigh

Alors que la condition de distance se produira lorsqu'il y a un chemin direct pondéré (Line Of Sight, Los) et donc l'amplitude de la disparition est caractérisée par une distribution de Rice.



**Figure 1.10 :** Existence d'une ligne de vue (propagation LOS) : canal de Rice [19]

Selon la nature des objets rencontrés au cours du trajet multiples, divers phénomènes électromagnétiques tels que : la réflexion, la diffraction et la diffusion sur des obstacles.

### 1.6.1.1. Les variations du canal de propagation:

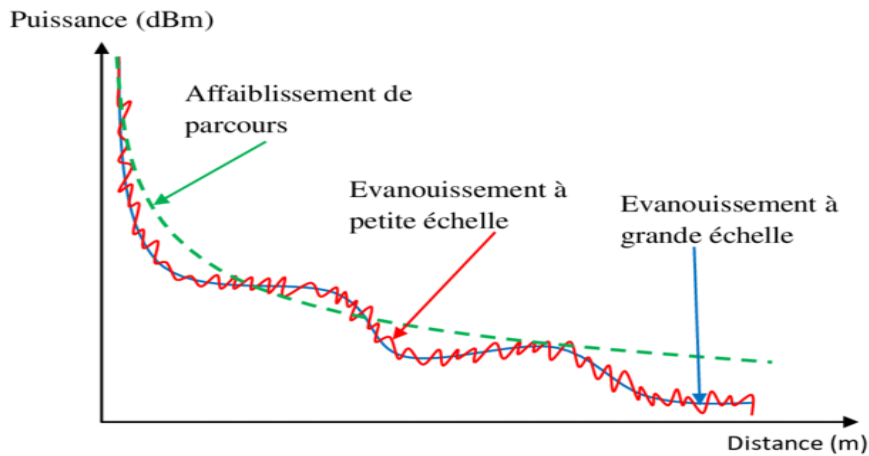
Lors de la propagation de l'émetteur au récepteur, les phénomènes électromagnétiques génèrent plusieurs répliques du signal émis (Propagation par trajets multiples). A la réception, ces répliques arrivent à des instants différents avec une certaine atténuation et changement de phase. On peut ainsi distinguer trois types de différences de force reçue comme le montre dans (figure 1.11)

-L'affaiblissement de parcours 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 représente la fluctuation de la puissance moyenne reçue par un décalage d'un deuxième de longueur d'onde.



-L'évanouissement à petite échelle associé à des interférences constructive et destructive entre différentes versions du signal émis par l'antenne de réception.



**Figure 1.11** : Les variations de la puissance reçue en fonction de la distance parcourue [20]

### 1.6.1.2. Distribution de Rayleigh:

Dans les liaisons, les canaux de transmission changent au cours du temps en raison des mouvements aléatoires des entités connectées et de la présence d'obstacles entre l'émetteur et le récepteur. De ce fait, le signal émis suit plusieurs chemins avant d'atteindre le récepteur, ce qui entraîne une modification importante du signal reçue du fait de l'addition de plusieurs signaux déphasés. Lorsque le débit de transmission est suffisamment faible, chaque code n'interfère qu'avec superpose lui-même, au moins pendant une grande partie de sa durée. Le canal de Rayleigh peut de prendre en compte ces effets: réflexions multiples, évanouissements, fluctuations de volume et effet Doppler. L'amplitude et la phase du signal reçu sont représentées sous forme de variables aléatoires suivent la loi de Rayleigh. Ce modèle est particulièrement adapté à la représentation statistique d'un canal radio mobile.

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.4)$$

$r$  est l'enveloppe du signal complexe reçue,  $r=x+iy$

$\sigma$  est l'écart type de la partie réelle ( $x$ ) ou la partie imaginaire ( $y$ )

$$* \text{La valeur moyenne : } E(r) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (1.5)$$

$$* \text{La valeur quadratique moyenne: } E(r^2) = 2 \sigma^2 \quad (1.6)$$

$$* \text{La variance : } E(r^2) - E(r)^2 = \sigma^2 \left(\frac{4-\pi}{2}\right) \quad (1.7)$$

### 1.6.1.3. Distribution de Rice:

Dans d'autres cas, le canal de propagation est caractérisé par plusieurs chemins indirects et un chemin direct (LOS). Par conséquent, la densité de probabilité de l'enveloppe du signal complexe reçue est soumise à la distribution de Rice définie par:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+r_d^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rr_d}{\sigma^2}\right); \quad r \text{ et } r_d \geq 0 \quad (1.8)$$

Où  $r_d$  est l'amplitude du trajet direct et  $I_0$  représente la fonction de Bessel modifiée de première espèce et d'ordre zéro.

Cette loi possède les caractéristiques suivantes:

\*Valeur moyenne:

$$E(r) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) \left[ \left(1 + \frac{r^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) + \frac{r^2}{4\sigma^2} I_1\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) \right] \quad (1.9)$$

\*Valeur quadratique moyenne:

$$E\{r^2\} = 2\sigma^2 + r^2 \quad (1.10)$$

\*Variance:

$$E\{x^2\} - [E\{x\}]^2 \quad (1.11)$$

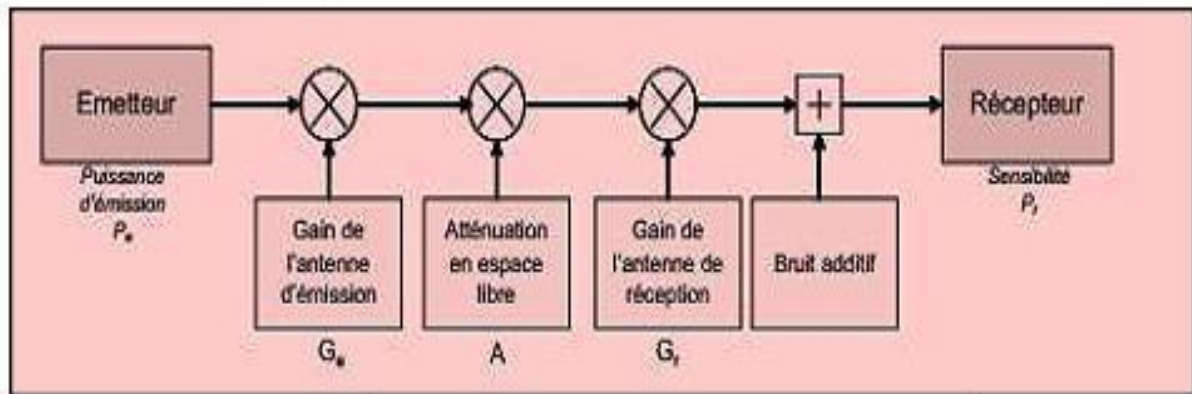
### 1.6.2. Canal à bruit additive Gaussien (AWGN):

Le modèle de canal le plus couramment utilisé pour simuler la transmission numérique, qui est également l'un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal de bruit blanc additif gaussien (BBAG, AWGN, en anglais Additive White Gaussian Noise). Ce bruit représente à la fois le bruit interne (bruit d'antenne.....). Cependant, cette forme est plus étroitement liée à la transmission filaire, car elle représente une transmission presque parfaite de l'expéditeur au destinataire. Le signal reçu s'écrit alors sous la forme:

$$y(t) = x(t) + b(t) \quad (1.12)$$

Où  $b$  représente BBAG, caractérisé par un processus aléatoire gaussien avec une moyenne nulle, de variance  $\sigma_b^2 = N_0/2$ , et de densité spectrale de puissance de bruit  $N_0$ . La densité de probabilité,

$$P_{Y/X}\left(\frac{y}{x}\right) = \sqrt{\frac{1}{2\pi\sigma_b^2}} e^{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_b^2}} \quad (1.13)$$



**Figure 1.12 :** Système de communication avec un canal à bruit additif [21]

### Conclusion :

Les réseaux sans fil sont devenus un marché porteur en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, et le WIFI est une technologie intéressante et largement utilisée dans divers domaines tels que l'industrie, la santé et le domaine militaire. Cette diversification des usages est due aux nombreux avantages offerts par ces technologies, tels que la mobilité et la simplicité d'installation (sans câbles) c'est-à-dire que dans un réseau sans fil, les stations ne sont plus physiquement connectées entre elles un support de réseau sans fil.

Dans ce chapitre, le contexte de l'étude est présenté à partir de la transmission numérique. Ensuite, les caractéristiques des différents types de canaux de propagation ont été appelées.

*CHAPITRE 02 :*

*MODULATION*

*MONO/MULTI*

*PORTEUSE ET*

*ACCES MULTIPLES*

### Introduction :

Dans les cas rare, les signaux ne sont pas adaptés à une transmission directe via le canal de transmission. Et la connexion est différente et peut être sans fil, filaire ou optique. Les signaux peuvent être transmis d'une manière Directement en origine numérique, ou analogique (parole, image, vidéo ...) mais doit être converti en forme numérique. A partir de ce concept, on peut dire que la mission du système de transmission se résume à

La transmission d'informations de la source au destinataire après avoir passé par plusieurs techniques de traitement du signal telles que modulation et multiplexage.

### 2.1. Transmission numérique : [1]

L'objectif de la modulation est de transmettre des informations de l'expéditeur au récepteur sur un canal de transmission. Ce canal présente plusieurs caractéristiques et limitations dont il faut tenir compte. Par exemple, il y a plusieurs perturbations pour que le canal sélectif en fréquence atténue le signal dans certaines bandes de fréquences et l'amplifie dans d'autres bandes, et le système de transmission doit prendre en compte ces perturbations. Ainsi, les données numériques doivent subir un certain nombre de transformations avant d'être envoyées, et pour récupérer les données numériques envoyées, une autre série de transformations est réalisée dans le récepteur pour récupérer les données numériques envoyées. Les différentes étapes seront expliquées respectivement dans ce chapitre. Le diagramme ci-dessous résume toutes ces étapes.

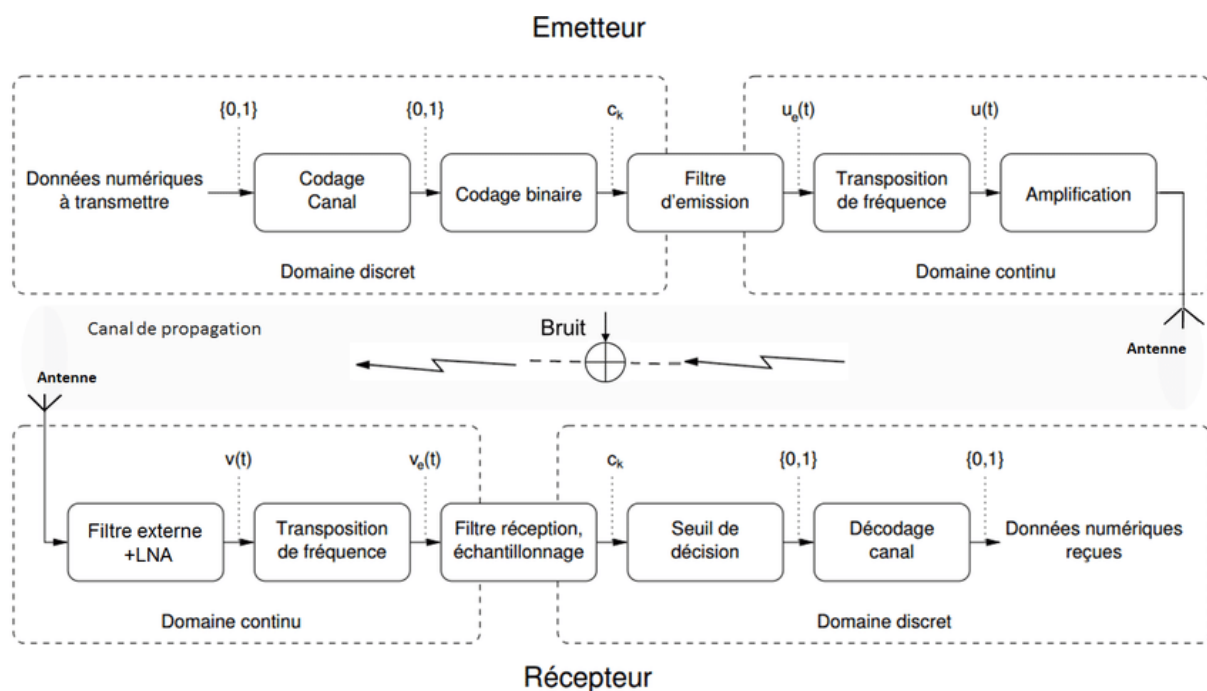


Figure 2.1 : Étapes d'une chaîne de transmission numérique [2]

### 2.2. Définition de modulation : [3]

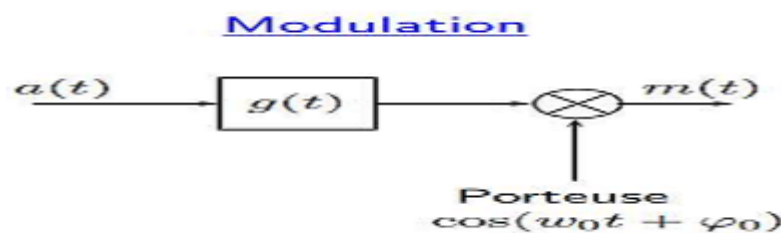
La modulation est un processus d'encodage pour des informations de la source convenablement pour la transmission. De cette manière, le signal est traduit à partir d'un message bande de base jusqu'à la bande passante du signal. Le signal définit la bande de base. Le signal et la bande passante modifiés sont appelés signal modulé.

On peut aussi faire quelques ajustements en modifiant certaines propriétés des ondes ceintures comme indiqué par le message.

L'appareil que nous utilisons pour la modification est généralement électronique. Et être le processus inverse d'extraction du signal de la porteuse est la démodulation.

### 2.3. Principe de Modulation : [4]

Dans la communication d'une information entre deux utilisateurs on utilise La modulation et la démodulation sont deux étapes. 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 (émetteur), la bande passante d'émetteur est réduite, et elle est affectée par d'atténuation et de distorsions. La modulation constitue déplacement des informations binaires des protocoles et du programme vers tension et courant dans la ligne. Le type de modulation utilisé 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 2.2 :** Schéma d'une modulation

Ainsi, la modulation facilite la traduction du spectre du message dans le domaine fréquentiel, plus adapté aux supports de propagation, et après démodulation elle garantit la qualité requise par les autres couches du système.

L'objectif des configurations analogiques est d'assurer une qualité de transmission adéquate Informations analogiques (audio, musique, image, vidéo) dans les limites du canal utilisé et Application.

L'objectif des réformes numériques est de maximiser le débit de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable pour les protocoles et correcteurs en amont et en aval. La modification est le composant principal de la couche physique.

### 2.4. Les intérêts de modulation :

- Facilite l'accès multiple.
- Augmente la portée de communication.
- Réduction de la taille de l'antenne.

### 2.5. Les différents types de modulation:

Les 2 types de modulation distingués:

- Modulation analogique : le signal modulant est continu.
- Modulation numérique : le signal modulant est un signal numérique.

### 2.6. Avantages de la modulation :

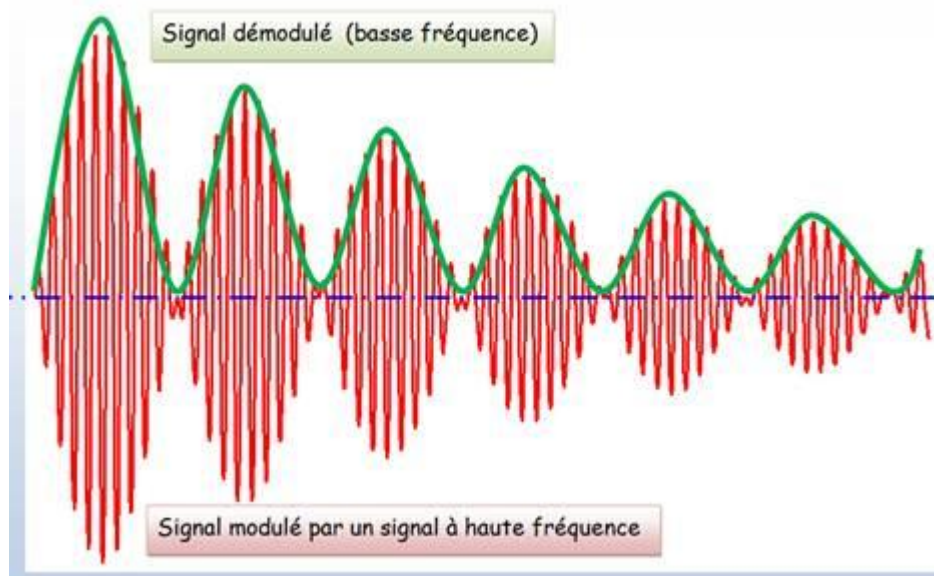
- Réglage du signal formé avec les caractéristiques de fréquence du canal de transmission
- Rayonnement potentiel dans une antenne
- Capacité de transmission quelle que soit la distance (comme les satellites)
- Moins de sensibilité au bruit et aux interférences extérieures
- Transmission simultanée: permet de multiplier la fréquence

### 2.7. Inconvénients de la modulation:

- Systèmes plus complexes.
- La bande de fréquence de transmission est plus large que la plage de messages.

### 2.8. Démodulation :

La démodulation est le processus inverse (en modulation) pour récupérer le signal de message  $m(t)$  ou  $d(t)$  au niveau du récepteur. Ainsi, le signal doit être effacé de la porteuse en modifiant le moins possible le message transmis.



**Figure 2. 3 :** Principe de la démodulation [5]

### 2.9. Modulation Numérique Mono-Porteuse :

#### 2.9.1. Principes généraux :

Pour transférer des informations d'un point à un autre, on utilise une porteuse sinusoïdale haute fréquence (également appelée "radiofréquence" (RF)). La caractéristique de cette onde est l'amplitude de A, son impulsion 0 (avec  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ) et la phase instantanée:

$\omega_0 t + j_0$  Avec la phase  $\omega_0$  dans le parent.

Ça s'écrit: 
$$S(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.1)$$

Avec les paramètres modifiables sont :

- A: L'amplitude

-  $f_0$  : La fréquence  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$

-  $\varphi$  : La phase

En modulation de ses trois paramètres en fonction de l'évolution de l'amplitude du signal à transmettre, également appelé «signal de modulation», un ajustement est effectué en amplitude, fréquence ou phase. A la sortie du modulateur, le signal modulé obtenu s'écrit:  $y_{\text{mod}}(t)$ .

#### 2.9.2. Les types de la modulation Mono-Porteuse : [6]

Dans un système numérique, il est possible de réaliser 3 types de modulation :

-Modulation par déplacement d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying).

-Modulation par déplacement de fréquence FSK (Frequency Shift Keying).

-Modulation par déplacement de phase PSK (Phase Shift Keying).

-Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature QAM (Quadrature Amplitude - modulation QAM).

##### 2.9.2.1. Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying) :

Est un type de modulation numérique dans lequel l'amplitude du signal modulé varie.

Et on peut dire en cela que la modulation d'amplitude est appliquée en changeant l'amplitude du signal en fonction des bits à coder. Par exemple:

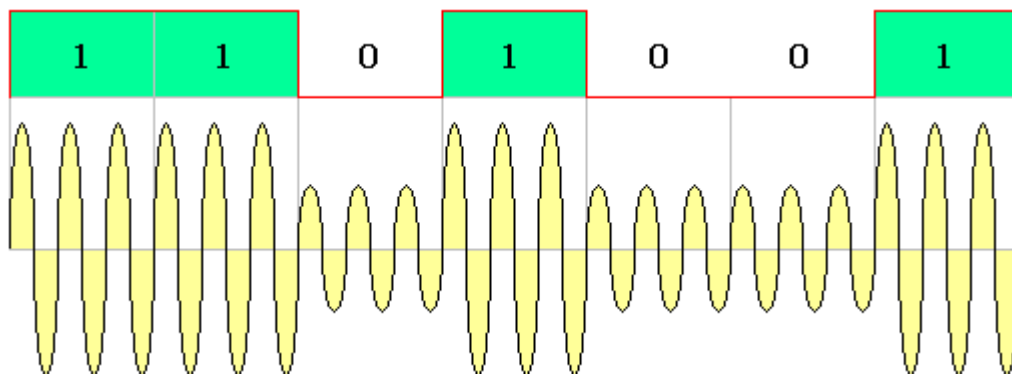


Figure 2.4 : Modulation d'amplitude (ASK) [7]



## CHAPITRE 02 : Modulation mono/multi porteuse et accès multiples

La modulation de capacité peut être utilisée dans les fibres optiques, en fonction de l'équipement actuellement utilisé, et aucune autre modification ne peut être appliquée aux ondes optiques. Dans ce cas, l'ajustement est tout ou rien (ook).

Il est moins utilisé dans certains autres supports, car il entraîne une détérioration du rapport signal sur bruit.

### 2.9.2.2. Modulation de fréquence ou FSK (Frequency Shift Keying) : [8]

Plus communément connu sous son nom anglais (Frequency Shift Switch (FSK)) est une méthode dans laquelle la fréquence d'un signal modulé diffère entre les fréquences prédéfinies.

Le mode FSK est utilisé pour les transmissions à bas débit sur le réseau téléphonique commuté. Les 1 et 0 binaires sont appelés fréquences Mark et Space.

Porteuse sinusoïdale de Fréquence  $F_0$  modulée par deux fréquences opposées  $+f_0$  et  $-f_0$ .

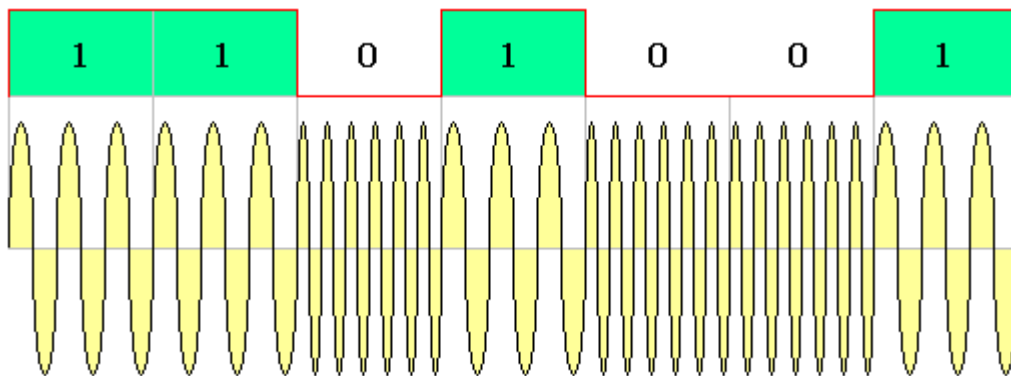


Figure 2.5 : Modulation de fréquence (FSK) [9]

### 2.9.2.3. Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying) :

La modulation de phase est la valeur de phase de l'onde porteuse avec un code binaire. Nous pouvons également augmenter la vitesse facilement en utilisant un code binaire composé de 2, 3 bits ou plus, mais la fréquence porteuse reste constante.

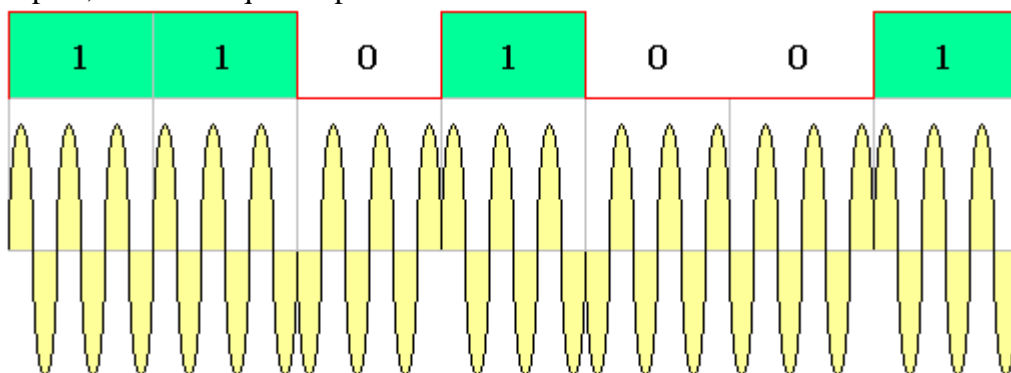
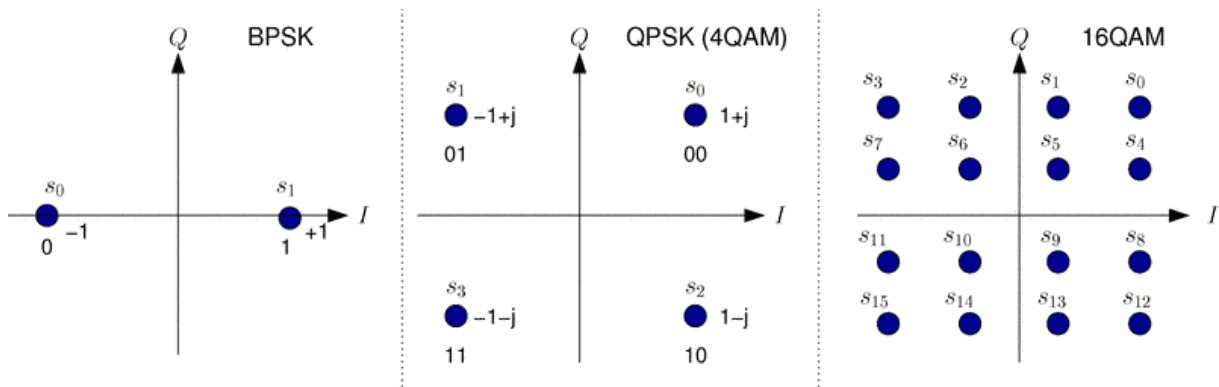


Figure 2.6 : Modulation de Phase (PSK) [10]

## CHAPITRE 02 : Modulation mono/multi porteuse et accès multiples

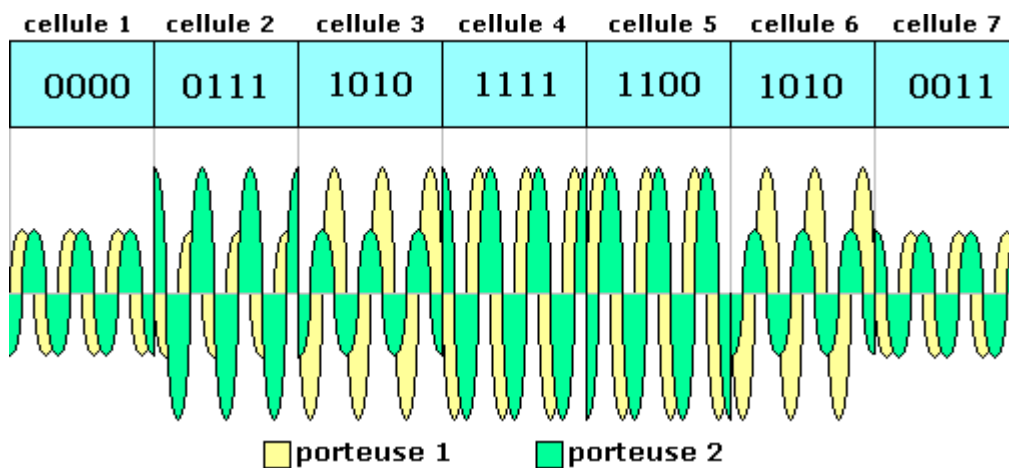
Les formes les plus couramment utilisées de PSK sont BPSK (binaire ou 2-PSK deux valeurs de phase possibles), QPSK (quadruple ou 4-PSK quatre valeurs de phase possibles) et DPSK (différentiel-PSK).



**Figure 2.7 :** les formes du Modulation de Phase (BPSK, QPSK ,16QAM) [11]

### 2.9.2.4. Modulation QAM :

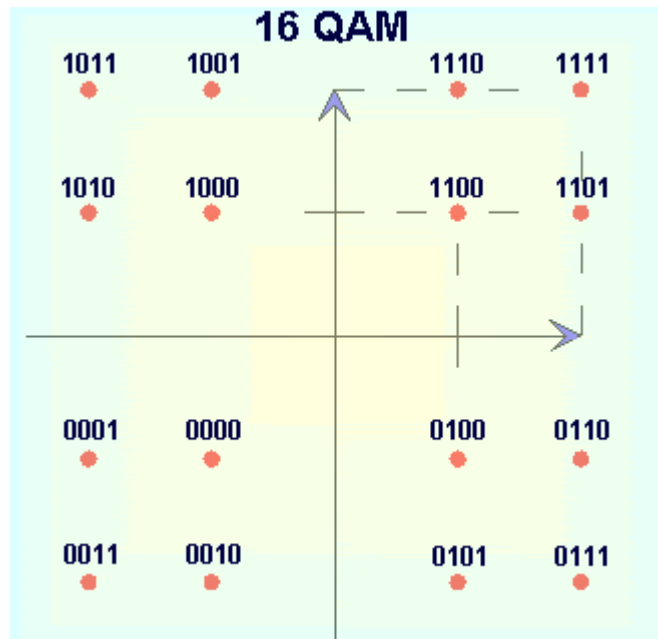
Le concept de modulation d'amplitude quadratique (QAM) est centré sur une technologie combinant modulation de phase et d'amplitude, largement utilisé par les modems pour leur permettre d'offrir des débits élevés.



**Figure 2.8 :** Modulation QAM [12]

Constellation	Valence	Nombre de bit par symbole
2 QAM	2	1
4 QAM	4	2
8 QAM	8	3
16 QAM	16	4
32 QAM	32	5
64 QAM	64	5
etc.	etc.	etc.

**Tableau 2.2 :** Le tableau de correspondance



**Figure 2.9 :** Modulation du 16 QAM [13]

Dans cet exemple, un signal de problème QAM avec 4 bits transmis en bauds Selon cette modification  $2^3$  dans nous avons 16 groupes binaires différents. Nous avant 4 amplitudes combinées avec 8 décalages de phase différents.

Les porteuses en quadrature : nous avant deux valeurs l'amplitude  $A$  et  $A/2$ .

Avec combinant les signes nous obtenue :

$$A.\sin(2\pi ft + \varphi \pm \pi) = -A.\sin(2\pi ft + \varphi) \quad (2.2)$$

$$A.\cos(2\pi ft + \varphi \pm \pi) = -A.\cos(2\pi ft + \varphi) \quad (2.3)$$

On obtient 4 combinaisons entre elles (par quadrant).

Dans en tout : 16 points.

**Avantages et inconvénients du QAM :**

- deux fois plus d'informations pour la même plage.
- Capteur PS de DSB-SC pour les erreurs de porteuse générées par le récepteur.
- Il résulte d'une erreur de fréquence ou d'une phase de diaphonie.

**2.9.3. Comparaison ASK /FSK /PSK :**

La modulation	ASK	FSK	PSK
Application	Il est utilisé pour Transmission Données numériques Sur les fibres optiques	sur les lignes vocales, en haute fréquence. transmission radio, etc.  *modem téléphonique de communication militaire	-La technique PSK est largement utilisée pour les réseaux locaux sans fil, biométriques -opérations sans contact, avec RFID et Bluetooth . -transmissions par satellites.

Démodulation	La modulation était probablement le premier type de modulation numérique à être appliqué dans la pratique. Dans sa forme la plus simple, il a été utilisé pour la transmission de radiotélégraphie en code Morse.	le démodulateur doit être capable de déterminer laquelle des deux fréquences possibles est présente à un instant donné	La modulation par déplacement de phase (PSK) est un processus de modulation numérique qui achemine des données en modifiant (modulant) la phase d'un signal de référence (l'onde porteuse)
Avantage	Simplicité. Économie d'énergie	FSK est moins sensible aux erreurs que le récepteur ASK recherche des changements de fréquence spécifiques sur un certain nombre d'intervalles, de sorte que les pics de tension (bruit) peuvent être ignorés	Réalisation moins simple que pour la MDA: la complexité n'est cependant pas très grande. Démodulation cohérente. Meilleure efficacité que la MDA asymétrique Encombrement spectral très réduit Assez bonne sensibilité.
Désavantage	ASK est très sensible aux interférences de bruit: le bruit affecte généralement (seulement) l'amplitude, donc ASK est la technique de modulation la plus affectée par bruit	Le spectre FSK est 2 x spectre ASK	Sensible au bruit de phase. avec M élevé Le signal n'est pas à enveloppe constante

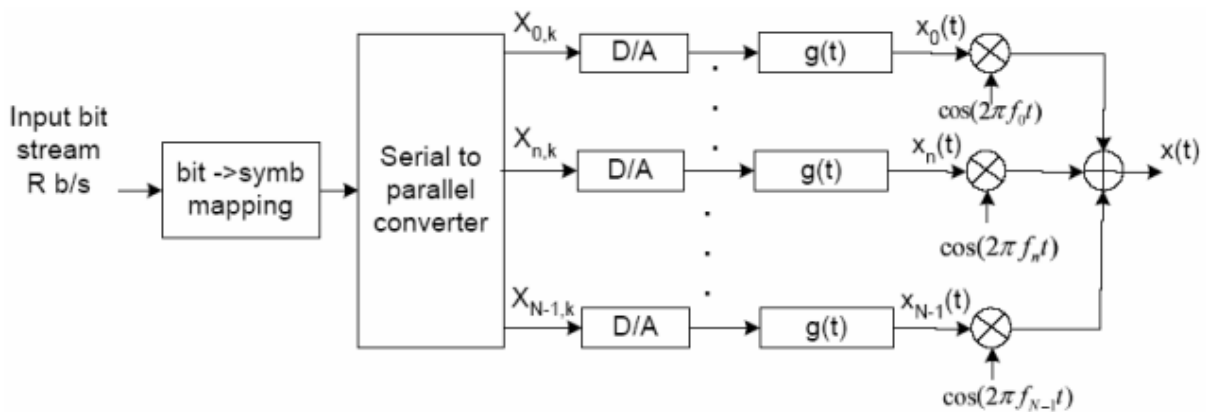
**Tableau 2.1 :** Tableau de Comparaison entre ASK /FSK /PSK

### 2.10. Modulations multi-porteuses :

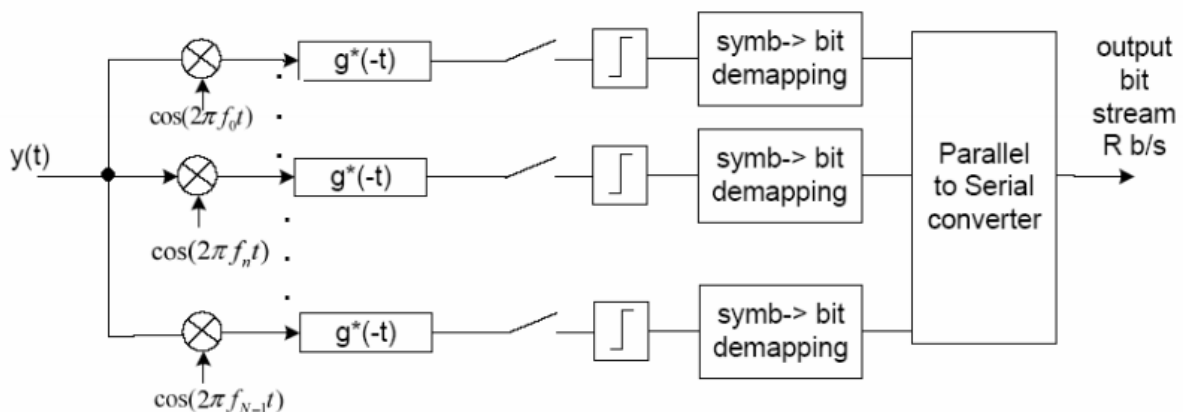
#### 2.10.1. Principe :

La modulation de multiples porteuses peut simplifier le problème d'égalisation dans le cas d'un canal sélectif en fréquence, c'est-à-dire lorsque la propagation des retards  $T_r$  est importante par rapport à la durée du symbole  $T_s$ . Le principe est de transmettre plusieurs Symboles simultanément en parallèle sur des différences de porteuses. Avec la modulation de porteuse  $N_p$  des symboles plus longs peuvent être utilisés tout en conservant le même débit binaire que la modulation à porteuse unique. En choisissant une valeur suffisamment grande pour  $N_p$ , la durée des symboles devient grande par rapport à l'étalement des retards, et les

perturbations liées à l'écho deviennent minimales.

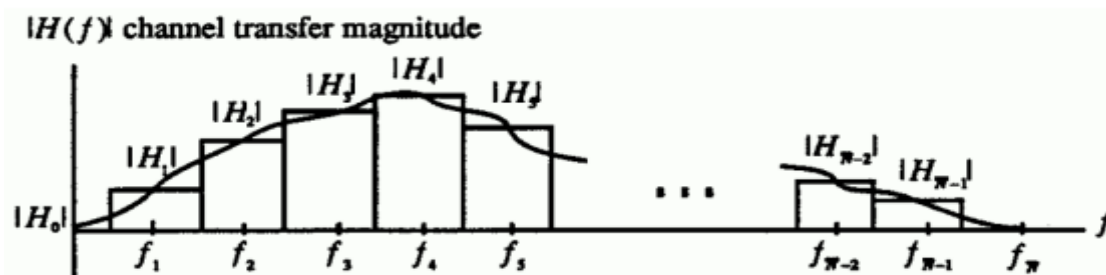


**Figure 2. 10 :** Modulation multi-porteuses en émetteur [14]



**Figure 2. 11 :** Modulation multi-porteuses en récepteur [14]

Pour que chaque porteuse occupe une bande de fréquence  $\Delta f$  inférieure à la bande de cohérence  $B_c$  du canal, même si  $\Delta f$  elle est grande devant la bande de cohérence  $B_c$ , la bande spectrale distribuée pour la transmission peut être partagée entre les différentes porteuses. On peut observer qu'il y a duplication de fréquence temporelle entre mono et multi-porteuse. La modulation à porteuse unique effectue un multiplexage par répartition dans le temps, tandis que la modulation multi-ondes effectue un multiplexage de fréquence, d'où le nom FDM (Frequency Division Multiplexing):



**Figure 2.12 :** Dualité temps-fréquence de modulations multi-porteuses [15]

## CHAPITRE 02 : Modulation mono/multi porteuse et accès multiples

L'efficacité spectrale peut être définie comme le débit binaire par unité de fréquence. Il existe une relation directe entre l'efficacité spectrale et la possibilité de transmettre un débit binaire important sur un canal donné. L'efficacité spectrale est influencée par le choix et l'espacement des porteurs. Afin de maintenir le même rendement qu'avec une modulation porteuse équivalente, les fréquences porteuses utilisées doivent être soigneusement sélectionnées. La méthode la plus courante consiste à utiliser des vecteurs orthogonaux.

### 2.10.2. Systèmes de modulation multi-porteuse : [16]

Les formules sont récapitulées les systèmes les plus couramment utilisés et connus dans ce qui suit :

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

### 2.11. Intervalle de garde :

Lorsque le signal se propage entre l'émetteur et le récepteur, il subit beaucoup de distorsion et arrive sous la forme de plusieurs symboles atténués et retardés.

Il peut y avoir une légère interférence entre les deux symboles OFDM transmis en série respectivement et c'est ce qu'on appelle Propagation par trajets multiples, qui peut entraîner une perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses.

Cela devrait réduire Dans une large mesure les performances du système de transmission OFDM et pour éviter cette interférence, on ajoute un intervalle de garde de durée  $T_g$  (espace entre symboles OFDM), et la durée totale du symbole transmis est :

$$T = T_{\text{OFDM}} + T_g \quad (2.4)$$

Avec :  $T_g$  : Durée de l'intervalle de garde  
 $T_{\text{OFDM}}$ : Durée du symbole OFDM après l'IFFT

Dans ce cas, c'est la solution est un bon intermédiaire entre la minimisation des erreurs et la perte de débit utile. Pour éliminer cet effet de canal indésirable.

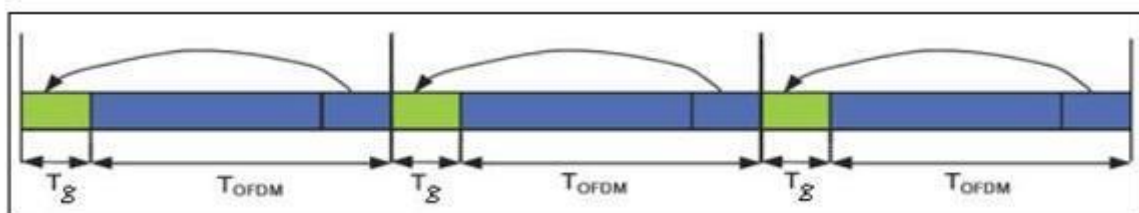
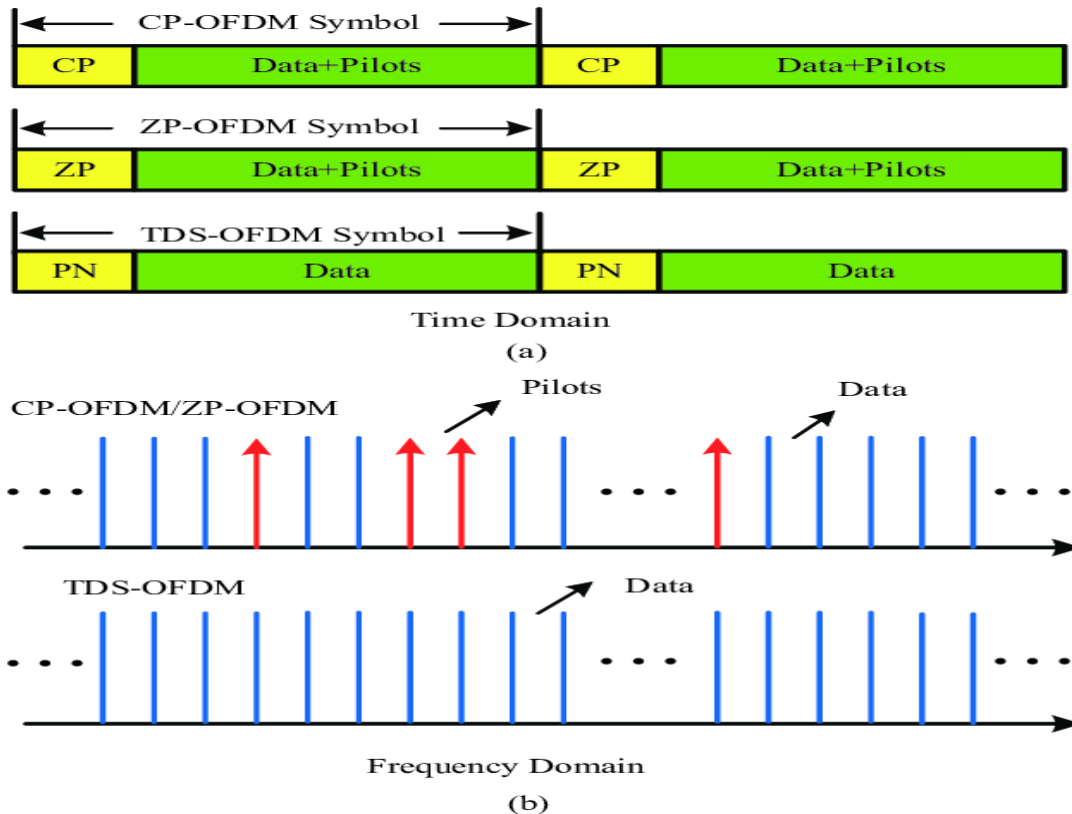


Figure 2.13: d'intervalles garde [17]

### 2.11.1. Les types de d'intervalles gardent :

Il existe deux types de d'intervalles garde dans la pratique :



**Figure 2.14:** Structure des signaux CP-OFDM, ZP-OFDM (a) domaine temporel (b) domaine fréquentielle. [18]

#### 2.11.1.1. Préfixe cyclique (CP) :

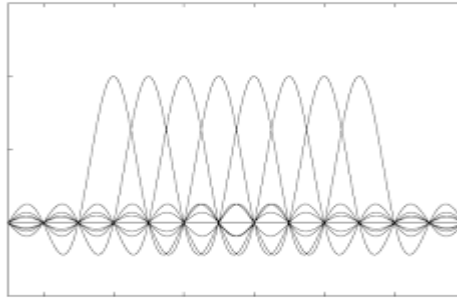
Est un processus qui consiste à copier la fin du code OFDM à son début afin de le déplacer en aval de la trame. Plus clairement, tout cela pour récupérer une partie des informations qui seront envoyées et insérées au début de la trame, que l'on appelle le préfixe périodique (CP-OFDM).

#### 2.11.1.2. Zéro remboursement (ZP) :

C'est le fonctionnement inverse du séparateur de garde CP, dans ce cas des zéros sont introduits à la place du séparateur de garde, il n'envoie aucun signal pendant la période de garde.

### 2.12. Porteuses orthogonales :

Les fréquences porteuses doivent être aussi proches que possible, pour que le signal modulé ait une efficacité spectrale élevée, tout en garantissant que le récepteur est capable de les séparer et de trouver le symbole numérique émis sur chacune d'elles. Ceci est vérifié si le spectre de porteuse est nul aux autres fréquences porteuses.



**Figure 2.15:**Porteuses orthogonales [19]

on définit l'orthogonalité de deux fonctions  $f(t)$  et  $g(t)$  dans l'intervalle  $[a,b]$ , est défini par la relation suivante:

$$\int_a^b f(t)g(t)dt = 0 \quad (2.5)$$

Une forme d'onde classique est tout simplement le rectangle de durée  $T_s$  :

$$H(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_s \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (2.6)$$

### 2.12.1. Les types d'orthogonalité :

Il y a deux types d'orthogonalité :

- Orthogonalité temporelle.
- Orthogonalité fréquentielle.

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé d'une définition générale de la modulation, et nous avons présenté des types de modulation qui diffèrent entre eux, et il est utilisé plus précisément par la modulation multi-porteuse.

En particulier, la technologie FDM qui est une partie importante de technologie OFDM. Ce dernier sera expliqué dans le chapitre suivant.



*CHAPITRE 03 :*

*ETUDE DE LA*

*TECHNIQUE DE*

*TRANSMISSION*

*OFDM*

### Introduction :

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technologie avancée qui encode les signaux numériques en divisant les fréquences orthogonales sous la forme de plusieurs sous-porteuses.

Où cela fonctionne pour envoyer des données numérisées simultanément en les modulant sur un grand nombre de porteuses. C'est un moyen simple et peu coûteux de réaliser une modulation multi-porteuse en utilisant la dft et la dft inversée basée sur des algorithmes rapides de calcul des transferts (fft et ifft).

Il existe plusieurs types différents d'ofdm où dmt fait référence au système de transmission ofdm en bande de base. Cofdm (coded orthogonal frequency division multiplexing) fournit un code de correction d'erreur. Wcp-ofdm (weighted periodic prefix orthogonal frequency division multiplexing) fournit un préfixage périodique et une pondération du signal à la sortie de l'émetteur afin de s'adapter aux canaux mobiles à trajets multiples.

### 3.1. Histoire de l'OFDM :

L'OFDM est né dans les années 50 et 60, mais il ne fonctionnait pas vraiment à l'époque. La technologie OFDM a été utilisée dans les systèmes suivants: Télécommunications, en particulier les systèmes militaires HF à la fin des années 1960 [1], [2]. Cependant, leur complexité empêche la commercialisation pour le moment.

OFDM a été proposé par Chang [3] des pour déposer une demande de brevet aux États-Unis. Les laboratoires Bell ont été brevetés en 1966 et brevetés en 1970. Flux de données parallèle et FDM (Frequency Division Multiplexing) Éviter le chevauchement de différents spectres de sous-porteuses Égalisation pour corriger les trajets multiples et Utilisez pleinement la bande passante disponible. Dans le domaine de Dans les télécommunications, le terme "modulation multi-canal (MCM)" est largement utilisé Largement utilisé, parfois interchangeable avec OFDM. Dans OFDM, chaque transporteur Orthogonal à tous les autres porteurs. Cependant, cette situation n'est pas Restez toujours dans MCM. OFDM est la meilleure version de cet arrangement Transmission multi-canal.

Pour un grand nombre de sous-canaux, la somme des lignes du générateur sinus Le démodulateur requis dans le système parallèle devient coûteux et compliqué. Au début des années 1970, Weinstein et Ebert [4] ont montré qu'il était possible de synthétiser Utilisation des opérations de modulation et démodulation OFDM Transformée de Fourier [5]. La complexité de calcul peut être considérablement réduite Utilisez l'algorithme de transformée de Fourier rapide (FFT). et donc, OFDM est une technologie de modulation basée sur DFT, également connue sous le nom de Le nom de DMT (Discrete Multitone) lié à la transmission par câble [6].

### 3.2. Modulation de l'OFDM : [7]

Le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence (OFDM) est une modulation multi-porteuse. Il consiste à diviser le spectre de fréquences disponible en plusieurs sous-canaux.

Une méthode simple et peu coûteuse pour réaliser une modulation multi-porteuses consiste à utiliser la DFT et la DFT inverse.

# CHAPITRE 03 : Etude de la technique de transmission OFDM

$$\text{DFT}\{x[n]\} = X[i] \triangleq \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\frac{2\pi ni}{N}}, \quad 0 \leq i \leq N-1. \quad (3.1)$$

$$\text{IDFT}\{X[i]\} = x[n] \triangleq \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X[i] e^{j\frac{2\pi ni}{N}}, \quad 0 \leq n \leq N-1. \quad (3.2)$$

Il existe des algorithmes rapides pour calculer les transformations (FFT et IFFT) et la base d'exponentielles complexes est orthogonale.

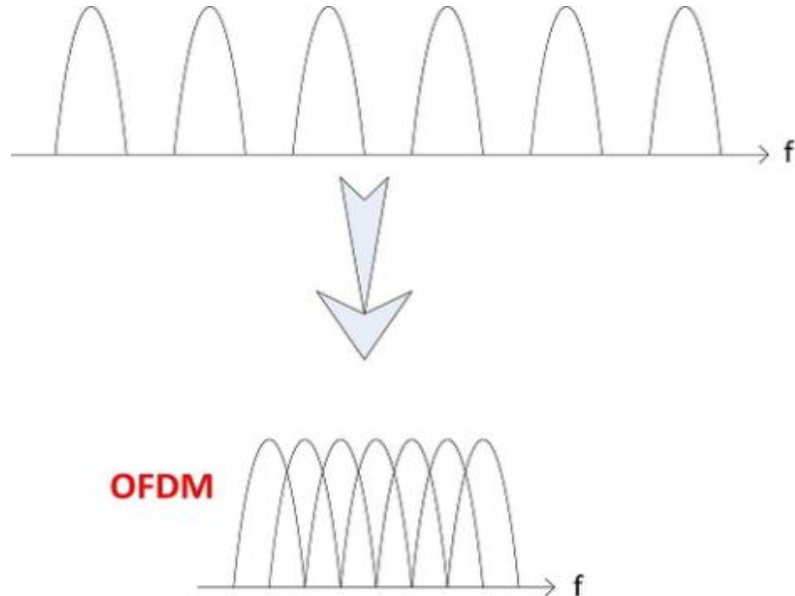


Figure 3.1 : OFDM d'émission/réception [8]

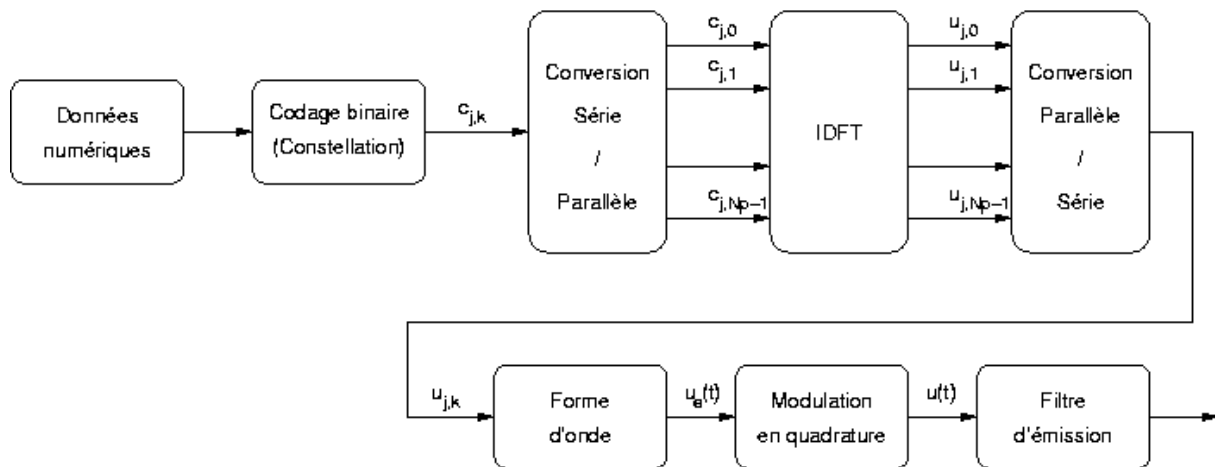


Figure 3.2: Réalisation d'un OFDM [9]

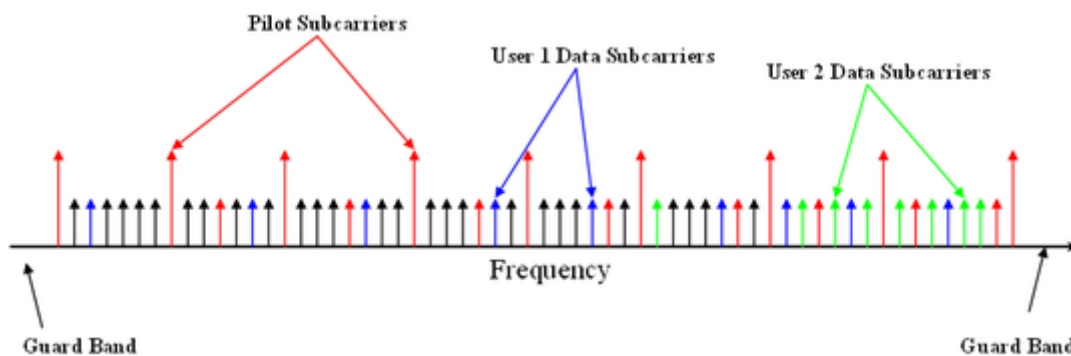
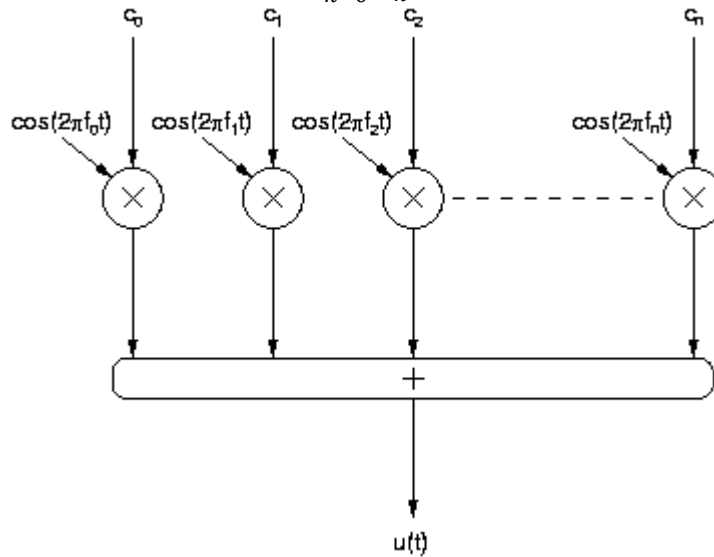


Figure 3.3: OFDMA [10]

## 3.3. Principe de la modulation/démodulation OFDM :

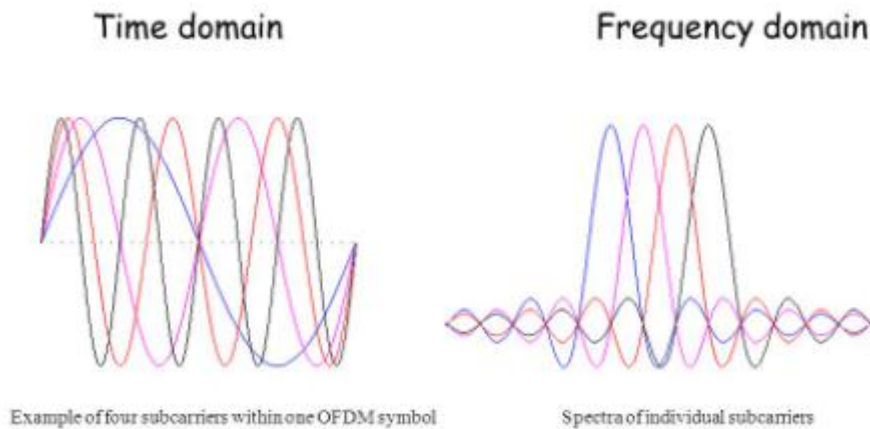
Le signal résultant  $u(t)$  correspondant à l'ensemble des  $N$  sous porteuses réassemblés en un symbole OFDM :

$$U(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f_k t} \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad (3.3)$$



**Figure 3.4:** Réalisation possible d'un modulateur OFDM [11]

Ici, nous avons une figure montrant le signal OFDM résultant correspondant à toutes les  $N = 4$  sous-porteuses recombinaées dans le symbole OFDM:



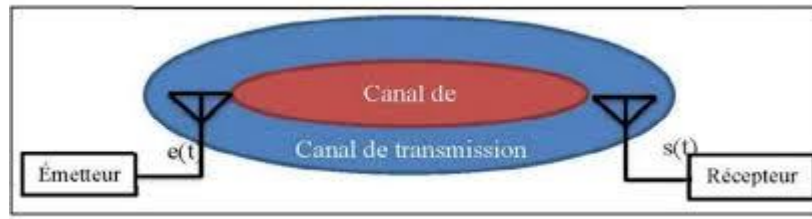
**Figure 3.5:** Construction d'un signal OFDM avec 4 sous-porteuses [12]

Ainsi, il n'y a pas d'interférence avec d'autres sous-porteuses si l'échantillonnage est spécifiquement à la fréquence  $kf$  d'une sous-porteuse. Ceci permet de couvrir les spectres de différentes sous-porteuses obtenant ainsi une occupation idéale du spectre.

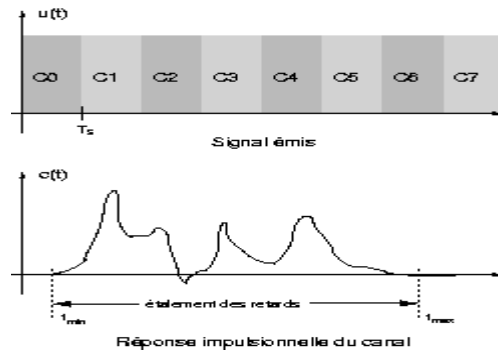
Le signal obtenu au niveau du récepteur s'écrit pendant le terme du symbole  $T_s$ :

$$y(t) = \sum_{K=0}^{Np-1} C_k h_k e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \quad (3.4)$$

$h_k(t)$  Est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence  $f_k$  et à l'instant  $t$ . Cette fonction change lentement et on peut supposer qu'elle est constante pendant la période  $T_s$  si l'on observe sur la figure suivante :

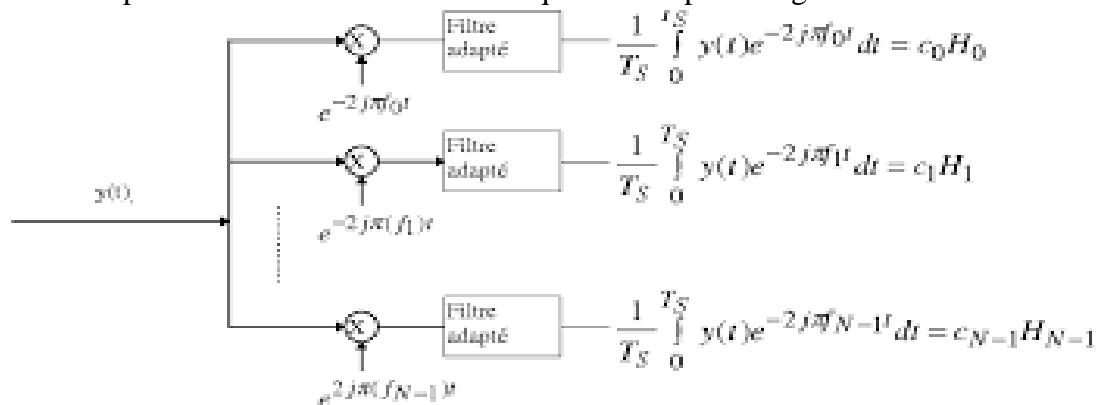


**Figure 3.6 :** Représentation du canal de transmission [13]



**Figure 3.7:** Réponse du canal [14]

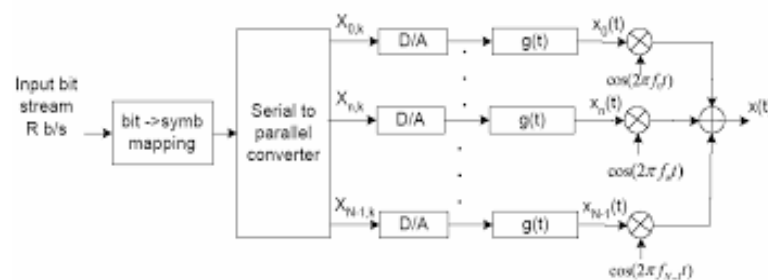
On peut dire que le processus de démodulation classique consiste à démoduler le signal selon les N sous-porteuses selon le schéma classique illustré par la figure suivante :



**Figure 3.8:** Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM [15]

### 3.4. Réalisation et égalisation :

L'OFDM peut être difficile à calculer car une perception analogique, est nécessaire les fréquences sont espacées  $\frac{1}{T_s}$  et bien synchronisés :



**Figure 3.9 :** Réalisation d'OFDM [16]

## CHAPITRE 03 : Etude de la technique de transmission OFDM

Alors nous sommes démantelés Expression du symbole OFDM:

$$U_j(t) = R \left( \sum_{K=0}^{Np-1} C_{j,k} e^{2i\pi(f_0 + \frac{k-Np/2}{T_s})} h(t-jTs) \right) \quad (3.5)$$

$$U_j(t) = R(U_{e_j}(t) e^{2j\pi f_0 t}) h(t-jTs) \quad (3.6)$$

$$\text{Avec } U_{e_j}(t) = \sum_{K=0}^{Np-1} C_{j,k} e^{2i\pi(f_0 + \frac{k-Np/2}{T_s})} \quad (3.7)$$

Si Transformée de Fourier inverse des symboles , les coefficients de l'IDFT (Inverse Discrète Fourier Transformé) des  $C_{jk}$  est :

$$U_{j_l}(t) = \sum_{K=0}^{Np-1} C_{j,k} e^{2i\pi(\frac{k-Np/2}{T_s})} \quad (3.8)$$

On peut construire un signal continu à partir des  $C_{j_l} \quad l=0 \dots Np-1$ , cadencés à la fréquence  $Np/T_s$  :

$$U'_{e_j}(t) = \sum_{K=0}^{Np-1} U_{j,k} h_{Np}(t - jTs - k \frac{Np}{T_s}) \quad (3.9)$$

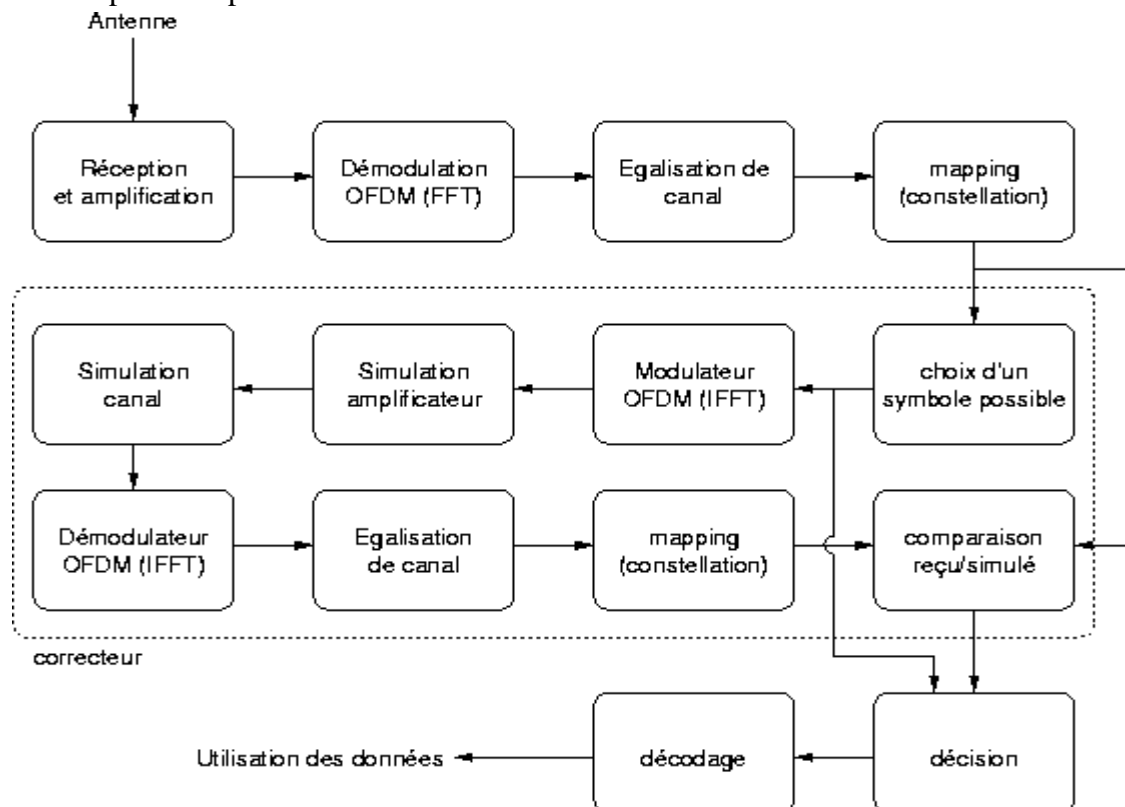
Avec où  $h_{Np}(t)$  est la fonction rectangle de durée  $T_s/Np$

Remarque :

Le signal  $U_{e_j}(t)$  peut être obtenu à partir  $U'_{e_j}(t)$  et d'un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure. Nous vous suggérons donc d'utiliser le processus suivant:

$$U'_{j_l}(t) = R \left( \sum_{K=0}^{Np-1} U_{j,k} e^{2j\pi f_0 t} h_{Np}(t - jTs - k \frac{Np}{T_s}) \right) \quad (3.10)$$

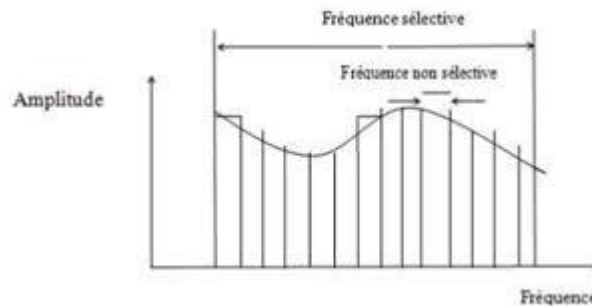
Après un filtrage de la fréquence  $f_0$  avec une largeur de bande de  $Np/T_s$ , Nous obtiendrons le même signal obtenu en démantelés Expression du symbole OFDM. Ainsi, un émetteur OFDM peut être produit en utilisant un IDFT et un modificateur.



**Figure 3.10** : Réalisation d'un émetteur OFDM [17]

## CHAPITRE 03 : Etude de la technique de transmission OFDM

Il est nécessaire de sélectionner le nombre de porteuses pour éviter les distorsions provoquées par le canal afin que la durée du symbole OFDM soit longue par rapport à la durée de la réponse impulsionnelle du canal. Elle peut être exprimée dans le domaine fréquentiel: pour obtenir une petite largeur de bande porteuse devant la bande de cohérence. On peut donc considérer que la réponse en fréquence du canal est constante pour chaque porteuse:



**Figure 3.11** : Réponse fréquentielle du canal [18]

Le signal reçu par le récepteur après filtrage pour le symbole OFDM numéro  $p$  peut être représenté par :

$$v_j(t) = \sum_{k=0}^{Np-1} e^{2j\pi(f_0 + \frac{k-Np/2}{T_s})t} r_k c_{j,k} h(t - jT_s) \quad (3.11)$$

Avec : 
$$r_k = R(f_0 + \frac{k-Np/2}{T_s}) \quad (3.12)$$

$r_k$  est la valeur de  $R(f)$  à la fréquence  $f_k$ .

### 3.5. Principe de la démodulation : [19]

Le signal arrivant au récepteur est écrit dans la période de symbole  $T_s$ :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k(t) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \quad (3.13)$$

$H_k(t)$  est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence  $ik$  et du temps  $t$ . La fonction change lentement et on peut supposer qu'elle reste constante pendant toute la période  $T_s$  ( $T_s \ll 1/B_d$ ).

La démodulation conventionnelle comprendra la démodulation du signal sur la base de  $N$  sous-porteuses Selon le schéma classique.

La condition d'orthogonalité nous montre:

$$\frac{1}{T_s} \int_{k=0}^{T_s} y(t) e^{-2j\pi f_i t} dt = \frac{1}{T_s} \sum_{k=0}^{N-1} \int_{k=0}^{T_s} c_k H_k e^{2j\pi(k-i)\frac{t}{T_s}} dt = c_i H_i \quad (3.14)$$

Parce que :

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} e^{2j\pi(k-i)\frac{t}{T_s}} dt = 0 \quad (3.15)$$

Si :  $k \neq i$ , 1 si  $k = i$

En fait, pour la modulation, nous avons remarqué que la modulation peut être effectuée par transformée de Fourier.

### 3.6. Les différents types de technique OFDM :

#### 3.6.1. C-OFDM (codage-OFDM) :

- C-OFDM apporte de réels avantages en présence de signaux parasites à bande étroite isolé.

#### 3.6.2. MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output-OFDM):

- Utilisez plusieurs antennes pour envoyer et recevoir des signaux radio.
- Réutilisation de l'espace.

#### 3.6.3. V-OFDM (Vecteur-OFDM) :

- Développé par CISCO
- Création d'une technologie de traitement puissante pour les interférences multivoies et bandes de fréquences étroites.
- Augmenter la couverture des utilisateurs.
- Réduisez les coûts de configuration et de déploiement de l'infrastructure.
- Adopter la diversité fréquentielle et spatiale.

#### 3.6.4. W-OFDM (OFDM large bande):

- Inventé par le Wi-LAN.
- L'écart entre les transporteurs est grand.

#### 3.6.5. Flash-OFDM :

- Technologie à large bande à spectre étalé.
- Évitez les dangers inhérents aux autres systèmes de données mobiles.
- Possibilité de contourner les signaux parasites.

### 3.7. Les systèmes utilisent OFDM: [20]

- DAB : DAB-OFDM constitue la base de la diffusion audio numérique standard (DAB) Sur le marché européen. Digital Audio Broadcasting (DAB) qui utilise déjà OFDM La normalisation en Europe est la prochaine étape au-delà de cette norme La radio FM offre une transmission sans interférence.
- Télévision haute définition
- IEEE 802.11g
  - Réseau local sans fil
- IEEE 802.16 Système d'accès sans fil à large bande.
- IEEE 802.11a
  - Système de transmission ATM sans fil
- ADSL : Ligne d'abonné numérique asymétrique.
- PLC : communication par ligne électrique

### 3.8. Paramètres OFDM :

- $F_s$ : Fréquence d'échantillonnage des symboles en Hz.
- $N$ : Longueur du champ de données en nombre d'échantillons.
- $L$ : Longueur du préfixe cyclique en nombre d'échantillons.
- $N_f \leq N$  Nombre total de porteuses de données.



### 3.9. Avantages de l'OFDM : [21]

Depuis l'OFDM a été utilisé dans de nombreux systèmes sans fil à haut débit Il offre de nombreux avantages.

✓ **Immunité à la décoloration sélective:** l'un des principaux avantages de l'OFDM est Plus résistant à l'évanouissement sélectif en fréquence que les systèmes à un seul opérateur Parce qu'il divise l'ensemble du canal en plusieurs signaux à bande étroite affectés Utilisé séparément comme sous-canal à évanouissement plat.

✓ **Anti-interférence:** les interférences qui se produisent sur un canal peuvent être affectées par Bande passante, cette méthode n'affectera pas toutes les sous-chaînes. ça signifie Toutes les données sont perdues.

✓ **Résistant à l'ISI :** un autre avantage de l'OFDM est qu'il est très résistant à la sommation inter symbole Interférence entre les images. Cela est dû au faible débit de données sur chaque sous-canal. Résistez aux effets à bande étroite : utilisez un entrelacement et un codage de canal approprié, Peut récupérer les symboles perdus en raison de la sélectivité des canaux, et Interférence à bande étroite. Toutes les données ne seront pas perdues.

✓ **Efficacité spectrale:** utilisation de sous-porteuses se chevauchant étroitement entre les lignes, Un avantage important de l'OFDM est qu'il peut utiliser efficacement le spectre disponible.

### 3.10. Inconvénients de l'OFDM :

Le système utilisant la technologie OFDM n'est pas parfait, son inconvénient est Doit être pris en compte lors de la conception, en particulier au niveau de la mise en œuvre Travail matériel. L'OFDM présente certains inconvénients mentionnés ci-dessous Par rapport à la modulation à porteuse unique [22].

Dans les principaux inconvénients de l'OFDM sont:

- Le rapport de l'intensité de crête à l'intensité moyenne du signal et Système à porteuse unique: cela nécessite une très large gamme d'amplificateurs Linéaire.
- Sensibilité aux erreurs de synchronisation temporelle et fréquentielle
- En raison de l'ajout de sous-porteuses virtuelles dans le domaine, une perte d'efficacité est causée Intervalle de garde dans le domaine fréquentiel et temporel.
- Plus sensible au décalage de fréquence et au bruit de phase.
- Il représente le changement d'amplitude dans l'intervalle dynamique Large. Cela nécessite que le rapport de puissance de crête de l'amplificateur de puissance RF soit Moyenne relativement élevée.

### Conclusion :

En conclusion Dans ce chapitre, notre attention se porte sur la technologie OFDM suivez toutes les étapes nécessaires pour générer un signal OFDM ou elle est extraite lorsqu'un signal utile est reçu.

*CHAPITRE 04 :*  
*Simulation et*  
*Résultats de la*  
*Technique OFDM*

### **Introduction :**

L'OFDM est un système de modulation multi ondes qui permet de transmettre des données sous la forme d'un ensemble de signaux orthogonaux à bande étroite appelés sous porteuses. OFDM est basé sur modulation de porteuse telle que QAM et peut transmettre des données à un débit similaire. Dans ce chapitre, nous présentons une chaîne de transmission OFDM mise en œuvre à l'aide de logiciel Scilab

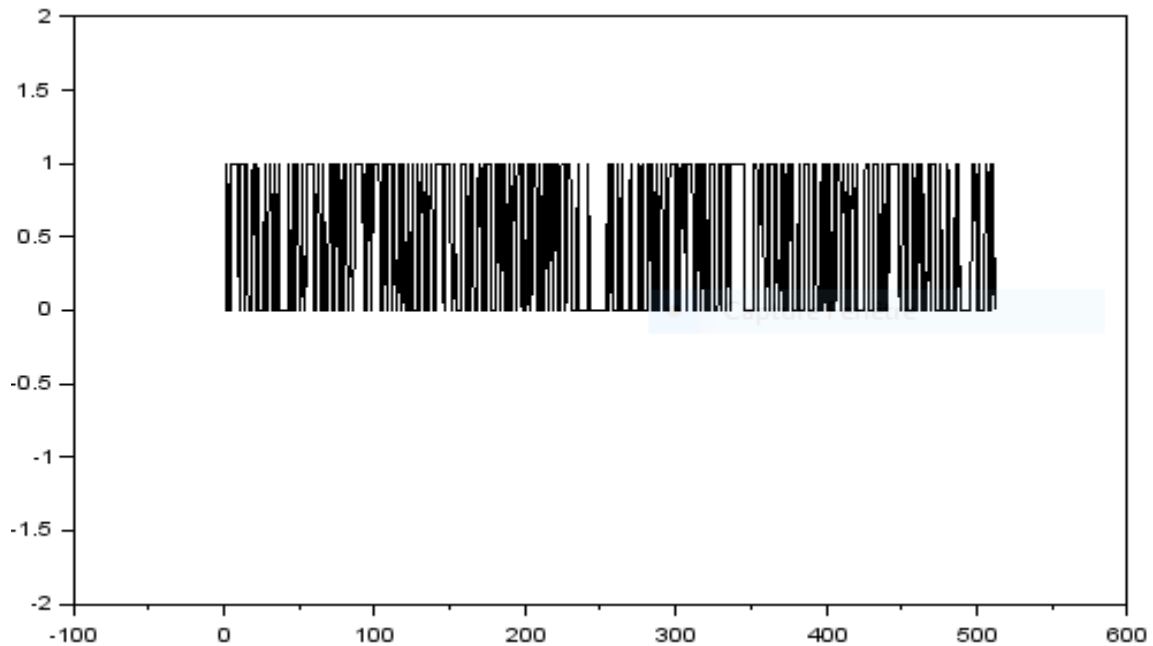
### **4.1. Présentation du logiciel :**

Scilab est une version commerciale Matlab. Développé par l'INRIA et l'ENPC, il est distribué gratuitement en ligne sous une licence Open Source. Ceci est un programme pour l'analyse numérique, il vise à traiter de (grands) tableaux de nombre, écrits en virgule flottante (le nom Matlab vient de Matrix Laboratory). Il est équipé d'un langage de programmation interprété (le script est lu ligne par ligne par la machine exécutant chacun d'eux ligne), mais peut également inclure des sous programmes écrits en fortran ou en C, convertis par compilé dans un programme exécutable directement par la machine. Sous programmes il est ainsi compilé beaucoup plus rapidement que les textes interprétés. Il peut être utilisé pour le traitement du signal, l'analyse statistique, le traitement d'images, les simulations de dynamiques des fluides, l'optimisation numérique, et la modélisation et simulation de systèmes dynamiques explicites et implicites. Cependant, nous ici, il sera limité à l'utilisation de petits textes interprétés. La version de scilab actuellement installée est la 5.2.2, et le système d'exploitation est Linux Fedora13.

### **4.2. Conversion le signal numérique / analogique :**

La figure 4.1 suivant représente le signal numérique qui consiste de 512 bites à transmettre. Le signal numérique au moyen duquel les informations sont représentées par un nombre fini de valeurs discrètes bien déterminées qu'une de ses caractéristiques peut prendre dans le temps.

Pour cette transmission de l'information on utilise une onde électromagnétique on appelle porteuse c'est pour transporter le signal numérique ce qui revient à convertir le signal numérique en un signal analogique. On utilise la modulation QAM pour obtenir un bon débit.



**Figure 4.1 :** Signal numérique à transmettre

Nous convertissons le signal numérique qui montré dans la figure 4.1 c'est à travers de la modulation en amplitude quadrature de phase QAM ce qui nous aide à envoyer les données de l'information à transmettre et facilite l'identification de la constellation au niveau de réception. Ensuite, nous utilisons multiplexage par division de fréquences orthogonal OFDM pour obtenir le signal modulé QAM. La figure 4.2 (Diagramme de constellation) montre le signal de 4QAM correspondant au signal numérique de la figure 4.1.

### 4.3. La constellation :

La modulation 4 QAM : chaque point de la constellation correspond une amplitude des composantes en phase et en quadrature  $[\cos (wt), \sin (wt)]$ . Cette représentation permet de définir la constellation illustrée dans la figure 4.2 ci-dessous. Dans la constellation 4QAM illustrée dans la figure 4.2, les bits de l'information numérique sont regroupés dans 1 seul bits (4 bits dans cette modulation). Chaque symbole est représenté par un point dans la base  $[\cos(wt), \sin( wt ) ]$  formée par deux onde déphasées de  $90^\circ$ . Cette procédure de modulation discutée plus haut, s'appel modulation en quadrature de phase (QAM).

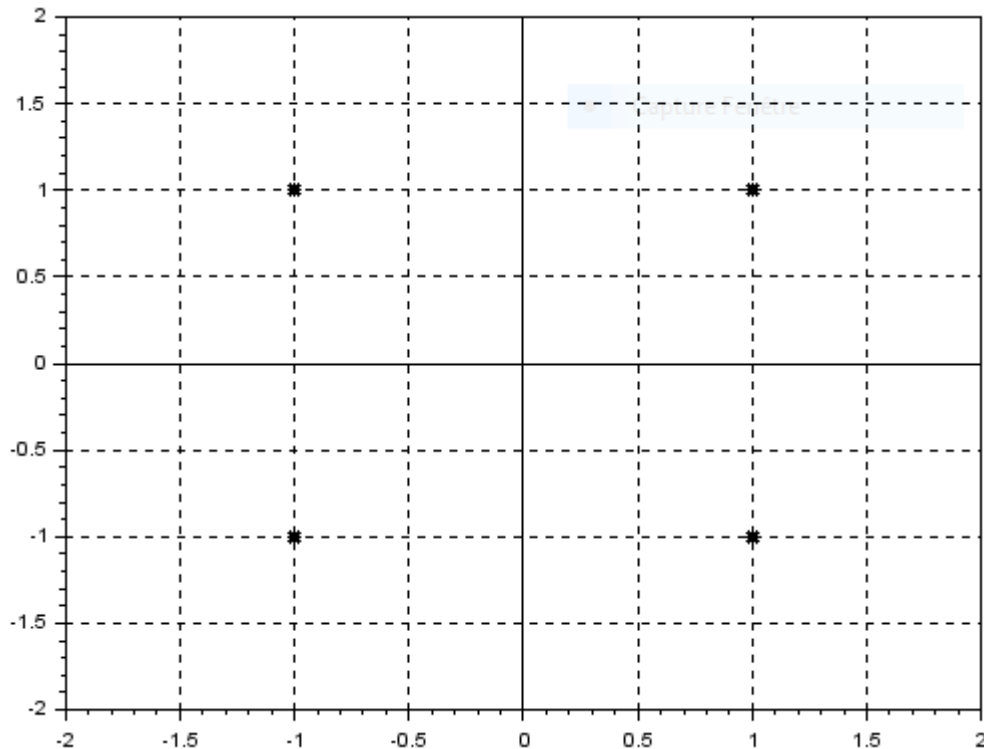


Figure 4.2 : Diagramme de constellation

### 4.4. Interprétation:

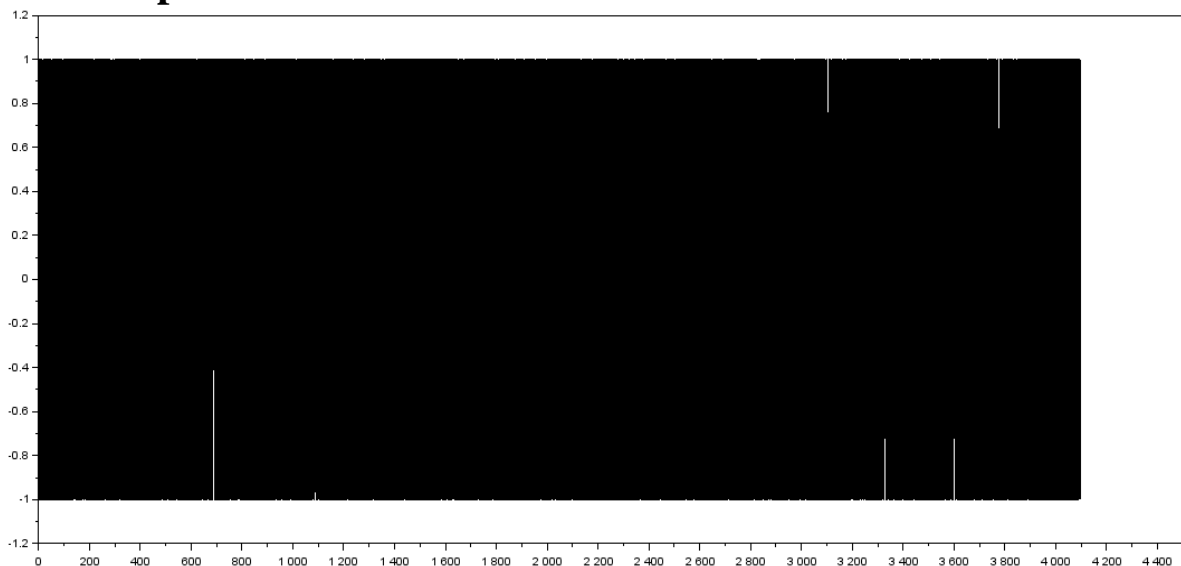


Figure 4.3 : Signal modulé en OFDM transmission IFFT

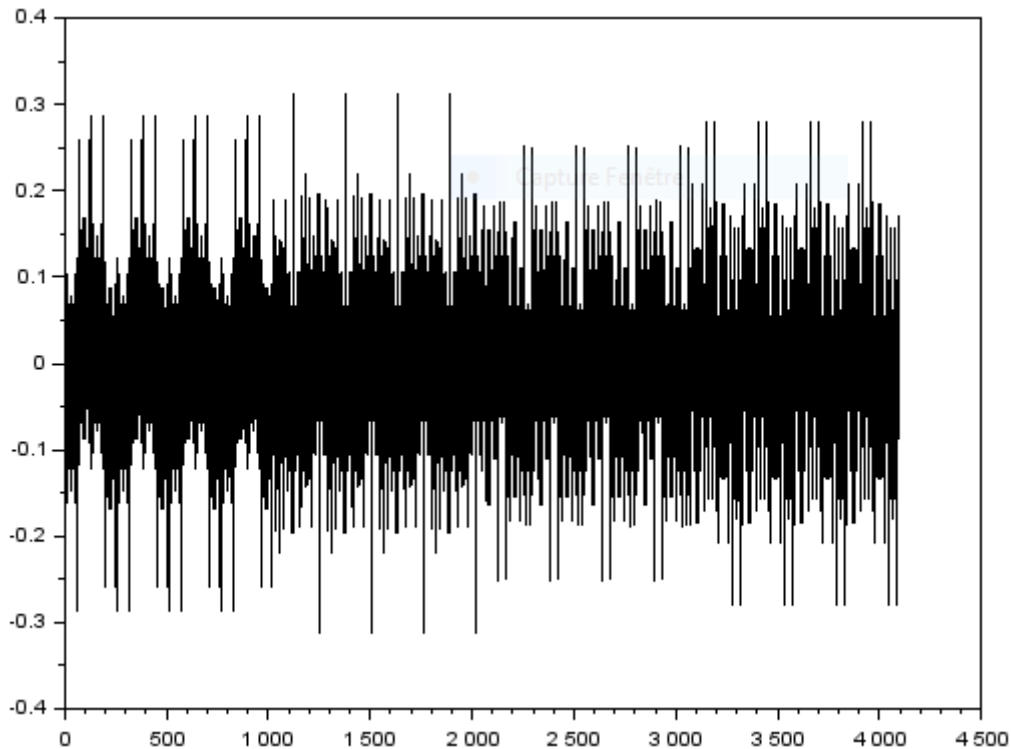
### 4.5. Explication :

Après avoir effectué la conversion série-parallèle sur les échantillons convertis en signaux analogiques par modulation QAM, nous appliquons la transformée de Fourier discrète inverse (TFDI) à l'émetteur. Cette dernière application correspond à la modulation OFDM, car la DFT est bien connue pour avoir une orthogonalité (Figure 4.3).

## CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM

Réception sans bruit du canal :

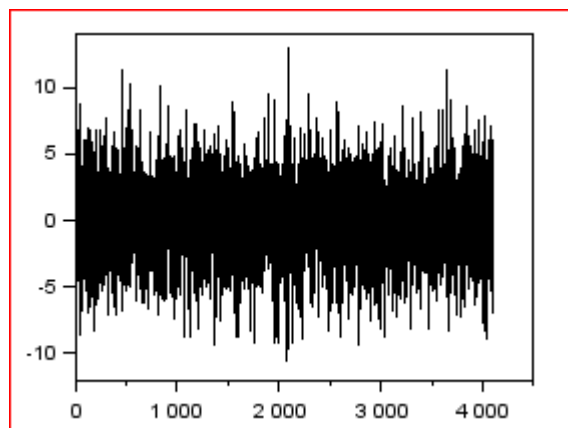
La figure 4.4 montre le signal IFFT reçu en négligeant toute interaction avec le canal de transmission.



**Figure 4.4 :** Réception du signal modulé en OFDM

### 4.6. Démodulation OFDM :

La figure 4.5 montre le signal IFFT reçu, qui doit ensuite être démodulé par FFT. N'ayant pas tenu compte de l'influence du canal de transmission, le signal obtenu lors de la réception est bien entendu le même que le signal transmis. Par conséquent, après avoir reçu le signal modulé, nous allons maintenant appliquer la FFT pour récupérer le signal modulé QAM représenté sur la figure 4.6.

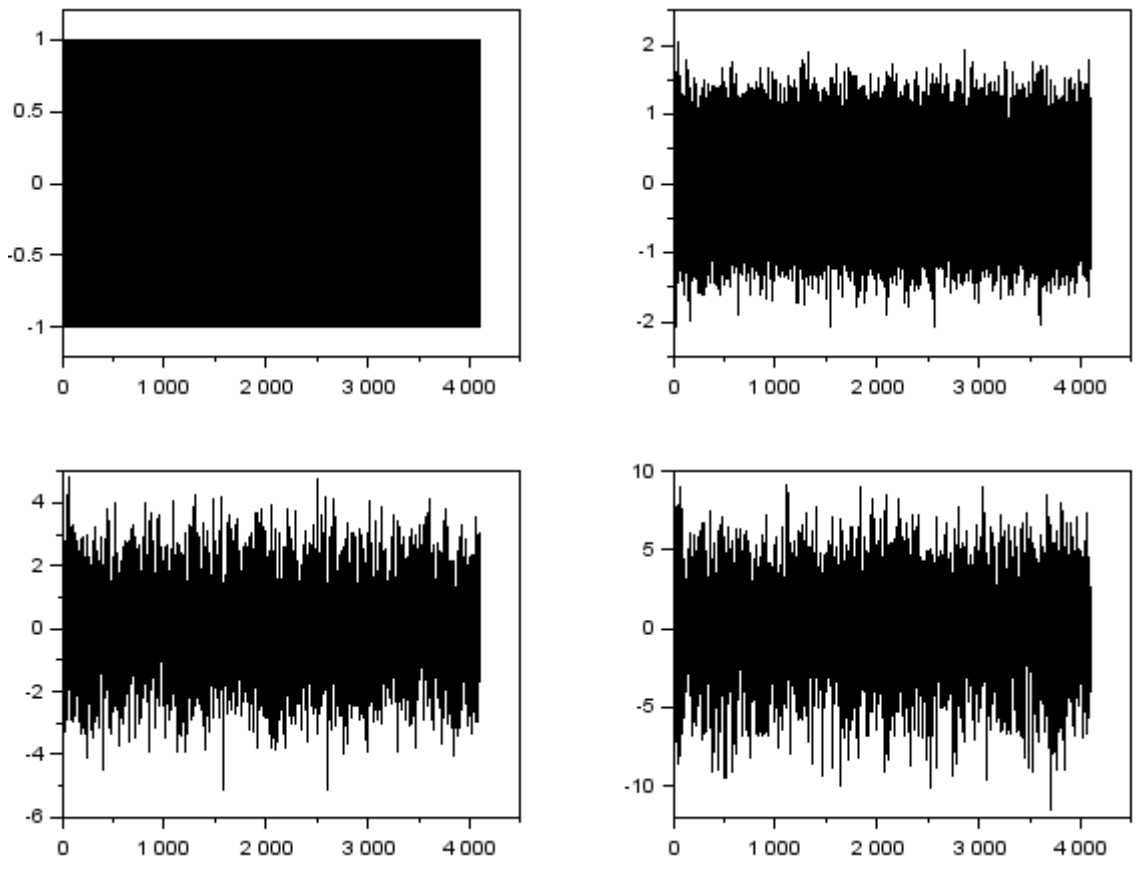


**Figure 4.5 :** Signal après démodulation OFDM

### 4.7. L'effet du bruit sur le signal de transmission :

En supposant que l'influence du réseau soit négligeable, les gens ne peuvent prêter attention qu'à l'influence du bruit provenant de l'environnement naturel du canal. Ce bruit de canal est généralement simulé par un bruit blanc gaussien centré additif. La figure suivante illustre l'effet du bruit blanc gaussien sur le signal OFDM transmis. Le graphique montre qu'au fur et à mesure que la puissance de bruit (ou l'écart type) augmente, le signal devient de plus en plus bruyant.

Ce type de bruit peut se superposer lors de la transmission du signal, ce qui peut affecter considérablement la qualité de la transmission.



**Figure 4.6 :** Réception bruitée par bruit blanc Gaussien sur le signal OFDM transmis

Le signal OFDM est constitué d'un bruit blanc gaussien, centré sur l'écart type  $\sigma = [0 \ 0.05 \ 0.2 \ 0.5]$  de gauche à droite et de haut en bas.

## CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM

La figure ci-dessous représente la constellation 4QAM. Cette dernière est bruitée par un bruit Gaussien du canal d'écart type égale à 0.02. L'information reçue est donc bruitée d'après cette figure qui montre la constellation 4QAM sous forme de quatre agrégats correspondants aux quatre points. Pour reconstruire la constellation transmise, on a appliqué l'algorithme du K-moyens bien connu en anglais sous le nom de K-means. Ce dernier permet de trouver le meilleur représentant de chaque agrégat. Le biais et la variance de cet estimateur peuvent être ensuite déterminés à partir de cette constellation.

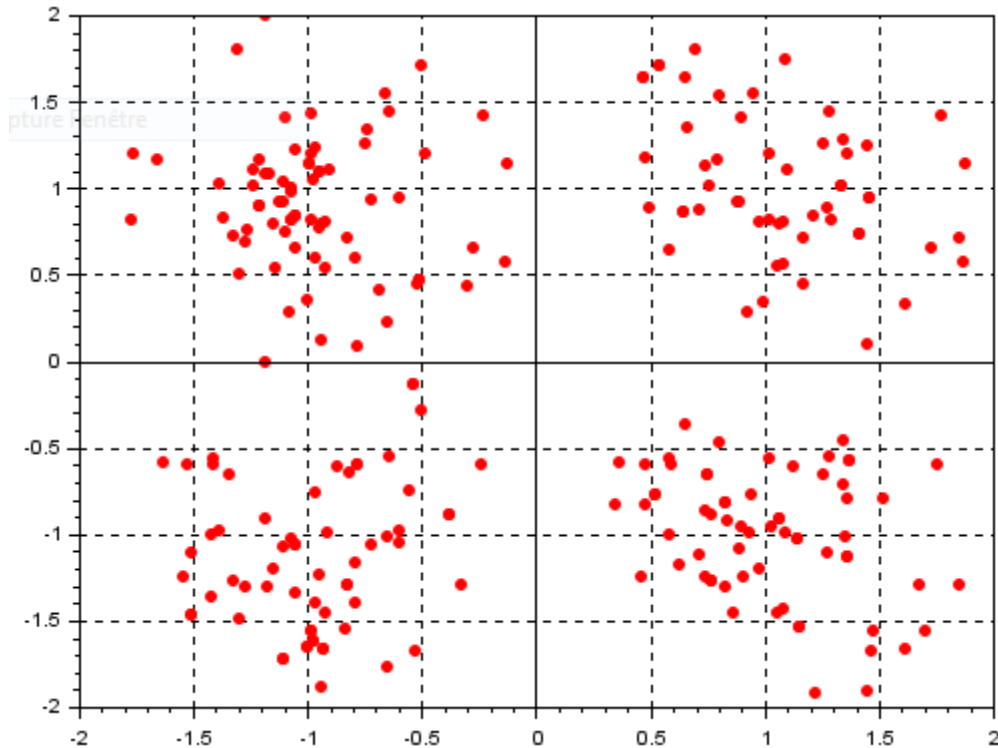
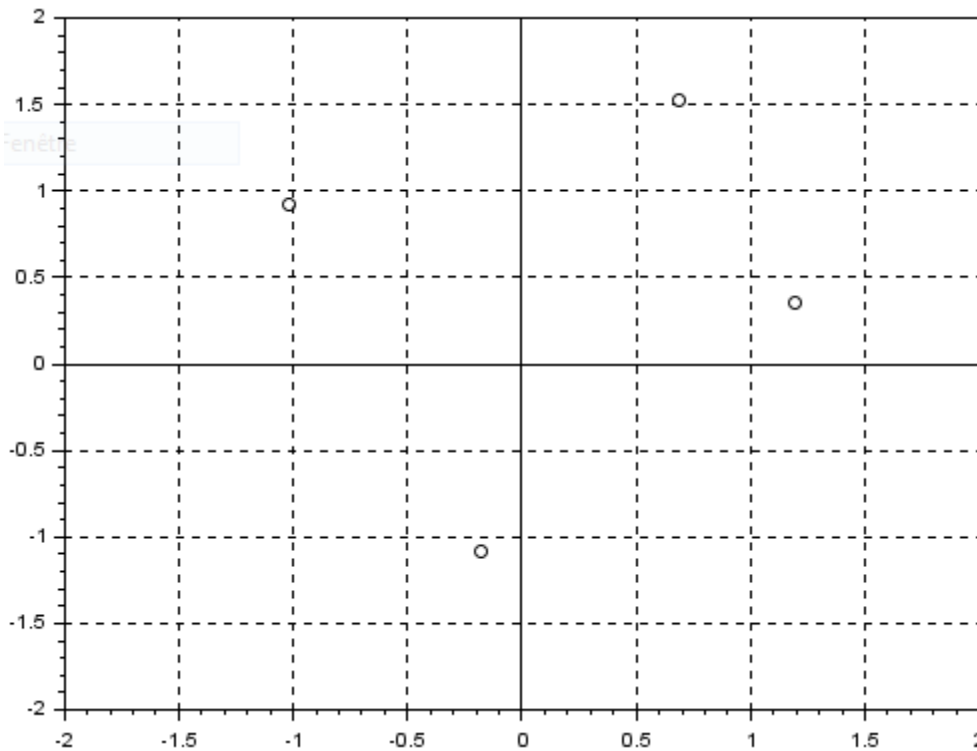


Figure 4.7. Le signal bruité

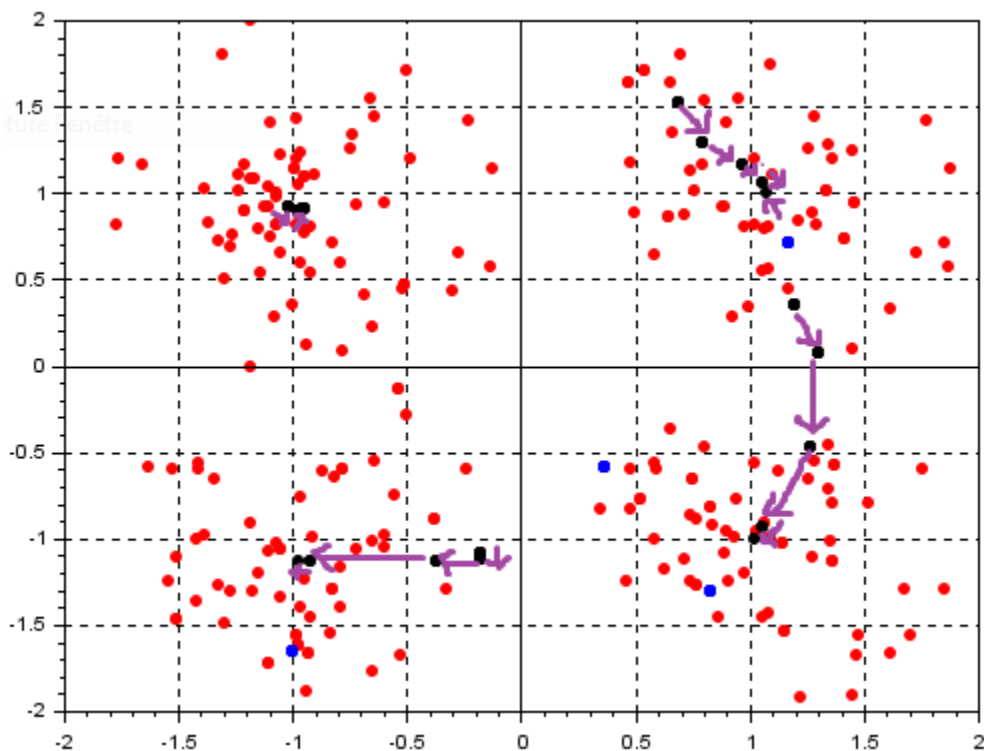


## CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM

L'apprentissage de l'algorithme K-means exige le choix aléatoire des référents initiaux. La figure suivante montre les quatre représentants initiaux de la constellation 4QAM étudiée dans notre travail.



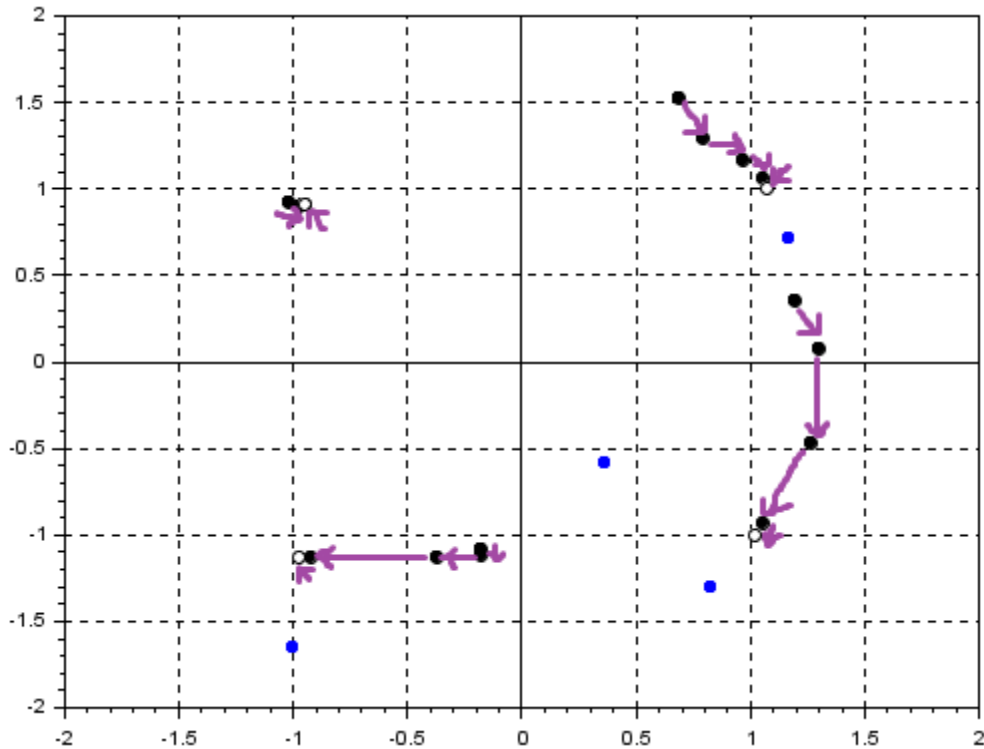
**Figure 4.8 :** Avant affectation des points aux 4 référents



**Figure 4.9 :** Affectation des points aux 4 différents référents

## CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM

La figure ci-dessus montre le chemin (indiqué par les flèches) suivi dans chaque étape (itération) par chaque représentant (en bleu) vers le meilleur représentant le plus stable. En d'autres termes, ce chemin indiqué par les flèches montre les différentes étapes de l'évolution de l'algorithme K-means.



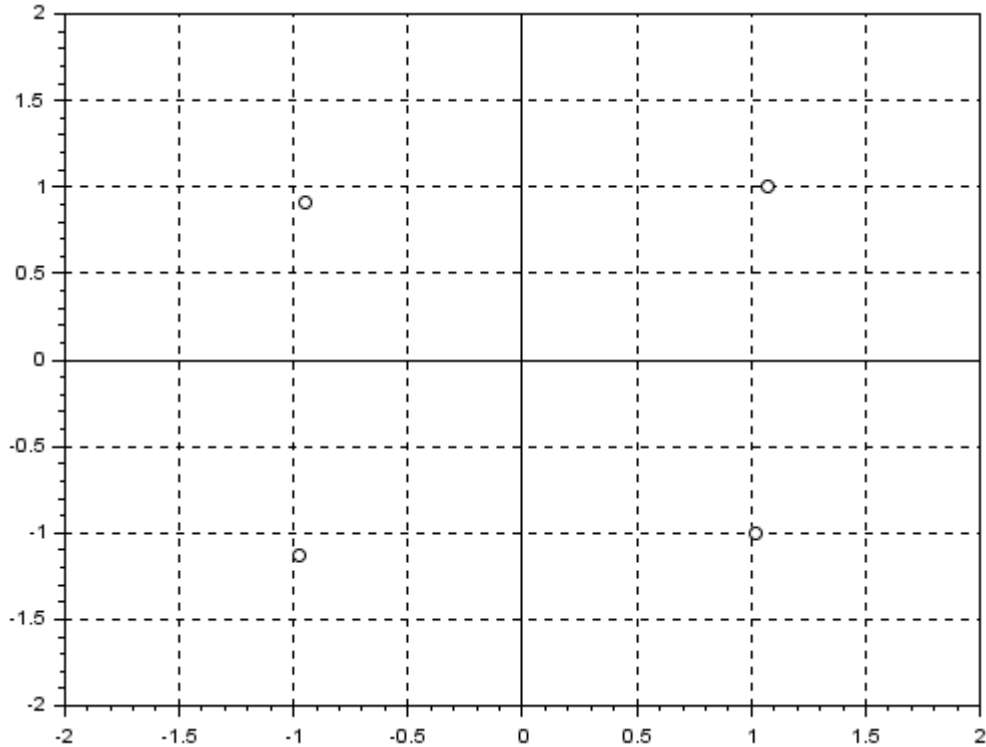
**Figure 4.10 :** Affectation des points aux 4 différents référents

La figure ci-dessus montre seulement les représentants en bleu et les chemins suivis jusqu'aux meilleurs représentants les plus stables.

## CHAPITRE 04 : Simulation et résultats de la technique OFDM

---

La figure suivante montre les quatre positions de l'étape finale du K-means. Ces quatre positions finales ce sont les plus stables attendes par les quatre meilleurs représentants lors de l'application du K-means. En comparant cette constellation reconstruite par le K-means à celle transmise, on peut dire que l'algorithme K-means permet de réduire considérablement le bruit du canal et ainsi identifier raisonnablement l'information transmise.



**Figure 4.11 :** Après Affectation des points aux 4 différents référents

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié la simulation scilab que réalisée sur un canal de transmission OFDM par l'algorithme de k-means.

### Conclusion Générale

Dans ce travail nous avons étudié l'influence du bruit provenant de l'environnement naturel du canal sur la transmission 4QAM-OFDM. Nous avons supposé ce bruit du canal comme étant un bruit blanc gaussien centré additif. Ce type de bruit peut s'ajouter au signal utile lors de la transmission, ce qui peut affecter considérablement la qualité de la transmission. Le but de ce travail était, donc de chercher une possibilité d'éliminer ce bruit afin de reconstruire l'information utile à la réception. Pour cela nous avons choisi l'algorithme K-means vu son efficacité de pouvoir retrouver les meilleurs référents des agrégats. Donc, pour reconstruire la constellation transmise, on a appliqué l'algorithme des K-moyens. On a comparé la constellation reconstruite par le K-means à celle transmise, on a trouvé que l'algorithme K-means a réduit énormément le bruit du canal, ce qui a permis d'identifier raisonnablement l'information transmise

## Bibliographie

### **Chapitre 01 :**

- [1] « **schéma d'un système de transmission numérique** », disponible sur : [https://www.researchgate.net/figure/Schema-dun-systeme-de-transmission-numerique-11\\_fig2\\_278643891](https://www.researchgate.net/figure/Schema-dun-systeme-de-transmission-numerique-11_fig2_278643891).
- [2] J. D. Parsons, « **The Mobile Radio Propagation Channel** », vol. 2. Wiley, October 2000.
- [3] « **Chap3 transmission numérique-en-bd\_b** », <https://fr.slideshare.net/jbakkoury/chap3-transmissionnumeriqueenbdb>.
- [4] « **Transmission d'information** », disponible sur : <http://www.websciences.com/documents/terminale/tedo21/teco21.php?imp=1>, consulté le 26/04/2021 à 18:00.
- [5] Alexandre Boyer, « **canaux de transmissions bruitées** », 4<sup>ème</sup> année IR, Institut national des sciences appliquées de TOULOUSE, septembre 2011, disponible sur : [http://www.alexandreboyer.fr/alex/enseignement/cours\\_transmission\\_bruite\\_sept11\\_v2\\_sans\\_reponses.pdf](http://www.alexandreboyer.fr/alex/enseignement/cours_transmission_bruite_sept11_v2_sans_reponses.pdf), consulter le 24/04/2021 à 15:36.
- [6] <http://www.commentcamarche.net>
- [7] « **Architecture d'un réseau de capteurs sans fil** », disponible sur : [https://www.researchgate.net/figure/Architecture-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil-1\\_fig2\\_269158204](https://www.researchgate.net/figure/Architecture-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil-1_fig2_269158204)
- [8] <http://www.commentcamarche.net/contents/1312-wpan-reseau-personnel-sans-fil>
- [9] « **Réseaux métropolitains sans fil** », disponible sur : <https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/wireless/wman.htm>.
- [10] Moumen Radia et Benzitouni Mounira, « **Implémentation d'une stratégie d'offloading dans un milieu 4G/WIFI en utilisant NS3** », mémoire pour l'obtention du diplôme Master, 2013-2014, disponible sur : <http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1929/1/PFERADIAMOUNIRA2014.pdf>
- [11] « **Différents types de technologies de communication sans fil** », disponible sur : <https://www.newdonjon.net/differents-types-de-technologies-de-communication-sans-fil/>.
- [12] <https://www.commentcamarche.net/contents/1282-les-modes-de-fonctionnement-du-wifi-802-11-ou-wi-fi>, consulter le 20/04/2021 à 00 :30.
- [13] « **Le Handover horizontal Wifi** », disponible sur : <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2009/CAROUX-CHAN/wifi.html>.

## Bibliographie

---

- [14] « **HostAP** », disponible sur :  
<http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2003/Ferrie-Leroy/ap.html>.
- [15] Belabdelli Abdelheq et Oukaz Mokhtar, «**Dimensionnement d'un réseau sans fil Wifi** », Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Ingénieur d'Etat en Télécommunication Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2011-2012, disponible sur :  
<http://dSPACE.univtlemcen.dz/bitstream/112/1195/1/Bakir-Haj-Ali.pdf>.
- [16] <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2006-ttnfa2007/Manga-Vrielynck/principe.htm>.
- [17] « **Présentation of-wimax** », disponible sur :  
<https://www.slideshare.net/RubabFatima10/presentation-ofwimax>,
- [18] « **Contribution à l'estimation de canal multi-trajets dans un contexte de modulation OFDM** », disponible sur : <https://www.semanticscholar>.
- [19] « **Etude et simulation d'une transmission de type OFDM pour les communications sans fil** », disponible sur : <https://docplayer.fr/72097436-Etude-et-simulation-d-une-transmission-de-type-ofdm-pour-les-communications-sans-fil.html>
- [20] [https://www.researchgate.net/figure/Les-variations-de-la-puissance-recue-en-fonction-de-la-distance-parcourue\\_fig2\\_336413866](https://www.researchgate.net/figure/Les-variations-de-la-puissance-recue-en-fonction-de-la-distance-parcourue_fig2_336413866).
- [21] <https://docplayer.fr/72097436-Etude-et-simulation-d-une-transmission-de-type-ofdm-pour-les-communications-sans-fil.html>
- ### **Chapitre 02 :**
- [1] «**Modulation multi-porteuses / Transmission numérique** », disponible sur :  
<https://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch05s03.html>.
- [2] « **Doctor of Engineering** », disponible sur: <https://www.researchgate.net/profile/Salma-Oudji>.
- [3] « **Transmitter and Receiver Technique** », disponible sur: [http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public\\_html/cd\\_cell/chapters/a\\_mitra\\_mobile\\_communication/chapter6.pdf](http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf).
- [4] «**Transmission d'un signal modulation et démodulation**», disponible sur : [http://ephz.fr/cours/pc/pc\\_elec/pc\\_tp\\_modulation.pdf](http://ephz.fr/cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf).
- [5] <http://villemin.gerard.online.fr/aScience/Electron/Demon.htm#demon> Édition du: 21/08/2013
- [6] Edouard RIVIER, «**Transmission numérique multimédia, Eyrolles, mars 1998**»
- [7] <https://sitelec.org/cours/abati/domo/transport.htm>.
- [8] «**L'expertise technique et scientifique de référence** », disponible sur :  
<https://www.techniques-ingenieur.fr/>.
- [9] <https://sitelec.org/cours/abati/domo/transport.htm>.

## Bibliographie

---

- [10] <https://sitelec.org/cours/abati/domo/transport.htm>.
- [11] Transmitter Simulink Study / Posted By Edward Adiputra on Mei 29, 2018  
Faculty.jacobs-university.de.
- [12] <https://sitelec.org/cours/abati/domo/transport.htm>
- [13] <http://arsene.perez-mas.pagesperso-orange.fr>
- [14] <https://easytp.cnam.fr/ COURS ELE207 Modulations Multiporteuses C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET CNAM>
- [15] COURS ELE207 de Modulations Multiporteuses C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET CNAM, disponible sur : [https://easytp.cnam.fr/leruyet/Cours/presentation\\_ofdm.pdf](https://easytp.cnam.fr/leruyet/Cours/presentation_ofdm.pdf)
- [16] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-desig/multicarriermodulation/basics-techniques-tutorial.php>  
, Consulter le 18/03/2021 à 15:26.
- [17] Akl Charaf, disponible sur: [https://www.researchgate.net/LDPC coded MIMO iterative receivers April 2012](https://www.researchgate.net/LDPC_coded_MIMO_iterative_receivers_April_2012).
- [18] Hamada Esmail, Doctor of Philosophy, disponible sur : <https://www.researchgate.net>
- [19] C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET, CNAM « **Modulations Multi porteuses** », disponible sur : <Easytp.cnam.fr>,

### **Chapitre 03 :**

- [1] M. L. Doelz, E. T. Heald et D. L. Martin, Binary data transmission techniques for linear systems, Proceeding IRE, Vol. 45, pp. 656-661, M. 1957.
- [2] G. C. Porter, Error distribution and diversity performance of a frequency differentiel PSK HF modem, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-16. No. 4, pp.567-575, Aug. 1968.
- [3] R.W. Chang, Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signais for Multichannel Data Transmission, Bell Syst. Tech. J., vol.45, pp. 1775-1796, Dec. 1966.
- [4] S. B. Weinstein et P. M. Ebert, Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform, IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, No 5, pp. "628-634, Oct. 1971.
- [5] A.V.Oppenheim, R.W.Schaffer, «**Discrete-time signal processing**», Prentice-Hall International, 1989.
- [6] J. Chow, J. C. Tu, J. M. Cioffi, A Discrete Multitone Transceiver System for HDSL Applications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No. 6, Aug 1991.
- [7] COURS ELE207 Modulations Multiporteuses C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET CNAM, disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/OFDMA>
- [8] «**Signal Chain Basics OFDM Basics, BY SIGNAL CHAIN BASICS**», SEPTEMBER 10, 2013, disponible sur : <https://www.planetanalog.com/signal-chain-basics-81-ofdm-basics/#>
- [9] « **Réalisation d'un OFDM** », disponible sur : <http://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch05s03.html>
- [10] « **OFDM** », disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/ofdma>.
- [11] « **Réalisation possible d'un modulateur OFDM** », disponible sur : <http://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch05s03.html>

## Bibliographie

---

- [12] **PDF** " Slide 1 "OFDMA and MIMO Notes 1 EE 442 – Spring Semester, Lecture 14, disponible sur : [https://web.sonoma.edu/esee/courses/ee442/archives/sp2019/lectures/lecture14\\_ofdma\\_mimo.pdf](https://web.sonoma.edu/esee/courses/ee442/archives/sp2019/lectures/lecture14_ofdma_mimo.pdf) .
- [13] Hathat Mohamed Elfateh Aougabi Meriem, « **Performance d'un système de communication sans fils à base de la technique UFMC candidat pour 5G** », Mémoire masteracadémique, disponible sur : <https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/19230/1/Hathat%20-%20Aougabi.pdf>.
- [14] « **Transmission numérique** », disponible sur : <http://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch05s02.html>
- [15] « **Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM** », disponible sur : [symoon.free.fr](http://symoon.free.fr).
- [16] Modulations Multi porteuses C. ALEXANDRE/ D. LE RUYET CNAM COURS ELE207, disponible sur : [https://easytp.cnam.fr/leruyet/Cours/presentation\\_ofdm.pdf](https://easytp.cnam.fr/leruyet/Cours/presentation_ofdm.pdf)
- [17] Référence:NISH96 , Auteurs:H. Nishijima, M. Okada, et S. Komaki  
Titre:A sub-optimum non-linear distortion compensation schème for orthogonal multi-carrier modulation Systems, Journal:Proceedings of PIMRC'96 , Pages:45-48 , Date:1996 .
- [18] **Chapitre 10 Modulation à porteuses multiples et OFDM**, disponible sur : [UQAM - Réseau LABUNIX](#) .
- [19] HANZO, L. MUNTER, M. CHOI, B. J. KELLER T. « **OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting** » IEEE Communications Society, Sponsor, WILEY, 2003.
- [20] Manushree Bhardwaj ,«**A Review on OFDM :Concept ,Scope and its Applications** », department of electronics and instrumentation disponible sur : [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)
- [21] <http://www.radio-electronic.com/info/rf-technology-design/ofdm/ofdm-basicstutorial.php>
- [22]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.