



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GE/2018

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Électronique

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Thème

Principe et simulation d'une transmission de type
OFDM

Présenté par :

BENANI MOHAMED NADJIB
BENYAHIA YASSER

Soutenu le 25/06/2018 devant le jury composé de :

Président : Mr. ABDELLAOUI NASREDINE

Examineur : Mr. ABED MANSOUR

Examineur : Mr. BERREGUIG BRAHIM

Encadreur : Mr. YAGOUBI BENABDELLAH

Année Universitaire : 2017/2018

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur d'élever mes mains vers le ciel.

JE DEDIE CE TRAVAIL A

tous nos parents qui ont tout donné pour atteindre cette étape depuis le primaire jusqu'à l'université.

tous nos amis, spécialement du parcours Master Systèmes de Télécommunication que je peux dire mes frères, nous avons passé des années inoubliables.

Les enseignants de département de génie électrique et les administrateurs pour leurs efforts.

Et spécialement pour toutes les familles BENYAHIA et ZAOUÏ et BENANI.

Merci.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant Monsieur Yagoubi, de ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail, pour l'orientation, la confiance, la patience ,qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port, qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité, nous tenons à le remercier profondément.

En troisième lieu, nous tenons à remercier tous les enseignants durant le cycle de formation universitaire de l'université Abdelhamid Ibn Badis » département de génie électrique », ainsi que le personnel administratif.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci beaucoup

Sommaire

Sommaire.....	A
Liste des figure.....	AA
Liste des abréviations.....	AAA
Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1: CANAL RADIO MOBILE	
1 Chaîne de transmission numérique	4
Canal de transmission... ..	4
1.1.1 Caractéristiques d'une transmission.....	5
Différents canaux de transmission	5
Transmission guidée	6
Transmission libre dans l'air	6
2 Canal radio.....	6
Caractéristique du canal radio	6
Canal multi-trajets.....	7
Canaux non sélectif en fréquence... ..	8
Canaux sélectif en fréquence... ..	8
Conclusion.....	8
CHAPITRE 2 : Modulation Mono porteuse/Multi porteuse	
introduction.....	10
1. modulation du signal	10
2. les types de modulation	10
Modulation analogique	10
Modulation numérique	11
3. L'utilité de la modulation	11
4 .Modulation numérique mono-porteuse	12
la modulation d'Amplitude ASK.....	12
la modulation de fréquence FSK.....	13

la modulation de phase FSK.....	14
La modulation en quadrature à x états (x-QAM).....	14
5. Constellations	15
6. Modulation multi-porteuse	16
Pourquoi multi-porteuse.....	16
Principe de base.....	16
Systèmes de modulation multi-porteuse.....	17
Application de la modulation multi-porteuse	17
7. Multiplexage.....	17
Multiplexage FDM	18
Conclusion.....	18
CHAPITRE 3 : Modulation OFDM	Introduction.
.....	
20	
1 .Historique.....	20
2. Présentation de l'OFDM.....	20
3. Notion d'orthogonalité	21
4. Modulation OFDM.....	22
5. Démodulation OFDM	25
Conclusion.....	28
CHAPITRE 4: Etude et Simulation d'une Transmission de Type OFDM	
1. Présentation de l'outil de simulation	30
2. Visualisation des résultats	31
3. Impact du bruit sur la démodulation QAM	37
4. Impact du paramètre P sur la démodulation QAM	43
5. Impact du paramètre B sur la démodulation QAM	47
Conclusion	50
Conclusion générale	51
Bibliographie.....	52

Liste des figures

Figure1.1 :	Schéma d'un système de transmission numérique.....	4
Figure1.2 :	Canal radio	7
Figure2.1:	Format de modulation à porteuse unique.....	12
Figure2.2 :	Modulations d'Amplitude ASK	13
Figure2.3 :	Modulations de Fréquence FSK.....	13
Figure2.4 :	Modulations de Phase PSK.....	14
Figure2.5 :	Constellation 4-QAM.....	15
Figure2.6 :	Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné	18
Figure3.1 :	Différence entre la technique FDM et OFDM	21
Figure3.2 :	Principe du modulateur multi-porteur	22
Figure3.3 :	Spectre des sous-porteuses.....	23
Figure3.4 :	Spectre du symbole OFDM	24
Figure3.5:	Principe du démodulateur multi-porteur.....	25
Figure3.6	Principe du démodulateur numérique OFDM	26
Figure3.7:	Bande passante du signal reçu.....	26
Figure3.8:	Spectre du signal reçu en bande de base.....	27
Figure3.9:	Chaîne de transmission OFDM.....	28
Figure 4.1:	Signal numérique à transmettre... ..	31
Figure 4.2 :	Signal converti en analogique	32
Figure4.3:	Diagramme de constellation.....	33
Figure 4.4 :	Signal modulé en OFDM et sa démodulation... ..	34
Figure 4.5 :	Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)	35
Figure 4.6 :	Constellation du signal reçu	36
Figure 4.7 :	Signal modulé en OFDM et sa démodulation	37

Figure 4.8 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)	38
Figure 4.9 : Constellation du signal reçu.....	39
Figure 4.10 : Signal modulé en OFDM et sa démodulation.....	40
Figure 4.11 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)... ..	41
Figure 4.12 : Constellation du signal reçu.....	42
Figure 4.13 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)... ..	43
Figure 4.14 : Constellation du signal reçu.....	44
Figure 4.15 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)... ..	45
Figure 4.16 : Constellation du signal reçu.....	46
Figure 4.17 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)... ..	47
Figure 4.18 : Constellation du signal reçu.....	48
Figure 4.19 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus)... ..	49
Figure 4.20 : Constellation du signal reçu.....	50

Liste des abréviations

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

ASK : Amplitude Shift Keying

CDMA : Code Division Multiple Access

DAB : Digital Audio Broadcasting

DSL : digital subscriber line

DVB-T : Digital Video Broadcasting Terrestrial

FBM : Filter Bank Multi Carrier

FDM : Frequency Division Multiple

FDMA : Frequency Division Multiple Access

FFT : Fast Fourier Transform

FSK : Frequency Shift keying

GFDM : Generalized Frequency Division Multiplexing

HiperLan: High Performance LAN

INRIA : Institut national de recherche en informatique et en automatique

IFFT : Inverse Fast Fourier Transform

ISDN : Integrated Services Digital Network

ISI : Inter Symbol Interference

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PSK : Phase Shift Keying

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

RIF : Réponse Impulsionnelle Finie

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services

TDMA : Time Division Multiple Access

TFDI : Transformée de Fourier Discrète Inverse

WLAN : Wireless Local Area Network

WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

LTE : Long Term Evolution

Introduction Générale

Nous vivons à une époque où le développement des communications mobiles est très rapide, ce développement de la technologie et l'optimisation des algorithmes de traitement de l'information permettent les réalisations des mobiles plus légers et de taille réduite (Poids < 100g).

Un mobile peut rester alors dans la poche d'un vêtement sans la déformer.

Le client est prêt à payer pour un service simple, facile à utiliser et fiable en toutes circonstances et en tout lieu : à l'intérieur d'un immeuble, d'un bureau, dans un appartement, dans une voiture ou dans une maison de campagne.

Les communications numériques ont envahi les différents domaines d'activités, le besoin des systèmes de transmissions assurant des très hauts débits avec une qualité de service irréprochable a ouvert la voie à la recherche de nombreux schémas de transmissions capables de supporter des transmissions à large bande et tenant compte des caractéristiques du canal de propagation radio mobile.

En outre, le canal de propagation est généralement partagé, ce qui nécessite des techniques d'accès multiples pour permettre plusieurs transmissions simultanées.

Plusieurs techniques d'accès existent et peuvent être grossièrement divisées en 3 catégories : multiplexage en temps (TDMA), par code (CDMA) et en fréquence (FDMA).

La technique TDMA (Time Division Multiple Access) est utilisée dans la plupart des systèmes radio-mobiles de 2^{ème} génération alors que la technique CDMA a été adoptée par les systèmes cellulaires de 3^{ème} génération.

Le multiplexage en fréquence a été généralisé avec le succès des systèmes dits OFDM qui devient la technique de modulation/accès la plus couramment approuvée en raison probablement de son adéquation aux débits et de son efficacité spectrale élevée ($\eta = D/B$ et s'exprime en "bit/seconde/Hz". La valeur D est le "débit binaire" (en bps) et B (en Hz) est la largeur de la bande occupée par le signal modulé).

La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), comme son nom l'indique, se définit comme la transmission des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses orthogonales entre elles.

La complexité de l'implémentation est très faible, la modulation est réalisée par une transformée de Fourier inverse et la démodulation via une simple transformée directe.

Toutes ces qualités font le succès grandissant de l'OFDM qui est notamment utilisé dans les

normes de diffusion numérique du son DAB(Digital Audio Broadcasting),de Télévision numérique terrestre DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) et de réseaux locaux sans fil WLAN.

A cette fin, et ce qui concerne notre projet , on définit au premier chapitre les éléments de communications numériques nécessaires à la compréhension de ce travail , comme les modèles de canaux de communications utilisés et les caractéristiques du canal de propagation radio mobile.

Nous commençons dans le chapitre 2 à décrire le principe de la modulation numérique mono porteuse et multi porteuse. Puis, le chapitre 3 explicite le principe de la modulation OFDM conventionnelle, Ainsi la performance de ce système est analysée.

Finalement, le chapitre 4 présente les résultats des différentes simulations réalisées afin d'étudier et d'évaluer de différents facteur pouvant impacter les performances de ce système.

Chapitre1:

Canal radio-mobile

Chapitre 1

1. Chaîne de transmission numérique [1]:

L'information est transportée entre un émetteur et un récepteur par Les systèmes de transmission numérique soit en se propageant sur un canal radioélectrique ou aussi, en utilisant un support de transmission comme la ligne de transmission, la fibre, Les signaux véhiculé peuvent être soient de type analogique (son, image...) mais convertis sous une forme numérique, soient directement de type numérique , comme dans les réseaux de données, Le but du système de transmission alors est de porter l'information de l'émetteur vers le récepteur avec le plus de fiabilité possible.

Une chaîne de transmission comprend comme le montre la Figure 1.1 trois éléments de base :

- Une source.
- Un canal de transmission.
- Un destinataire

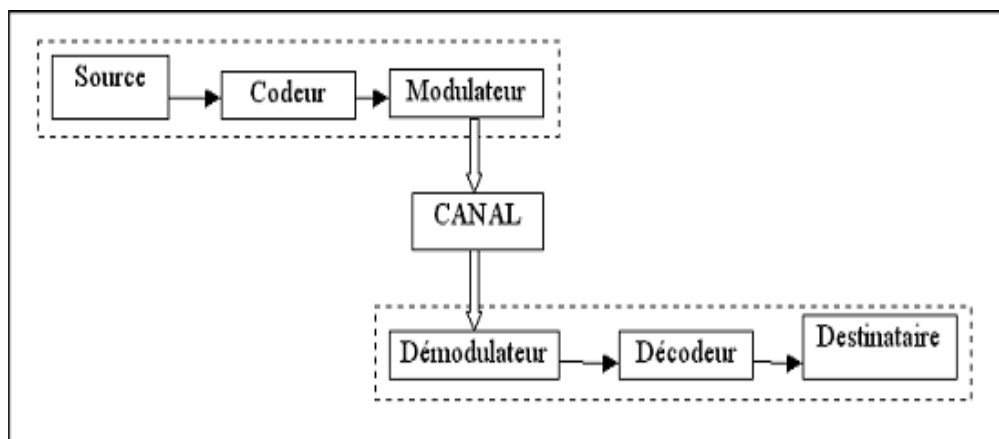


Figure 1.1: Schéma d'un système de transmission numérique.

Dans la suite, nous allons nous intéresser au canal de transmission.

Canal de transmission: [2]

Le canal de transmission, appelé aussi canal de propagation, au sens de propagation est le milieu physique qui assure la transmission de l'information (signal utile) entre l'émetteur et le récepteur, mais au sens de la théorie des communications introduit de plus les organes d'émission et de réception.

1.1.1Caractéristiques d'une transmission [3] :

a. Rapport Signal à bruit :

Toute transmission d'un signal par le canal de transmission peut subir des perturbations non désirées qui causent des atténuations du signal transmis, ces perturbation sont appelées« bruit » ou parasites.

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

$$R_{S/B} = P_S/P_B \quad (1.1)$$

P_S : puissance du signal (W)

P_B : puissance du bruit (W)

On peut exprimer ce rapport en décibel :

$$R_{S/B}=10\log (P_S/P_B) \quad (1.2)$$

R_{SB} : rapport signal à bruit (dB)

b. Atténuation :

L'atténuation en décibel est définie par:

$$A=-10 \log (P_S/ P_B) \quad (1.3)$$

A : Atténuation du signal (dB)

c. Débit binaire :

Les signaux numériques sont constitués d'une suite de bits . Le débit binaire (ou bitrate) est la quantité d'information qui transite par unité de temps sur un canal de transmission. Il s'exprime en bits par seconde (bps).

Différents canaux de transmission : [3]

Un signal porté d'un émetteur (ou plusieurs émetteurs) vers un récepteur (ou plusieurs récepteurs) se propage sur le canal de transmission, ces canaux sont classés en deux catégories :
-Les canaux de propagation guidée lorsque le signal est dans l'obligation de se déplacer dans un espace limité (exemple : câble coaxial, fibre optique).

-Les canaux de propagation libre quand le signal peut se propager librement suivant toutes Les directions (exemple : l'air libre).

Transmission guidée :

a. Transmission guidée dans un câble :

Au départ, les systèmes de communication moderne, comme le téléphone et, le télégraphe étaient basés sur la propagation d'un signal électrique guidé le long d'un conducteur électrique.

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

b. Transmission guidée dans une fibre optique :

Une fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine en silice entourés d'une protection dans lequel un signal émis par diode laser (onde lumineuse) transporte l'information à la vitesse de la lumière.

Le signal peut ainsi être piégé par réflexions totales successives à l'intérieur du cœur de la fibre. Le fonctionnement des fibres optiques est basé sur la réflexion totale.

Transmission libre dans l'air :

Ce type de transmission véhicule l'information dans l'air par des ondes électromagnétiques à haute fréquence, utilisées comme porteuses (support). L'onde électromagnétique est alors modulée, La modulation se fait en modifiant, un ou plusieurs paramètres de l'onde porteuse.

2. Canal Radio :

Un ensemble de phénomènes comme la réflexion, la diffusion, la diffraction sur les différents obstacles peut se produire dans le canal en provoquant la dégradation de la qualité du signal lors de son passage entre l'émetteur et le récepteur. L'impact de ces phénomènes peut augmenter en fonction de la nature de l'environnement dans lequel se positionnent l'émetteur et le récepteur.

Caractéristiques du canal radio : [04] [05]

Le canal radio est caractérisé par plusieurs phénomènes physiques :

a. La réflexion : l'onde électromagnétique change de direction à l'interface de deux milieux en restant dans le milieu de propagation initial après la réflexion

b. La réfraction du signal : l'onde électromagnétique change de direction en passant d'un milieu dans un autre .

c. La diffraction : ce phénomène se produit lorsque les ondes électromagnétique rencontrent des obstacles ou des ouvertures dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde et qui se traduit par des perturbation de la propagation de ces ondes.

Tous ces phénomènes physiques qu'on vient de citer ci-dessus entraînent des échos, donc le destinataire, au lieu de recevoir une onde directe provenant de l'émetteur, il va recevoir le signal émis par l'émetteur ainsi qu'une multitude de signaux atténués et retardés.

A la notion de fonction de transfert, un canal de transmission est caractérisé par sa bande passante, utilisée pour effectuer la communication, Un canal de type passe-bas permet une transmission en bande de base, alors qu'un canal de type passe-bande nécessite l'emploi d'une fréquence porteuse, le canal radio est modélisé par le schéma suivant :

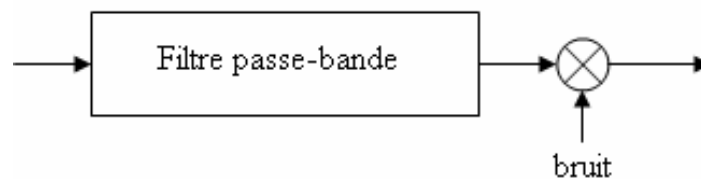


Figure 1.2 : canal radio.

Comme il est montré dans la Figure 1.2, on voit que le canal est à bande limitée (filtre passe-bande) et le signal qui y passe est généralement bruité. Pourtant, on doit toujours l'utiliser pour transmettre des informations.

Canal multi-trajets : [06]

Dans le système de radiocommunication le signal transmis va emprunter des trajets différents afin d'arriver au récepteur.

Dans certains cas le signal suit un trajet direct sans rencontrer d'obstacles, Par contre dans la majorité des cas, les composantes du signal sont réfléchies par le sol, les bâtiments, les voitures ... ces trajets multiples ont des longueurs physiques différentes ainsi le signal issu de chaque trajet arrive avec une amplitude et un retard propre au trajet.

Ces échos induisent un étalement temporel du signal donnant lieu à un phénomène d'interférence entre les symboles transmis.

Par ailleurs le changement au cours du temps de l'environnement de propagation et l'emplacement de l'émetteur ou du récepteur induisent une variation ou des interférences entre sous-porteuses.

2.3. Canaux non sélectifs en fréquence : [07] [08]

Lors d'une transmission radio mobile à bande étroite (largeur de la bande passante du signal est inférieur à la bande de cohérence du canal B_c), toutes les composante spectrales du signal subissent Quasiment la même atténuation de l'amplitude et la même altération de la phase.

Le canal est alors non sélectif en fréquence et nommé souvent canal à bande étroite .

2.4 .Canaux sélectifs en fréquence:

Le débit de transmission des systèmes de communication peut varier de quelques certaines de Kbits a une dizaine de Mbits, lorsque la bande du signal émis b est suffisamment grande devant la bande de cohérence B_c du canal radio mobile , ce dernier introduit des effets fréquentiels sélectifs qui produisent des interférences inter-symboles.

Les valeur de B_c dépendent du milieu de propagation, Elles sont de quelques unes de Mhz à l'intérieur des bâtiments et peuvent se réduire à centaine de KHz dans les milieux terreaux et montagneux .

- Ce phénomène de sélectivité en fréquence est aggravé par la présence des trajets multiples pour un même signal transmis. Du fait de nombreux réflexions que le signal peut subir en environnement urbain, le récepteur recevra une série d'échos d'amplitudes et de retards variables, cette problématiques du canal à trajet multiples est critiques dans le cas d'un canal radio-mobiles c'est-à-dire lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas fixe relativement, les différents échos varieront dans l'espace et dans le temps dans le cas d'un récepteur mobile.

Conclusion :

Nous avons rappelé dans ce chapitre certaines notions dont on aura besoin par la suite et que nous utiliserons surtout les caractéristiques du canal radio pour lequel le type de modulation OFDM est intéressant.

Un canal radio est un canal aléatoire, à la fois dispersif en temps et en fréquence.

La dispersivité en temps est due à la présence des trajets multiples, c'est-à-dire que le signal transmis est réfléchi par de multiples obstacles avant d'arriver au niveau du récepteur.

La dispersivité en fréquence provient du déplacement du récepteur par rapport à l'émetteur.

Chapitre2:

Modulation mono- porteuse /multi-porteuses

Chapitre 2 :

Introduction:

Dans le domaine de télécommunication il ya deux méthodes essentielles pour transmettre un signal analogique ou numérique tels que la transmission en bande de base et la transmission hertzienne, cependant il est impossible de transmettre un signal basse fréquence dans une communication à longue distance, problème de dimension d'antenne.

Pour cela on utilise un signal haute fréquence qu'on l'appelle la porteuse, dans lequel on place l'information à transmettre, c'est la modulation.

1. Modulation du signal:

La modulation est une technique utilisée en télécommunication pour adapter le signal à transmettre, parole, son, image à la transmission par le canal de propagation, la modulation peut être faite en modifiant un des trois paramètres (amplitude, phase, fréquence) des ondes porteuses selon le signal à transmettre.

Le signal à transmettre doit être modulé avant être émis, le dispositif qui effectue cette opération est appelé modulateur, la démodulation est l'opération inverse qui permet de récupérer le signal d'origine

2 .Les types de modulation :

il ya deux type de modulation :

Modulation analogique : [9]

L'information à transmettre est analogique, à l'époque ancienne se situe le plus souvent dans la bande audio, $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$. Si on essaie de transmettre l'information analogique telle qu'elle sans traitement particulier, on doit trouver certains problèmes :

- problème de dimension d'antenne pour Les fréquences basses à la transmission par voie hertzienne.

- Problème de sélectivité, le récepteur ne peut pas séparer deux signaux différents émis dans la même gamme de fréquence.

Ces conditions nous amènent à introduire la notion d'onde porteuse, qui est un signal sinusoïdal de fréquence très élevée par rapport à la fréquence du signal à transmettre. La fréquence de la porteuse est choisie en fonction du milieu de transmission utilisé pour avoir les meilleures conditions de propagation possibles .

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

Modulation numérique :

Dans ce type de modulation l'information à transmettre est numérique, elle offre par rapport à la modulation analogique une capacité supérieure pour le transport de volume d'informations accrues. A cela vient s'ajouter dans, de nombreux systèmes un autre facteur de complexité : le multiplexage, c'est à dire la technique qui permet de délivrer plusieurs signaux indépendants avec accès simultané à un système unique.

Les formats numériques sont également compatibles avec les services de données numériques, offrant une sécurité accrue des données, une meilleure qualité de transmission et une disponibilité immédiate des systèmes.

Le but des modulations numériques est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable.

3. L'utilité de la modulation: [10]

a. Rendre possible le multiplexage : en traduisant le spectre en bande de base des signaux provenant de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquence, de multiples utilisateurs peuvent être logés à l'intérieur d'une bande du spectre électromagnétique.

b. Pouvoir transmettre les ondes de basse fréquence à grande distance : les ondes basse fréquence ne peuvent pas se propager sur la voie hertzienne à grande distance à cause de l'atténuation. La conversion à une bande de fréquence plus élevée se traduit par une longue distance de transmission.

c. Résoudre le problème de dimension d'antenne : La longueur d'onde du signal rayonné est Proportionnelle à la hauteur de l'antenne et donc le rayonnement du signal haut fréquence diminue la taille de l'antenne.

Exemple :

$$f = 10 \text{ KHz}, c = m/s$$

$$\lambda = c / f = \quad m = 10 \text{ Km} \quad .$$

Antenne est techniquement irréalisable

4 .Modulation numérique mono-porteuse : [11] [12]

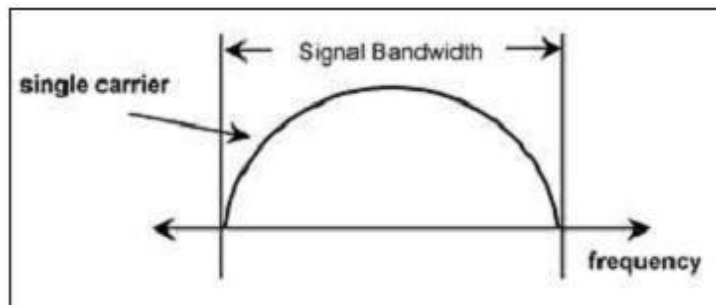


Figure 2.1 : Format de modulation à porteuse unique.

Dans la transmission mono porteuse les données sont transmis de façon séquentielle sur une seule bande autour d'une fréquence porteuse comme le montre la Figure 2.1.

Mais malheureusement cette technique introduit une interférence entre symboles lorsque on est en présence du canal multi trajets .

Les types de modulation numérique sont distingués selon la variation des paramètres du signal porteur. Les paramètres du signal porteur qui peut être modifiée au fil du temps sont l'amplitude, la phase et la fréquence. Les trois techniques fondamentales de modulation numérique sont :

- A déplacement d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying)
- A déplacement de fréquence FSK (Frequency Shift keying)
- A déplacement de phase PSK (Phase Shift Keying)

La modulation d'Amplitude ASK:

Dans cette technique de modulation numérique , l'amplitude est le paramètre du signal porteur qui va être modifié au fil du temps selon le signal source. Mais ce type de modulation est très sensible aux perturbations électromagnétiques qui peuvent modifier l'amplitude de la porteuse et donc du signal source lors de la démodulation. Lorsque l'on parle de modulation ASK, on peut voir les choses comme le montre la Figure 2.2, sans forcément passé par l'étude mathématique :

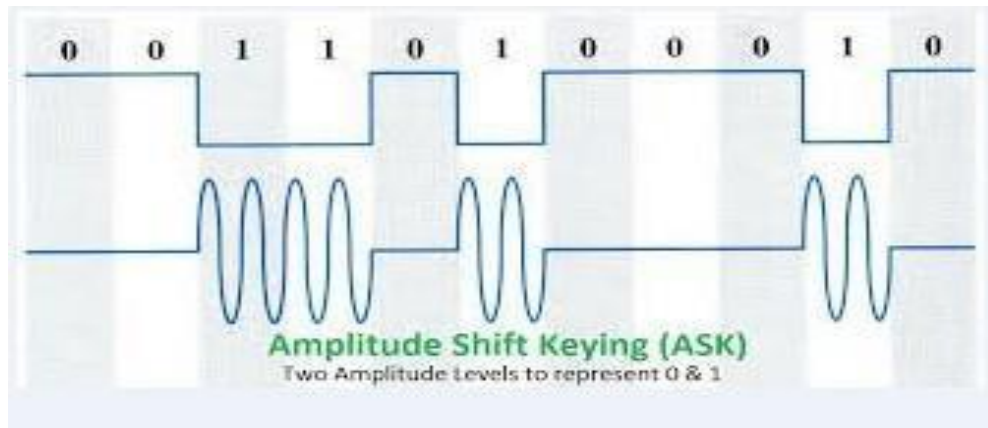


Figure 2.2: Modulations d'amplitude ASK.

la modulation de fréquence FSK :

Dans cette technique de modulation, la fréquence de la porteuse est modifiée selon le signal source.

Contrairement à la modulation numérique d'amplitude ASK, ce type de modulation est peu sensible aux perturbations électromagnétiques, car ces dernières provoquent des variations d'amplitude du signal mais pas de sa fréquence. Donc, à la démodulation le signal récupéré est identique à celui de la source.

Lorsque l'on parle de modulation FSK, on peut voir les choses comme le montre la Figure 2.3 :

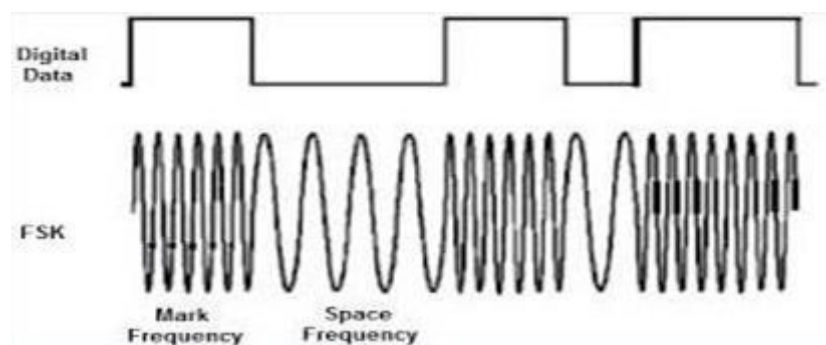


Figure 2.3: Modulations de Fréquence FSK.

.la modulation de phase PSK:

Cette modulation est principalement utilisée pour des transmissions de valeurs binaires.

La porteuse est déphasée selon l'amplitude du signal source.

Pour un signal binaire, la variation de phase est de 180 degrés à chaque transition. On peut également définir 4 déphasages différents (tous les 90 degrés) pour transmettre les valeurs binaires "00", "01", "10", "11".

Dès lors le débit binaire sera 2 fois plus grand que le débit exprimé en Bauds (bit/sec).

Lorsque l'on parle de modulation PSK, on peut voir les choses comme le montre la Figure 2.4 :

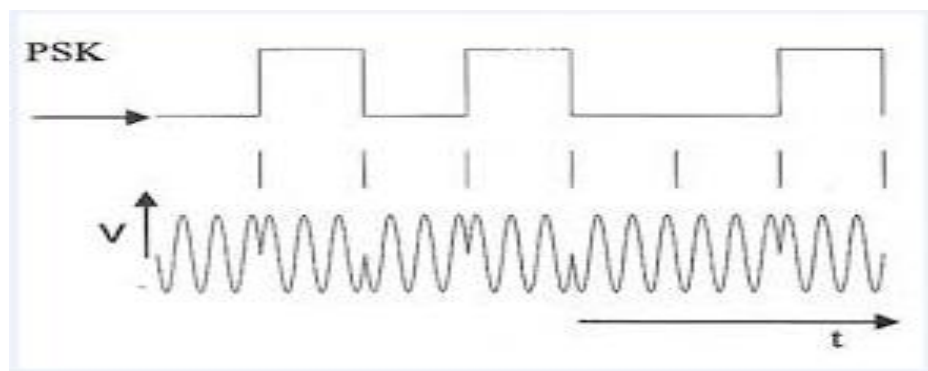


Figure 2.4: Modulations de Phase PSK.

4.4. La modulation en quadrature à x états (x-QAM) : [13]

C'est une technique de modulation qui consiste à prendre deux porteuses de même fréquence, mais déphasées l'une par rapport à l'autre de 90° (quadrature). Ces porteuses sont ensuite modulées en amplitude, puis additionnées l'une avec l'autre.

La notation générale des axes est :

- I (In phase) pour l'axe représentant l'origine. (Dans le système PAL il est noté U)
- Q (quadrature) pour l'axe déphasé de 90°, en avance par rapport à l'axe I. (Dans le Système PAL il est noté V).

Le signal modulé $m(t)$ est donc la somme de deux porteuses en quadrature, modulées en amplitude par les deux signaux $a_k(t)$ et $b_k(t)$.

Les symboles a_k et b_k prennent respectivement leurs valeurs dans deux alphabets à M éléments

$(A_1, A_2, \dots, A_M)$ et $(B_1, B_2, \dots, B_M)$ donnant ainsi naissance à une modulation possédant un nombre $E = \text{états}$. Chaque état est donc représenté par un couple (a_k, b_k) ou ce qui revient au même par un symbole complexe $C_k = a_k + j b_k$.

Dans le cas particulier mais très fréquent où M peut s'écrire $M = 2^x$, alors les a_k représentent un mot de x bits et les b_k représentent aussi un mot de x bits. Le symbole complexe $c_k = a_k + j b_k$ peut, par conséquent, représenter un mot de bits. L'intérêt de cette configuration est que le signal $m(t)$ est alors obtenu par une combinaison de deux porteuses en quadrature modulées en amplitude par des symboles a_k et b_k indépendants.

De plus, les symboles a_k et b_k prennent très souvent leurs valeurs dans un même alphabet à M éléments.

La valeur x indique le nombre de symboles utilisés (par exemple 4-QAM correspond à 4 symboles, chaque symbole codant 2 bits (car $4 = 2^2$)).

Remarque :

Les modulations x -QAM sont donc idéales à chaque fois qu'on doit transmettre des données numériques avec un débit élevé dans un canal de largeur limitée.

Ce type de modulation a été développé pour les modems rapides, puisqu'elle permet d'augmenter le débit numérique sans élargir la bande passante du signal modulé.

5 .Constellation: [14]

le nombre de bits dans chaque symbole indique la taille de la constellation Plus cette taille sera grande , plus le débit sera élevé ,chacun des symboles numérique est représenté par un nombre complexe , Un symbole peut donc être transmis en modulant deux porteuses en quadrature de même fréquence avec les composantes de ce nombre complexe .

Les constellations usuelles sont données sous forme de puissance de 2, la Figure 2.5 illustre un diagramme de constellation de 4-QAM

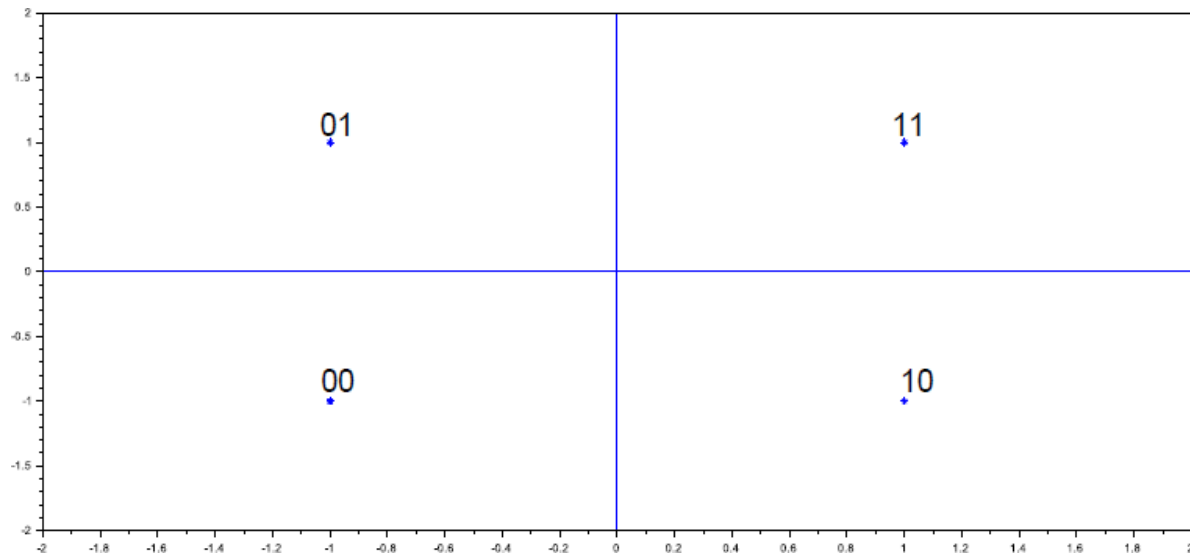


Figure 2.5 : Constellation 4-QAM.

6. Modulation multi-porteuse: [15]

Un des problèmes majeurs en télécommunications est d'adapter l'information à transmettre au canal de propagation. Pour des canaux sélectifs en fréquence, une technique est l'utilisation de modulations multi-porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps, permet de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet.

Pourquoi multi-porteuses?

D'abord, le nombre d'utilisateurs devant se partager les mêmes ressources et le développement de nouvelles formes de télécommunications accroît grandement le volume d'information à transmettre.

Puis, comme le signal à transmettre est généralement répété sur différentes fréquences porteuses, ainsi dans un canal de transmission avec des chemins multiples où certaines fréquences seront détruites à cause de la combinaison destructive de chemins, le système sera tout de même capable de récupérer l'information perdue sur d'autres fréquences porteuses qui n'auront pas été détruites. Ensuite, pour remédier à la perte d'informations due à la sélectivité du canal, l'idée est de répartir l'information sur un grand nombre de porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits pour lesquels la réponse fréquentielle du canal peut être considérée comme constante ; ces sous canaux sont ainsi non sélectifs au fréquence.

Pour le cas d'un canal à trajets multiples, les techniques de modulation classiques sont très sensibles à l'interférence inter-symboles ISI. Cette interférence est d'autant plus importante que

la durée d'un symbole est petite par rapport au retard maximum du canal. En d'autres termes, une démodulation simple est favorisée si la durée des symboles utiles est grande par rapport au temps de retard maximum du canal de propagation T_m .

Principe de base:

Dans un système conventionnel de transmission de données mono-porteuse, les symboles sont transmis séquentiellement : le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante allouée à la transmission.

Le principe d'un système modulation multi porteuse est de diviser la totalité de la bande passante allouée à la transmission en un nombre fini de sous-porteuses. L'information sera transmise sur chacune de ces sous-porteuses.

En effet, le train binaire contenant l'information à transmettre sera répartie sur N sous-porteuses orthogonales.

L'espacement entre les sous-porteuses est choisit tel que ces dernières soient mathématiquement orthogonales les unes par rapport aux autres.

Cet espacement, ainsi que d'autres paramètres du système de transmission, sont souvent fixés par le standard de l'application envisagée, afin d'augmenter l'efficacité spectrale.

Systèmes de modulation multi-porteuse:

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

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

Application de la modulation multi-porteuse: [16]

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

Il ya aussi d'autre application comme :

a Le système ADSL : L'Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) est une technique de communication numérique de la famille xDSL. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS (en anglais ISDN, soit Integrated Services Digital

Network), pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel via un filtre ADSL branché à la prise.

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

7. Multiplexage: [17]

Le multiplexage est l'opération de répartir la capacité du canal en plusieurs voies, chacune est associée à une communication, de façon à transmettre simultanément plusieurs signaux indépendants sur le même canal de communication sans qu'il y ait d'interférence ou de perturbation entre eux.

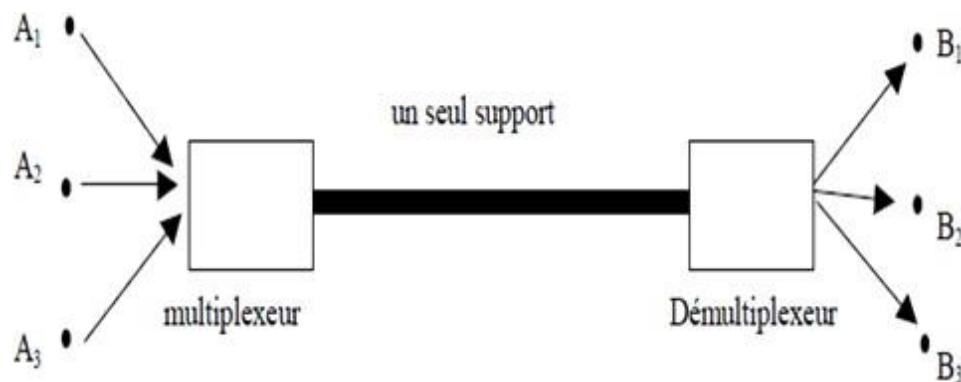


Figure 2.6. Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné.

Il existe trois Technique de base de multiplexage dans la gamme radiofréquence: le multiplexage fréquentiel (FDM, Frequency Division Multiplex, ou FDMA, Frequency Division Multiple Access), le multiplexage temporel (TDM, Time Division Multiplex, ou TDMA) et le multiplexage de code (CDM, Code Division Multiplex, ou CDMA).

Multiplexage FDM: [18]

C'est la technique la plus ancienne de multiplexage, D'ailleurs toute appareil de radio ou de télévision fonctionne avec ce type de multiplexage puisque l'antenne reçoit simultanément plusieurs porteuses modulés. Il faut seulement choisir le canal disponible en ajustant le récepteur à la porteuse du canal sélectionné.

Plusieurs signaux analogiques peuvent être multiplexés ensemble en modulant chaque signal avec une porteuse différente des autres et en occupant une portion bien définie de la bande

passante du canal de communication. En téléphonie, chaque signal occupe une bande de fréquence de 4kHz. Les supports de transmission employés pour acheminer ces signaux (fils, câbles, radio, satellites, etc.) possèdent des bandes passantes beaucoup plus larges.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une définition sur la modulation en générale avec leurs différents types et plus précisément la modulation multi-porteuse. Ensuite, nous avons brièvement décrit la technique de multiplexage et leurs trois types où nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la technique FDM qui fait une partie importante dans la technique OFDM , cette dernière va être expliquée dans le chapitre suivant .

Chapitre3:

Modulation OFDM

Chapitre 3

Introduction: [5]

La technique de modulation appelée multi porteuses se base sur la transmission des données numériques simultanément en les modulant sur un grand nombre de porteuses, c'est une techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps, L'objectif de la modulation multi porteuses OFDM était ainsi d'augmenter l'efficacité spectrale en exploitant au maximum la plage fréquentielle par l'orthogonalisation des porteuses, ce qui permet d'obtenir un meilleur recouvrement spectral.

L'implémentation de la modulation et de la démodulation s'effectue à l'aide de circuits performants basée sur la transformée de Fourier rapide (FFT).

L'objectif est ainsi d'exploiter au maximum la plage de fréquence allouée tout en minimisant l'impact du bruit grâce aux espaces libres séparant chaque canal.

1. Historique:

La modulation multi-porteuse a été introduite à la fin des années 50, sa première utilisation était dans des systèmes de communications hautes fréquences militaires.

Quelques années plus tard elle a été améliorée avec l'apparition du concept des signaux orthogonaux à bande limitée, concept que l'on appellera par la suite "Orthogonal Frequency Division Multiplexing" (OFDM). La mise en œuvre de l'OFDM à l'époque consistait à utiliser des filtres de Nyquist .

Du fait de la complexité à générer des bancs de filtres de sinusoïdes, l'OFDM n'a pas tout de suite intéressé les industriels civils. 20 ans plus tard le schéma de modulation-démodulation a été simplifié avec l'utilisation de la Transformée de Fourier Discrète Inverse (TFDI) à l'émission et de la TFD au niveau du récepteur, ce qui rend facile son implémentation numérique. Dans le milieu des années 1980, la technique OFDM a été développée dans les domaines industriels civils tels que le projet de radiodiffusion numérique DAB.

2. Présentation de l'OFDM :

OFDM est en fait un cas particulier de la FDM. Pour FDM, il n'y a aucune relation spéciale entre fréquences porteuses, f_1 , f_2 et f_3 (Figure 3.1).

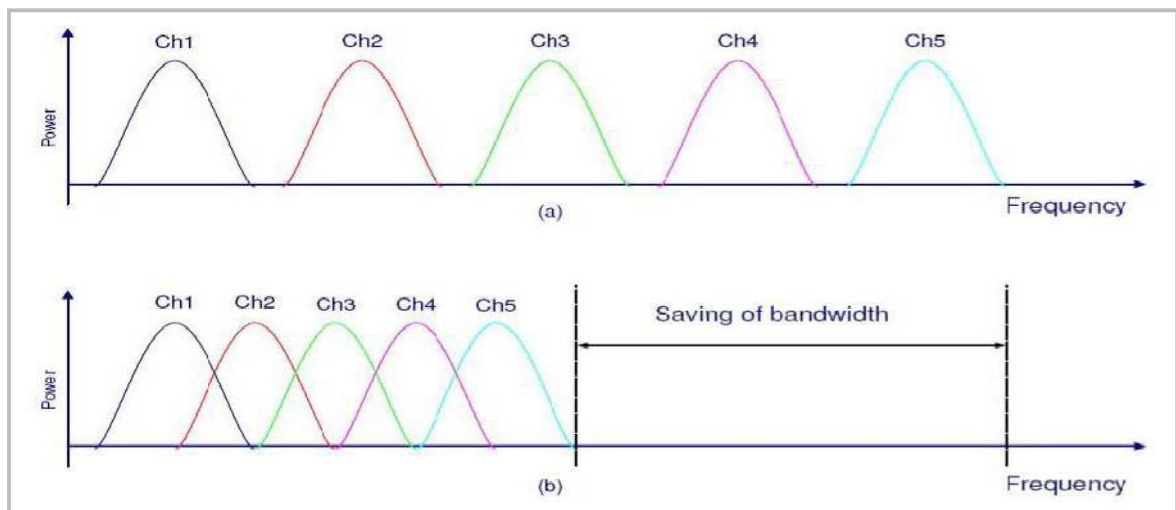


Figure 3.1: Différence entre la technique FDM (a) et OFDM (b).

La modulation OFDM est une modulation multi porteuse utilisée dans de nombreuses applications sans fil pour ses propriétés de résistance aux bruits impulsifs, aux canaux multi-trajets et sa très bonne utilisation du spectre du milieu de transmission.

3. Notion d'orthogonalité : [19]

Pour avoir une grande efficacité spectrale, il faut que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles, tout en assurant que le récepteur soit capable de les séparer sans perturbation et retrouver les données numériques modulés sur chacune d'entre elles. Ceci est vérifié si le spectre d'une porteuse est nul aux fréquences des autres porteuses.

Il faut donc que l'espace entre chaque sous-porteuse soit égale à $\frac{1}{T}$, où T est la durée utile pour émettre l'information, et que lorsque le spectre d'une sous-porteuse est maximal, il faut que le spectre de toutes les autres soit nul ; c'est la condition d'orthogonalité.

Cette condition d'orthogonalité permet d'avoir un recouvrement entre les spectres des différentes sous-porteuses, et malgré ceci d'éviter les interférences entre sous-porteuses si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous-porteuse.

Mathématiquement l'orthogonalité est défini par :

$$\int_0^T \cos(2\pi f_n t) \cos(2\pi f_m t) dt = 0 \quad (n \neq m) \quad (3.1)$$

où n et m sont deux entiers inégaux; f est la fréquence fondamentale; T est le période au cours de laquelle l'intégration est prise.

Pour OFDM, T est une période de symbole et est mis à $1/T$ pour une efficacité optimale.

4. Modulation OFDM: [4]

Le principe est basé sur la transmission des données numériques en parallèle, modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit les données numériques sont groupées par paquet de N , qu'on appellera symbole OFDM, par chaque donné est modulée une porteuse différente en même temps.

Considérons une séquence de N données $C_0, C_1, \dots, C_{N-1}$.

Appelons T_s la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données.

Chaque donnée C_k module un signal à la fréquence f_k .

Le signal individuel s'écrit sous forme complexe :

$$S_k(t) = C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (3.2)$$

Le signal $s(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des signaux individuels

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

D'après cette formule, on a sur la Figure 3.2 le schéma de principe d'un modulateur .

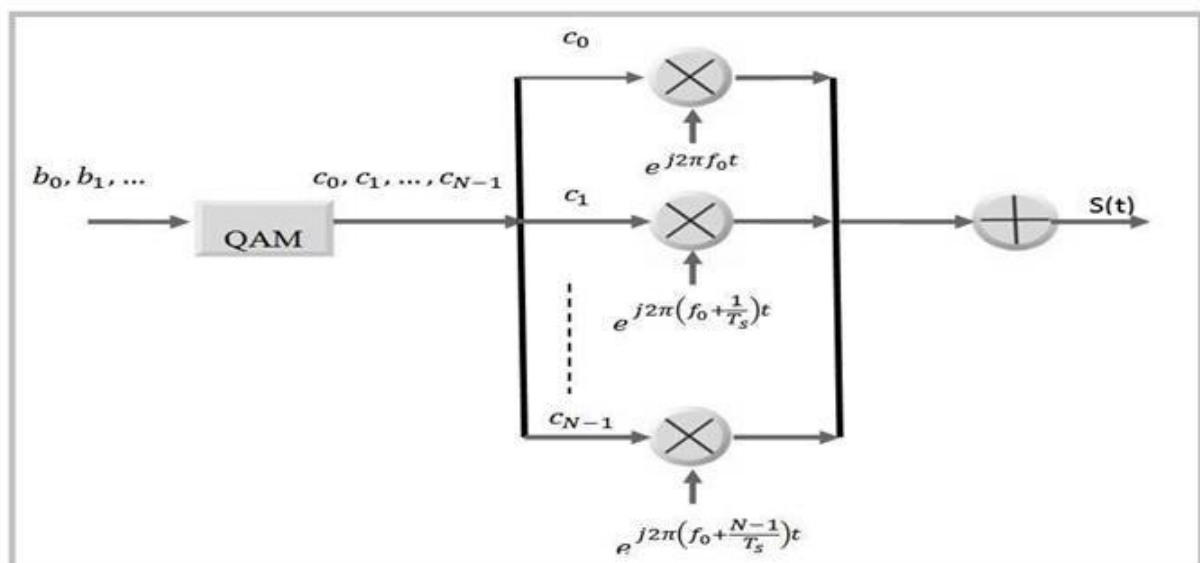


Figure 3.2 : Principe du modulateur multi-porteuse.

Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est —

Pour $f_0 = f_c$

$$f_k = f_c \pm k \Delta f \text{ et } s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j 2 \pi (f_c \pm k \Delta f) t} \quad (3.4)$$

Plus précisément les données numériques C_k sont des nombres complexes définis à partir d'éléments binaires par une constellation de modulation d'amplitude en quadrature QAM à plusieurs états (4, 16, 64, de façon générale états). Ces données sont des symboles

M-aires formés par groupement de M bits. On les appelle symboles numériques.

De (3.03), on peut déduire l'expression réelle du signal :

Comme $C_k =$

$$S(t) = \operatorname{Re}\{s(t)\} = \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j 2 \pi (f_c \pm k \Delta f) t} \right\} \quad (3.5)$$

$$S(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \left(\operatorname{Re}\{C_k\} \cos(2 \pi (f_c \pm k \Delta f) t) - \operatorname{Im}\{C_k\} \sin(2 \pi (f_c \pm k \Delta f) t) \right) \quad (3.6)$$

D'après cette expression du signal et la figure, le modulateur ainsi que le démodulateur devrait comporter N modulateurs individuels.

Spectre des différentes sous-porteuses :

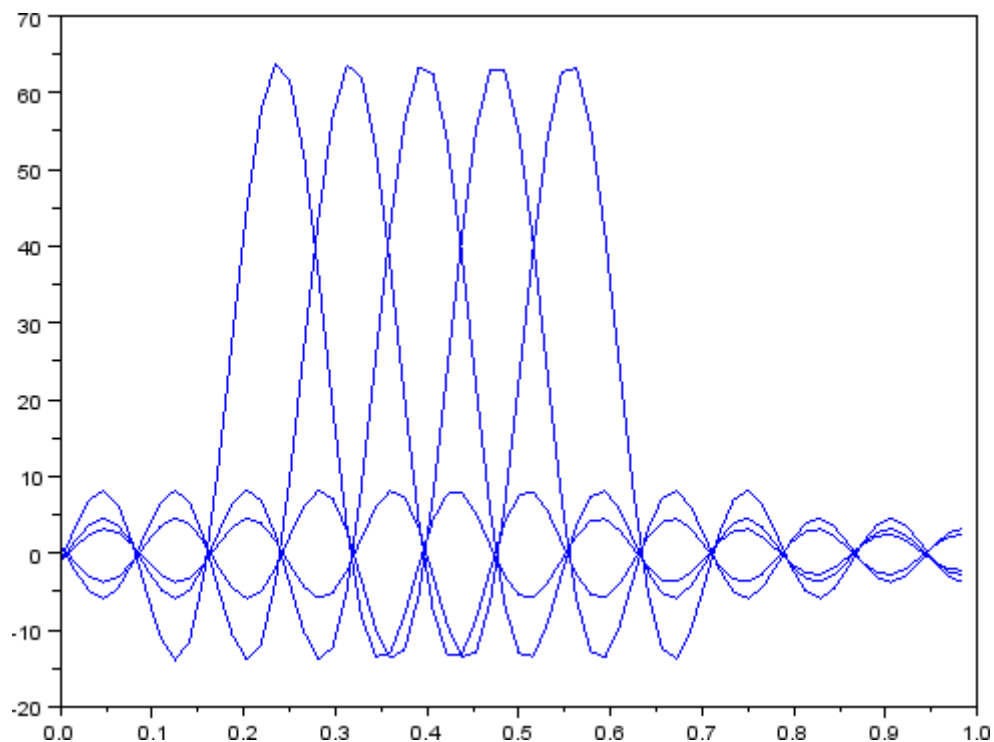


Figure 3.3 : Spectre des sous-porteuses.

Et le spectre total est la somme des spectres individuels.

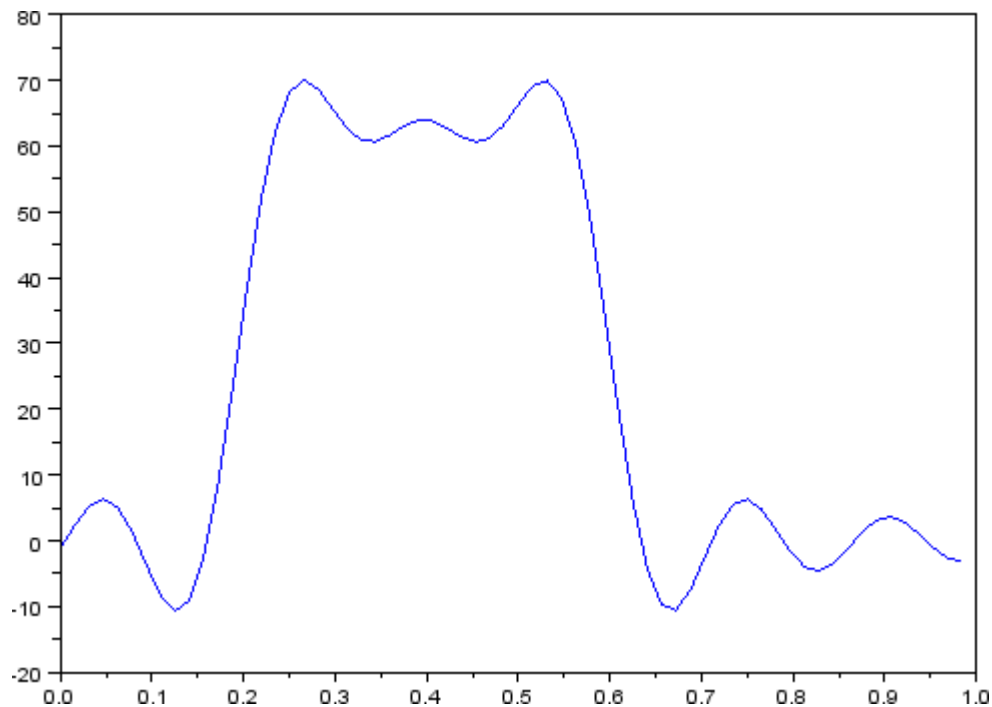


Figure 3.4 : Spectre du symbole OFDM.

La figure 3.03 montre que l'espace entre chaque sous-porteuse permet, lorsque le spectre d'une sous-porteuse est maximal, d'annuler le spectre de toutes les autres : c'est la condition d'orthogonalité.

Cette condition d'orthogonalité permet d'avoir un recouvrement entre les spectres des différentes sous-porteuses, et malgré ceci d'éviter les interférences entre sous-porteuses si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous-porteuse.

La figure 3.4 montre que la bande en fréquence est occupée de façon optimale, puisque le spectre est presque plat dans cette bande.

La bande occupée est à peu près $B = \frac{1}{T}$ (en excluant les lobes secondaires de part et d'autre de la bande), chaque sous-porteuse occupant à peu près $\frac{1}{N}$.

La réalisation suivant le schéma de principe nécessiterait N modulateurs. Mais l'expression Mathématique du signal montre qu'on peut le considérer comme la transformée de Fourier inverse des symboles numériques.

Les modulations multi-porteuses sont particulièrement utiles pour des canaux comportant des échos multiples. En effet, pour l'OFDM, la bande de fréquence totale B est divisée en N sous bandes, mais la bande totale utilisée $B = N \cdot B_c$ peut être très $\gg B_c$, donc chaque

sous-porteuse voit un canal constant mais parmi toutes les sous-porteuses, certaines sont affaiblies d'autres amplifiées.

Implémentation numérique du modulateur :

En discrétisant le signal $s(t)$ et en le ramenant en bande de base pour l'étude numérique on obtient une sortie $s(n)$ sous la forme :

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} C(k) e^{-j2\pi f_k n T_s} \quad (3.7)$$

Les $S(n)$ sont donc obtenus par une transformée de Fourier inverse discrète des $C(k)$.

En choisissant le nombre de porteuses N tel que $N = \frac{1}{\epsilon T_s}$, le calcul de la transformée de Fourier inverse se simplifie et peut se calculer par une simple IFFT. Physiquement, les symboles numériques sont composantes fréquentielles, les échantillons du signal S_n sont des composantes temporelles puisqu'on passe des premières aux secondes par une transformée de Fourier inverse.

5. Démodulation OFDM : [4]

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

$$R(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C(k) e^{-j2\pi f_k t} H_k \quad (3.8)$$

$H_k(t)$ est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence f_k et au temps t .

Cette fonction varie lentement et on peut la supposer constante sur la période T_s .

La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous-porteuses suivant le schéma classique :

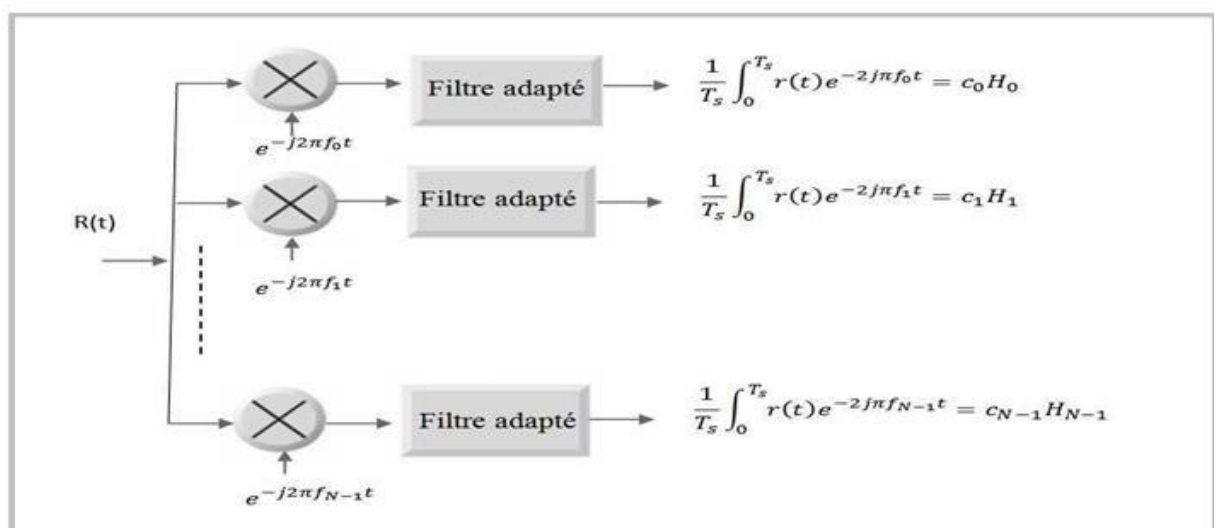


Figure 3.5 : Principe du démodulateur multi-porteuse.

La condition de l'orthogonalité montre que :

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sum_{k=0}^{N-1} f_k(t) dt = 0 \quad (3.9)$$

En pratique, comme pour la modulation, on remarque que la démodulation peut être réalisée par une transformée de Fourier directe.

Implémentation numérique du démodulateur :

le signal discrétisé reçu au niveau du démodulateur sous la forme :

$$Z(t)_n = z(nT_s) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k(nT_s) \quad (3.10)$$

Z_n est la transformée de Fourier discrète inverse de $c_k H_k$, la démodulation est basée donc sur la transformée de Fourier directe discrète.

Le nombre de porteuses ayant été choisi tel que $N = 1/T_s$, on peut réaliser ce calcul à l'aide d'une FFT.

On obtient alors le schéma de principe suivant :

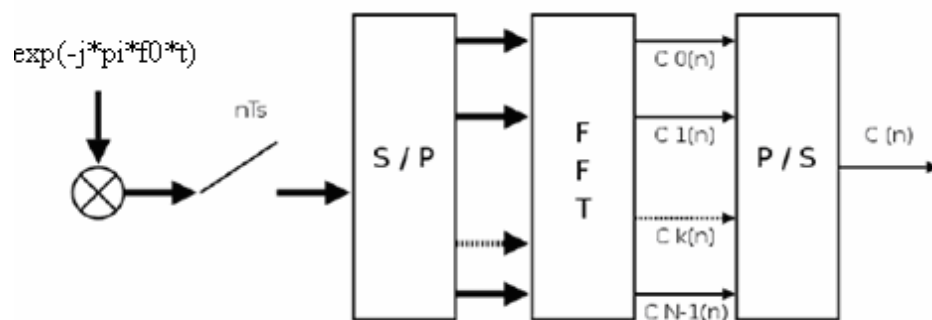


Figure 3.6: Principe du démodulateur numérique OFDM.

Pour discrétiser, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage.

Voyons comment la démodulation impose cette fréquence :

Le signal reçu occupe la bande passante B autour de la fréquence d'échantillonnage f_0 comme le montre la Figure 3.7 .

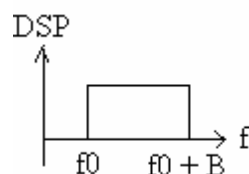


Figure 3.7 : Bande passante du signal reçu.

Pour démoduler, on va d'abord transposer le signal en bande de base, donc effectuer une translation de f_c fréquence médiane de la bande. Le spectre occupera la bande $[-B/2, +B/2]$ comme on le voit sur la Figure 3.8.

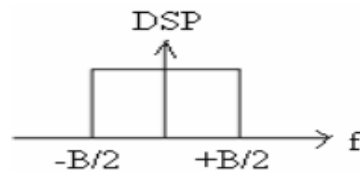


Figure 3. 8 : Spectre du signal reçu en bande de base.

La bande passante du signal étant :

$$B = 2 \Delta f \quad (3.11)$$

La fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à soit $f_s \geq B$

L'échantillonnage se fera aux temps :

$$t_n = nT_s \quad (3.12)$$

Le signal reçu en bande de base après le décalage en fréquence de f_c s'écrit alors :

$$\begin{aligned} z(t) &= R(t) e^{-j2\pi f_c t} \quad (*) \\ &= \sum_k c_k H_k e^{-j2\pi f_c t} \quad (**) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Puis après échantillonnage, on a :

$$Z(t)_n = z(t_n) = z(nT_s) = \sum_k c_k H_k e^{-j2\pi f_c nT_s} \quad (*) \quad (3.14)$$

On voit que z_n est la Transformée de Fourier discrète inverse de $c_k H_k$, la démodulation consiste donc à effectuer une Transformée de Fourier directe discrète.

L'intérêt de cette discrétisation est qu'on peut réaliser ces transformées de Fourier à l'aide d'algorithmes de FFT (direct) et IFFT (inverse).

Si on pose que le signal modulé en bande de base $s(t)$ est lui aussi discrétisé, les échantillons S_n s'écrivent :

$$S_n = \sum_k c_k H_k e^{-j2\pi f_c nT_s} \quad (*) \quad (3.15)$$

Ainsi, la chaîne de transmission est schématiquement comme il est illustré sur la Figure 3.9.

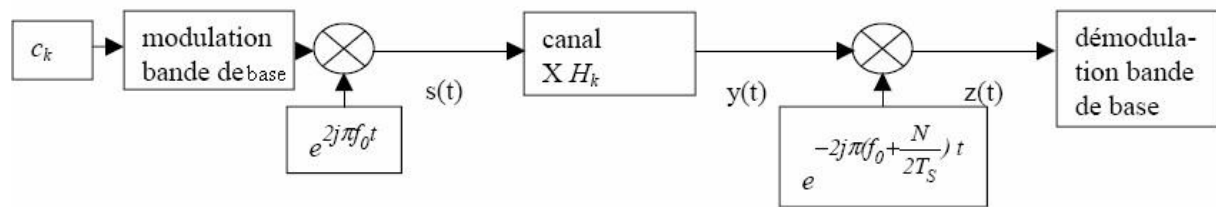


Figure 3.9 : Chaîne de transmission OFDM.

La période d'échantillonnage est la durée des symboles numériques issus de la constellation.

Conclusion :

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

Chapitre4:

Etude et simulation d'une transmission de type OFDM

Chapitre4 :

1. Présentation de l'outil de simulation:

Scilab est un clone du logiciel commercial Matlab. Il est développé par l'INRIA et l'ENPC et est distribuée gratuitement sur Internet sous une licence Open Source. Il s'agit d'un logiciel d'analyse numérique, destinée à traiter des (gros) tableaux de nombres, écrits en virgule flottante (le nom matlab vient de MATrix LABoratory). Il est muni d'un langage de programmation Interprète (un script est lu ligne par ligne par la machine, qui exécute au fur et à mesure chaque ligne), mais peut aussi inclure des sous-programmes écrits en fortran ou en C, et transformés par un compilateur en un programme directement exécutable par la machine.

Les sous-programmes ainsi compilés s'effectuent bien plus rapidement que des scripts interprètes ; cependant, on se bornera ici à l'utilisation de petits scripts interprétés.

2. Visualisation des résultats:

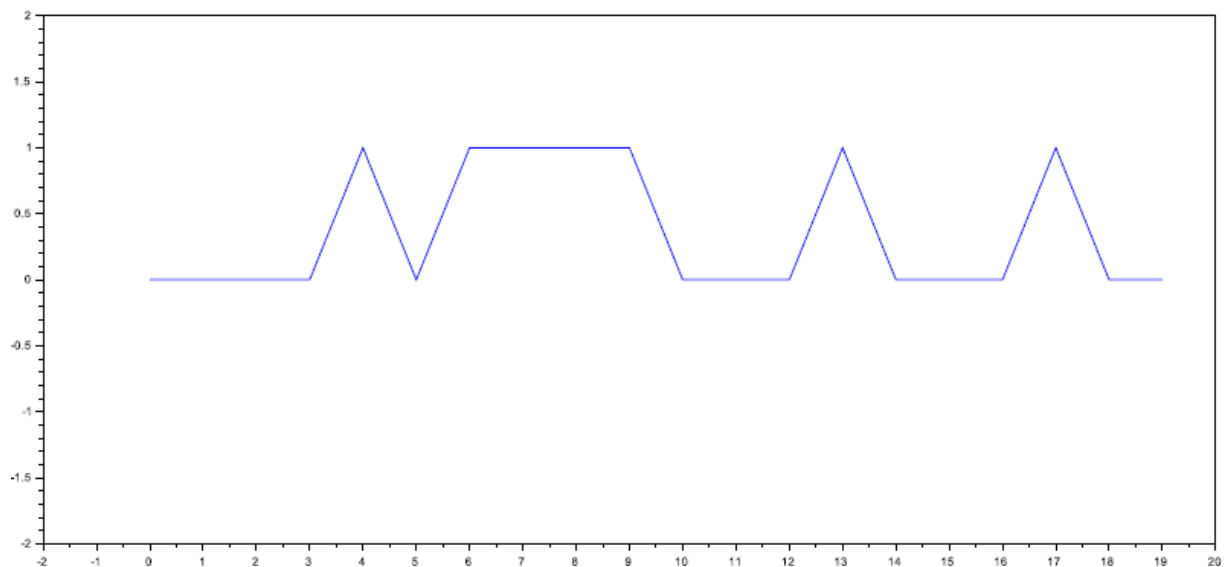


Figure 4.1 : Signal numérique à transmettre.

Interprétation :

On travaille sur une séquence binaire aléatoire. Cette séquence subit différents traitements associés à la mise en Forme OFDM.

La séquence binaire subit d'abord une opération de modulation d'amplitude en quadrature (QAM), puis L'opération de modulation OFDM est appliquée par l'intermédiaire d'une transformation série-parallèle et d'une IFFT.

On considère dans notre simulation la transmission de la séquence binaire suivant :

$b = 0. 0. 0. 0. 1. 0. 1. 1. 1. 1. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 1. 0. 0.$

Elle est visualisée en **Figure 4.1**.

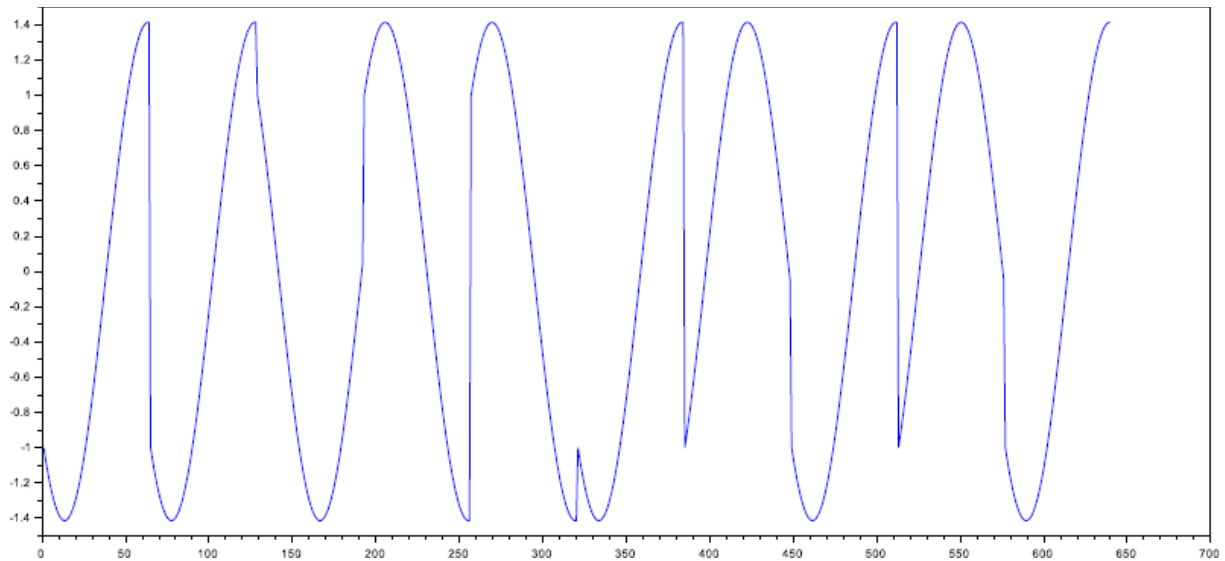


Figure 4.2 : Signal converti en analogique .

Interprétation :

Dans la réalité, le signal est alors converti en analogique et translaté sur une fréquence Porteuse par l'intermédiaire d'une modulation (QAM), après on applique la modulation OFDM pour passer par le canal, donc au niveau de réception on doit passer par l'étape de démodulation QAM qui translate fréquemment le signal reçu Vers la bande de base.

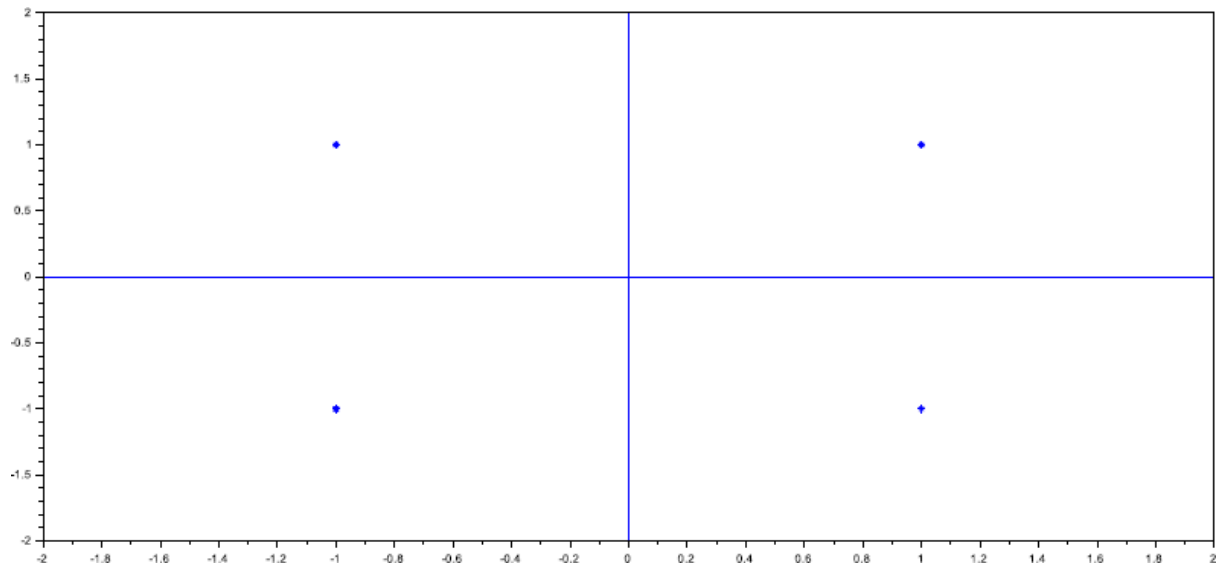


Figure 4.3: Diagramme de constellation.

Interprétation :

Le diagramme de constellation est utilisé pour identifier le type des Interférences ou de la distorsion dans un signal.

On représente chaque symbole numérique (QAM) comme un nombre Complexe permettant d'en extraire les parties réelles (cosinus) et imaginaires (sinus), un symbole peut donc être converti en analogique en Modulant deux porteuses de même fréquence avec ces composantes. La Figure 4.3 visualise les symboles complexes qui correspondent aux symboles numériques du signal digital à transmettre.

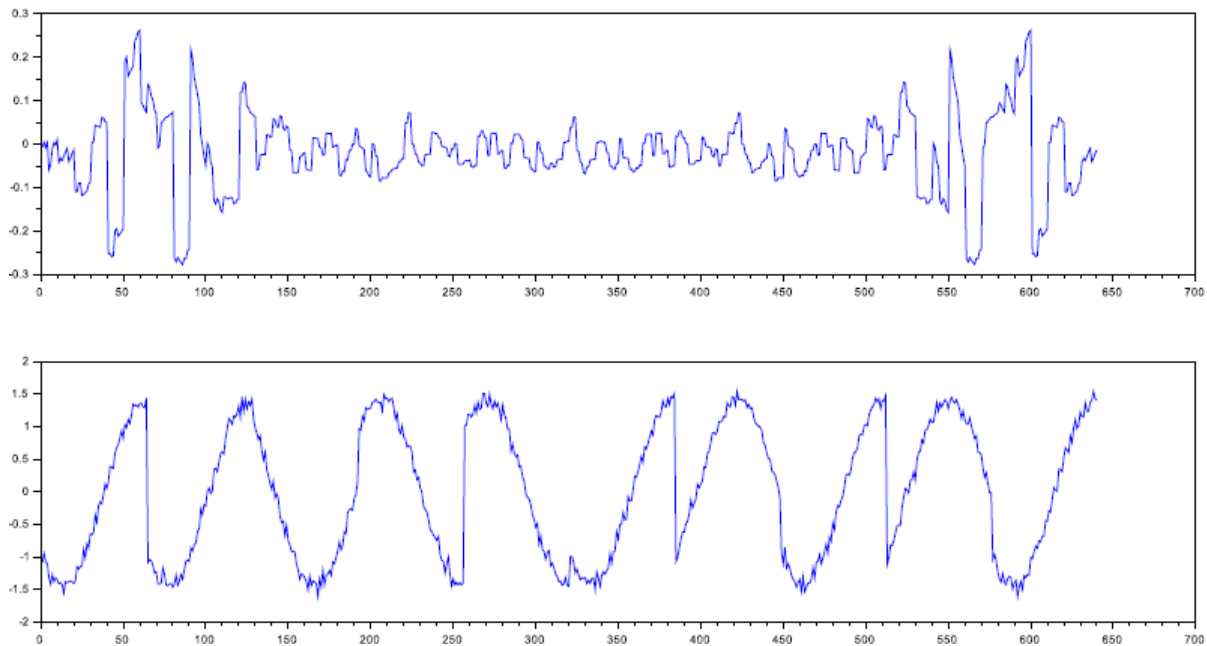


Figure 4.4 : Signal modulé en OFDM et sa démodulation.

Interprétation :

Après avoir réalisé la conversion série-parallèle sur les échantillons du signal converti en analogique par modulation QAM, on a appliqué l'opération d'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) et on a obtenu la première figure au dessus.

Au niveau de réception on a débuté par l'opération de FFT pour récupérer le signal modulé en QAM qui a été transmis, et donc on a obtenu le deuxième signal en figure 4.4 qui n'est pas parfaitement pareil à celui qu'on a transmis par l'effet du bruit qu'on a considéré dans notre simulation pour modéliser les perturbation liées au canal de propagation .

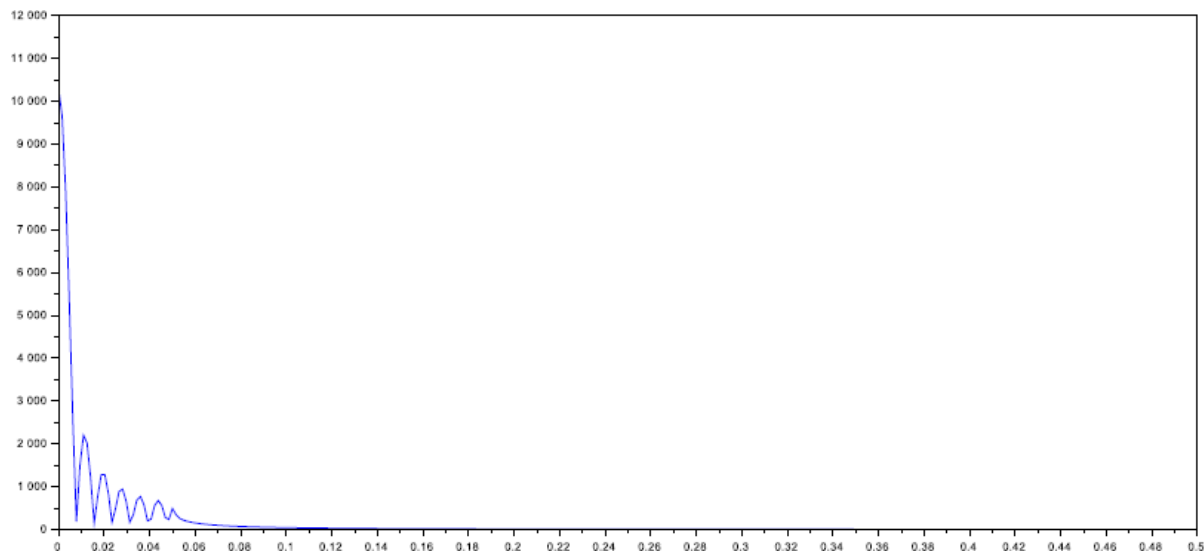


Figure 4.5 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

Au niveau du récepteur, pour effectuer la démodulation QAM , on multiplie séparément le signal démodulé OFDM par un sinus d'une part et par un cosinus d'autre part, après on applique un filtre passe bas ce qui permet de supprimer la fréquence ($2 \cdot f_c$) , et laisse seulement la composantes du symbole complexe QAM, la figure ci-dessus montre l'effet du filtre passe bas réel sur notre signal QAM après la multiplication par un cosinus .

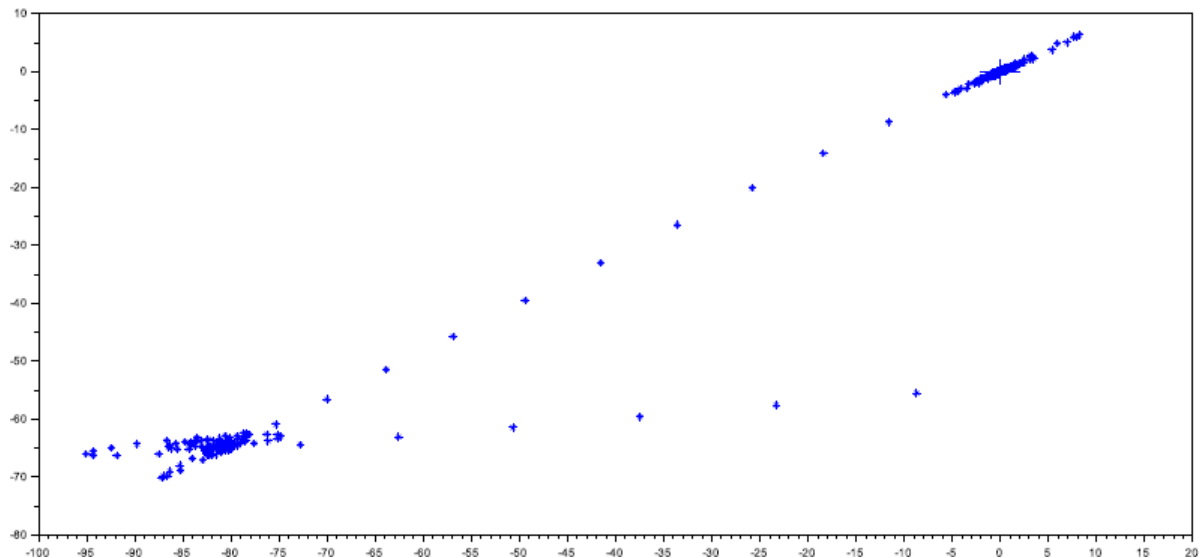


Figure 4.6: Constellation du signal reçu.

Interprétation :

Après la démodulation, on observe que Les composantes I et Q du signal QAM récupéré ne sont dans ce Cas pas orthogonales entre elles. Le déséquilibre d'amplitude décrit les différents gains des composantes I et Q d'un signal introduit par la perturbation du bruit qu'on a considéré dans notre simulation.

3. Impact du bruit sur la démodulation QAM :

Pour $P_{Br} =$

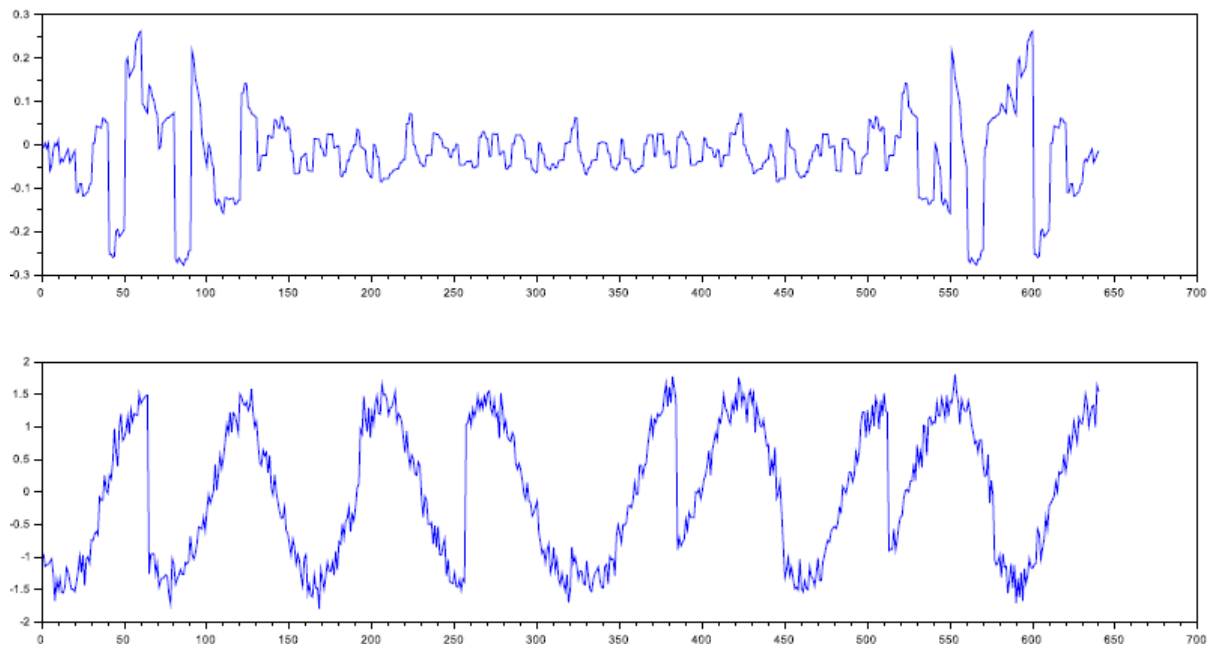


Figure 4.7: Signal modulé en OFDM et sa démodulation.

Interprétation :

Faire modifier la puissance du bruit appliqué au signal porté OFDM de à introduit plus de déformation au signal QAM récupéré au niveau de la réception , la figure 4.7 montre l'impact de ce procédé à notre modèle de simulation .

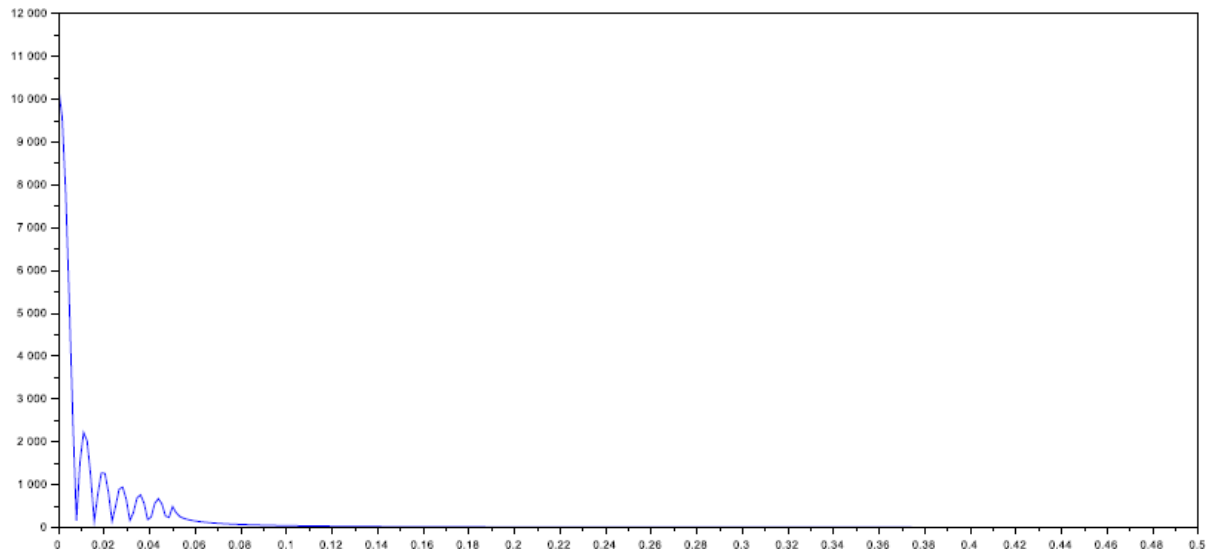


Figure 4.8 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

Faire subir notre signal OFDM à un bruit pour modéliser la canal de propagation lui a rajouté des composantes fréquentielle , donc le spectre du signal QAM ne constitue plus uniquement des raies Comme celui de la transmission, la figure ci-dessus montre que le spectre du signal QAM récupéré dans notre simulation est continu .

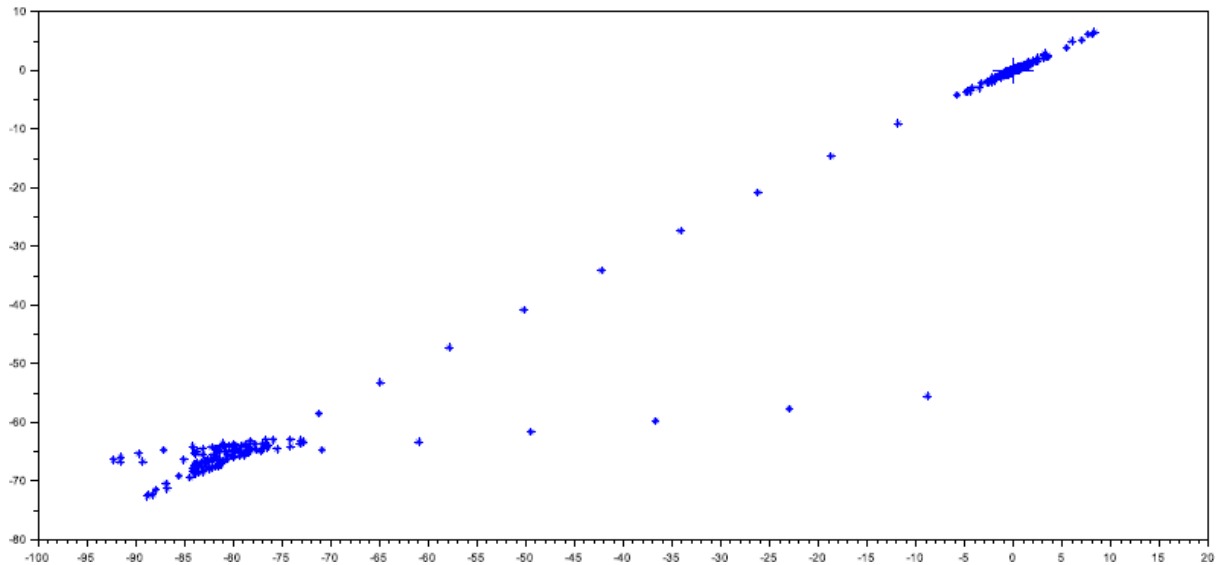


Figure 4.9 : Constellation du signal reçu.

Interprétation :

La figure 4.9 montre l'effet de faire varier la puissance du bruit appliqué au signal porté OFDM à notre simulation de à sur la constellation du signal QAM reçu après la démodulation, donc on observe plus de déformation par rapport a celui de la transmission.

Pour $P_{Br} =$

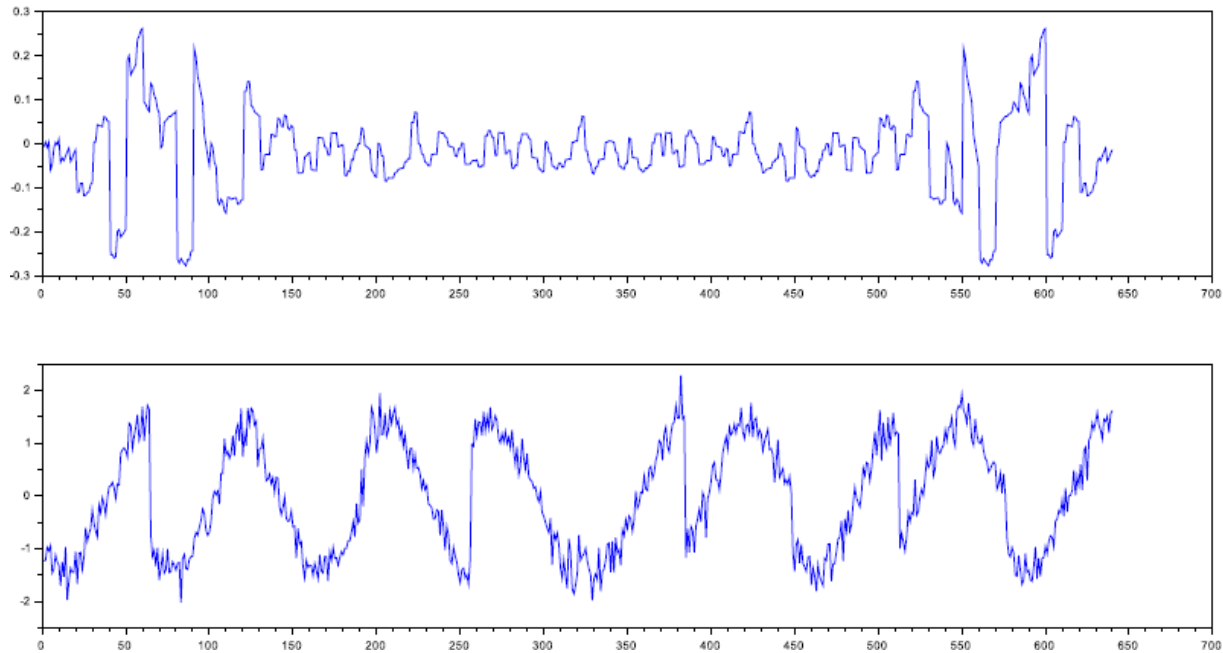


Figure 4.10 : Signal modulé en OFDM et sa démodulation.

Interprétation :

Comme le montre la figure 4.10 , En faisant varier la puissance du bruit appliqué au signal porté OFDM à notre simulation de à , on introduit beaucoup plus de déformation au signal QAM récupéré au niveau de la réception, on note que plus on fait augmenter la puissance du bruit , plus on déforme le signal QAM .

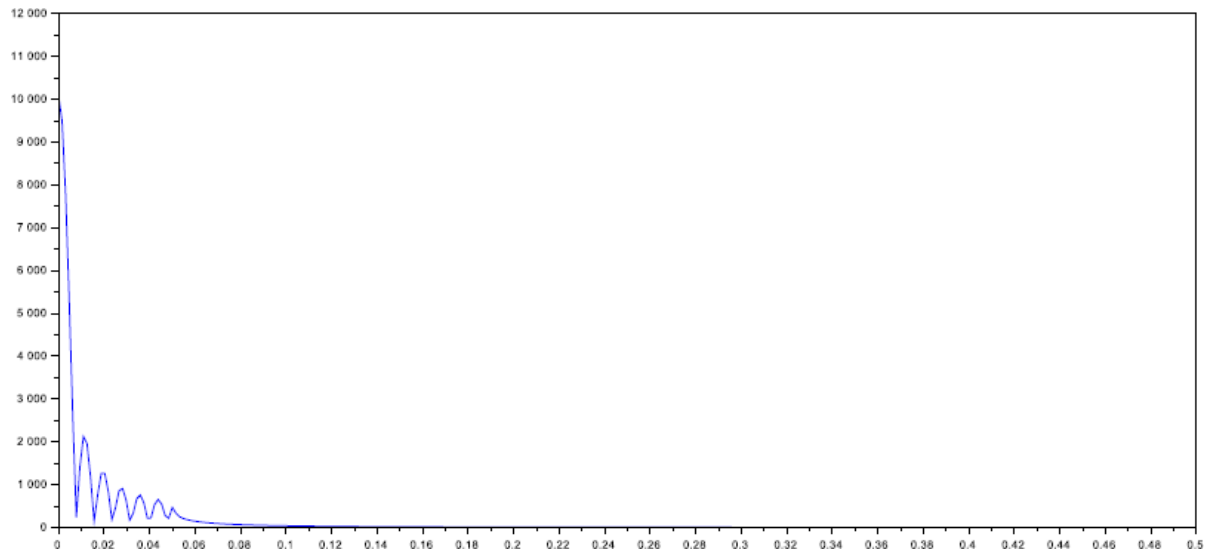


Figure 4.11 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

Comme le montre la figure 4.11, le spectre du signal QAM récupéré pour le cas est plus déformé par rapport à celui récupéré pour le cas , donc à chaque fois qu'on fait changer la puissance du bruit, il y'aura une déformation du spectre de tel sorte que, des fréquences seront atténuées et d'autre amplifiées.

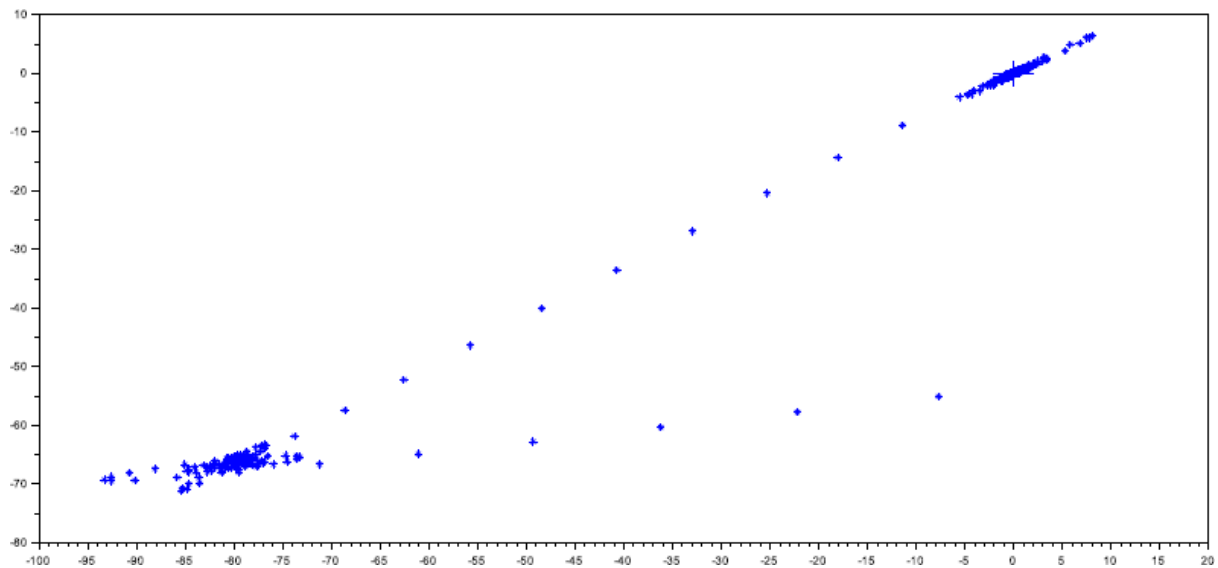


Figure 4.12 : Constellation du signal reçu.

Interprétation :

Faire modifier la puissance du bruit appliqué au signal porté OFDM à notre modèle de simulation de à a introduit plus de déformation dans la constellation du signal QAM récupéré au niveau de la réception comme il est montré sur le graphe 4.12 , donc on note que plus on fait augmenter la puissance du bruit, plus on aura une déformation des composante du symbole numérique QAM ,donc dans son diagramme de constellation .

4 .Impact du paramètre P sur la démodulation QAM pour :

Pour $p = 800$

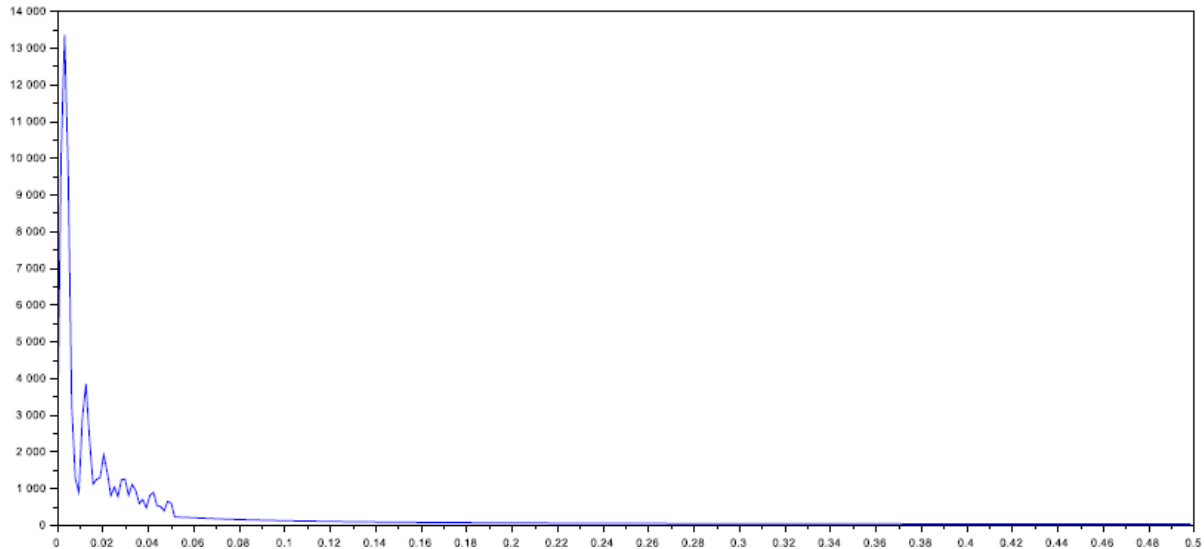


Figure 4.13: Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

A notre simulation, et pour effectuer la démodulation QAM on a réalisé un filtre RIF Numérique passe bas en limitant la longueur de la réponse impulsionnelle de passe bas idéale par une fenêtre de Hamming de durée P , et la figure ci-dessus montre que, en variant le nombre de coefficients du filtre P de 1024 à 800 on aura une amplification assez importante pour certaines fréquences et une importantes atténuations pour certaines d'autres.

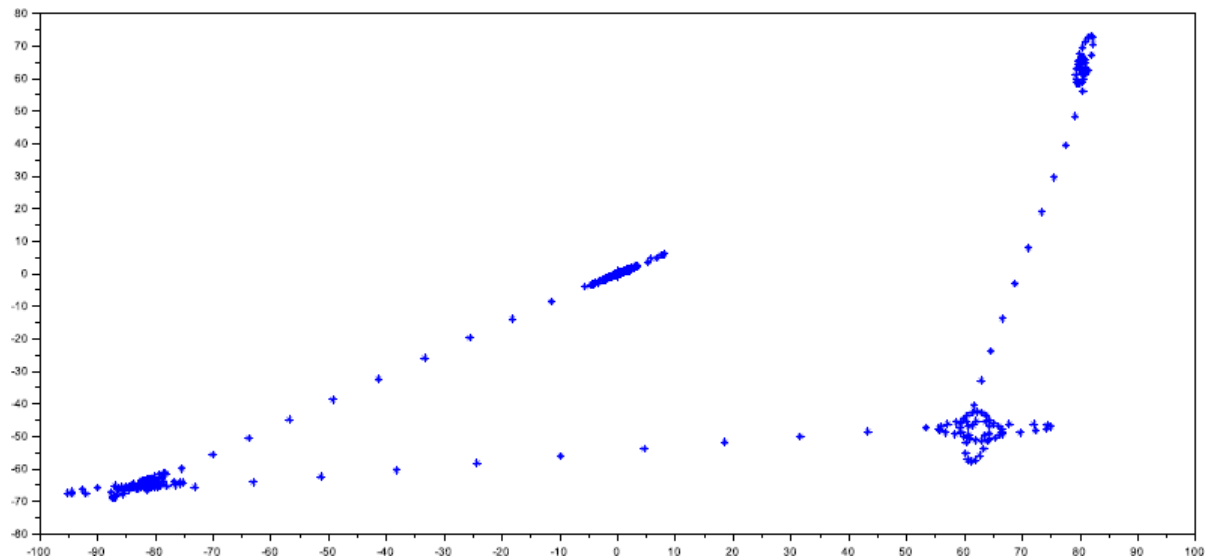


Figure 4.14: Constellation du signal reçu.

Interprétation :

la figure ci-dessus montre que , en diminuant le nombre de coefficients P du filtre à 800 , le diagramme de constellation du signal QAM reçu se rapproche plus au diagramme de constellation du signal QAM émis par rapport au cas de $P = 1024$.

Pour $P = 200$

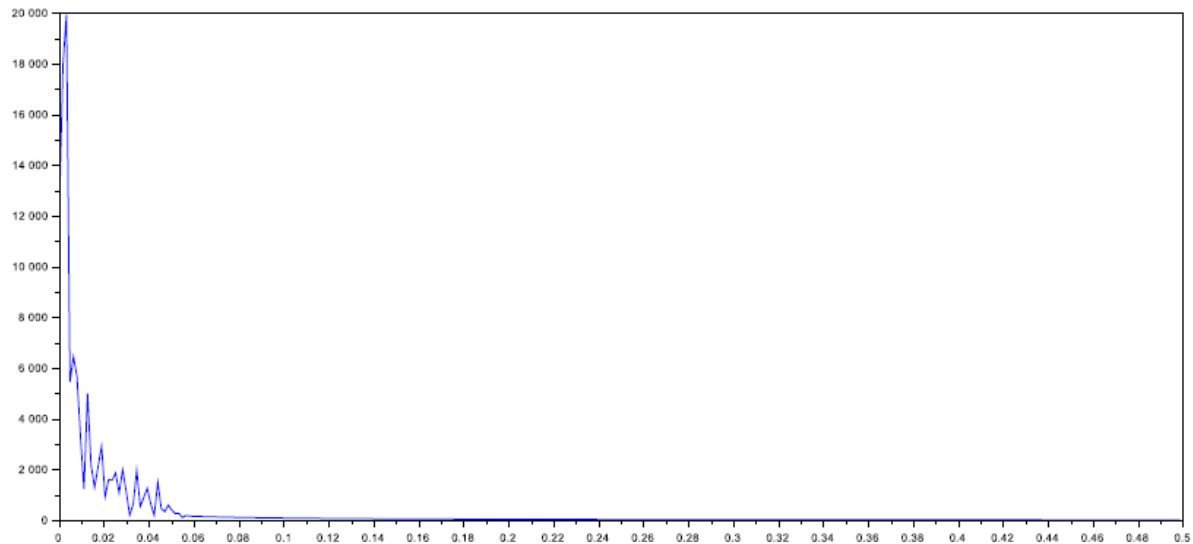


Figure 4.15: Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

En diminuant le paramètre P de 800 à 200, on observe une déformation spectrale plus importante que celle remarquée dans le cas $P=200$.

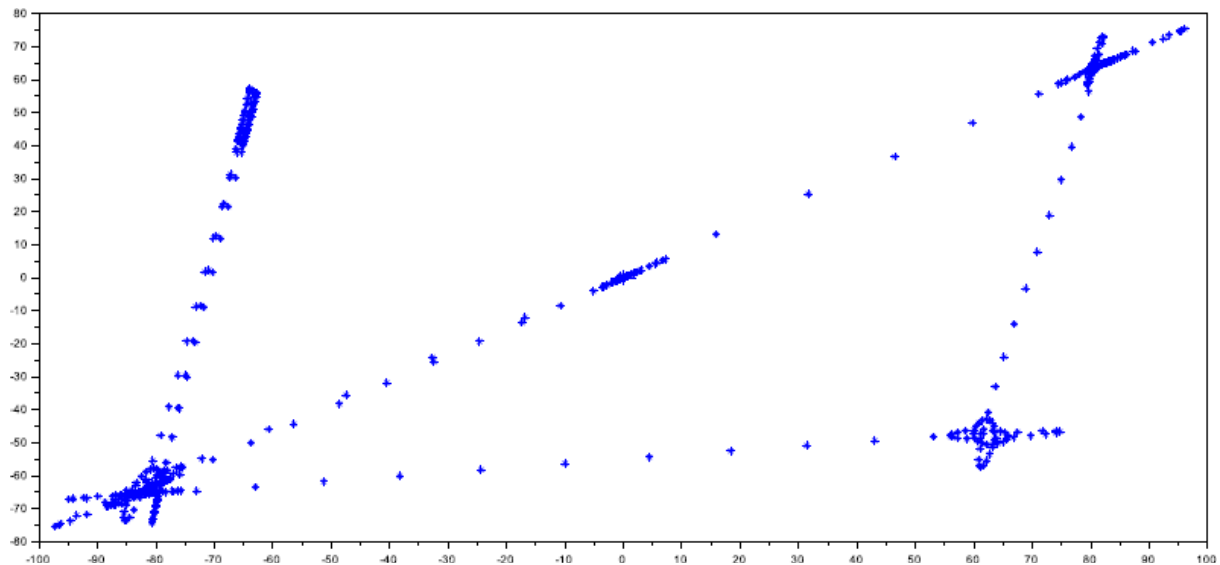


Figure 4.16: Constellation du signal reçu.

Interprétation :

la figure ci-dessus montre que , en fixant le nombre de coefficients P du filtre à 200 , le diagramme de constellation du signal QAM reçu se rapproche de plus en plus au diagramme de constellation du signal QAM émis par rapport aux cas de $P = 800, 1024$.

5. Impact du paramètre B sur la démodulation QAM pour :

Pour $B = 0.2$

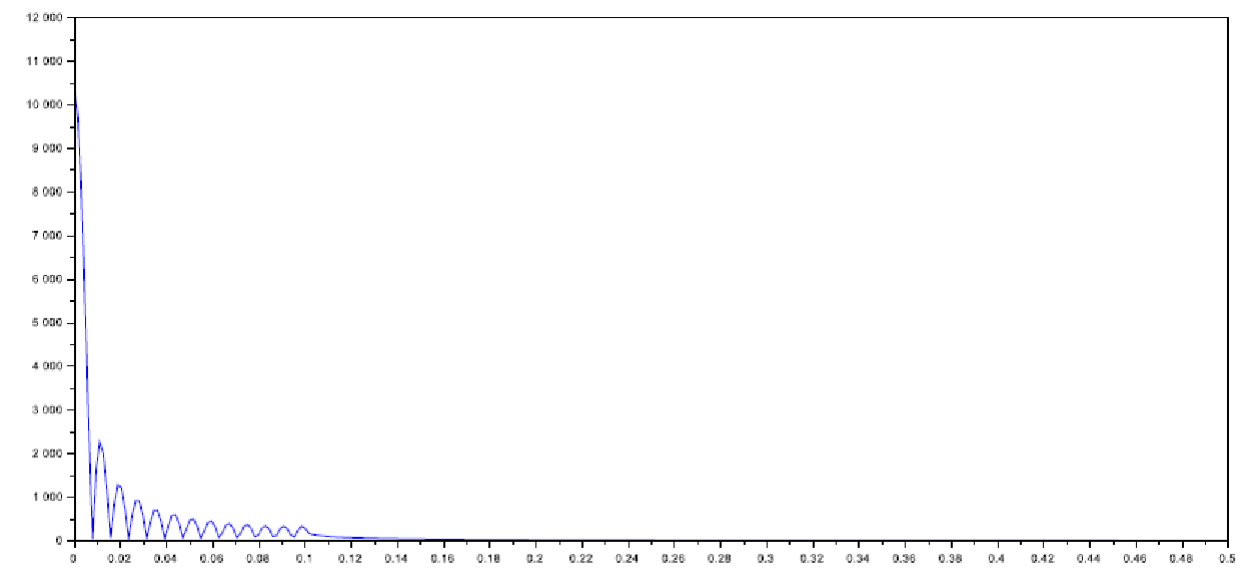


Figure 4.17 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

Quand on a élargis la bande du filtre utilisé à notre simulation à 0.2 , on observe comme Il est illustré dans la figure 4.17 plus des composantes fréquentielles à l'espace rajouté dans le spectre du signal démodulé QAM.

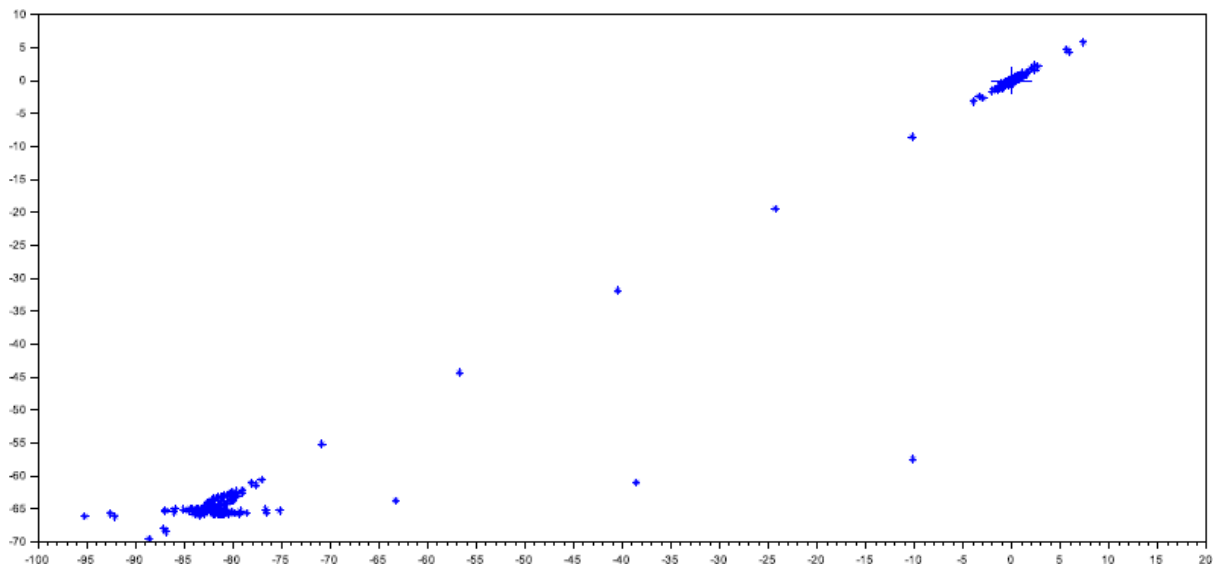


Figure 4.18: Constellation du signal reçu.

Interprétation :

Comme le montre la figure 4.18, le fait d'élargir la bande du filtre utilisé à notre simulation à 0.2 a causé plus de déformation dans le diagramme de constellation du signal QAM reçu par rapport à celui du signal QAM émis.

Pour $B = 0.3$

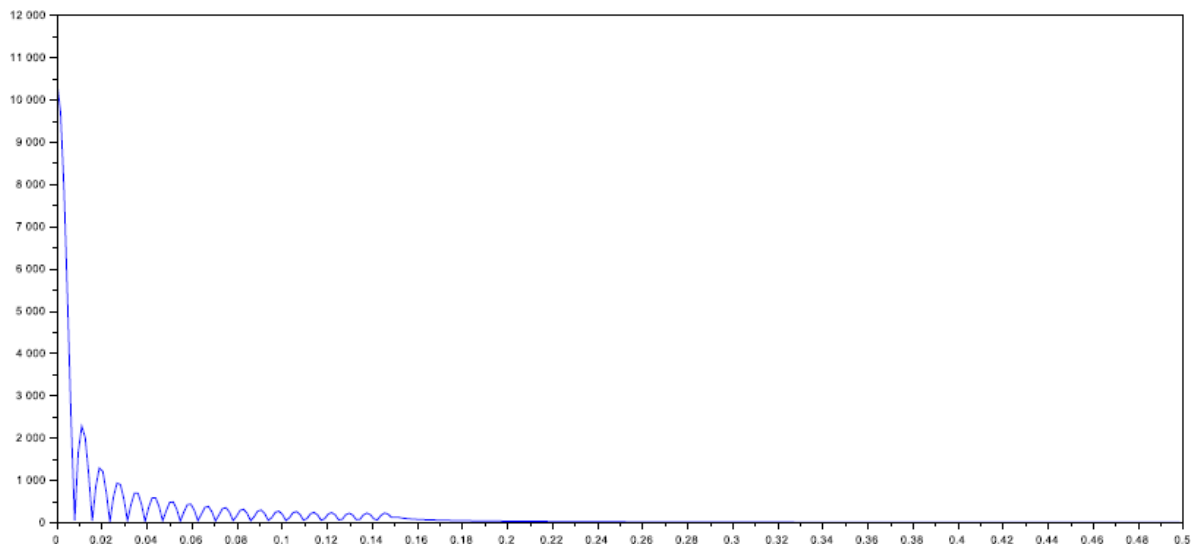


Figure 4.19 : Spectre de démodulation QAM (partie cosinus).

Interprétation :

Faire encore élargir la bande du filtre utilisé à notre simulation à 0.3 a introduit encore plus de composantes fréquentielles à l'espace rajouté dans le spectre du signal démodulé QAM ,donc on note que plus la bande du filtre est large ,plus il y'aura des composantes fréquentielles non désirées dans le spectre du signal démodulé QAM.

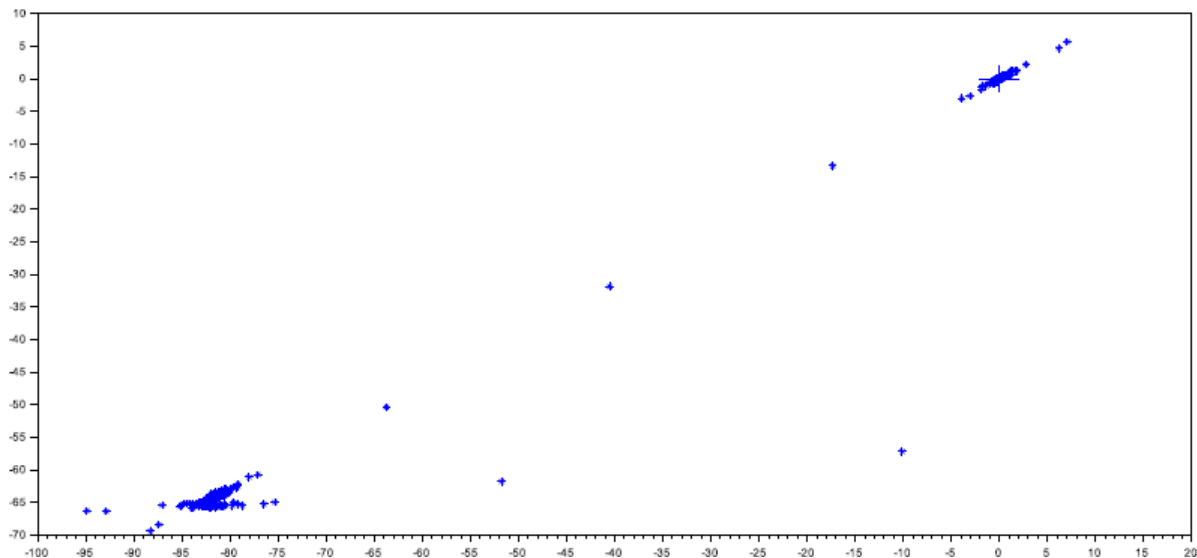


Figure 4.20: Constellation du signal reçu.

Interprétation :

d'après la figure ci-dessus, le fait d'élargir la bande du filtre utilisé dans la simulation à 0.3 , a causé encore plus de déformation dans le diagramme de constellation du signal QAM reçu par rapport à celui du signal QAM émis ,alors on note que plus la bande du filtre est large ,plus on aura une distorsion des composantes du symbole numérique QAM reçu ,donc une déformation de son diagramme de constellation.

Conclusion :

La simulation Scilab que l'on a réalisée pour étudier l'exécution d'une transmission de type OFDM nous a permis de mettre en relief les intérêts d'une modulation et démodulation OFDM d'un point de vue paramètres de filtrage, ainsi que le bruit introduit par le canal de propagation .

Conclusion générale :

Un des problèmes majeurs en télécommunications est d'adapter l'information à transmettre au canal de propagation, pour des canaux sélectifs en fréquence, une technique est l'utilisation de modulations multi-porteuses dans laquelle un bloc d'information est modulé par une transformée de fourier a le grand mérite de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet très simples à égaliser.

Un énorme chemin a été effectué depuis 50 ans afin de rendre les modulations multi porteuses attractives pour le marché des télécommunications sans fils ,Cette technique connue sous le nom d'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a connu un vif succès les années passées ,et elle est même normalisée dans différents standards sans fils (IEEE802.11a, WiMAX, LTE, DVB).

Ce manuscrit présente une synthèse des travaux de recherches portant sur l'implémentation de système OFDM sous scilab , Les simulations réalisées dans ce travail ont permis de mettre en relief l'intérêt d'une modulation OFDM du point de vue du bruit causé par le canal de propagation , ainsi que paramètres du filtrage .

Notre étude souligne l'importance de la technique OFDM dans les réseaux sans fil.

On peut prévoir que le développement de la technique OFDM prélude à l'ouverture de nouveaux marchés pour différents types d'applications, dans différents environnements, ce sont les nouvelles technologies de la 4ème génération de télécommunications sans fil.

Bibliographie

- [1]. Bakri Hadj Ali, « Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil », mémoire Pour l'obtention du Diplôme de Magister, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2012, page 5
- [2].A.L. Fawe – L.Deneire «Principe de Télécommunications, Notes de cours (provisoires)» année 1995-1996, page 4
- [3]. «Transmission d'informations» disponiblesur :<http://www.websciences.comdocuments/terminale/tedo21/teco21.php?imp=1>
- [4].RANDRIANANDRASANA Naly «OPTIMISATION DE LA TRANSMISSION NUMERIQUE RADIO VIA LA TECHNIQUE DE MODULATION OFDM », mémoire pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur, page 3 ,37 ,42
- [5]. BAOUNI ABDELKHALEK «Estimation du Canal et Elimination des Interférences ICI dans les Communications Mobiles avec Modulation OFDM » mémoire Pour l'obtention du Diplôme de magister, page 3,8
- [6] . Annick Le Glaunec « MODULATION MULTIPORTEUSE » ; page 2,3
- [7] El Kefi HLEL « ESTIMATION DE CANAUX RADIOMOBILES SELECTIFS EN TEMPS ET EN FREQUENCE POUR LES SYSTEMES OFDM », thèse Pour l'obtention du Diplôme de doctorat page 11
- [8]. C.Alexandre « ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) », page 11
- [9] .A.oumnad « Modulation analogique », page 1
- [10].«Transmitte rand Receiver Technique»http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf .
- [11]. Farhi Nabila ,Helaimia Souhaila « Etude et Simulation D'une transmission de Type OFDM pour les communication Sans Fil » , page 25
- [12] .Bensayah Miloud , Adel Tawfik « Etude de la Modulation OFDM » , memoire pour l'obtension du diplome de licence , page 12,13,14
- [13]. <http://www.epsic.ch/cours/radiohf/pdf/100.pdf>
- [14]. Patrice KADIONIK « BASES DE TRANSMISSIONS NUMERIQUES Les modulation

numérique », page 8,9.

[15].Mlle GHORZI Sihem, Mlle FEKIH Meryem «Conception d'un système de communication sans fils multi porteuse et multi accès et application à la 4G », mémoire pour l'obtention du diplôme de Master , page 15

[16].Jiří VODRÁŽKA «Multi-Carrier Modulation and MIMO Principle Application on Subscriber Lines » Dept. of Telecommunication Technology, Czech Technical University, Technická 2, 166 27 Praha, Czech Republic

[17].« Modulation numérique » <http://arsene.perez-mas.pagesperso-orange.fr/index.html>

[18].<http://www.technologuepro.com/transmission/chapitre-6-techniques-demultiplexage.htm>

[19].Ben Jemâa Ahmed Bassem « Etude de Comparative DES Estimateurs du Canal WSSUS en Standard DVB-T » mémoire pour l'obtention du diplôme de Master ,2003/2004 , page 15.