



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR 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

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre :M.../GE/2020



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme du

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : télécommunication

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par

Rebbou benberber Houcine

Lagroume Fatima

Transmission D'une image binaire avec l'OFDM

Soutenu 09/09/2020 devant le jury composé de :

Président:	Mr. Benaouali. Mohamed	grade MAA	Université de Mostaganem
Examineur:	Mr. Abed. Mansour	grade MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur:	Mr. Yagoubi Benabdellah	grade PROF	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020\2021

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de nous 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 nos mains vers le ciel.

NOUS DEDIONS 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 nous pouvons dire nos frères, nous avons passé des années inoubliables. Les enseignants de département de génie électrique et les administrateurs pour leurs efforts.

Merci.

REMERCIEMENTS

C'est au bon DIEU tout puissant qu'on doit tous nos absolus remerciements pour nous avoir donné la santé, la force, la volonté et surtout la patience tout au long du chemin de nos études et l'exécution de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos remerciements et toute notre gratitude à notre encadreur : Mr. YAGOUBI BENABDELLAH pour leur disponibilité, sa patience, son aide, son encouragement et surtout ses précieux conseils sans lesquels ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Nous remercions aussi tous nos professeurs qui, de près ou de loin ont contribué à notre formation.

Nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés pour la réussite de ce travail, tout notre amour à nos chers parents pour leur aide et encouragement continuels le long de notre cursus, A nos chers frères et sœurs, famille et amis

Résumé

Ce travail consiste à étudier la transmission d'une image binaire dans un canal supposé de bande étroite et sans bruit. On sait bien qu'une image est souvent de taille plus grande que la bande du canal, ce qui pose un problème pour sa transmission. Pour cela, nous avons implémenté un système ofdm sous Scilab pour compresser l'image binaire et faciliter, ainsi, sa transmission. Nous commençons par convertir l'image à deux dimensions en un vecteur à une seule dimension, ce qui revient à la transmission d'un signal unidimensionnel. Les simulations ainsi effectuées ont permis de montrer l'avantage du système ofdm par rapport à d'autres systèmes de modulation pour la transmission de l'image binaire.

Abstract

This work consists in studying the binary image transmission through a non noisy narrow band channel. It is well known that the size of an image is usually bigger than the channel band which poses a problem for its transmission. Therefore, we have implemented an ofdm system under the software Scilab for compressing the binary image and hence facilitate its transmission. We start by converting the bi-dimensional image to mono-dimensional vector, which amounts to a mono-dimensional signal transmission. The simulations performed have shown the advantage of the OFDM system over other systems of modulation for the binary image transmission.

ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة إرسال صورة ثنائية في قناة من المفترض أنها ذات نطاق ضيق وخالية من التشويش. من المعروف أن الصورة غالبًا يكون حجمها أكبر من حجم شريط القناة، مما يشكل مشكلة في نقلها لهذا، قمنا بتنفيذ نظام تقسيم التردد المتعامد مع برنامج سيلاب لضغط الصورة الثنائية وبالتالي تسهيل نقلها. نبدأ بتحويل الصورة ثنائية الأبعاد إلى متجه أحادي البعد، وهو ما يعادل إرسال إشارة أحادية البعد. أظهرت عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها على هذا النحو ميزة نظام تقسيم التردد المتعامد على أنظمة التعديل الأخرى لنقل الصورة الثنائية.

Tables des matières

Liste des figures.....	7
Liste des abréviations.....	9
Introduction générale.....	11
Chapitre 1 : Modulation OFDM	
1 Introduction	13
2 Historique :	13
3 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCE DIVISION MULTIPLIXING)	14
4 Orthogonalité :.....	15
5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TECHNIQUE L'OFDM :.....	16
6 Schéma d'OFDM.....	18
7 Conception du signal OFDM :.....	19
8 La différence entre l'OFDM et la FDM.....	20
9 Avantages et inconvénients de l'OFDM :.....	22
9.1 Avantages de L'OFDM :.....	22
9.2 INCONVENIENTS DE L'OFDM :.....	22
10 Transformée de Fourier discrète et L'OFDM :	23
11 Le type de modulation utilisent dans l'OFDM :.....	24
12 Canal de transmission	24
13 Interférences inter-symboles	25
14 Avantages et inconvénients du préfixe cyclique	25
14.1 Les avantages	25
14.2 Désavantages.....	26
15 La convolution linéaire et circulaire :	26
15.1 La convolution circulaire :	26
15.2 La convolution linéaire :	26
16 Conclusion.....	26
Chapitre 2 : La modulation QAM et le signal IQ	
1 Historique	29
2 Principes de base de la théorie QAM :	30
4 Concepts des signaux en quadrature :	32
5 Bases de la QAM numérique / quantifiée :.....	33

6	Formats de la modulation QAM :.....	35
8	Diagrammes de constellation pour QAM.....	36
9	Applications QAM	37
10	QAM analogique et numérique	38
11	Avantages et inconvénients de QAM.....	38
12	Conclusion	39
Chapitre 3 : une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)		
1	INTRODUCTION :	41
2	L'équation de base :	41
3	Implémentation de la IFFT et FFT :	43
3.1	IFFT :	43
3.2	FFT :	43
4	L'utilité de IFFT/FFT dans la transmission OFDM :	44
5	Conclusion	45
Chapitre 4 : résultats et discussions		
1	Introduction.....	47
2	Outils informatiques	47
2.1	Scilab :	47
3	Les étapes d'une transmission OFDM :	48
4	Présentation des résultats :	49
5	Conclusion :	57
Conclusion général.....		59
Bibliographies.....		60

Liste des figures

Chapitre 1 : Modulation OFDM

Figure 1.1 : sélection de signaux sur différents canaux.....	13
Figure 1.2 : représentation d'une sous-porteuse OFDM : (a) dans le domaine temporel, (b) dans le domaine fréquentiel.....	14
Figure 1.3 : Orthogonalité sous-porteuse.....	15
Figure 1.4 : concept de base OFDM.....	16
Figure 1.5 : Transmission point à point simplex avec OFDM.....	17
Figure 1.6 : la différence entre la technique OFDM et FDM.....	19
Figure 1.7 : intervalle de garde du signal OFDM... ..	20

Chapitre 2 : La modulation QAM et le signal IO

Figure 2.1 : la représentation de I et Q signal.....	30
Figure 2.2 : des signaux au quadrature (I&Q)	31
Figure 2.3 : la sommation du signal I & Q.....	31
Figure 2.4 : Diagramme de constellation pour un signal 16QAM montrant l'emplacement des différents points.....	32
Figure 2.5 : Mappage de séquence de bits pour un signal 16QAM.....	33
Figure 2.6 : diagramme de constellation 16QAM (4 bits par symbole de modulation).....	35
Figure 2.7 : 16 constellations QAM.....	35

Chapitre 3 : une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

Figure 3.1 : Diagramme OFDM utilisant IFFT.....	42
Figure 3.2 : Signal OFDM basé sur la FFT.....	43

Liste des figures

Chapitre 4 : résultats et discussions

Figure 4.1 : schéma de principe simplifié du système OFDM.....	47
Figure 4.2 : Représentation monodimensionnelle binaire V_b de l'image I_b	49
Figure 4.3 : le signal analogique QAM.....	50
Figure 4.4 : Diagramme de constellation 16 QAM.....	51
Figure 4.5 : le signal modulé (ou le signal OFDM après la IFFT)	52
Figure 4.6 : le signal OFDM.....	53
Figure 4.7 : démodulation OFDM.....	54
Figure 4.8 : Démodulation de 16-QAM.....	55

Liste des abréviations

SP: Sous-porteuses SP

FEC: Forward error correction (FEC)

DFT: Discrete Fourier transform

IDFT: Inverse of DFT

I/Q: In-phase and quadrature components

TD: Time-domain

FD: frequency domain

TF: Transfer function

GI: Global information multimedia

FDM: Frequency Division Multiple

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FFT: Fast Fourier Transform

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

ICI: Inter Carrier Interference

IDFT/DFT: Inverse Discrete Fourier Transform / Discrete Fourier Transform

IFFT/FFT: Inverse Fast Fourier Transform / Fast Fourier Transform

CP : Cyclic Prefix

QAM : quadrature amplitude modulation

Introduction générale

Introduction générale

Les techniques de modulation passe-bande numérique peuvent être classées en deux grandes catégories. La première est la modulation à porteuse unique, où les données sont transmises en utilisant une seule porteuse radiofréquence (RF). L'autre est la modulation multi-porteuse, où les données sont transmises en modulant simultanément plusieurs porteuses RF. Notre mémoire s'intéresse à un type particulier de modulation multi-porteuse connu sous le nom de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM).

L'OFDM a gagné en popularité dans un certain nombre d'applications, notamment les boucles d'abonnés numériques et les réseaux locaux sans fil. C'est aussi un concurrent sérieux pour les systèmes de radio mobiles terrestres cellulaires de quatrième génération. L'OFDM transmet des données en parallèle en modulant un ensemble de sous-porteuses orthogonales. Elle est parfaite car il admet des solutions relativement faciles à certains défis difficiles rencontrés lors de l'utilisation de schémas de modulation à porteuse unique sur des canaux sans fil. L'égalisation de domaine de fréquence simplifiée est souvent présentée comme un avantage principal de l'OFDM par rapport à la modulation à porteuse unique avec l'égalisation de domaine de temps conventionnelle. Cependant, l'égalisation du domaine fréquentiel peut être appliquée aussi facilement aux techniques de modulation à porteuse unique qu'à l'OFDM. Le plus grand avantage de l'utilisation de cette technique de transmission est peut-être que la modulation de partitions de sous-porteuses orthogonales étroitement espacées la bande passante disponible dans une collection de sous-bandes étroites. Motivée par la capacité de déversement d'eau d'un canal sélectif en fréquence, les techniques de transmission adaptative peuvent être facilement utilisées pour augmenter l'efficacité globale de la bande passante. Une telle possibilité consiste à utiliser des techniques adaptatives de chargement de bits, où la taille de l'alphabet de modulation sur chaque sous-porteuse est ajustée en fonction des conditions du canal. Une constellation de signal plus grande est utilisée sur les sous-porteuses où le rapport signal / bruit reçu est important, les formes d'onde OFDM sont résistantes aux erreurs de synchronisation, mais très sensibles aux décalages de fréquence et au bruit de phase dans l'émetteur et le récepteur RF et les oscillateurs d'horloge d'échantillonnage.

Ces caractéristiques sont opposées à celles de la modulation à porteuse unique, qui est plus sensible aux erreurs de synchronisation et moins sensible aux décalages de fréquence, Par conséquent, OFDM a son propre ensemble de défis de mise en œuvre uniques qui ne sont pas présents dans les systèmes à porteuse unique.

Chapitre 1 :

Modulation OFDM

1 Introduction

OFDM est un schéma de transmission parallèle, où un flux de données série à haut débit est divisé en un ensemble de sous-flux à faible débit, chacun étant modulé sur un SP séparé (FDM). De ce fait, la largeur de bande des SPs devient petite par rapport à la largeur de bande de cohérence du canal ; c'est-à-dire que les SPs individuels subissent un fondu plat, ce qui permet une égalisation simple. Cela implique que la période de symbole des sous-flux est allongée par rapport à la propagation du retard du canal radio à dispersion temporelle. En sélectionnant un ensemble spécial de fréquences porteuses (orthogonales), une efficacité spectrale élevée est obtenue car les spectres des SP se chevauchent, tandis qu'une influence mutuelle entre les SPs peut être évitée.

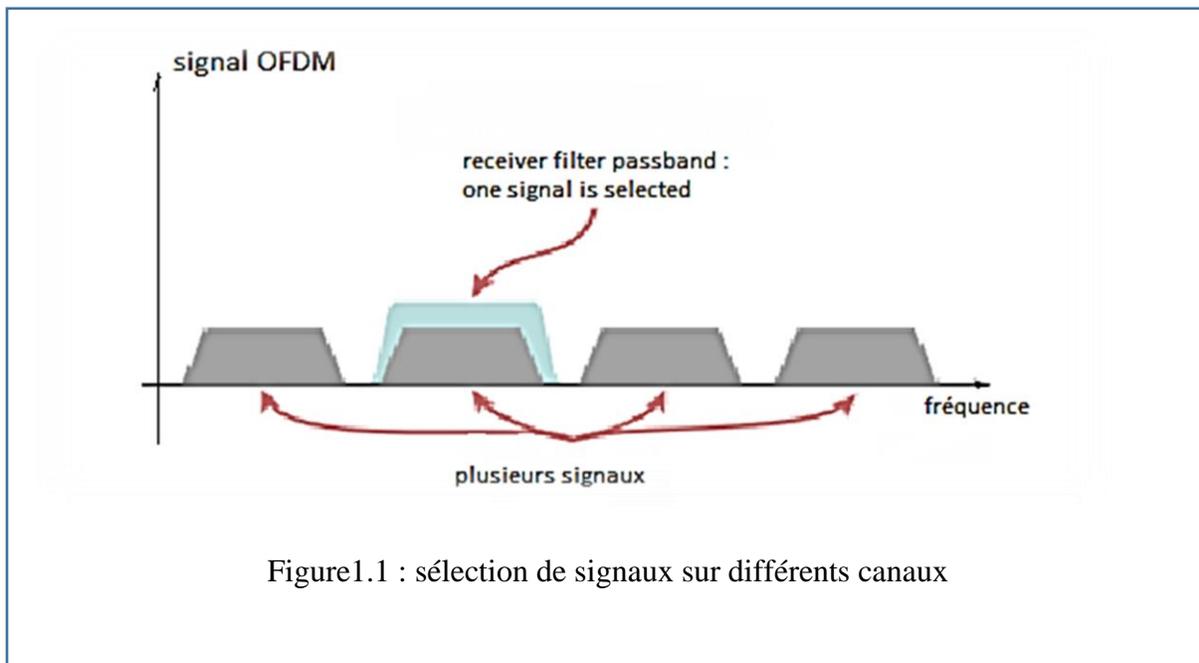
2 Historique :

Le premier schéma OFDM remonte à 1966 lorsque Robert W. Chang a publié son travail de pionnier sur la synthèse de signaux orthogonaux à bande limitée pour la transmission de données multicanaux. Il a ensuite obtenu un brevet en 1970 pour son travail. Il a présenté un nouveau schéma de transmission simultanée de signaux sur un canal à bande limitée sans ICI et ISI. L'idée principale de l'OFDM est de diviser le canal sélectif en fréquence en un certain nombre de sous-canaux parallèles plats en fréquence. En rendant les sous-canaux à bande étroite, les canaux individuels subissent un évanouissement presque plat, ce qui rend la conception du récepteur simple. Chang a produit une orthogonalité entre les sous-canaux

En 1967, Saltzberg a analysé et démontré les performances des systèmes de transmission de données parallèles efficaces, où il a conclu que la stratégie de conception d'un système parallèle efficace devrait se concentrer sur la réduction de la diaphonie entre les canaux adjacents plutôt que sur le perfectionnement des canaux individuels eux-mêmes. Sa conclusion a été prouvée à long terme aujourd'hui dans le traitement numérique du signal en bande de base pour combattre ICI. L'orthogonalité de chaque sous-canal dans le système OFDM peut être préservée grâce à la technique QAM échelonnée. Cependant, la difficulté de maintenir l'orthogonalité avec un système analogique émerge lorsqu'un grand nombre de sous-porteuses sont nécessaires. Une des premières applications OFDM, AN / GSC-10 (KATHRYN), était un modem à débit de données variable conçu pour la radio haute fréquence. Jusqu'à 34 canaux parallèles à faible débit utilisant la modulation PSK ont été générés par un ensemble de sous-canaux multiplexés en fréquence. L'attribution de fréquence orthogonale a été utilisée avec un espacement des canaux de 82 Hz pour fournir un temps de garde entre les éléments de signalisation successifs.

3 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLIXING) [1]

Le multiplexage par répartition orthogonale en fréquence (OFDM) est une technique de communication qui peut être considérée comme un schéma de modulation ou une technique de multiplexage. En OFDM, le canal de communication est divisé en plusieurs bandes de fréquences également espacées. Les données d'utilisateur sont divisées et chaque sous-porteuse transporte une partie de ces informations dans chaque bande. Toutes ces sous-porteuses sont orthogonales les unes aux autres, elles peuvent toujours être reçues sans l'interférence que l'on pourrait attendre car elles sont orthogonales les unes aux autres. Ceci est réalisé en ayant l'espacement des porteuses égal à l'inverse de la période du symbole.



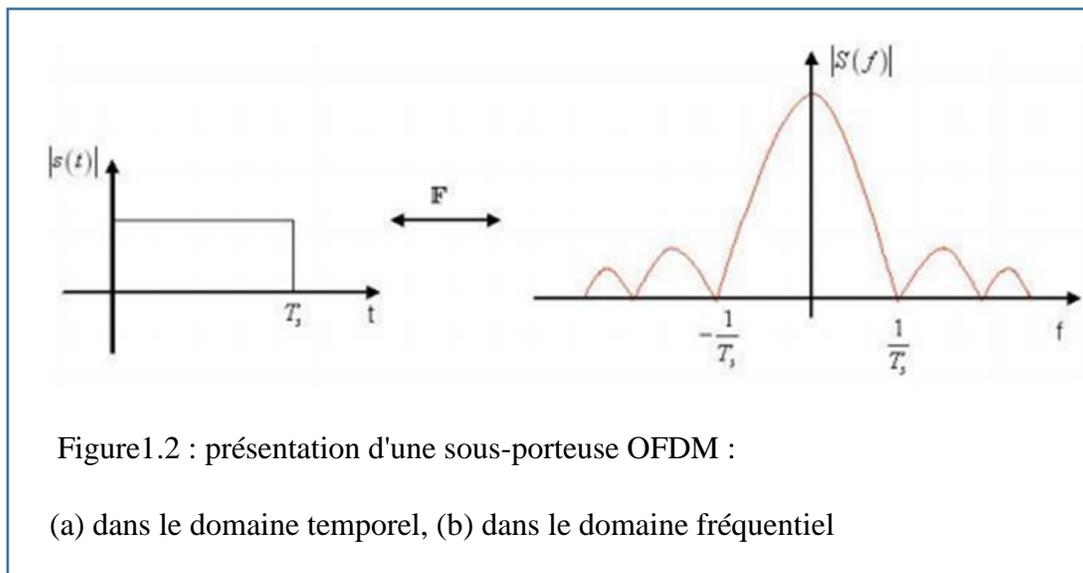
Chapitre 1 : Modulation OFDM

4 Orthogonalité [2] :

Les systèmes multi porteuses, tels que le multiplexage par répartition en fréquence (FDM), doivent moduler différentes sous-porteuses avec des symboles spectralement séparés pour éviter les interférences entre porteuses (ICI) au prix d'une perte de bande passante. Cependant, dans OFDM, des sous-porteuses à chevauchement spectral peuvent être utilisées et comme elles sont orthogonales, elles n'interfèrent pas entre elles. Cela fait de l'OFDM un schéma de modulation efficace en largeur de bande.

L'orthogonalité des sous-porteuses doit être assurée pour éviter les ICI. Les porteuses OFDM ne sont orthogonales sur un intervalle de symbole que si elles sont espacées en fréquence exactement à l'inverse de la période de symbole (voir figures 1.1 et 1.2). La mise en œuvre de l'IFFT fournit intrinsèquement cette exigence d'espacement des fréquences.

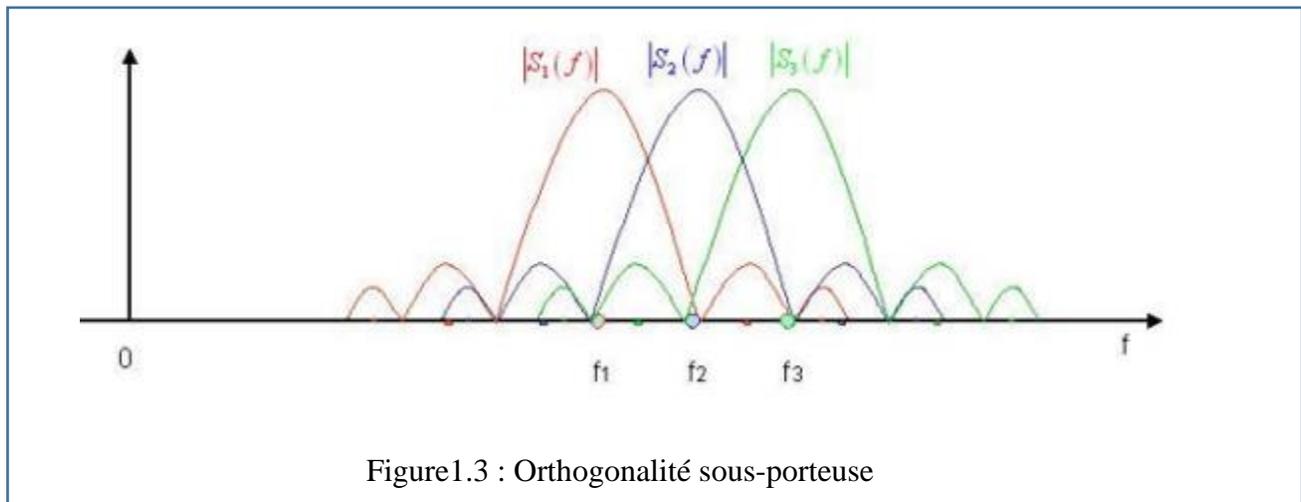
La figure 1 montre une sous-porteuse ayant une forme d'impulsion rectangulaire et son spectre de fréquence. L'impulsion rectangulaire a une largeur de T_s et a un spectre sinus cardinal avec des nuls à des multiples de $1/T_s$



La figure 1.3 montre les spectres de plusieurs porteurs. Bien que tous les spectres de fréquences se chevauchent, ils ne se chevauchent pas aux fréquences porteuses f_1, f_2, \dots , ce qui implique une orthogonalité. Dans le domaine temporel, chaque porteuse a un nombre entier de périodes dans l'intervalle de temps du symbole.

Chapitre 1 : Modulation OFDM

En raison de l'orthogonalité, les nuls des lobes latéraux coïncident avec les pics des lobes principaux de chaque porteur. En construisant le récepteur pour échantillonner à la fréquence centrale de chaque sous-porteuse, il est possible d'obtenir uniquement l'énergie du signal correspondant, car les lobes latéraux des autres porteuses ont une énergie nulle à cette fréquence.



5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TECHNIQUE L'OFDM [3] :

L'OFDM prend un bit d'information, le mappe à un symbole, qui Le décrit en termes de composantes en phase et en quadrature. Celui-ci est ensuite traduit dans le domaine temporel grâce à l'utilisation d'une FFT inverse (IFFT), converti en signal analogique et transmis par modulation en quadrature. Les sous-porteuses de l'OFDM sont orthogonales, par conséquent, les sous-porteuses n'interfèrent pas entre elles. Le récepteur effectue sensiblement la même opération en sens inverse.

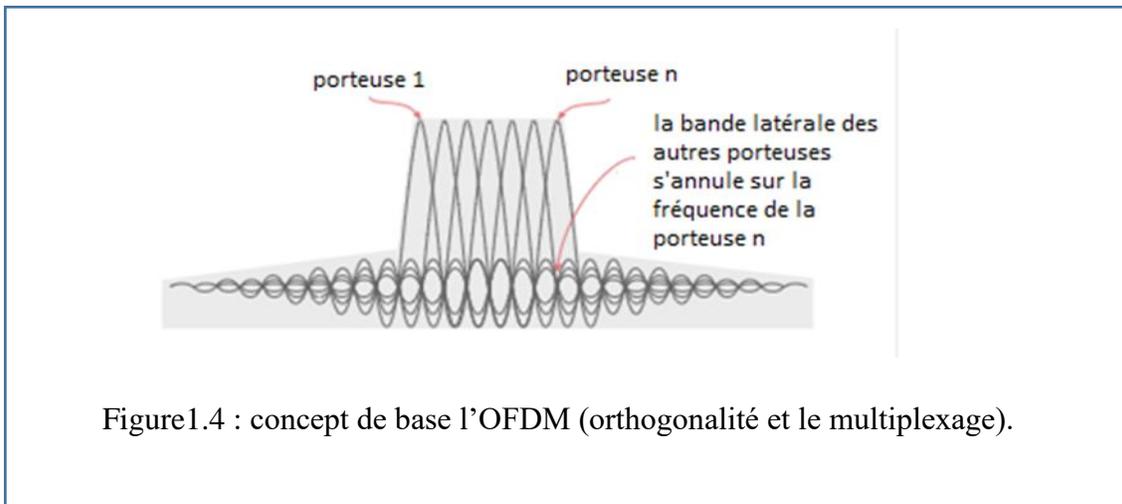
La nature omniprésente de l'OFDM nécessite de déterminer ses performances dans de nombreux environnements différents. Cette thèse a cherché à déterminer cette performance dans un environnement intérieur ou extérieur. La thèse a également pris en compte différents types de décoloration par trajets multiples.

La présence d'interférences Co-cana

est une possibilité très réelle, Le modèle de canal utilisé dans la thèse permet également d'inclure les interférences de canal dans l'analyse des performances, ce qui a également été pris en compte.

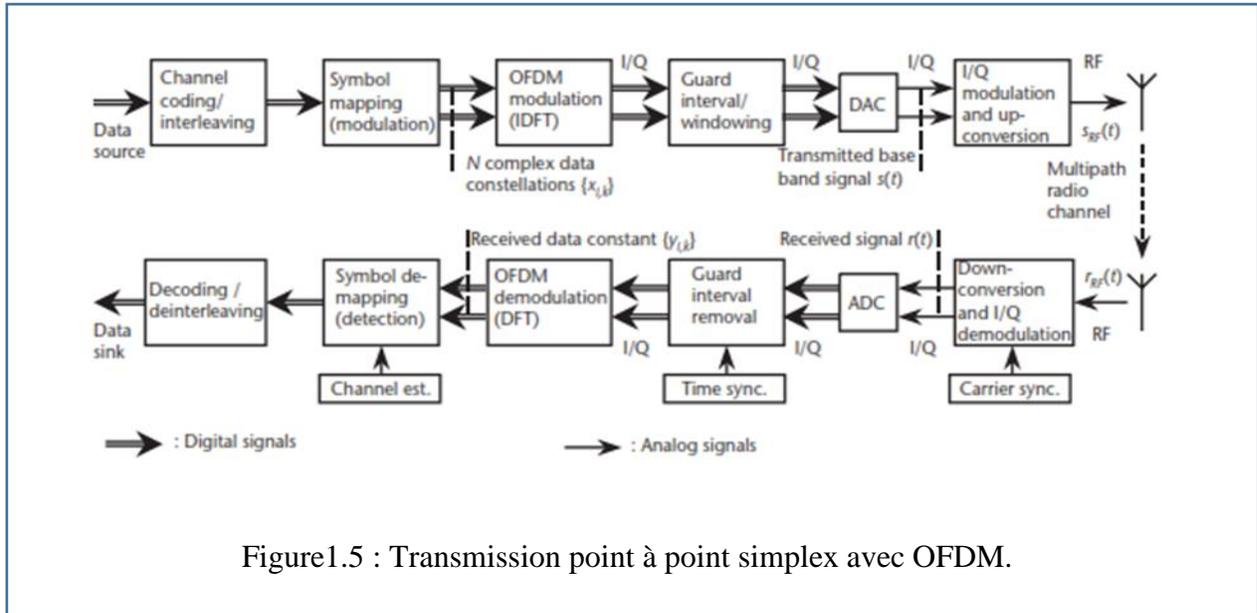
Chapitre 1 : Modulation OFDM

Pour voir comment fonctionne OFDM, il faut regarder le récepteur. Cela agit comme une banque de démodulateurs, traduisant chaque porteuse en DC. Le signal résultant est intégré sur la période des symboles pour régénérer les données de cette porteuse. Le même démodulateur démodule également les autres transporteurs. Comme l'espacement des porteuses égal à l'inverse de la période du symbole signifie qu'ils auront un nombre entier de cycles dans la période du symbole et que leur contribution sera égale à zéro - en d'autres termes, il n'y a pas de contribution d'interférence.



Une exigence des systèmes d'émission et de réception OFDM est qu'ils doivent être linéaires. Toute non-linéarité provoquera des interférences entre les porteuses en raison de la distorsion d'intermodulation. Cela introduira des signaux indésirables qui provoqueraient des interférences et nuiraient à l'orthogonalité de la transmission.

6.Schéma fonctionnel OFDM



La figure 1.5 montre le schéma de principe d'un système de transmission point à point simplex utilisant le codage OFDM et FEC. Les trois grands principes incorporés sont les suivants :

1- L'IDFT et la DFT sont utilisées pour, respectivement, moduler et démoduler les constellations de données sur les SP orthogonaux. Ces algorithmes de traitement du signal remplacent les banques de modulateurs I / Q et de démodulateurs qui seraient autrement nécessaires.

Notez qu'à l'entrée de l'IDFT, N points de constellation de données $\{x_{i,k}\}$ sont présents, où N est le nombre de points DFT. (i est un index sur le SC; k est un index sur le symbole OFDM). Ces constellations peuvent être prises selon n'importe quel ensemble de signalisation à déphasage (PSK) ou QAM (mappage de symboles). Les N échantillons de sortie de l'IDFT, étant en TD, forment le signal en bande de base portant les symboles de données sur un ensemble de N SC orthogonaux. Dans un système réel, cependant, tous ces N SC possibles ne peuvent pas être utilisés pour les données.

Habituellement, N est pris comme un entier à la puissance de deux, permettant l'application des algorithmes FFT (inverse) hautement efficaces pour la modulation et la démodulation.

Chapitre1 : Modulation OFDM

En raison du préfixe cyclique, le signal transmis devient périodique, et l'effet du canal à trajets multiples dispersif dans le temps devient équivalent à une convolution cyclique, en rejetant au niveau du récepteur. En raison des propriétés de la convolution cyclique, l'effet du canal à trajets multiples est limité à une multiplication ponctuelle des constellations de données transmises par le canal TF, les SC restent orthogonaux.

2- Le codage FEC et l'entrelacement (FD) sont la troisième idée cruciale appliquée. Le canal radioélectrique sélectif en fréquence peut fortement atténuer les symboles de données transmis sur un ou plusieurs SP, entraînant des erreurs de bit. En répartissant les bits codés sur la largeur de bande du système transmis, un schéma de codage efficace peut corriger les bits erronés et ainsi exploiter la diversité de fréquence du canal à large bande. Les systèmes OFDM utilisant un codage à correction d'erreur sont souvent appelés systèmes OFDM codés (COFDM).

Les signaux complexes équivalents en bande de base générés par le traitement numérique du signal sont modulés en phase / quadrature (I / Q) et convertis pour être transmis via une

Porteuse RF. Les étapes inverses sont effectuées par le récepteur. La synchronisation est un problème clé dans la conception d'un récepteur OFDM robuste.

7 Conception du signal OFDM :

La proposition d'un système de communication réaliste basé sur l'OFDM était l'un des objectifs de ce projet de recherche. Par conséquent, nous développons ici quelques considérations de conception liées à la guerre, qui sont souvent négligées dans les études théoriques. Les éléments de la chaîne de transmission qui ont un impact sur la conception du signal OFDM transmis sont les suivants :

- La nature temporelle du canal mobile. Le schéma de transmission doit pouvoir y faire face.
- La limitation de la bande passante du canal. Le signal doit occuper le moins de bande passante possible et introduire un minimum d'interférences aux systèmes sur les canaux adjacents.
- Le TF du matériel émetteur / récepteur. Ce TF réduit l'utilisable

Chapitre1 : Modulation OFDM

Largeur de bande par rapport à celle théorique donnée par le théorème d'échantillonnage. Autrement dit, un sur échantillonnage est nécessaire.

- Décalages de phase et de fréquence des convertisseurs ascendants et descendants et étalement Doppler du canal.

8 La différence entre l'OFDM et la FDM [4] :

Dans cette technique, il y a une modulation parallèle de chaque symbole avec chaque sous-porteuse. Ainsi, toute perturbation externe fausse la transmission des données à travers cette sous-porteuse particulière contrairement à (FDM) où une légère distorsion affecte l'ensemble du canal. L'absence d'orthogonalité entre les sous-porteuses dans le FDM provoque un chevauchement qui appelle des intervalles de garde entre les sous-porteuses.

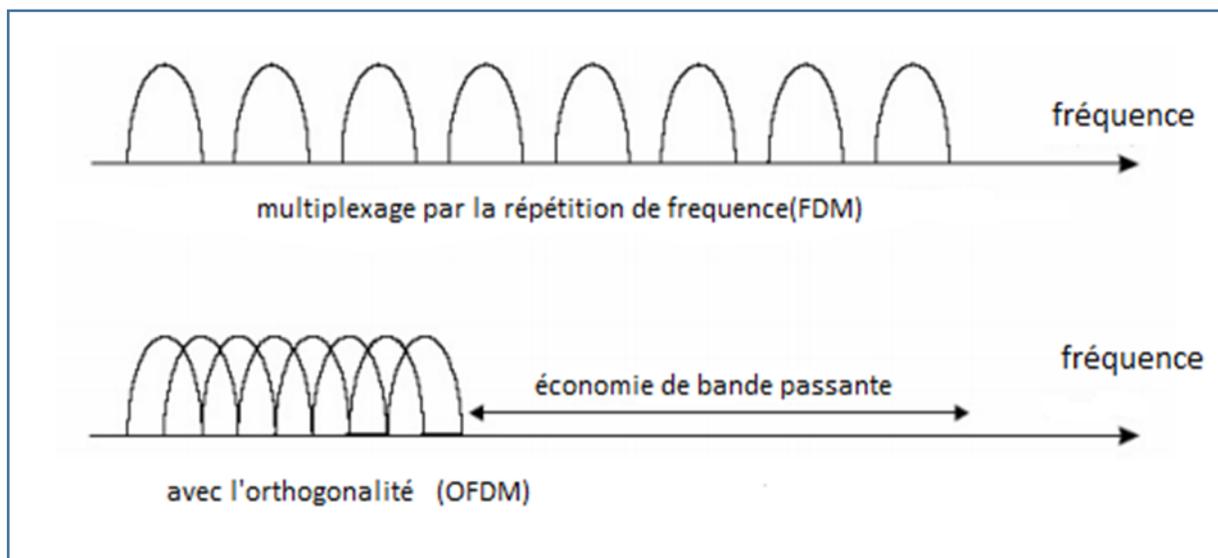


Figure1.6 :la différence entre la technique OFDM et FDM

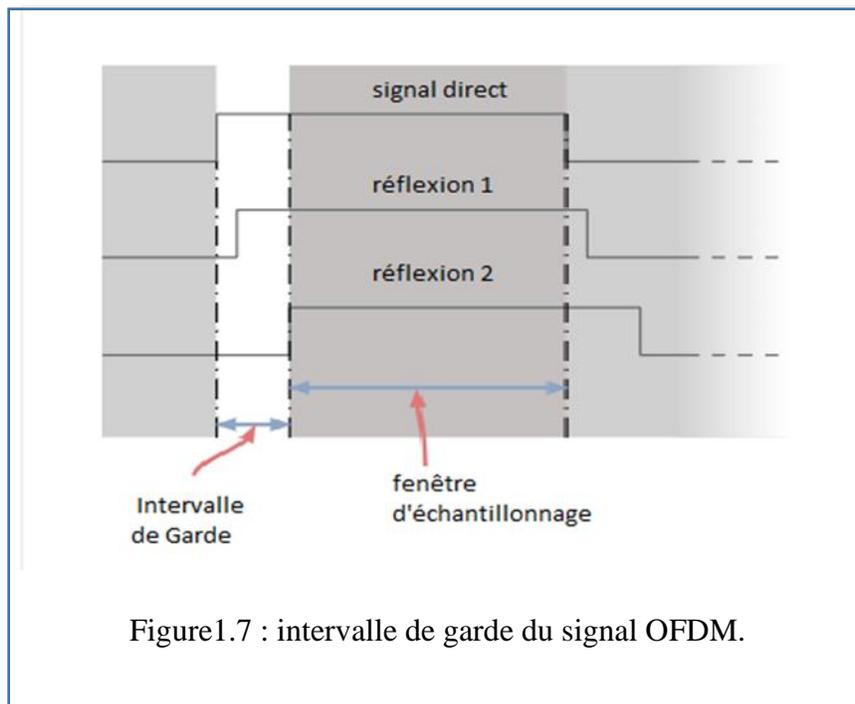
- Le format traditionnel pour l'envoi de données sur un canal radio consiste à les envoyer en série, un bit après l'autre. Cela repose sur un seul canal et toute interférence sur cette fréquence unique peut perturber toute la transmission.

- L'OFDM adopte une approche différente. Les données sont transmises en parallèle sur les différentes porteuses dans le signal OFDM global. Étant divisé en un certain nombre de "sous-flux" parallèles, le débit de données global est celui du flux d'origine, mais celui de

Chapitre1 : Modulation OFDM

Chacun des sous-flux est beaucoup plus faible, et les symboles sont plus espacés dans le temps, cela réduit les interférences entre les symboles et facilite la réception précise de chaque symbole tout en conservant le même débit.

- Le débit de données inférieur dans chaque flux signifie que l'interférence des réflexions est beaucoup moins critique. Ceci est réalisé en ajoutant un temps de bande de garde ou un intervalle de garde dans le système. Cela garantit que les données ne sont échantillonnées que lorsque le signal est stable et qu'aucun nouveau signal retardé n'arrive qui modifierait la synchronisation et la phase du signal. Ceci peut être réalisé beaucoup plus efficacement dans un sous-flux à faible débit de données.



La distribution des données sur un grand nombre de porteuses dans le signal OFDM présente d'autres avantages. Les valeurs nulles causées par des effets à trajets multiples ou des interférences sur une fréquence donnée n'affectent qu'un petit nombre de porteuses, les autres étant reçues correctement. En utilisant des techniques de codage d'erreur, ce qui signifie ajouter des données supplémentaires au signal transmis, il permet de reconstruire la plupart ou la totalité des données corrompues dans le récepteur. Cela peut être fait car le code de correction d'erreur est transmis dans une partie différente du signal.

9 Avantages et inconvénients de l'OFDM :

9.1 Avantages de L'OFDM[5] :

L'OFDM a été utilisé dans de nombreux systèmes sans fil à haut débit en raison des nombreux avantages qu'il offre.

-Résilience aux interférences : les interférences apparaissant sur un canal peuvent être limitées en bande passante et, de cette manière, n'affecteront pas tous les sous-canaux. Cela signifie que toutes les données ne sont pas perdues.

-Efficacité du spectre : en utilisant des sous-porteuses qui se chevauchent étroitement espacées, un avantage important de l'OFDM est qu'il utilise efficacement le spectre disponible.

-Résistance à l'ISI : Un autre avantage de l'OFDM est qu'il est très résistant aux interférences entre symboles et entre trames. Cela résulte du faible débit de données sur chacun des sous-canaux.

-Résistance aux effets à bande étroite : En utilisant un codage et un entrelacement de canal adéquats, il est possible de récupérer les symboles perdus en raison de la sélectivité en fréquence du canal et des interférences en bande étroite. Toutes les données ne sont pas perdues.

-Égalisation de canal plus simple : L'un des problèmes des systèmes CDMA était la complexité de l'égalisation de canal qui devait être appliquée à l'ensemble du canal. Un avantage de l'OFDM est qu'en utilisant plusieurs sous-canaux, l'égalisation des canaux devient beaucoup plus simple.

9.2 INCONVENIENTS DE L'OFDM:

Il existe quelques inconvénients à son utilisation qui doivent être abordés lors de l'examen de son utilisation.

_Rapport de puissance crête à moyenne élevé : un signal OFDM a une variation d'amplitude semblable à du bruit et a une plage dynamique relativement élevée, ou rapport de puissance crête à moyenne. Cela affecte l'efficacité de l'amplificateur RF car les amplificateurs doivent être linéaires et s'adapter aux grandes variations d'amplitude et ces facteurs signifient que l'amplificateur ne peut pas fonctionner avec un niveau d'efficacité élevé.

-Sensible au décalage et à la dérive de la porteuse : Un autre inconvénient de cette technique de modulation et démodulation (OFDM) est qu'il est sensible au décalage et à la dérive de fréquence de la porteuse. Les systèmes à porteuse unique sont moins sensibles.

Chapitre1 : Modulation OFDM

10 Transformée de Fourier discrète et L'OFDM :

Transformée de Fourier discrète directe (TFD) et son inverse est utilisée pour convertir les signaux du domaine temporel en domaine fréquentiel et la transformée de Fourier discrète inverse (TFDI) est utilisée pour reconvertir les signaux du domaine fréquentiel vers le domaine temporel.

Signal du domaine fréquentiel vers le domaine temporel. Elle a un outil puissant pour analyser les signaux et les construire vers et depuis leurs composantes de fréquence. Si le signal est discret dans le temps qui est échantillonné, on utilise la transformée de Fourier discrète pour les convertir en forme de fréquence discrète DFT , et inversement, la transformée discrète inverse IDFT est utilisée pour convertir en arrière la forme de fréquence discrète en forme de temps discret Pour réduire les opérations mathématiques utilisées dans le calcul de TFD et TFDI, on utilise l'algorithme de transformée de Fourier rapide FFT et IFFT qui correspond respectivement à DFT et IDFT.

Dans les émetteurs utilisant OFDM comme technologie de modulation multi-porteuse, le

Symbole OFDM est construit dans le domaine fréquentiel en mappant les bits d'entrée sur les composants I et Q des symboles QAM, puis en les ordonnant dans une séquence avec une longueur spécifique en fonction du nombre des sous-porteuses dans le symbole OFDM. C'est-à-dire par le processus de mappage et de commande, on construit les composantes Fréquentielles du symbole OFDM. Pour les transmettre, le signal doit être représenté dans le domaine temporel. Ceci est accompli par la transformée de Fourier rapide inverse IFFT.

Donc, en résumé, le signal est plus facilement synthétisé dans le domaine fréquentiel discret dans l'émetteur et pour le transmettre, il doit être converti en domaine temporel discret par l'IFFT.

Maintenant, pour la transmission multi-porteuse (ce n'est pas encore OFDM), nous devons moduler les symboles N-parallèles BPSK / QPSK / QAM pour les placer sur N sous-porteuses qui fonctionnent sur différentes parties de la bande passante totale de transmission. Pour cela, nous avons besoin d'une banque de N modulateurs dans l'émetteur.

La mise en œuvre d'une banque de N modulateur ou démodulateur n'est pas pratique car elle serait très complexe sur le plan informatique.

Le même travail de modulation des sous-porteuses N-parallèles peut être effectué par DFT / IDFT avec beaucoup moins de complexité. L'OFDM est une technique de transmission multi-porteuse où les sous-porteuses sont orthogonales entre elles. L'utilisation de DFT / IDFT a rendu l'OFDM pratique et populaire. Comme mentionné précédemment, FFT / IFFT est une forme moins complexe de DFT / IDFT.

11 Le type de modulation utilisent dans l'OFDM :

L'OFDM est une forme complexe de modulation qui combine QAM et multiplexage par répartition en fréquence (FDM), ce dernier étant la méthode par laquelle différents signaux peuvent occuper simultanément une bande de fréquences en utilisant des porteuses distinctes à différentes fréquences.

Un modulateur OFDM convertit d'abord un seul flux à haut débit en plusieurs flux à faible débit. Ces flux parallèles sont ensuite modulés sur des porteuses orthogonales qui minimisent l'interférence mutuelle que les symboles de données pourraient créer dans des conditions de canal dégradées. Cette modulation est effectuée par une combinaison de plusieurs modulateurs QAM suivis d'une transformée de Fourier rapide inverse (FFT) qui mappe les flux individuels sur un signal à large bande. Le signal résultant est ensuite modulé en amplitude sur la porteuse RF finale. L'OFDM, en raison de ses performances élevées dans un environnement à fortes interférences, fait partie intégrante des normes 802.11 utilisées pour le Wi-Fi et maintenant WiMax.

Dans l'un de ces systèmes, il y a toujours un compromis entre le débit binaire et les performances sans erreur souhaitées, et celles-ci sont fixées par deux limites : Nyquist et Shannon. Nyquist définit la bande passante du canal nécessaire pour transporter un train de symboles, et Shannon définit le niveau C / N nécessaire pour des performances corrigées

Les erreurs. Pour comprendre cela au niveau conceptuel, imaginez un système qui mappe les données d'entrée sur deux états d'amplitude (c'est-à-dire deux symboles). L'augmentation du débit de données, selon Nyquist, nécessite d'augmenter la bande passante du canal pour permettre de transporter les informations sans interférence entre symboles.

Mais si nous prenons les mêmes données d'entrée et les mappons sur quatre états d'amplitude possibles, nous n'avons maintenant besoin que de la moitié de la bande passante du canal par rapport au système à deux états, pour le même débit de données. Il semblerait que nous ayons une capacité de canal « gratuite ». Mais Shannon nous dit que, étant donné la même puissance d'émetteur, la nécessité de doubler le nombre d'états possibles signifie que le signal a maintenant perdu la puissance du signal sur bruit, car la distance entre les symboles adjacents est maintenant la moitié de la distance d'origine.

12 Canal de transmission

Ce canal de transmission dans lequel se propagent les ondes porteuses orthogonales, peut être assimilé à un système linéaire invariant par translation (ou dans le temps). La sortie S_r de ce système, qui sera reçue par le récepteur, est donc sous la forme d'un produit de convolution linéaire entre le signal d'entrée ST et la réponse impulsionnelle (coefficients) du canal, soit :

Chapitre 1 : Modulation OFDM

$$Sr(n) = \sum_{i=0}^{P-1} h(i) ST(n-i)$$

où n, k, i et P sont des entiers

La réponse impulsionnelle du canal est supposée de durée P (nombre des coefficients du système).

13 Interférences inter-symboles

Si on applique la TF à la relation (5) on risque d'avoir un recouvrement (interférences) entre les symboles, car la sortie du canal est de durée N_p+P-1 à cause de la convolution linéaire, alors que chaque symbole OFDM est de durée N_p (avec $T_e=1$ pour simplifier). Pour surmonter ce problème, il est possible de transformer la convolution linéaire (5) en une convolution circulaire en introduisant ce qu'on appelle un préfixe cyclique. Dans ce cas le signal de sortie aura la même durée que le symbole OFDM, donc pas de recouvrement entre les symboles.

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

$$s_c = [s_{N_p-p+1} \ s_{N_p-p+2} \ \dots \ s_{N_p-1} \ s_0 \ s_1 \ \dots \ s_{N_p-1}] = [s_d \ s] \quad (10)$$

Cette insertion de $P-1$ derniers termes revient à mettre la matrice circulante S_c de s au milieu de la matrice S_l de la convolution linéaire ; la matrice circulante est à partir de la

Pième ligne jusqu'à la (N_p+P-1) ième ligne. Autrement dit pour avoir le résultat de cette convolution circulaire, il suffit de supprimer les $P-1$ premiers termes et les $P-1$ derniers termes du résultat final de la convolution linéaire qui est une réaction naturelle du canal (LIT) de transmission.

14 Avantages et inconvénients du préfixe cyclique

Il existe plusieurs avantages et inconvénients liés à l'utilisation du préfixe cyclique dans OFDM.

14.1 Les avantages

Fournit la validité : L'ajout du préfixe cyclique ajoute de la validité au signal OFDM. Les données retransmises peuvent être utilisées si nécessaire.

Réduit les interférences entre symboles : L'intervalle de garde introduit par le préfixe cyclique permet de réduire les effets des interférences entre symboles.

Chapitre1 : Modulation OFDM

14.2 Désavantages

Réduit la capacité des données : comme le préfixe cyclique retransmet les données déjà transmises, il occupe la capacité du système et réduit le débit de données global.

15 La convolution linéaire et circulaire :

La convolution linéaire et circulaire sont des opérations fondamentalement différentes. Cependant, il existe des conditions dans lesquelles la convolution linéaire et circulaire sont équivalentes. L'établissement de cette équivalence a des implications importantes. Pour deux vecteurs, x et y , la convolution circulaire est égale à la transformée de Fourier discrète inverse (DFT) du produit des DFT des vecteurs. Connaître les conditions dans lesquelles la convolution linéaire et circulaire sont équivalentes nous permet d'utiliser la DFT pour calculer efficacement les convolutions linéaires.

15.1 La convolution circulaire :

La convolution circulaire est essentiellement le même processus que la convolution linéaire. Tout comme la convolution linéaire, elle implique l'opération de pliage d'une séquence, de la décaler, de la multiplier par une autre séquence et de sommer les produits résultants. Cependant, en convolution circulaire, les signaux sont tous périodiques. Ainsi, le décalage peut être considéré comme étant en réalité une rotation. Puisque les valeurs continuent de se répéter à cause de la périodicité. Par conséquent, il est connu sous le nom de convolution circulaire.

15.2 La convolution linéaire :

La convolution linéaire est une opération mathématique effectuée pour calculer la sortie de tout système linéaire-temps invariant (LTI) en fonction de son entrée et de sa réponse

Impulsionnelle. Distance entre les symboles adjacents est maintenant la moitié de la distance d'origine.

16 Conclusion

Modulation multi-porteuse, en particulier division de fréquence orthogonale, Le multiplexage (OFDM) a été appliqué avec succès à une grande variété d'applications de communication digital au cours des dernières années. Bien que l'OFDM ait été choisi comme standard de couche physique pour une diversité de systèmes importants, la théorie, les algorithmes et les techniques de mise en œuvre restent des sujets d'actualité. Cela ressort clairement des grands volumes publiés dans des revues techniques et des conférences

OFDM, le multiplexage orthogonal par répartition en fréquence a acquis une présence significative sur le marché sans fil. La combinaison d'une capacité de données élevée, d'une efficacité spectrale élevée et de sa

Chapitre1 : Modulation OFDM

Résilience aux interférences résultant des effets à trajets multiples signifie qu'il est idéal pour les applications de données élevées qui sont devenues un facteur majeur dans la scène des communications d'aujourd'hui.

Chapitre 2 : La modulation

QAM et le signal (IQ)

1 Historique

Vers la fin des années 50, les schémas de transmission à modulation de phase numérique suscitaient un intérêt considérable comme alternative à la modulation d'amplitude numérique. Les schémas de modulation de phase numérique sont ceux par lesquels l'amplitude de la porteuse transmise est maintenue constante mais la phase change en réponse au signal de modulation. C'était une extension naturelle de cette tendance de considérer l'utilisation simultanée de la modulation d'amplitude et de phase. Le premier article à suggérer cette idée a été par C.R. Cahn en 1960, qui a décrit un système combiné de modulation de phase et d'amplitude. Il a simplement étendu la modulation de phase au cas à plusieurs niveaux en permettant qu'il y ait plus qu'une amplitude transmise par onc à n'importe quelle phase autorisée. Cela a eu pour effet de dupliquer la constellation d'origine de modulation de phase ou de déphasage (PSK) qui formait essentiellement un cercle. Une telle duplication a conduit à un certain nombre de cercles concentriques dépendant du nombre de niveaux d'amplitude sélectionnés. Chaque cercle avait le même nombre de points de phase sur chacun de ses anneaux. Seuls les canaux gaussiens caractéristiques des lignes téléphoniques dégradées par le bruit thermique ont été pris en compte. En utilisant une série d'approximations et une approche entièrement théorique, il est arrivé à la conclusion que ces systèmes de modulation d'amplitude et de phase (AWPM) permettaient un débit accru par rapport aux systèmes de modulation de phase lorsque 16 états ou plus étaient utilisés et a suggéré qu'un tel système était pratique à construire.

La théorie de base de la QAM vise à exprimer le fonctionnement de la modulation d'amplitude en quadrature QAM à l'aide de quelques formules mathématiques. Heureusement, il est possible d'exprimer une partie de la théorie de base de la QAM en termes d'équations relativement simples qui donnent un aperçu de ce qui se passe réellement dans le signal QAM.

2 Principes de base de la théorie QAM [6] :

Dans un signal QAM, il y a deux porteuses, chacune ayant la même fréquence mais différant en phase de 90 degrés (un quart de cycle, d'où provient le terme quadrature). Un signal est appelé le signal I et l'autre est appelé le signal Q. Mathématiquement, l'un des signaux peut être représenté par une onde sinusoïdale, et l'autre par une onde cosinus. Les deux porteuses modulées sont combinées à la source pour la transmission. À la destination, les porteuses sont séparées, les données sont extraites de chacune d'elles, puis les données sont combinées dans les informations de modulation d'origine. Comme il y a deux signaux RF qui peuvent être modulés, sont appelés les signaux I En phase et Q - Quadrature.

Les signaux I et Q peuvent être représentés par les équations ci-dessous :

$$I = A \cos(\Psi) \text{ et } Q = A \sin(\Psi)$$

Les composantes I et Q sont représentées comme cosinus et sinus. En effet, les deux signaux sont déphasés de 90 ° l'un par rapport à l'autre.

il est possible d'exprimer le signal comme :

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)$$

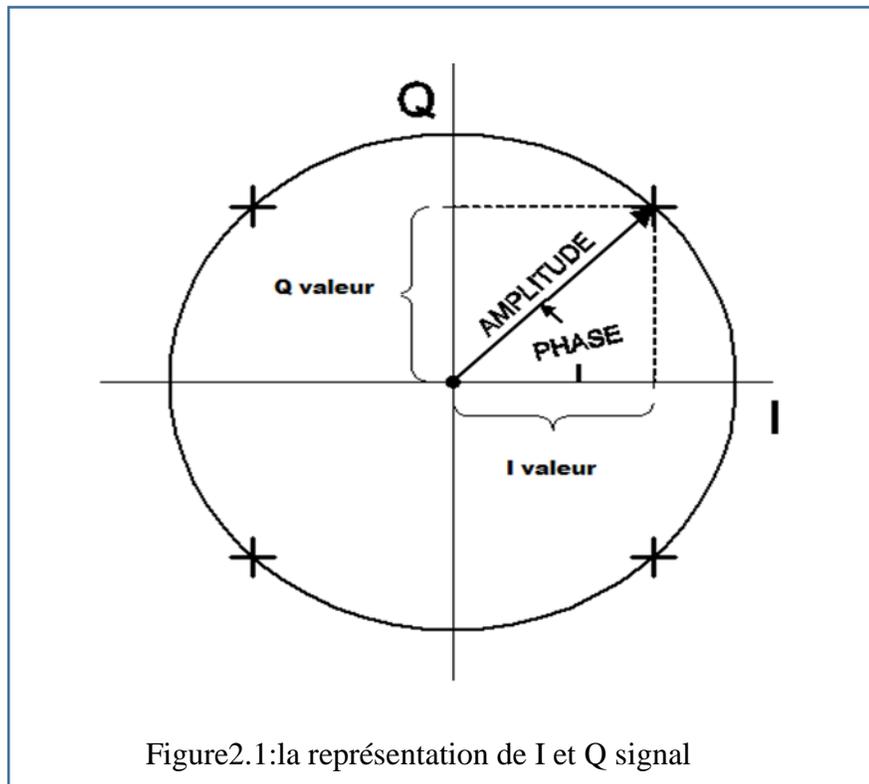
Utiliser l'expression $A \cos(2\pi ft + \Psi)$ pour le signal porteur.

$$A \cos(2\pi ft + \Psi) = I \cos(2\pi ft) - Q \sin(2\pi ft)$$

(f est la fréquence porteuse).

Cette expression montre que la forme d'onde résultante est un signal périodique dont la phase peut être ajustée en changeant l'amplitude soit I, soit les deux. Cela peut également entraîner un changement d'amplitude.

En revanche, il est possible de moduler numériquement un signal porteur en ajustant l'amplitude des deux signaux mixtes.



La longueur du vecteur depuis l'origine représente la magnitude du signal et l'angle que le vecteur forme avec l'axe horizontal représente la phase. Vous noterez également que l'axe horizontal est étiqueté « I » et l'axe vertical est étiqueté « Q », car ils représentent les valeurs des composantes I et Q associées au signal.

Les modulations QAM plus complexes, telles que 16QAM, ont simplement plus d'états. Pour 16QAM, les valeurs I et Q peuvent chacune avoir l'une des quatre valeurs discrètes, résultant en 16 combinaisons possibles. Il en résulte 16 combinaisons d'amplitude et de phase pour le signal.

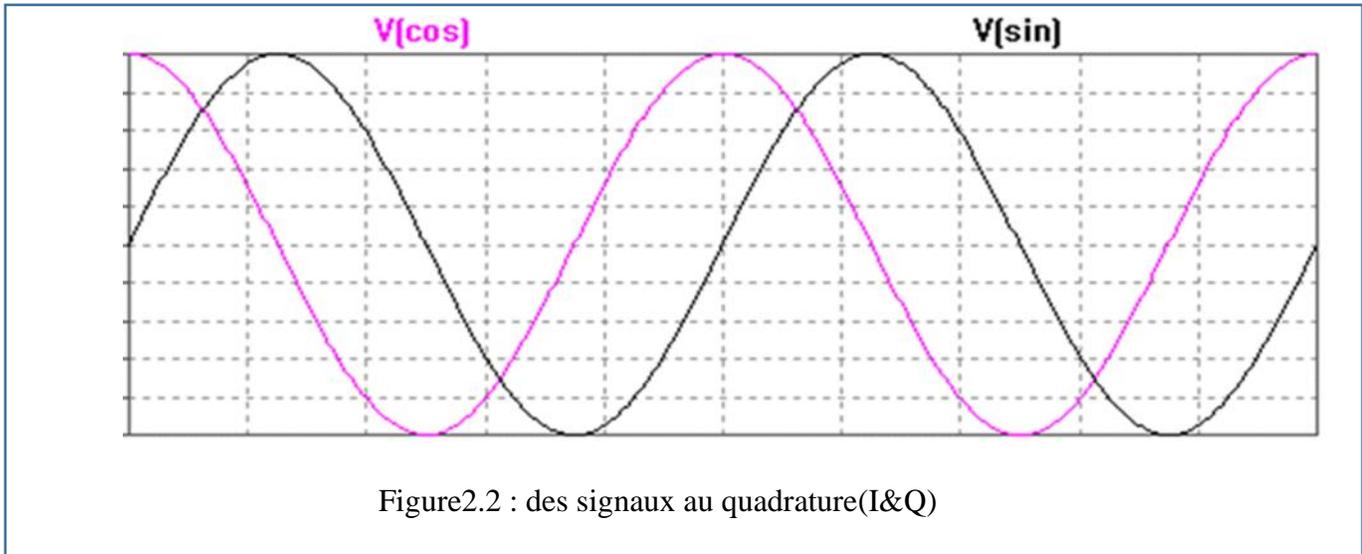
3 Les signaux en quadrature :

Les signaux en quadrature, également appelés signaux IQ, données IQ ou échantillons IQ, sont souvent utilisés dans les applications RF. Ils constituent la base de la modulation et de la démodulation de signaux RF complexes, tant au niveau matériel que logiciel, ainsi que dans l'analyse de signaux complexes.

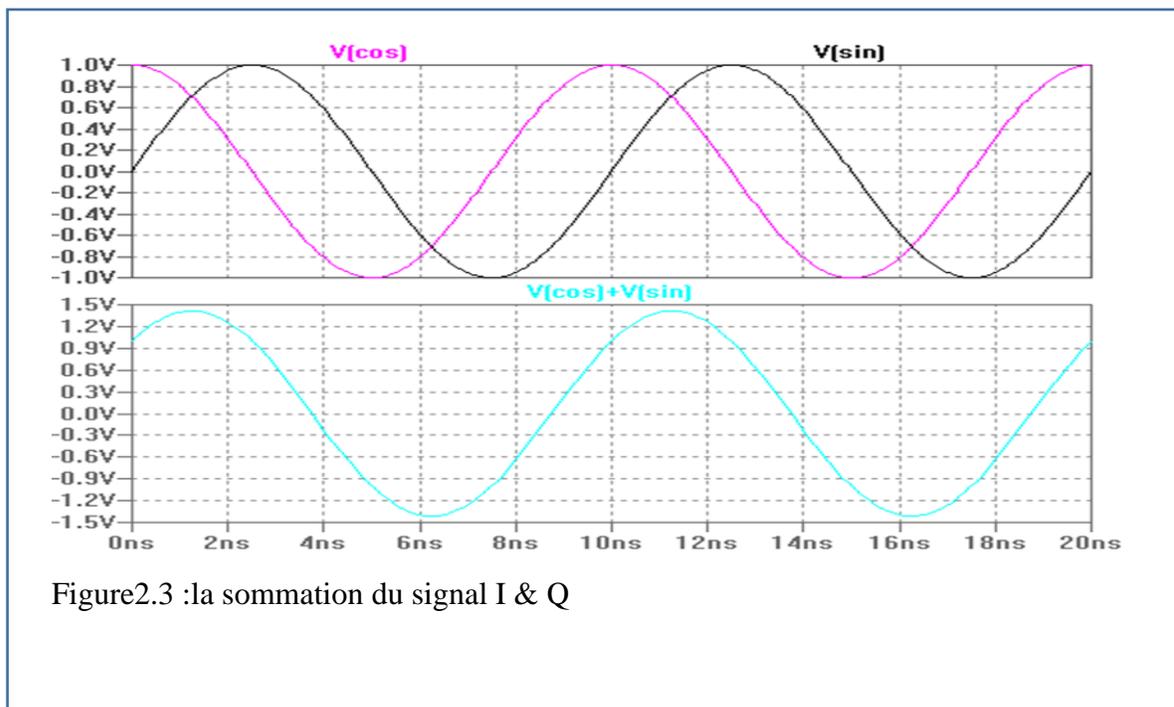
On dit qu'une paire de signaux périodiques est en « quadrature » lorsqu'ils diffèrent en phase de 90 degrés. Le signal « en phase » ou de référence est appelé « I » et le signal décalé de 90 degrés (le signal en quadrature) est appelé « Q ».

4 Concepts des signaux en quadrature :

Si la différence de phase entre deux sinusoïdes est de 90 degrés (ou $\pi / 2$ radians), alors ces deux signaux sont censés être en quadrature. Un exemple de ceci est l'onde sinusoïdale et l'onde Co sinusoïdale



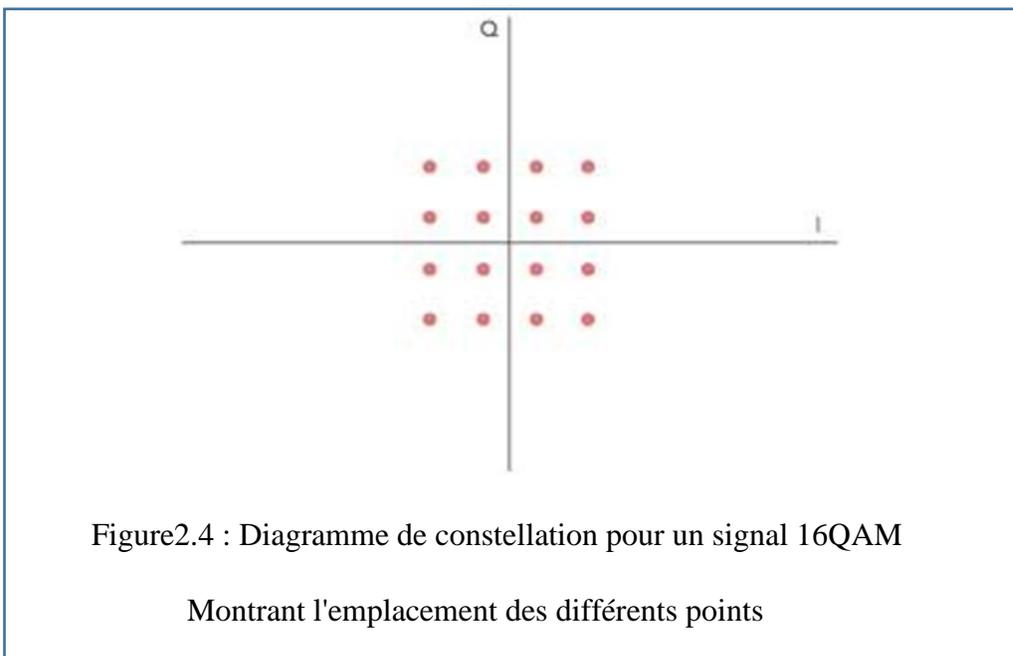
Par convention, l'onde cosinus est une composante en phase et l'onde sinusoïdale est la composante en quadrature. La lettre majuscule I représente l'amplitude du signal en phase et la lettre majuscule Q représente l'amplitude du signal en quadrature. Si $I = 1$ et $Q = 0$, alors vous auriez simplement l'onde cosinus (phase égale à 0). De même, si $I = 0$ et $Q = 1$, vous auriez l'onde sinusoïdale, qui est le signal décalé de 90 degrés. Si I et Q étaient tous deux égaux à 1, alors la somme sera un nouveau signal



5 Bases de la QAM numérique / quantifiée :[7]

La modulation d'amplitude en quadrature, QAM, lorsqu'elle est utilisée pour la transmission numérique pour les applications de radiocommunication, est capable de transporter des débits de données plus élevés que les schémas à modulation d'amplitude et les schémas à modulation de phase ordinaires.

Les signaux de base ne présentent que deux positions qui permettent le transfert d'un 0 ou d'un 1. En utilisant QAM, il existe de nombreux points différents qui peuvent être utilisés, chacun ayant des valeurs définies de phase et d'amplitude. Il s'agit d'un diagramme de constellation. Les différentes positions se voient attribuer des valeurs différentes, et de cette manière, un seul signal est capable de transférer des données à un rythme beaucoup plus élevé.

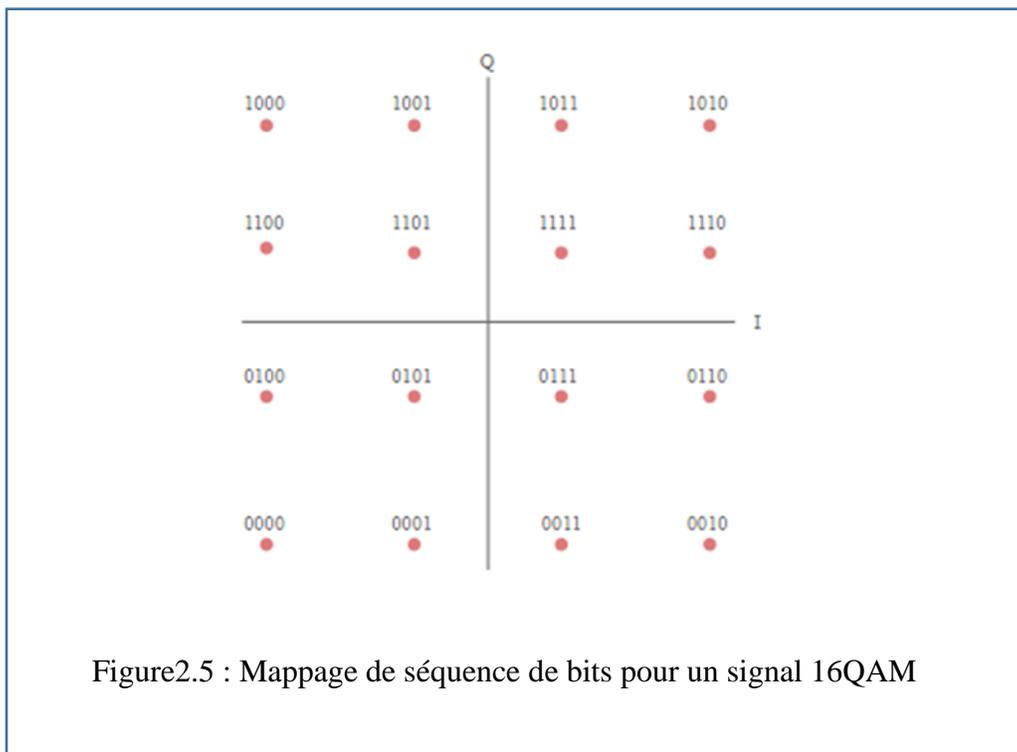


[8] les points de constellation sont généralement disposés dans une grille carrée avec un espacement horizontal et vertical égal. Bien que les données soient binaires, les formes les plus courantes de QAM, bien que pas toutes, sont là où la constellation peut former un carré avec un nombre de points égal à une puissance de 2, c'est-à-dire 4, 16, 64. . . ., c'est-à-dire 16QAM, 64QAM, etc.

En utilisant des formats de modulation d'ordre supérieur, c'est-à-dire plus de points sur la constellation, il est possible de transmettre plusieurs de bits par symbole. Cependant, les points sont plus proches et donc ils sont plus sensibles au bruit et aux erreurs de données.

L'avantage de passer aux formats d'ordre supérieur est qu'il y a plus de points dans la constellation et qu'il est donc possible de transmettre plus de bits par symbole. Le désavantage est que les points de constellation sont plus proches les uns des autres et donc la liaison est plus sensible au bruit. Par conséquent, les versions d'ordre supérieur de QAM ne sont utilisées que lorsqu'il existe un RSB suffisamment élevé.

Le diagramme de constellation ci-dessous montre les valeurs associées aux différents états pour un signal 16QAM. De cela, on peut voir qu'un train de bits continu peut être groupé en quatre et représenté comme une séquence, Pour fournir un exemple de fonctionnement de QAM



Chapitre 2 La modulation QAM et le signal IQ

Normalement, le QAM d'ordre le plus bas rencontré est 16QAM. La raison pour laquelle il s'agit de l'ordre le plus bas normalement rencontré est que 2QAM est identique à la clé à décalage de phase binaire, BPSK, et 4QAM est identique à la clé à décalage de phase en quadrature, QPSK.

6 Formats de la modulation QAM :

La modulation d'amplitude en quadrature peut être utilisée avec une variété de formats différents : 8QAM, 16QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, mais il existe des différences de performances et des compromis.

QAM, la modulation d'amplitude en quadrature offre des avantages importants pour la transmission de données. Alors que 16QAM passe à 64QAM, 64QAM à 256 QAM et ainsi de suite, des débits de données plus élevés peuvent être atteints, mais au prix de la marge de bruit.

De nombreux systèmes de transmission de données migrent entre les différents ordres de QAM, 16QAM, 32QAM, etc., en fonction des conditions de liaison. S'il y a une bonne marge, des ordres de QAM plus élevés peuvent être utilisés pour gagner un débit de données plus rapide, mais si la liaison se détériore, des ordres plus bas sont utilisés pour préserver la marge de bruit et garantir qu'un faible taux d'erreur sur les bits est préservé.

À mesure que l'ordre QAM augmente, la distance entre les différents points sur le diagramme de constellation diminue et il y a une plus grande possibilité d'erreurs de données introduites. Pour utiliser les formats QAM d'ordre élevé, le lien doit avoir un très bon E_b / N_0 , sinon des erreurs de données seront présentes. Lorsque le E_b / N_0 se détériore, alors le niveau de puissance doit être augmenté, ou l'ordre QAM réduit si l'erreur de bit doit être préservé.

En conséquence, il y a un équilibre à faire entre le débit de données et l'ordre de modulation QAM, la puissance et le taux d'erreur binaire acceptable. Bien qu'une correction d'erreur supplémentaire puisse être introduite pour atténuer toute détérioration de la qualité de la liaison, cela réduira également le débit de données.

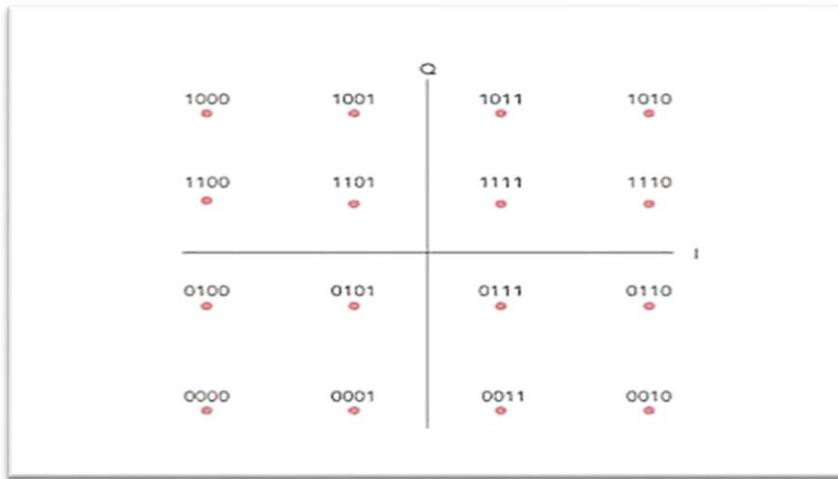


Figure2.6 : diagramme de constellation 16QAM (4 bits par symbole de modulation)

8 Diagrammes de constellation pour QAM

Les diagrammes de constellation montrent les différentes positions des états dans différentes formes de modulation d'amplitude en quadrature QAM. À mesure que l'ordre de modulation augmente, le nombre de points sur le diagramme de constellation QAM augmente également.

Les diagrammes ci-dessous montrent des diagrammes de constellation pour une variété de formats de modulation :

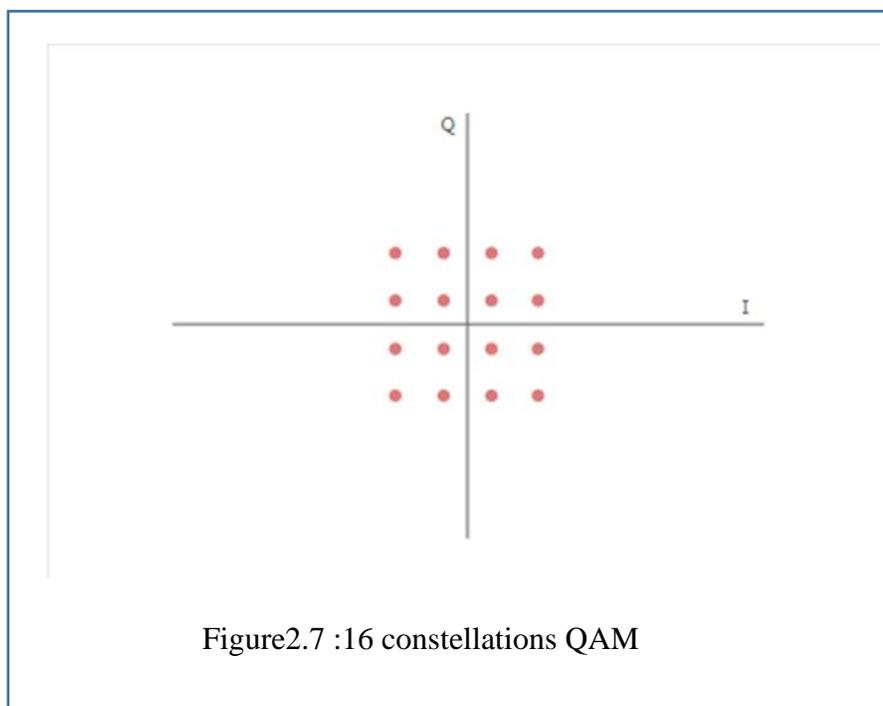


Figure2.7 :16 constellations QAM

la distance entre les points de la constellation diminue. Par conséquent, de petites quantités de bruit peuvent causer de plus grands problèmes.

À mesure que le niveau de bruit augmente en raison de la faible intensité du signal, la zone couverte par un point de la constellation augmente. S'il devient trop grand, le récepteur n'est pas en mesure de déterminer quelle position sur la constellation le signal transmis devait être, ce qui entraîne des erreurs.

On constate également que plus l'ordre de modulation du signal QAM est élevé, plus la variation d'amplitude est importante sur le signal transmis.

De plus, à mesure que la variation d'amplitude augmente, le niveau d'efficacité diminue. Ceci est très important pour l'efficacité de la batterie de l'équipement mobile et l'efficacité énergétique de la station de base.

9 Applications QAM :

QAM est utilisé dans de nombreuses applications de radiocommunication et de transmission de données. Cependant, certaines variantes spécifiques de QAM sont utilisées dans certaines applications et normes spécifiques.

-Il existe un équilibre entre le débit de données et le rapport signal / bruit requis. Lorsque l'ordre du signal QAM est augmenté, c'est-à-dire passant de 16QAM à 64QAM, etc., le Débit de données pouvant être atteint dans des conditions idéales augmente. Cependant, l'inconvénient est qu'un meilleur rapport signal / bruit est nécessaire pour y parvenir.

-Pour certains systèmes, l'ordre du format de modulation est fixe, mais dans d'autres où il existe une liaison bidirectionnelle, il est possible d'adapter l'ordre de la modulation pour obtenir le meilleur débit pour les conditions de liaison données. Le niveau de correction d'erreur utilisé est également modifié. De cette façon, en changeant l'ordre de modulation et la correction d'erreur, la vitesse des données peut être optimisée tout en maintenant le taux d'erreur requis.

-Pour les applications de diffusion domestique par exemple, 64 QAM et 256 QAM sont souvent utilisés dans les applications de télévision par câble numérique et de modem câble. L'ordre de la modulation QAM doit être réglé au niveau de l'émetteur, car la transmission n'est que dans un sens, et en plus de cela, il y a des milliers de récepteurs, ce qui rend impossible d'avoir une forme de modulation adaptative dynamiquement. Au Royaume-Uni, 16 QAM et 64 QAM sont actuellement utilisés pour la télévision numérique terrestre utilisant DVB - Digital Video Broadcasting. Aux États-Unis, 64 QAM et 256 QAM sont les schémas de modulation obligatoires pour le câble numérique, normalisés par le SCTE dans la norme ANSI / SCTE 07 2000.

-Pour les nombreuses formes de technologie sans fil et cellulaire, il est possible de modifier dynamiquement l'ordre de modulation QAM et de correction d'erreur en fonction des conditions de liaison entre les deux extrémités.

-À mesure que les débits de données ont augmentée et que les exigences en matière d'efficacité du spectre ont augmenté, la complexité de la technologie d'adaptation de liaison A également augmenté. Les canaux de données sont acheminés sur le signal radio cellulaire pour permettre une adaptation rapide de la liaison pour répondre à la qualité de la liaison en vigueur et assurer le débit de données optimal, équilibrer la puissance de l'émetteur, l'ordre QAM et la correction d'erreur directe, etc.

8 QAM analogique et numérique

Modulation d'amplitude en quadrature, QAM peut exister dans ce que l'on peut appeler des formats analogiques ou numériques. Les versions analogiques de QAM sont généralement Utilisées pour permettre à plusieurs signaux analogiques d'être transportés sur une seule porteuse. Par exemple, il est utilisé dans les systèmes de télévision PAL et NTSC, où les différents canaux fournis par QAM lui permettent de transporter les composants d'informations de chrominance ou de couleur. Dans les applications radio, un système appelé C-QUAM est utilisé pour la radio AM stéréo. Ici, les différents canaux permettent aux deux canaux requis pour la stéréo d'être transportés sur la seule porteuse.

Les formats numériques de QAM sont souvent appelés « QAM quantifiés » et ils sont de plus en plus utilisés pour les communications de données, souvent dans les systèmes de radiocommunication. Les systèmes de radiocommunication allant de la technologie cellulaire comme dans le cas du LTE aux systèmes sans fil, y compris WiMAX et Wi-Fi 802.11, utilisent une variété de formes de QAM, et l'utilisation de QAM ne fera qu'augmenter dans le domaine des radiocommunications.

9 Avantages et inconvénients de QAM

9.1 AVANTAGES DE QAM

- QAM semble augmenter l'efficacité de la transmission radio.
- Des systèmes de communication utilisant à la fois des variations d'amplitude et de phase,

9.2 INCONVÉNIENTS DU QAM

- Plus sensible au bruit car les états sont plus rapprochés de sorte qu'un plus bas.

Un niveau de bruit est nécessaire pour déplacer le signal vers un point de décision différent.

- Les récepteurs destinés à être utilisés avec une modulation de phase ou de fréquence sont tous deux capables d'utiliser des amplificateurs de limitation
- Capables de supprimer tout bruit d'amplitude et d'améliorer ainsi la dépendance au bruit. Ce n'est pas le cas avec QAM.
- La deuxième limitation est également associée à la composante d'amplitude du signal. Lorsqu'un signal modulé en phase ou en fréquence est amplifié dans un émetteur radio, il n'est pas nécessaire d'utiliser des amplificateurs linéaires, alors que lors de l'utilisation de QAM qui contient une composante d'amplitude, la linéarité doit être maintenue. Malheureusement, les amplificateurs linéaires sont
- Moins efficaces et consomment plus d'énergie, ce qui les rend moins attractifs pour les applications mobiles.

Malheureusement, les amplificateurs linéaires sont moins efficaces et consomment plus d'énergie, ce qui les rend moins attrayants pour les applications mobiles.

11 Conclusion

Le diagramme de constellation est une représentation illustrée montrant tous les symboles de modulation possibles (ou états de signal) sous forme d'un ensemble de points de constellation. Chaque point de constellation correspond (est mappé sur) à un quad bit différent.

Bien que tout mappage entre les quadbits (4 bits) et les points de constellation fonctionne dans des conditions idéales, le mappage utilise généralement un code Gray pour garantir que les quadbits correspondant aux points de constellation adjacents ne diffèrent que d'un bit.

Chapitre 3 : une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

Chapitre 3 une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

$$c(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n(t) \sin(2\pi f_n t)$$

(s (t)) = symboles mappés à la constellation choisie (BPSK / QPSK / QAM etc.)

(Fn) = fréquence orthogonale

Cette équation peut être considérée comme un processus IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). La transformée de Fourier décompose un signal en différents intervalles de fréquence en multipliant le signal par une série de sinusoides. Cela traduit essentiellement le signal du domaine temporel en domaine fréquentiel. Mais, nous considérons toujours l'IFFT comme un processus de conversion du domaine fréquentiel au domaine temporel.

[9] Les équation pour la fonction fft/iffit peuvent être dérivées de l'équations idft/dft:

- L'équation de transformer de Fourier discrète :

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(K) e^{\frac{j2\pi k n}{N}}$$

- L'équation de transformer de Fourier discrète inverse :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi k n}{N}}$$

Où N est la taille de transformation ou le nombre de points d'échantillonnage dans la trame de données. X (k) est la sortie de fréquence de la FFT au k point où k = 0, 1, ..., N-1 et x (n) est l'échantillon de temps au n point avec n = 0, 1, ..., N -1

L'équation pour FFT et IFFT diffère par les coefficients qu'ils prennent et le signe moins. Les deux équations font la même chose. Ils multiplient le signal entrant par une série de sinusoides.

Chapitre 3 une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

3 Implémentation de la IFFT et FFT [10] :

3.1 IFFT :

L'IFFT transforme un spectre (amplitude et phase de chaque composante) dans un signal de domaine temporel. Un IFFT convertit un certain nombre de points de données complexes, ce nombre de points en le même dans le domaine temporel. Chaque point de données dans le spectre de fréquences utilisé pour une opération FFT ou IFFT.

La transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) effectue une opération IFFT à N points pour les points de constellation reçus du mappeur MQAM. La sortie est de N échantillons de domaine temporel. Après le calcul en N points, ces valeurs sont transmises via un convertisseur parallèle à série

3.2 FFT :

FFT Convertir le domaine temporel en domaine fréquentiel. Les symboles parallèles reçus du convertisseur série-parallèle effectuent un fonctionnement FFT à N points et les envoient au dé mappeur.

L'équation IFFT / FFT est pratique dans la mise en œuvre du processus de conversion et nous pouvons éliminer les multiplicateurs sinusoïdaux individuels requis du côté émetteur / récepteur. La figure suivante illustre comment l'utilisation de l'IFFT dans l'émetteur élimine le besoin de convertisseurs sinusoïdaux séparés.

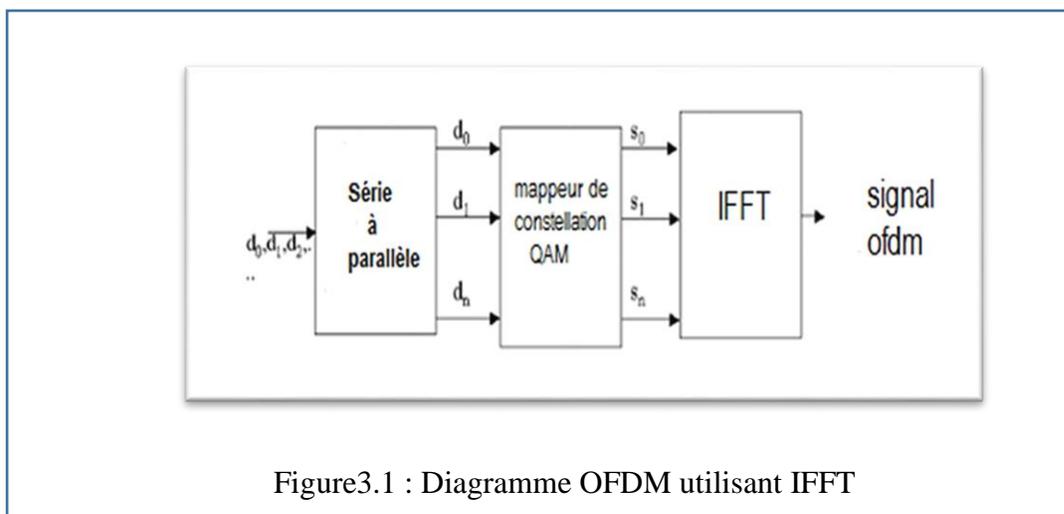


Figure3.1 : Diagramme OFDM utilisant IFFT

La longueur FFT / IFFT N définit le nombre de sous-porteuses totales présentes dans le système OFDM. Par exemple, un système OFDM avec $N = 64$ fournit 64 sous-porteuses.

En réalité, toutes les sous-porteuses ne sont pas utilisées pour la transmission de données. Certaines sous-porteuses sont réservées aux porteuses pilotes (utilisées pour l'estimation / l'égalisation des canaux et pour tenir contre les erreurs d'amplitude et de phase dans le récepteur).

Chapitre 3 : une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

4 L'utilité de IFFT/FFT dans la transmission OFDM [11] :

Dans les émetteurs utilisant OFDM comme technologie de modulation multi porteuse, le symbole OFDM est construit dans le domaine fréquentiel en mappant les bits d'entrée sur les composants I et Q des symboles QAM, puis en les ordonnant dans une séquence avec une longueur spécifique en fonction du nombre des sous-porteuses dans le symbole OFDM. On construit les composantes fréquentielles du symbole OFDM. Pour les transmettre, le signal doit être représenté dans le domaine temporel. Ceci est accompli par la transformée de Fourier rapide inverse IFFT.

Ainsi, en résumé, le signal est plus facilement synthétisé dans le domaine fréquentiel discret de l'émetteur et pour le transmettre, il doit être converti en domaine temporel discret par l'IFFT.

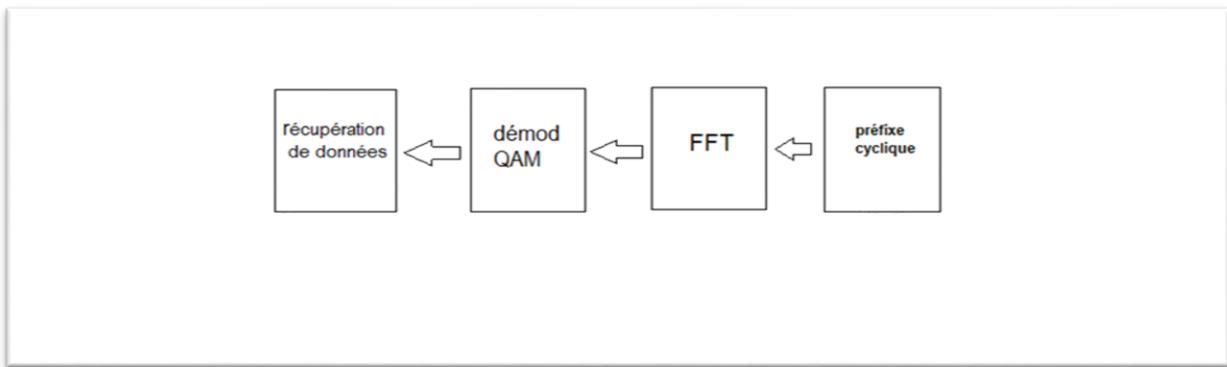


Figure3.2 : Signal OFDM basé sur la FFT

Le préfixe cyclique est ensuite ajouté avant la transmission par le canal pour réduire l'ISI. Du côté du récepteur, les données sont ensuite décodées, le préfixe cyclique est supprimé. Puis traité via la FFT. La sortie du fonctionnement FFT est un signal dans le domaine fréquentiel.

Chapitre 3 une transformation de Fourier rapide (FFT) et transformation de Fourier rapide inverse (IFFT)

5 Conclusion

Il existe plusieurs versions de la transformée de Fourier, et le choix de celle à utiliser dépend des circonstances particulières de l'œuvre.

La majorité du traitement du signal OFDM utilise une version de la transformée de Fourier discrète (DFT). La DFT est une variante de la transformée normale dans laquelle les signaux sont échantillonnés à la fois dans le temps et dans les domaines fréquentiels. Par Définition, la forme d'onde temporelle doit se répéter continuellement, ce qui conduit à un spectre de fréquences qui se répète continuellement dans le domaine fréquentiel.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1 Introduction

Outils informatiques

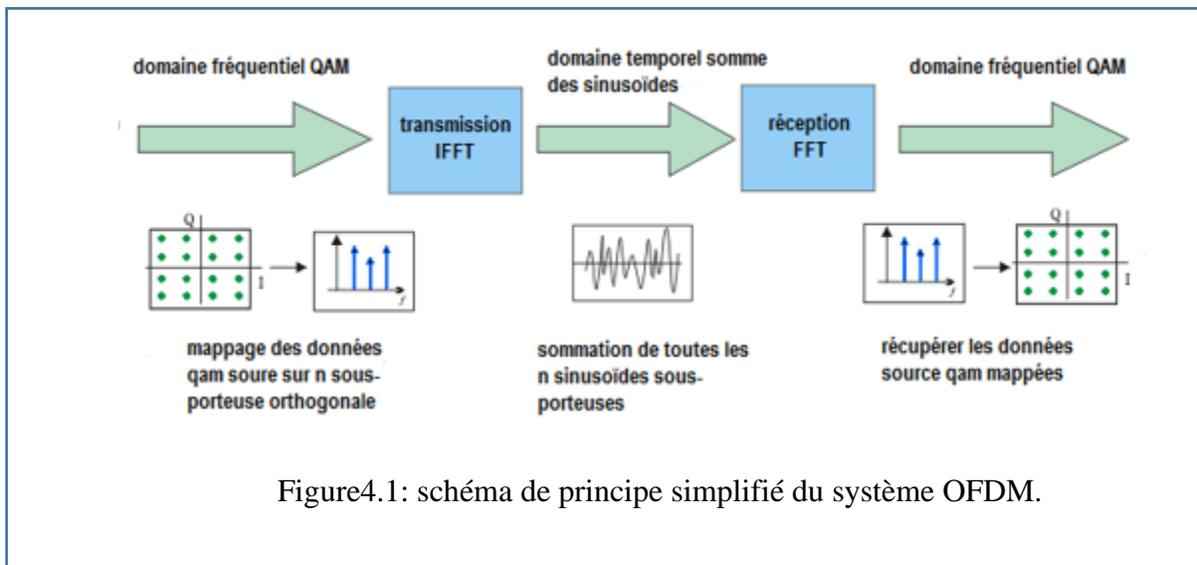
Scilab :

SCILAB est une source libre et librement distribuée progiciel scientifique et est un clone du logiciel commercial Matlab, Un puissant environnement informatique ouvert pour applications techniques et scientifiques il est développé depuis 1990 par des chercheurs de l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) et ENPC (Ecole Nationale de Ponts et routes) et est distribuée gratuitement sur Internet sous une licence Open Source (www.scilab.org).

Il comprend des centaines de fonctions mathématiques. Il dispose d'un langage de programmation de haut niveau permettant d'accéder à des structures de données avancées, à des fonctions graphiques 2D et 3D.

Un grand nombre de fonctionnalités sont incluses dans Scilab : Maths & Simulation, Visualisation 2D & 3D, Optimisation, Statistiques, Traitement du Signal, Développement d'Applications, Xcos - Modélisation de systèmes dynamiques.

2 Les étapes d'une transmission OFDM :



Les symboles d'entrée sont des valeurs complexes représentant le point de constellation mappé et spécifient donc à la fois l'amplitude et la phase de la sinusoïde pour cette sous-porteuse. La sortie IFFT est la somme de toutes les N sinusoïdes. Ainsi, le bloc IFFT fournit un moyen simple de moduler des données sur N sous-porteuses orthogonales. Le bloc de N échantillons de sortie de l'IFFT constitue un seul symbole OFDM.

Après un certain traitement supplémentaire, le signal dans le domaine temporel qui résulte de l'IFFT est transmis à travers le canal. Au niveau du récepteur, un bloc FFT est utilisé pour traiter le signal reçu et l'amener dans le domaine fréquentiel qui est utilisé pour récupérer les bits de données d'origine.

3 Présentation des résultats :

La figure ci-dessous représente une image binaire dont la matrice Ib est de dimensions 32X64



Cette matrice Ib est transformée en vecteur Vb monodimensionnel de longueur 2048 comme suit ;

$$Ib = \begin{bmatrix} 10011\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 11100\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 00010\dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{bmatrix} \Rightarrow \text{vecteur } Vb = [10011\dots\dots\dots\dots\dots\dots 11100\dots\dots\dots\dots\dots\dots \dots\dots\dots\dots\dots\dots 00010\dots\dots\dots\dots\dots\dots]$$

Cette représentation monodimensionnelle illustrée dans la figure suivante, facilite la transmission de l'image binaire par OFDM.

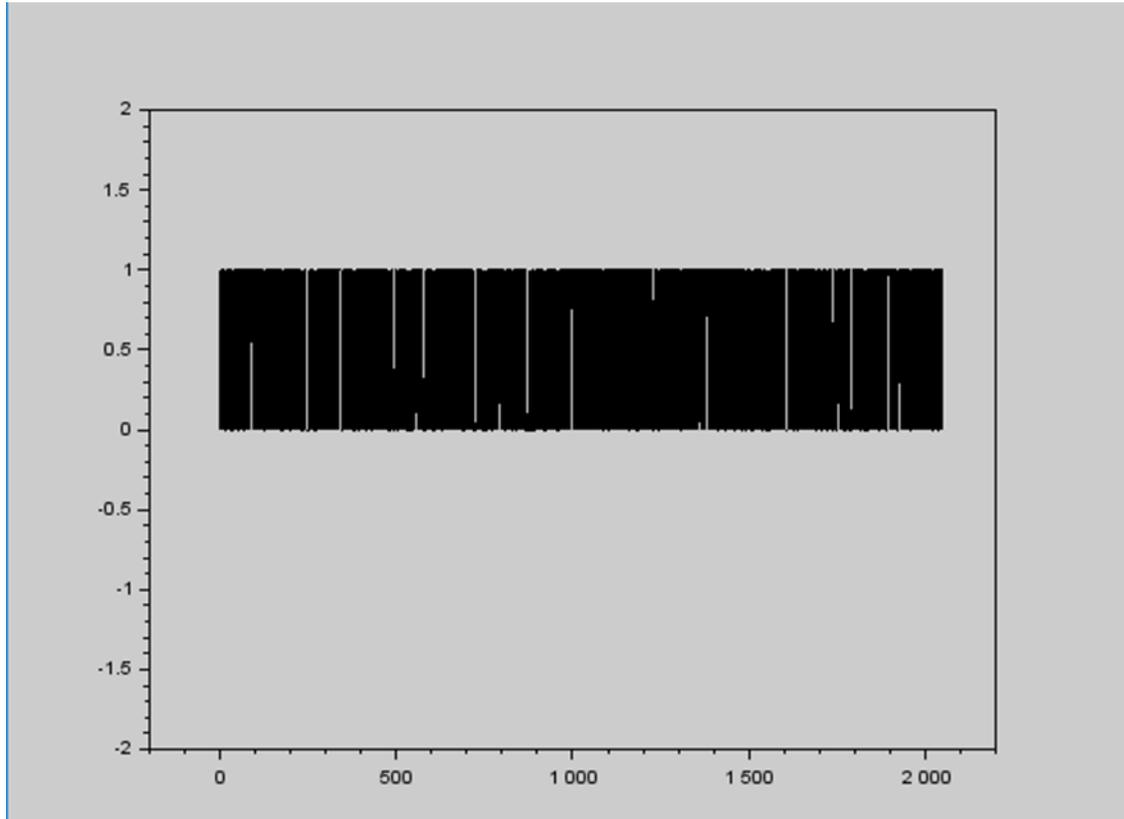


Figure4.2 : Représentation monodimensionnelle binaire V_b de l'image I_b .

Interprétation :

Dent cette étape on lancer l'instruction qui nous permet d'écrire notre matrice sous forme du vecteur monodimensionnelle.

On va définisse une matrice de manière analogue en écrivant une matrice ligne par ligne (dans la même ligne les éléments sont séparés par un espace) ; les lignes elles-mêmes étant séparées par un point-virgule (;).

Exemple : A une matrice de dimensions 3×2 :

$$A = [2 \ 5 ; 4 \ 8 ; 7 \ 9]$$

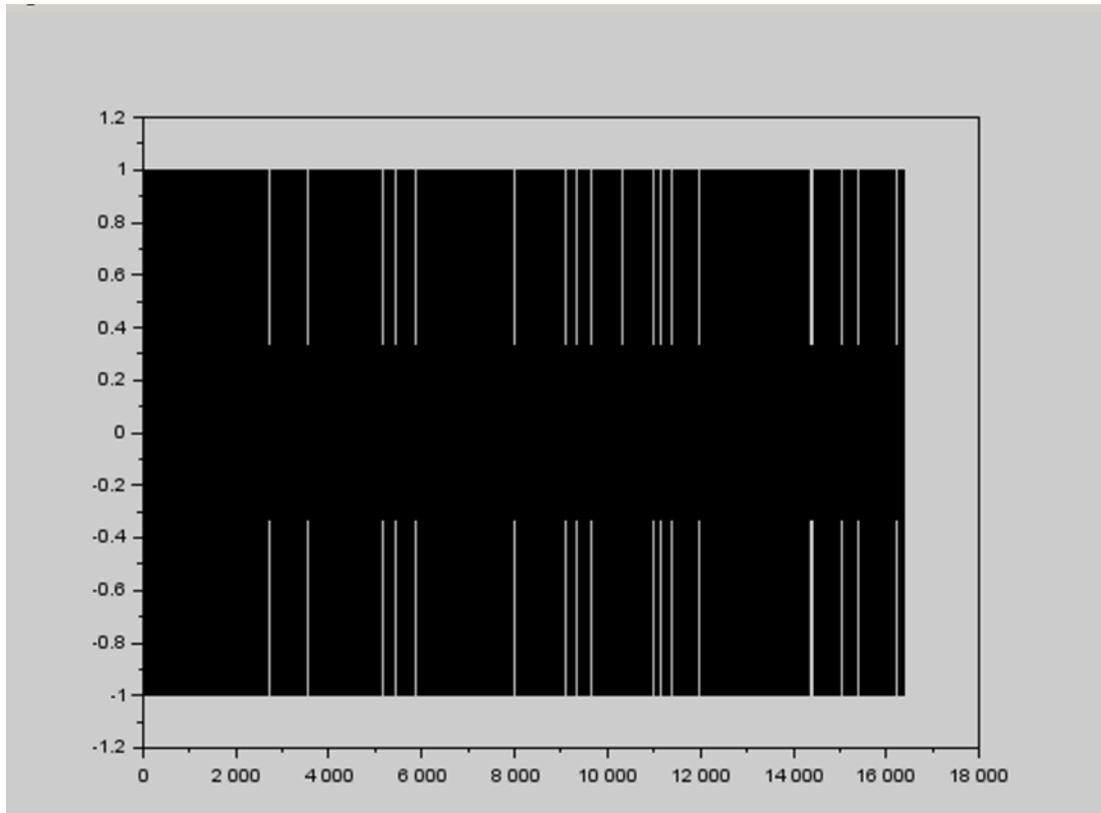


Figure4.3 : le signal analogique QAM

Interprétation :

D'abord, notre travail est basé sur la transmission de la matrice à une séquence binaire, pour obtenir notre signal analogique que nous allons l'encoder en utilisant la modulation QAM16.

QAM en tant que schéma de modulation est une modulation analogique qui dépend de : la variation des niveaux d'amplitude comme PAM (Pulse Amplitude Modulation) et la modulation de phase (PM) avec des phases prédéfinies.

Alors que QAM est une modulation analogique, il est utilisé pour transmettre et recevoir des symboles de données numériques (n bits).

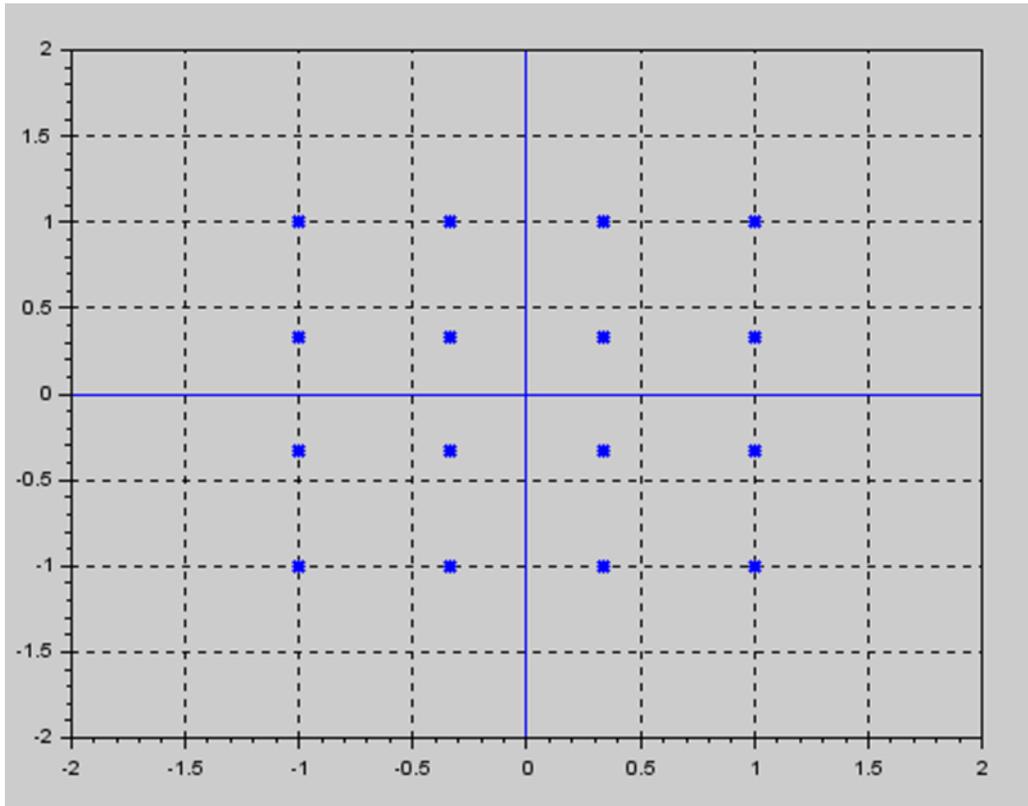


Figure4.4 : Diagramme de constellation 16 QAM.

Constellation(qam16)

Interprétation :

Constellation de symboles pour 16 QAM : (a) Chaque symbole correspond à une séquence de 4 bits. (b) Symbole reçu après avoir subi une dispersion induite par le canal

Avec 16-QAM, il y a seize symboles différents (quad bits) :

0000 0001 0010 0011 / 0100 0101 0110 0111 / 1000 1001 1010 1011 / 1100 1101 1110 1111

Chaque quad bit est représenté par une modulation différente symbole (combinaison de phase et d'amplitude).

Modulation OFDM

Grace à la propriété de l'orthogonalité de la FFT, l'OFDM peut être obtenu en appliquant l'IFFT au signal QAM. Le signal OFDM ainsi obtenu, est illustré dans la figure suivante

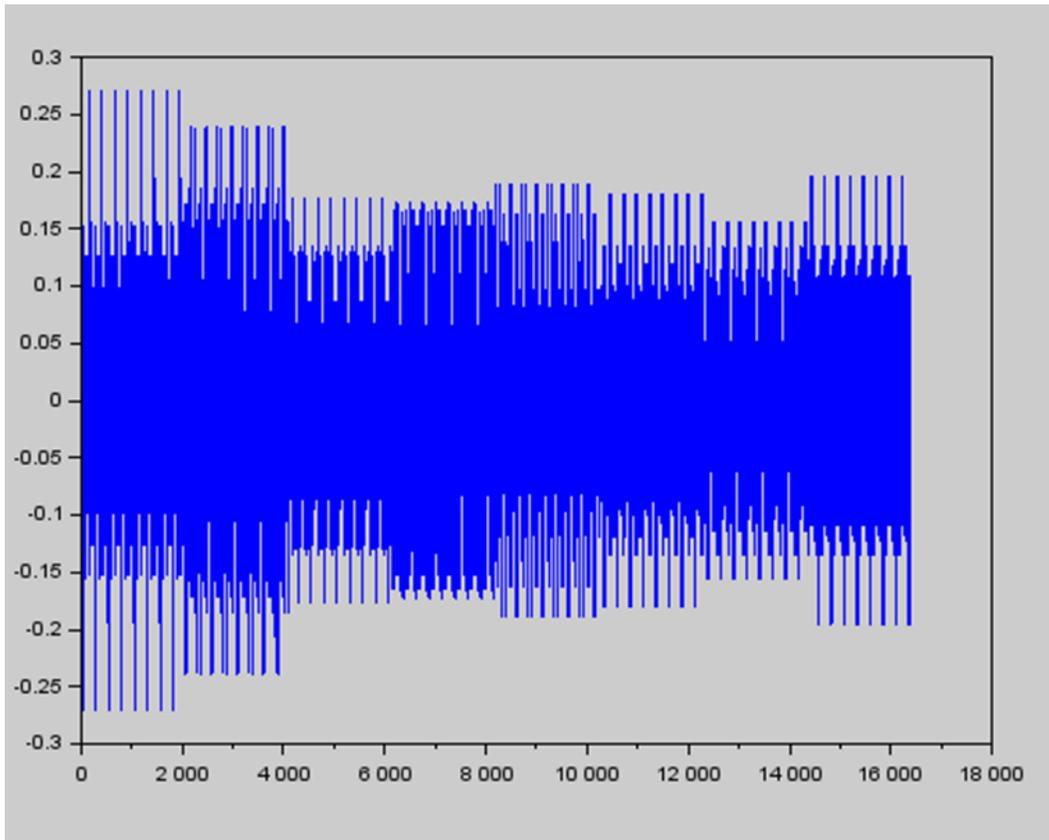


Figure4.5 : le signal modulé (ou le signal OFDM après la IFFT)

Interprétation :

Les porteuses dans une transmission basée sur OFDM sont espacées de telle manière qu'elles sont toutes orthogonales mutuellement par rapport au temps de symbole OFDM. Ceci est fait avec un algorithme de transformée de Fourier discrète (FFT) et son inverse (IFFT). Cet algorithme génère et module les sous-porteuses en même temps, économisant ainsi du temps de traitement.

Démodulation OFDM

A la réception, on doit démoduler le signal reçu à l'aide de la FFT. Le résultat de cette procédure de démodulation est indiqué dans la figure ci-dessous. En comparant le signal transmis à celui reçu, on constate qu'ils sont identiques car nous avons ignoré tout bruit éventuel du canal de transmission.

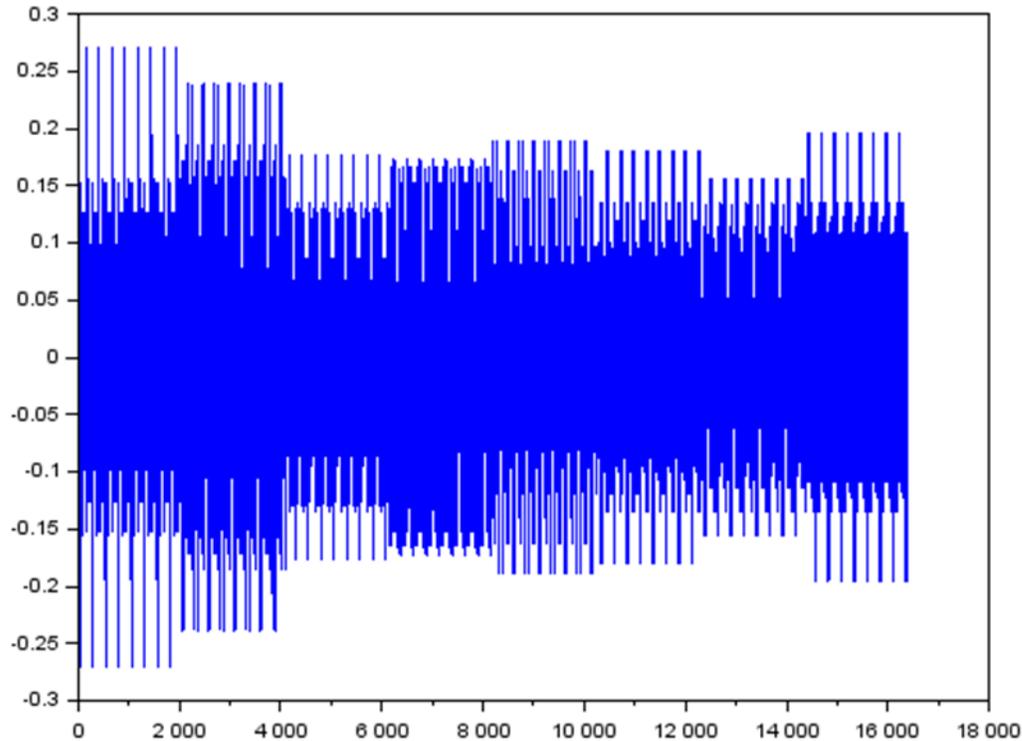


Figure4.6 : le signal OFDM démodulé (par FFT)

Interprétation :

Dans un système OFDM mis en œuvre numériquement, les bits d'entrée sont regroupés et mappés vers des symboles de données source qui sont un nombre complexe représentant le point de constellation de modulation (par exemple, les symboles BPSK ou QAM qui seraient présents dans un système à sous-porteuse unique). Ces symboles sources complexes sont traités par l'émetteur comme s'ils étaient dans le domaine fréquentiel et sont les entrées d'un bloc IFFT qui transforme les données dans le domaine temporel. L'IFFT prend N symboles source à un instant où N est le nombre de sous-porteuses dans le système. Chacun de ces N symboles d'entrée a une période de symbole de T secondes. Rappelons que la sortie de l'IFFT est N sinusoïdes orthogonales.

Démodulation QAM

La démodulation OFDM est ensuite suivie de la démodulation QAM afin d'identifier la constellation à la réception. La figure suivante illustre le signal reçu dans la base QAM

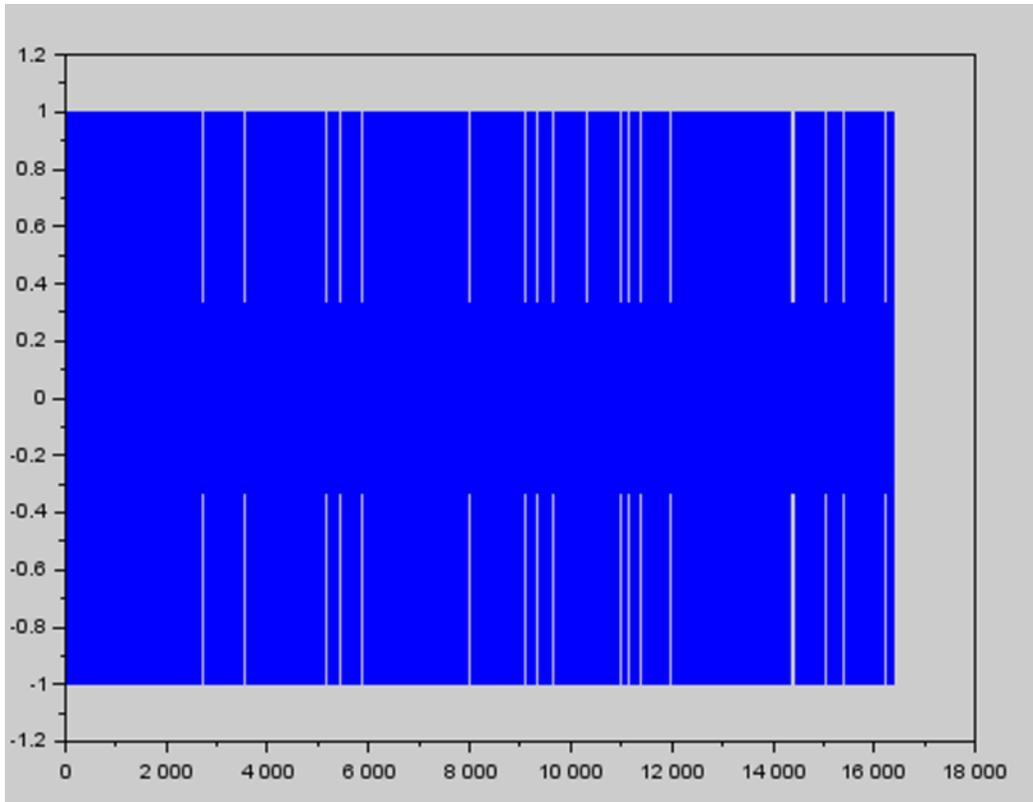


Figure4.7 : démodulation QAM

Interprétation :

La source est convertie de données série à un format parallèle, mappée sur des symboles de la constellation de modulation d'amplitude quadratique (QAM), puis applique la FFT pour implémenter la démodulation après Un préfixe cyclique est ajouté pour minimiser les interférences entre symboles (ISI), puis les données de sortie sont sérialisées et converties en un signal analogique.

La Constellation

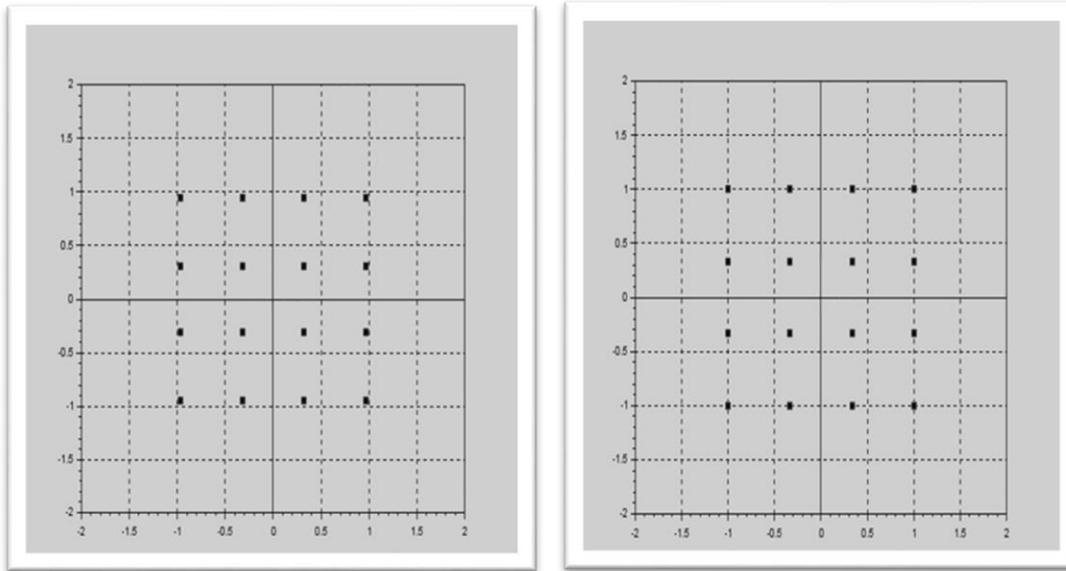


Figure4.8: constellation reçue à gauche et après affectation à droite.

Le schéma 16-QAM pour la modulation et la démodulation du signal OFDM a été implémenté dans ce projet.

Tout d'abord, l'entrée sous forme de données binaires est donnée à l'émetteur, cette entrée est mappée en symboles de constellation 16-QAM. La sortie du mappeur peut être convertie en un certain nombre de bits si nécessaire car en fonction du nombre de bits à l'entrée du bloc IFFT, la sortie aura également des tailles de sortie différentes.

Donc on observe qu'il y a un décalage des points de constellation dont notre cas on a négligé le bruit donc on est dont le cas idéal. L'identification de la constellation sans erreurs de bits permet de reconstruire une image binaire reçue identique à celle transmise. Finalement notre image va apparaître sur l'interface Scilab



5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus par simulation Scilab qu'on a réalisé pour étudier la transmission d'une image binaire par la technique OFDM. Nous avons montré que cette dernière permet de transmettre une image binaire même si le canal de transmission est à bande étroite. Cette propriété de l'OFDM facilite la transmission de plusieurs images binaires à travers un canal de transmission sans interférence.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion :

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) est développé pour prendre en charge un débit de données élevé et peut gérer des signaux multi-porteuses. Sa spécialité est qu'il peut réduire beaucoup plus l'interférence de symboles (ISI) par rapport aux autres schémas de multiplexage. Il est plus probable que le multiplexage par répartition en fréquence (FDM) soit amélioré car FDM utilise une bande de garde pour minimiser les interférences entre différentes fréquences, ce qui gaspille beaucoup de bande passante. Mais l'OFDM ne contient pas de bande de garde inter-porteuse qui peut gérer l'interférence plus efficacement que FDM. C'est donc le choix parfait pour la communication sans fil car il peut aider à satisfaire les exigences d'une utilisation efficace du spectre et minimiser le coût de transmission.

Dans l'OFDM, deux algorithmes de traitement de signal numérique Fast Fourier Transform (FFT) et Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) sont principalement impliqués.

L'objectif principal de ce travail est de créer un programme OFDM (Émetteur et Récepteur) utilisant la modulation QAM, FFT ou IFFT sont les principaux blocs de construction de l'OFDM, qui fonctionne sur des séquences finies.

L'étude décrite tout au long de ce travail et les simulations et résultats présentés ont permis de tirer des conclusions significatives et d'atteindre l'ensemble des objectifs fixés au début de l'étude. Sur la base de sources bibliographiques, nous avons établi comment l'OFDM s'est avéré être une technologie compétente apportant des solutions pratiques à la transmission des données.

L'OFDM joue déjà un rôle important dans le WLAN. Au cours des dernières années, il dominera sûrement l'industrie de la communication. Elle a un avenir prometteur dans les réseaux sans fil et les communications mobiles. La croissance du nombre de clients mondiaux pour les réseaux sans fil et la demande toujours croissante de large bande passante ont donné naissance à cette technologie.

Bibliographies

- [1] << Handbook of RF and Wireless Technologies >> Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Hamid R. Sadjadpour December 2004
- [2] (ANALYSIS OF THE EFFECTS OF PHASE NOISE AND FREQUENCY OFFSET IN ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) SYSTEMS) by Ahmet Yasin Erdogan “ March 2004”
- [3] <<PERFORMANCE OF ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING IN A HIGH NOISE, LOW SIGNAL-TO-NOISE RATIO ENVIRONMENT WITH COCHANNEL INTERFERENCE >> <by Andrew G. Grant December 2005
- [4] Performance analysis of hash encrypted DWT-OFDM and hash encrypted FFT-OFDM systems Narasimhan Renga Raajan .SASTRA University April 2013
- [5] << Transmission d'un signal TV >> Margaret Rouse october 2018
- [6] <<What's Your IQ – About Quadrature Signals >> Juin 2015 par Alan Wolke
- [7] <<modern digital and analog communication system 3 éditions >> by B.P. LATHI new York oxford 1998
- [8] <<DIGITAL MODULATION (QAM) >>by MD. AHSAN HALIMI M.TECH - ECE .pondicherry university department of electronics engineering and technology november 2015
- [9] Performance Analysis of FFT Based OFDM System and DWT Based OFDM System to Reduce Inter-carrier Interference. Waichal, G., & Khedkar, A. (2015). 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation.
- [10] Implementation of OFDM System Using FFT and IFFT Ajay Kumar Mukiri and Siddavarapu Anil Kumar July 2016 . International Journal of Engineering and Advanced Technology
- [11] Implementation of OFDM System using IFFT and FFT Nilesh Chide, Shreyas Deshmukh, Prof. P.B. Borole
International Journal of Engineering Research and Applications. February 2013
- [12] Area Efficient Fft/Ifft Processor for Wireless Communication Rekha Masanam, B. Ramarao. IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP) . (May-Jun. 2014),