



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Thème

Transmission sans fil d'image par le système SC-FDMA

Réalisé par :

- Bilal DOUDI
- Souheila SEROUTI

Soutenu en juin 2018 devant le jury composé de :

M. TOUHAMI Redha

MAA

Président

M. HIMA Abdelkader

MAA

Examineur

M. KHELIL Abdellatif

MCA

Directeur du mémoire

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2017/2018

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à ALLAH de nous avoir donné le courage et la volonté.

Ainsi que nous remercions nos chers parents, pour leurs sacrifices, aides, soutiens et encouragements; afin que nous effectuions cette formation de master dans les meilleures conditions.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur

" Dr. KHELIL Abdellatif "

pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances, qu'il nous a apportées durant notre recherche.

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science et l'aides inestimables.

Aussi, nous entrons d'une large porte pour remercier très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.

Nous tenons à remercier aussi l'ensemble du personnel de faculté de technologie et surtout du département de génie-électronique.

Merci à toute personne qui a participé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère, Á la plus belle créature que dieu a créé sur terre, Á cette source de tendresse, de patience et de générosité.

A mon père, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce qu'il mérite pour ses sacrifices qu'il n'a jamais cessé de me donner depuis ma naissance. Il a fait plus que la maman puisse faire. Je le dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Je souhaite que dieu le garde et le donne une longue vie pleine de bonheur.

Á mes chers frères et chères sœurs.

Á l'enseignant " Dr. KHELIL Abdellatif ".

Á tous mes amies.

Aussi je dédie ce modeste projet à mon cher maître " WADA Abd elkader ".

Au propriétaire du bon cœur " Dr. CHAMSA Ali ", les mots ne suffisent guère pour exprimer mon respect et mon appréciation, il était un exemple de père, je dis cela avec tous mes vœux de bonheur, de santé, de longue vie et de réussite.

Á tous mes collègues de la promotion " 2017-2018".

Souheila
SEROUFI

Résumé

Le SC-FDMA a attiré l'attention dans les communications sans fil en raison de son faible PAPR et sa faible sensibilité au CFO. L'objectif de ce travail est d'étudier et de tester l'efficacité de la transmission d'image dans un système sans fil à base de SC-FDMA en utilisant le pré-codeur DFT et la modulation QPSK, différentes techniques de mappage de sous-porteuses, différents canaux et l'égaliseur MMSE. Plusieurs expériences réalisées afin de choisir la combinaison qui nous permet de transmettre sans fil, avec efficacité, une image à travers un système SC-FDMA. Pour la comparaison des performances et la clarté des images, on utilise le MSE et le PSNR. Les résultats de simulation montrent que le système SC-FDMA est capable de transmettre efficacement des images sur différents canaux de communication sans fil.

Mots-clés : SC-FDMA ; Image ; Transmission ; Uplink ; QPSK ; PSNR ; MSE ; MMSE.

Tableau des matières

Résumé	i
Tableau des matières	ii
Liste de figures	v
Liste de tableaux	vii
Abréviations	viii
Introduction générale.....	1

Chapitre I. Le système SC-FDMA

I.1. Introduction.....	4
I.2. Le technique d'accès FDMA	4
I.3. Principe de la modulation	5
I.3.1. la Modulation mono-porteuse.....	5
I.3.2. La Modulation multi-porteuses.....	6
I.4. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple).....	6
I.4.1. La chaîne de transmission OFDM	6
I.4.2. La transformée de Fourier discrète.....	8
I.4.3. L'orthogonalité	8
I.4.4. L'interférence entre symboles (IES).....	10
I.4.5. L'interférence entre porteuses (IEP).....	10
I.4.6. L'intervalle de garde	10
I.5. Avantages de l'OFDM	12
I.6. Inconvénients de l'OFDM.....	12
I.7. Signal carrier-FDMA.....	14
I.8. Émetteur SC-FDMA	15
I.9. Récepteur SC-FDMA	18
I.10. Mode d'allocation dans le système SC-FDMA.....	19
I.10.1. Allocation de ressource en mode distribué	19
I.10.2. Allocation de ressource en mode localisé	22
I.10.3. Comparaison des modes I-FDMA et L-FDMA.....	26
I.11. Capacité du SC-FDMA	27

I.12. Étude du PAPR du signal SC-FDMA.....	28
I.12.1. Évaluation du PAPR du signal SC-FDMA	29
I.12.2. Étude comparative du PAPR du signal SC-FDMA et OFDMA ...	30
I.13. Conclusion	32

Chapitre II. L'image et sa transmission

II.1. Introduction	33
II.2. Formation de l'image	33
II.3. Définition de l'image	33
II.3.1. Image analogique	34
II.3.2. Image Numérique.....	34
II.3.2.1. L'image en pixel (Bitmap)	34
II.3.2.2. l'image vectorielle.....	36
II.3.2.3. Caractéristiques d'une image numérique.....	37
II.4. La numérisation d'image.....	41
II.4.1. Avantages de la numérisation	43
II.4.1.1. Recherche.....	43
II.4.1.2. Gestion des collections	43
II.4.1.3. Conservation.....	44
II.5. Traitements généraux des images.....	44
II.5.1. Amélioration ou retouche de l'image	44
II.5.2. La compression	44
II.5.2.1. Rapport et taux de compression	45
II.5.2.2. Mesure de distorsion	45
II.6.Applications nécessitant une transmission d'images.....	46
II.7. Transmission d'image sans fil.....	47
II.7.1. Modèles de systèmes SC-FDMA	48
II.7.1.1. Système SC-FDMA.....	48
II.7.1.2. Système DCT-SC-FDMA.....	48
II.7.1.3. Système DST-SC-FDMA	49
II.8. L'égaliseur.....	50

II.9. Conclusion.....	50
-----------------------	----

Chapitre III. Simulation et résultats

III.1. Introduction	51
III.2. Modèle de simulation	52
III.3. But de simulation.....	52
III.4. Les paramètres de simulation.....	53
III.5. Les simulations.....	55
III.5.1. Comparaison de PSNR des différents canaux.....	59
III.5.2. Comparaison de MSE des différents canaux.....	61
III.5.3. Comparaison des performances PSNR et MSE de mode localisé et distribué pour chaque canal.....	62
III.6. Conclusion	68
Conclusion générale	69
Bibliographie	71

Liste de figures

Figure I.1 : Méthodes d'accès multiples FDMA	4
Figure I.2 : La modulation mono-porteuse	5
Figure I.3 : La modulation multi-porteuses	6
Figure I.4 : Schéma bloc d'un système de transmission OFDM.	7
Figure I.5 : Représentation de la nature orthogonale du spectre d'un signal OFDM.....	9
Figure I.6 : L'intervalle de garde est rempli par les derniers symboles de la trame.....	11
Figure I.7 : Puissance instantanée d'un signal OFDM.....	13
Figure I.8 : Émetteur SC-FDMA	15
Figure I.9 : Filtre de mise en forme en Cosinus sur-élevé.....	17
Figure I.10 : Récepteur SC-FDMA.....	19
Figure I.11 : Mapping I-FDMA.....	20
Figure I.12 : Mapping L-FDMA.....	23
Figure I.13 : Spectre des modes I-FDMA et L-FDMA.	26
Figure I.14 : Schéma de mappage de sous-porteuse dans le domaine fréquentiel	27
Figure I.15 : Émetteur / Récepteur des systèmes OFDMA et SC-FDMA ..	31
Figure II.1 : Modèle de système d'imagerie linéaire	34
Figure II.2 : Représentation de dimension d'une image	38
Figure II.3 : représentation de pixel	38
Figure II.4 : Image avec et sans bruit.....	39
Figure II.5 : le nombre de nuances ou de couleurs dépend du nombre de bits	40
Figure II.6 : Synthèse Additive.....	41
Figure II.7 : Mappage des valeurs de pixels dans l'échelle de gris	41
Figure II.8 : le système de couleurs à 24 bits	42
Figure II.9 : Conversion d'une image analogique en une image numérique	43

Figure II.10 : Modèle de système de transmission d'image sur le système SC-FDMA	47
Figure II.11 : Structure du système de liaison montante DFT-SC-FDMA	48
Figure II.12 : Structure du système de liaison montante DCT-SC-FDMA	49
Figure III.1 : Modèle de simulation.....	51
Figure III.2 : Image du cameraman.	54
Figure III.3 : Images reçues pour le canal AWGN (SNR = 6 dB).....	56
Figure III.4 : Images reçues pour le canal 3GPP Veh A (SNR = 6 dB)....	57
Figure III.5 : Images reçues pour le canal 3GPP Ped A (SNR = 6 dB).....	58
Figure III.6 : Images reçues pour le canal Uniform (SNR = 6 dB).	59
Figure III.7 : PSNR du système ISC-FDMA.....	59
Figure III.8 : PSNR du système LSC-FDMA.....	60
Figure III.9 : MSE du système ISC-FDMA.....	61
Figure III.10 : MSE du système LSC-FDMA.....	61
Figure III.11 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal AWGN.....	62
Figure III.12 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal AWGN.....	63
Figure III.13 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Veh A.....	64
Figure III.14 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Veh A.....	64
Figure III.15 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Ped A	65
Figure III.16 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Ped A	66
Figure III.17 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal Uniform.	67
Figure III.18 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal Uniform.....	67

Liste de tableaux

Tableau II.1 : codage de la couleur.....	42
Tableau III.1 : Profils de retard de canaux Pedestrian A et Vehicular A de l'UIT.....	53
Tableau III.2 : Paramètres de simulation.....	54
Tableau III.3 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal AWGN.....	55
Tableau III.4 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal 3GPP Veh A.....	56
Tableau III.5 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal 3GPP Ped A.....	57
Tableau III.6 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal Uniform.....	58

Abréviations

AWGN	Additive White Gaussian Noise
BMP	Basic Metabolic Panel
CP	Préfixe Cyclique
CDS	Channel Dependant Scheduling
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CCDF	Complementary Cumulative Distribution Function
CGM	Computer Graphics Metafile
DCT	Discrete Cosinus Transform
DST	Discrete Sinus Transform
DXF	Drawing EXchange Format
DFT-SC-FDMA	Discrete Fourier Transform- Single Carrier FDMA
DFT	Discrete Fourier Transform
EPS	Encapsulates Post Script
FFT	Fast Fourier Transform
GFDM	Generalised Frequency Division Multiplexing
GIF	Graphic Inter change Format
HPGL	Hewlett-Packard Graphics Language Hewlett-Packard Graphics
IES	Interférence entre symboles
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IEP	Interférence Entre Porteuses
IFDMA	Interleaved-FDMA
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform

IDCT	Inverse Discrete Cosinus Transform
IDST	Inverse Discrete Sinus Transform
ISI	Inter Symbole Interference
JPEG	Joint Photographique Experts Group
L-FDMA	Localized –FDMA
LTE	Long Term Evolution
LZW	Lempel Zip Welch
MSE	Mean Square Error
MMSE	Minimum Mean Square Error
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
PICT	Macintosh Picture
PCX	Picture Exchange Image Bitmap Zsoft
PNG	Portable Network Graphics
P-à-S	Parallèle à Série
PAPR	Peak to Average Power Ratio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RVB	Rouge, Vert, Bleu
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TIF	Tagged Image File Format
3GPP LTE	3 rd Generation Partnership Project

Introduction générale

Introduction générale

Les systèmes de télécommunication sans fil ont connu une évolution spectaculaire au cours de ces deux dernières décennies, ayant permis d'offrir un large service de haute qualité aux usagers, ces technologies radio sont engagées dans une quête sans fin de transmission haute débit couplée à un besoin constant d'amélioration de la qualité de transmission. C'est au courant de l'année 2002 que nous sommes définitivement entrés dans une nouvelle ère technologique : l'ère du haut débit. Où ces systèmes de télécommunication sans fil font face à une gestion d'un nombre croissant d'utilisateurs connectés avec une exigence de qualité de service comparable à celle des réseaux filaires [1].

Cette évolution spectaculaire à systèmes de télécommunications sans fil a donné une expansion significative vue dans les technologies mobiles et cellulaires, cette conséquence directe de la demande croissante des données à haut débit. De nos jours, le premier rôle du téléphone, qui était de transmettre de la voix sur une longue distance, ne suffit plus au grand public. On est passé du téléphone prototype de Graham Bell aux téléphones fixes reliés par un réseau de fils électrique ; puis aux téléphones dits mobiles à transmission hertzienne avec de plus en plus de services [2] [3].

Pour soutenir les applications multimédia à large bande avec des débits élevés pour les utilisateurs mobiles, les systèmes de communications mobiles sans fil occupent de plus en plus des bandes passantes de transmission par rapport aux systèmes conventionnelles. En outre, les technologies mobiles sans fil sont également devenues rapidement des appareils petits à faible coût. Cependant, les canaux sans fil à large bande souffrent des évanouissements sélectifs en fréquence, qui provoque l'IES. Si on augmente le débit, le problème de l'IES devient plus grave. L'égalisation conventionnelle dans le domaine temporel est devenue

Introduction générale

Impraticable, car elle nécessite un ou plusieurs filtres transversaux avec un nombre de prises qui couvrent la longueur maximale de la réponse impulsionnelle du canal.

Le SC-FDMA ou « Single Carrier Frequency Division Multiple Access » est une nouvelle technique d'accès multiple permettant le partage des ressources radio dans un système de communication radio mobile. En 2008, il a été adopté pour les communications en voix montante de la norme 3GPP LTE dit de "4^{ème} Génération". Comme nous le verrons dans ce travail, ce choix se justifie largement par la faible fluctuation de ce signal autour de sa valeur moyenne et faible sensibilité qui est très bénéfique pour la consommation de l'énergie.

En effet, l'image a touché plusieurs domaines de notre vie, où l'image est une représentation d'une personne ou d'un objet. C'est aussi un ensemble structuré d'informations qui, après affichage sur l'écran, ont une signification pour l'œil humain. Les images numériques comme nous allons le découvrir, forment un énorme ensemble de données, même lorsqu'il s'agit d'une simple image fixe, d'où leur stockage et leur transmission qui deviennent très pénibles. Pour cela, nous observons la naissance de toute une branche de la science, celle qui traite les images fixe et mobile.

L'objectif de ce travail est l'investigation, le test, la clarté et l'efficacité de la transmission d'image sans fil à travers le système SC-FDMA en utilisant différents types de canaux sans fils. Le MSE et le PSNR sont les métriques utilisées pour atteindre notre objectif.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres, comme suit :

Le premier chapitre expose dans un premier temps un aperçu général sur l'OFDM. Le chapitre s'intéresse dans un deuxième temps au système de multiplexage par division en fréquence sur une porteuse unique SC-FDMA. Ensuite, il aborde les deux modes d'allocations utilisés dans SC-

Introduction générale

FDMA à savoir, le mode distribué ISC-FDMA et le mode localisé LSC-FDMA. Enfin, le PAPR et ces concepts sont exposés.

Le deuxième chapitre expose quelques concepts de base sur l'image, la transmission d'image sans fil à travers le système SC-FDMA ainsi que les modèles de transmission à base de DCT et DST. A la fin de ce chapitre nous présentons l'égaliseur ZF et MMSE.

Le dernier chapitre constitue le cœur de notre travail. Il aborde les simulations de la transmission d'image sans fil à travers le système SC-FDMA en utilisant le pré-codeur DFT à savoir, le but de simulation, les différents paramètres, le modèle de simulations et les différents résultats obtenus.

Finalement nous donnons une conclusion et introduisons quelques perspectives.

CHAPITRE I

Le système SC-FDMA

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au système SC-FDMA. Il offre des performances est une complexité globale similaires à l'OFDMA mais utilise en revanche une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse, le système SC-FDMA a le même principe que l'OFDMA, sauf qu'aux les symboles de données sont transformés du domaine temporel à domaine fréquentiel à travers une transformée de Fourier discrète (DFT) avant de passer à la modulation OFDM standard.

I.2. La technique d'accès FDMA

La technique d'accès multiple à division fréquentielle, FDMA, représente la technique la plus utilisée dans les réseaux mobiles de première génération. Avec cette méthode, le spectre est divisé en plusieurs canaux radio (aussi appelées voies ou bandes incidentes, sous-bandes de fréquences) avec une largeur de bande fixée, voir la figure (I.1). Quand un utilisateur désire effectuer un appel, un des canaux est alors exclusivement alloué à cet utilisateur pendant toute la durée de la communication. Un canal de garde se situe entre chacun de ces canaux pour éviter l'intermodulation. Cette technique s'applique principalement aux signaux analogiques [5].

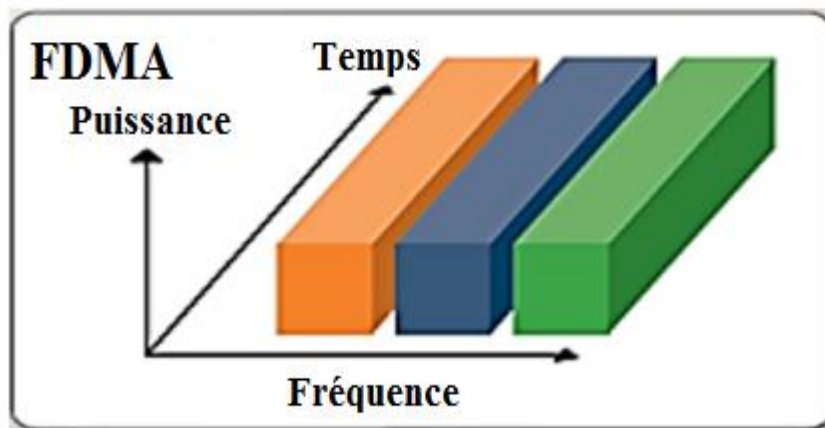


Figure I.1 : Méthodes d'accès multiples FDMA [6].

I.3. Principe de la modulation

I.3.1. La Modulation mono-porteuse

Les systèmes de transmission mono-porteuse sont des systèmes qui transmettent les données de façon séquentielle sur une seule bande de fréquence ou canal physique, autour d'une seule porteuse, Figure (I.2).

Cette technique est certes très simple à mettre en œuvre mais présentent des inconvénients majeurs lorsque nous sommes en présence de canaux multi-trajets très sélectifs. En effet les multiples trajets du canal introduisent une interférence entre symboles (IES) qui affecte la qualité de transmission. Ce phénomène est d'autant plus accentué que le temps symbole du système est faible. Pour combattre cette dégradation, des techniques d'estimations et d'égalisations existent dans la littérature mais on peut déjà limiter ces dégradations en adoptant des mesures de prévention à l'émission comme des formes d'ondes particulières limitant l'IES et qui seront utilisées comme support physique de transmission du signal. D'autres part, chaque symbole de ce système, occupant toute la bande passante de communication, va subir la sélectivité fréquentielle du canal. Ce phénomène sera d'autant plus probable que la bande passante du système est importante c'est-à-dire lorsque le temps symbole est faible. Au regard de ces deux phénomènes on comprend mieux pourquoi cette technique de transmission n'est pas adaptée aux nouveaux systèmes de communication qui requièrent une largeur de bande passante plus importante pour véhiculer plus de débit. Ainsi, d'autres systèmes de transmissions plus adaptés, doivent être pensés pour supporter les exigences actuelles en termes de débit [1].

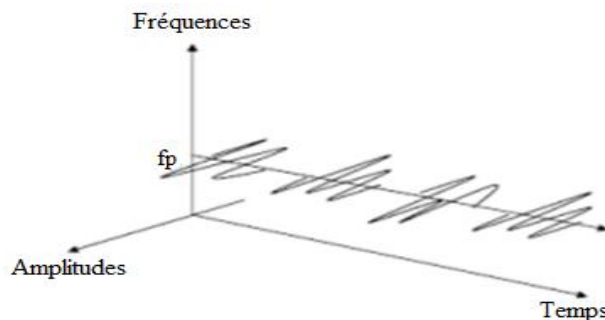


Figure I.2 : La modulation mono-porteuse [1].

I.3.2. La Modulation multi-porteuses

Le principe des techniques qu'on appelle multi porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. En modulant sur N sous-porteuses, il est possible d'utiliser des symboles N fois plus longs tout en conservant le même débit qu'avec une modulation mono-porteuse. L'implémentation de la modulation et de la démodulation se fait à l'aide de la transformée de Fourier rapide FFT (Fast Fourier Transform) [7]. Lorsque en choisissant une valeur assez grande pour N , la durée des symboles devient grande devant l'étalement des retards du canal, et les perturbations liées aux échos deviennent négligeables [8].

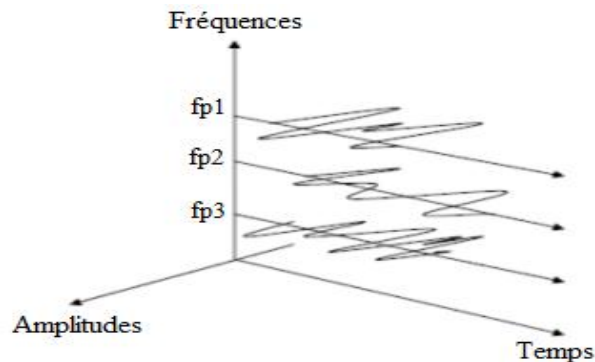


Figure I.3 : La modulation multi-porteuses [1].

I.4. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple)

I.4.1. La chaîne de transmission OFDM

Le synoptique de la figure (I.4) illustre les différents modules qui composent la chaîne de transmission OFDM. Le modulateur M-QAM transforme les données binaires b_i de durée T_b en symboles complexes X_k de durée $T_q = \log_2 M T_b$, où M est la taille de la constellation de la modulation QAM utilisée. Le convertisseur série-parallèle dispose les symboles X_k en

groupes (trames) de N symboles, la durée d'une trame T_u est N fois plus grande que la durée d'un symbole en série T_q . Par conséquent, l'effet de canal devient moins nuisible. En appliquant ensuite une transformée de Fourier inverse, on obtient la trame (symbole) OFDM. L'IFFT est utilisée afin de transformer le spectre du signal OFDM au domaine temporel pour la transmission à travers le canal. Un préfixe cyclique de durée T_g copie les N_g derniers symboles de la trame OFDM et les ajoute ensuite au début de la trame. Après conversion parallèle-série, on obtient enfin le symbole OFDM. Qui contient $N_s = N + N_g$ symboles de durée totale $T_s = T_u + T_g$ que l'on transmet à travers un canal à évanouissements.

À la réception, les opérations inverses sont réalisées, commençant par la suppression du préfixe cyclique, la décomposition spectrale des échantillons reçus calculée en utilisant l'algorithme FFT, et enfin la démodulation pour retrouver les données binaires transmises. On note que dans cette figure on n'a pas mentionné les blocs de codage et d'entrelacement en émetteur ainsi que le décodeur et le dés entrelacer au récepteur [9].

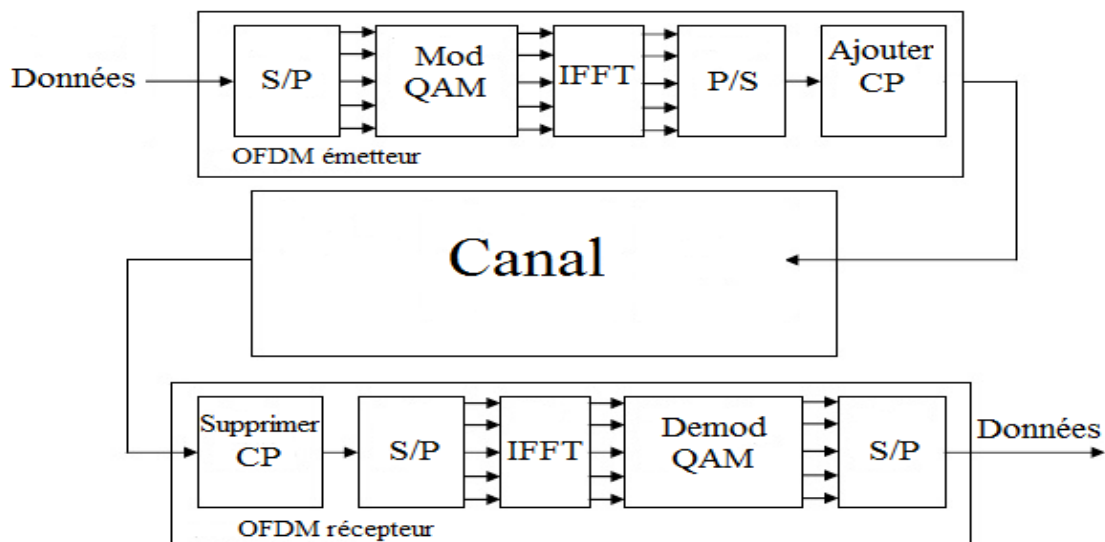


Figure I.4 : Schéma bloc d'un système de transmission OFDM.

I.4.2. La transformée de Fourier discrète

Au tout début de l'utilisation des systèmes parallèles, les opérations de modulation et de démodulation nécessitaient plusieurs banques d'oscillateurs pour générer les fréquences porteuses nécessaires pour la transmission des sous-porteuses. Puisque cela s'est avéré difficile à accomplir, la représentation a été considérée comme infaisable. Grâce aux travaux de Weinstein et Ebert, la transformée de Fourier, en particulier l'algorithme de la transformée de Fourier discrète, a éliminé la complexité initiale du schéma OFDM. La transformée de Fourier et son inverse sont utilisés pour mettre en application les processus de modulation et de démodulation des systèmes OFDM. Dans les systèmes numériques, la forme traditionnelle de la transformée de Fourier est remplacée par la Transformée de Fourier discrète (DFT). La DFT d'un signal $x(n)$ est définie comme suit [9] :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad 1 \leq k \leq N \quad (\text{I.1})$$

Et son inverse associé IDFT est dénoté par :

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j2\pi kn/N}, \quad 1 \leq n \leq N \quad (\text{I.2})$$

Où : N représente la taille de la DFT / IDFT.

I.4.3. L'orthogonalité

La différence fondamentale entre les différentes techniques classiques de modulation multi-porteuses et l'OFDM est que cette dernière autorise un recouvrement spectral entre ces sous-porteuses, ce qui permet d'augmenter sensiblement leur nombre. Cependant, pour que ce

recouvrement n'ait pas d'effet néfaste, les porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité [11].

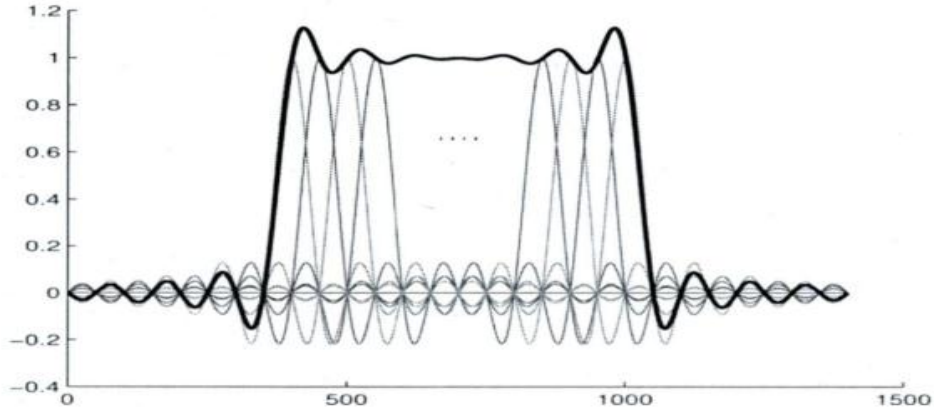


Figure I.5 : Représentation de la nature orthogonale du spectre d'un signal OFDM [9].

Un signal OFDM peut s'écrire sous la forme :

$$x_n(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{n,k} e^{j2\pi f_k t} \quad (\text{I.3})$$

Où : les éléments $X_{n,k}$ sont les symboles à émettre à l'instant n sur la k^{ieme} sous-porteuse, Avec $f_k = f_0 + k \Delta f$, f_0 représentant la fréquence de la Sous-porteuse originale et f_k la fréquence de la sous-porteuse d'indice k , Δf représente l'écart fréquentiel entre deux sous-porteuses voisines et N indique le nombre de sous-porteuse.

Si on pose que :

$$\varphi_k(t) = e^{j2\pi f_k t} \quad (\text{I.4})$$

Alors, les sous-porteuses doivent vérifier la condition d'orthogonalité suivante :

$$\int_0^{T_s} \varphi_q(t) \varphi_q^*(t) dt = \int_0^{T_s} e^{j2\pi f_p t} e^{-2\pi f_q t} dt = \begin{cases} 0, & \text{si } p \neq q \\ 1, & \text{si } p = q \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

Comme vu sur la figure (I.5), quand n'importe quelle sous-porteuse particulière atteint l'amplitude maximale, les sous-porteuses restantes sont à zéro.

I.4.4. L'interférence entre symboles (IES)

Dans un environnement à trajets multiples, un symbole transmis prend différents retards pour arriver au récepteur par différents chemins de propagation. Du point de vue du récepteur, le canal présente une dispersion temporelle dans laquelle la durée du symbole reçu est étalée. Prolonger la durée de symbole fait chevaucher le symbole reçu courant avec les symboles reçus précédemment, ce qui donne naissance à l'interférence entre symboles (IES) [12].

I.4.5. L'interférence entre porteuses (IEP)

L'orthogonalité dans un système OFDM signifie qu'au maximum de chaque spectre d'une sous-porteuse, tous les spectres des autres sous-porteuses sont nuls et les spectres des sous-porteuses se recouvrent mais demeurent orthogonaux entre eux. L'interférence entre porteuses (IEP) est causée par la perte de l'orthogonalité et donc par la présence des symboles de données d'une sous-porteuse sur les sous-porteuses adjacentes [13].

I.4.6. L'intervalle de garde

Il peut subsister une légère interférence entre deux symboles OFDM transmis successivement. Pour s'en affranchir, il est possible d'ajouter un intervalle de garde entre ces deux symboles. Pour que cet intervalle de garde soit efficace, sa durée doit être au moins égale à la durée supérieure

de l'étalement des retards non négligeable du canal. Ainsi les derniers échos du premier symbole OFDM auront lieu durant cet intervalle, et le symbole OFDM suivant ne sera plus perturbé. L'insertion d'une période de garde entre les symboles OFDM successifs éviterait L'IES dans un environnement dispersif. Mais elle n'évite pas la perte de l'orthogonalité entre les sous-porteuses. Peled et Ruiz ont résolu ce problème avec l'insertion d'un préfixe cyclique, c'est-à-dire, remplir l'intervalle de garde avec les derniers symboles de la trame OFDM. Comme montré sur la figure (I.6). Par conséquent, l'égalisation au récepteur devienne très simple [9].

Entre la durée de symbole, la durée utile et l'intervalle de garde s'instaure donc la relation suivante :

$$T_s = T_u + T_g \quad (\text{I.6})$$

L'utilisation d'un préfixe cyclique a l'inconvénient d'exiger de transmettre plus d'énergie, car il faut maintenant transmettre N_s échantillons au lieu de N_s . Cette perte peut être minimisée en choisissant une durée de symbole T_u beaucoup plus longue que la durée du préfixe cyclique T_g [8].

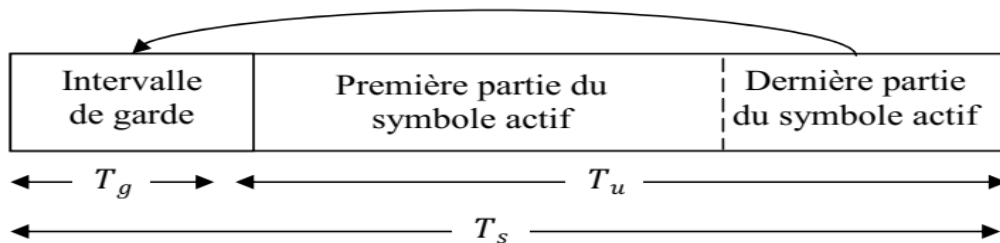


Figure I.6 : L'intervalle de garde est rempli par les derniers symboles de la trame [9].

I.5. Avantages de l'OFDM

OFDM a été utilisé en raison des nombreux avantages qu'elle offre :

✓ **L'immunité à la décoloration sélective** : l'un des principaux avantages de l'OFDM est qu'il est plus résistant à la décoloration à fréquence sélective que les systèmes à porteur unique parce qu'il divise le canal global en plusieurs signaux à bande étroite qui sont affectés individuellement comme le fading sous-canaux.

✓ **Résistance aux interférences** : une interférence apparaissant sur un canal peut être limitée de la bande passante et de cette façon n'affectera pas toutes les sous-chaînes. Cela signifie que toutes les données sont perdues.

✓ **L'efficacité du spectre** : Utilisation de l'interligne sous-porteuses de chevauchement, un important avantage OFDM est qu'il permet d'utiliser efficacement le spectre disponible [7].

I.6. Inconvénients de l'OFDM

Il y a deux problèmes dans le système OFDM. Le premier est au niveau de l'émetteur, et l'autre est au niveau du récepteur.

✓ Le PAPR

Un point qui peut être critique dans les systèmes OFDM est la variation importante de l'amplitude du signal en fonction des symboles à transmettre. En effet, si l'addition des porteuses se fait de manière cohérente, le PAPR peut être très important. Habituellement, ce rapport est défini comme suit :

$$\text{PAPR}(x(t)) = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} (|x(t)|^2)}{E[\frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt]} \quad (\text{I.7})$$

Il est évident que plus le nombre de sous-porteuses est important, plus grande est la probabilité d'avoir un PAPR élevé. La figure (I.7) montre la puissance instantanée d'un signal OFDM ($N = 1024$, pas de préfixe cyclique). On y constate la présence d'un pic très significatif, donnant lieu à un PAPR de 10.20 dB.

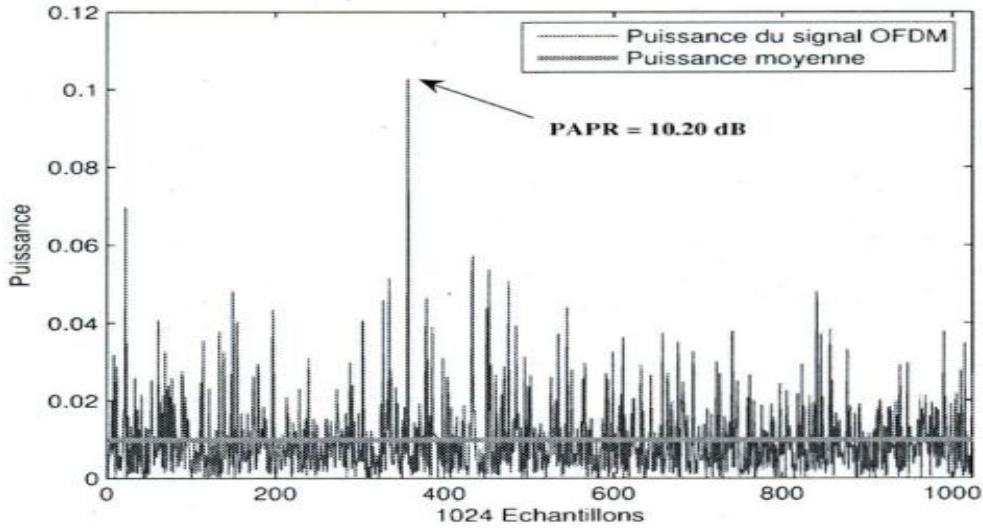


Figure I.7 : Puissance instantanée d'un signal OFDM [14].

✓ Le Décalage Fréquentiel

Le décalage fréquentiel résulte de la différence entre l'oscillateur de l'émetteur et celui du récepteur. En plus, le bruit de phase de l'oscillateur du récepteur peut être lui aussi considéré comme une source du décalage fréquentiel. Le récepteur doit estimer et corriger le décalage fréquentiel responsable de l'interférence entre porteuses. Le décalage fréquentiel cause de l'interférence entre porteuses ce qui mène à une perte de l'orthogonalité entre les sous-canaux. Pollet et al. Ont démontré que les systèmes multi-porteurs sont beaucoup plus sensibles aux décalages fréquents que les systèmes mono-porteurs. Ils ont donné une relation qui détermine la dégradation en termes de SNR :

$$D \approx \frac{10}{\ln 10} \frac{1}{3} \left(\pi N \frac{\Delta F}{R} \right)^2 \frac{E_S}{E_0} \quad (\text{I.8})$$

Où est le décalage fréquentiel normalisé par l'écart entre les porteuses

$$\Delta F = B/N.$$

R le taux de symbole qui est égal N/T_s , et E_s/N_0 est le rapport entre l'énergie par symbole et la densité spectrale de bruit. La sensibilité est donc d'autant plus important.

I.7. Signal carrier-FDMA

Le SC-FDMA est une nouvelle technique d'accès multiple permettant le partage des ressources radio dans un système de communication radio mobile par répartition de fréquence et d'accès multiple à répartition dans les temps (multiplexage fréquentiel et temporel) [10]. Dans cette technique les symboles de données de domaine temporel sont transformés en domaine fréquentiel par DFT avant de passer par la modulation OFDMA. L'orthogonalité des utilisateurs provient du fait que chaque utilisateur occupe différentes sous-porteuses dans le domaine fréquentiel, similaire au cas de l'OFDMA. Parce que le signal de transmission global est un signal porteur unique, le PAPR plus faible que celle de OFDMA [15].

✓ Principe de la modulation

La modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse mais très proche de la modulation OFDMA. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses, non pas directement les symboles source comme en OFDMA, mais leur représentation fréquentielle après les avoir réparties sur la bande du système selon un certain mode que nous présenterons dans l'émetteur SC-FDMA [3]. La figure (I.8) illustre ce principe de modulation.

✓ Principe de la démodulation

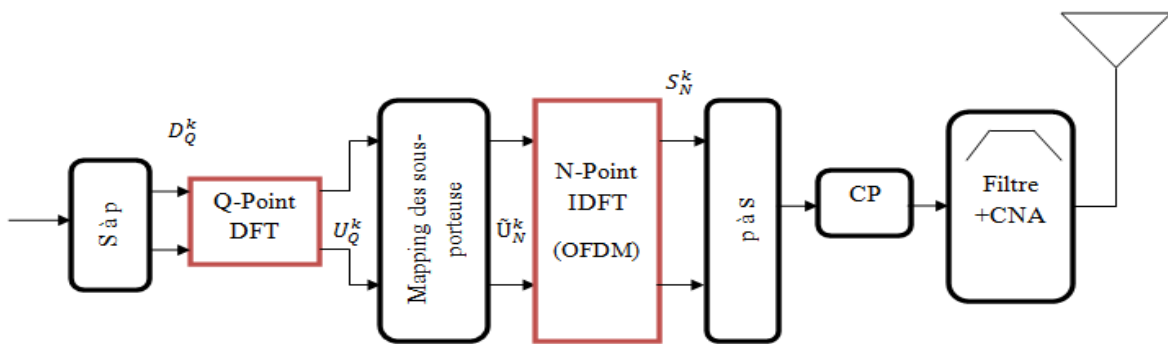
Le signal d'un utilisateur k parvenu au récepteur sur une durée symbole T_s s'écrit comme suit :

$$y^k(t) = \sum_{n \in \Omega_Q^k} u_n^k \int_{T_s} [h_n^k(t - \tau) p(\tau - nT_s) e^{2j\pi f_n \tau}] d\tau \quad (\text{I.9})$$

Où $h_n^k(t)$ représente la fonction de transfert du canal de l'utilisateur k autour de la porteuse f_n à l'instant t . $p(\tau - nT_s)e^{2j\pi f_n \tau}$ représente filtre de mise en forme, Le principe de la démodulation du système SC-FDMA consiste à démoduler le signal sur chacune des sous-porteuse f_n du système. En effet, le signal reçu $y^k(t)$ est d'abord ramené en bande de base, avant d'être échantillonné pour le traitement numérique du signal. Après suppression de l'intervalle de garde, un démodulateur DFT permet d'obtenir les symboles modulant chaque porteuse f_n . Un égaliseur est ensuite mise en œuvre, comme dans la technique SC/FDE, dans le but de supprimer la contribution du canal sur chaque sous-porteuse du signal, et de récupérer ainsi les symboles fréquentiels $\{u_q\}_{0 \leq q \leq Q-1}$. Un démodulateur IDFT permet ensuite de récupérer les symboles sources $\{d_q\}_{0 \leq q \leq Q-1}$ du système [10]. La figure (I.10) illustre ce principe de démodulation.

I.8. Émetteur SC-FDMA

D'après ce que nous venons de voir avec SC-FDMA un étage supplémentaire 'Q-point DFT' est donc ajouté à l'émetteur et un étage N-point IDFT au récepteur. À l'entrée de l'émetteur on aura des symboles modulés.



S à P : série à parallèle

P à S : parallèle à série

CP : préfixe cyclique

Figure I.8 : Émetteur SC-FDMA [1].

En SC-FDMA les données sont organisées en constellation de signal suivant les différentes modulations QPSK, 16-QAM et 64-QAM. Elles sont attribuées aux canaux avec des conditions similaires à l'OFDMA. Cependant au lieu d'envoyer les symboles préalablement modulés en (QPSK ou QAM) directement vers les sous-porteuses comme dans l'OFDMA, les symboles ici, passent après la conversion série- parallèle au bloc DFT qui les transforme en domaine fréquentiel. A sa sortie ces symboles seront modulés aux sous-porteuses par le bloc « Mappage des sous porteuses ». Après cette affectation les sous porteuses modulées, étant dans le domaine fréquentiel seront convertis en domaine temporel via le bloc IDFT pour donner les symboles de sortie.

Les deux autres blocs de la chaine de transmissions sont toutes aussi importantes. Il s'agit d'un bloc de l'insertion de l'intervalle de garde (CP). Elle consiste à insérer à l'entête de chaque bloc à émettre, la copie de la fin du bloc. Le but est d'abord de réduire l'interférence entre les blocs émis introduite par les multi-trajets du canal, mais également de rendre circulaire la convolution du canal afin d'utiliser des techniques d'égalisation fréquentielle simples à mettre en œuvre.

Ces deux blocs suivront les opérations similaires à l'OFDMA. Dans le multiplexage SC-FDMA les signaux sont représentés par des sous-porteuses discrète d'où l'appellation SC pour Single Carrier. Contrairement à l'OFDMA les sous-porteuses SC-FDMA ne sont pas modulées indépendamment mais globalement. L'allocation de la sous porteuse (ressources) joue un rôle important en SC-FDMA [16].

✓ **Filtre de mise en forme**

$$p(t) = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} \cdot \frac{\cos(\pi \alpha t/T)}{1-4\alpha^2 t^2 /T^2} \quad (\text{I.10})$$

$$p(f) = \begin{cases} T & , si \ 0 \leq |f| \leq \frac{1-\alpha}{2T} \\ \frac{T}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi T}{\alpha} \left(|f| - \frac{1-\alpha}{2T} \right) \right] \right\} & , si \ \frac{1-\alpha}{2T} \leq |f| \leq \frac{1+\alpha}{2T} \\ 0 & , si \ |f| \geq \frac{1+\alpha}{2T} \end{cases} \quad (I.11)$$

De plus, pour prévenir l'interférence entre symboles introduit par le canal, on prend le soin d'appliquer des filtres linéaires de mise en forme particulier afin de réduire l'énergie du signal en dehors de la bande passante autorisée. Les filtres en cosinus sur-élevé sont les plus utilisés dont les équations temporelle et fréquentielle sont données en (I.10), (I.11) ou α représente le facteur de Roll-off du filtre. $p(t)$ le filtre de mise en forme utilisé, le signal $S^k(t)$ de l'utilisateur k à la sortie du système sera donné par l'expression suivant:

$$S^k(t) = \sum_{n \in \Omega_Q^k} u_n^k p(t - nT_s) e^{2j\pi f_n} \quad (I.12)$$

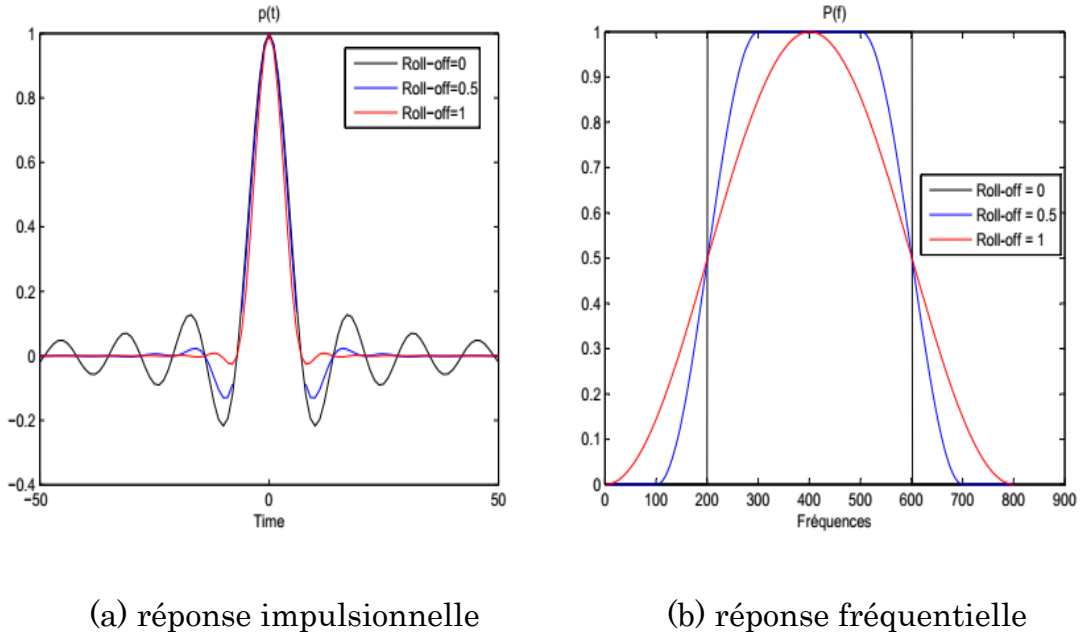


Figure I.9 : Filtre de mise en forme en Cosinus sur-élevé [14].

✓ La Bande Passante du Canal de Transmission

Ainsi que le débit de transmission canal sont donnés par :

$$w_{canal}^{\alpha} = N(1+\alpha).\Delta f \text{ [Hz]} \quad (\text{I.13})$$

$$R_{canal}^{\alpha} = \frac{N}{Q}(1 + \alpha)R_{source} \text{ [Symboles/seconde]} \quad (\text{I.14})$$

Où : $\Delta f = \frac{1}{T_s}$ est l'espacement entre sous-canaux, avec T_s la durée d'un symbole et R_{source} le débit source de chaque utilisateur, et f_c la fréquence Centrale (fréquence RF) du signal transmis dans le canal. On a la relation suivante :

$$f_n = f_c + n.\Delta f, \text{ avec } 0 \leq n \leq N-1 \quad (\text{I.15})$$

Le multiplexage que nous avons évoqué permet de répartir le débit total du signal sur Q sous-porteuses comme en OFDM.

I.9. Récepteur SC-FDMA

Dans la réception de SC-FDMA est quasiment pareil à l'OFDMA mais avec les blocs supplémentaires de « démappage des sous-porteuses » et IDFT. La réallocation des Q sous-porteuses attribués permet d'obtenir N signaux discrets. A la fin de l'IDFT on obtient les signaux SC-FDMA.

Informatifs, ces signaux ne font pas parti des systèmes de modulation SC-FDMA. En transmission de liaison montante SC-FDMA, on a des signaux porteurs de données supplémentaires à savoir les signaux de référence, les signaux de contrôle et le « Radom Access préambule ». C'est signaux sont considérés comme des séquences de signalisation et ont une

amplitude constante avec une auto corrélation nulle. Contrairement aux signaux[16].

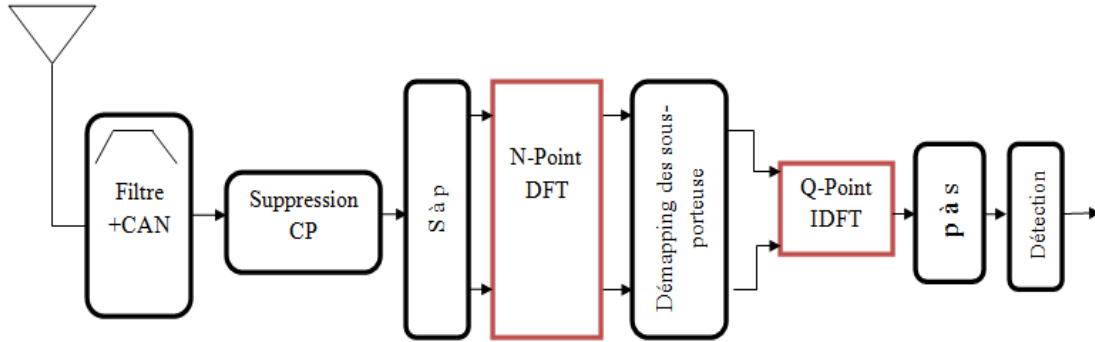


Figure I.10 : Récepteur SC-FDMA [14].

I.10. Mode d'allocation dans le système SC-FDMA

Pour supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, le système utilise la technique de l'étalement spectral permettant d'augmenter la ressource spectrale à partager. Ainsi chaque utilisateur se voit allouée une portion de la largeur de bande totale du système, de manière à éviter toute interférence avec un autre utilisateur c'est parce qu'il dans la modulation SC-FDMA, le multiplexage des utilisateurs du système est effectué dans le domaine fréquentiel[9]. N symboles de domaine fréquentiel, correspondant à un utilisateur sont mappés sur $M > N$ sous-porteuses où M est le nombre total de sous-porteuses attribuées au système SC-FDMA pour tous les utilisateurs [17]. Deux modes d'allocations de ressources existent pour cette modulation : Il s'agit du mode distribué et du mode localisé.

I.10.1. Allocation de ressource en mode distribué

La modulation SC-FDMA qui utilise ce mode d'allocation est appelée I-FDMA ou (Interleaved-FDMA) [18], L-IFDMA comporte plusieurs avantages. Il permet d'une part de garantir l'orthogonalité entre les

différents utilisateurs du système, mais possède également une grande diversité fréquentielle du fait de la répartition des porteuses modulées sur toute la bande passante. C'est parce que dans le mode distribué les Q symboles fréquentiels $U_Q^n(n) = \{U_0^{n,a}, \dots, U_{Q-1}^{n,a}\}$, Correspondant à la sortie du modulateur DFT de l'émetteur, viennent moduler un multiplex de Q sous-porteuses régulièrement réparties sur toute la largeur de la bande passante du système, Figure (I.11). Les $N - Q$ sous-porteuses non modulées sont affectés à des signaux nuls. Cette technique est aussi très intéressante du point de vu implémentation. En effet ce signal peut être généré dans le domaine temporel à une simple compression et répétition du signal source à transmettre avec un déphasage propre à chaque utilisateur sans utilisation des modulateurs DFT et IDFT. Par contre le système I-FDMA est très sensible aux offsets de fréquence qui sont souvent introduit par une mauvaise synchronisation ou une forte mobilité causant ainsi une perte de l'orthogonalité entre les utilisateurs.

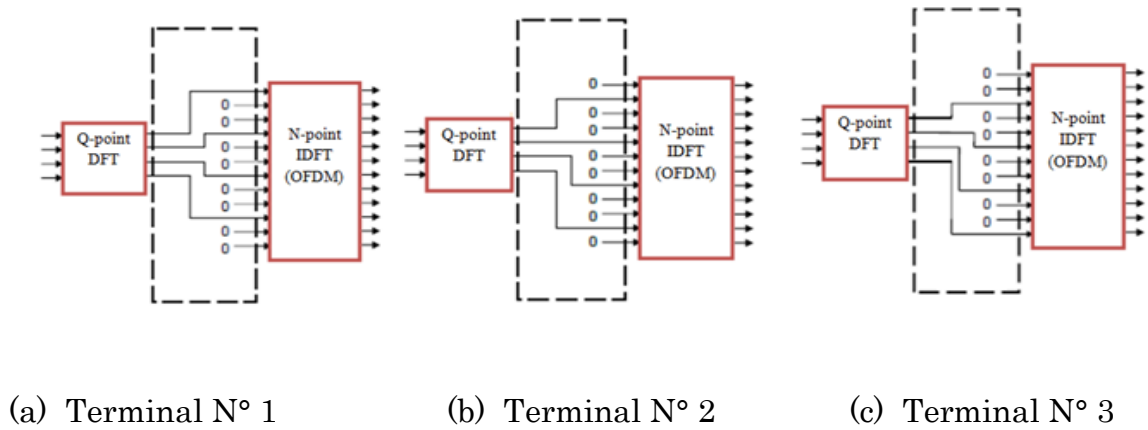


Figure I.11: Mapping I-FDMA [1].

L'analyse algébrique montre que le signal $s^k(t)$ de l'utilisateur k à la sortie du modulateur SC-FDMA est donné par l'équation (I.12). La discrétisation de ce signal ramené en bande de base donne la suite de

symboles S_N^k obtenue par la transformée de Fourier Inverse (IDFT) (voir figure émetteur) du bloc $\tilde{U}_N^k$. Le bloc $\tilde{U}_Q^k$ étant obtenu par étalement spectral du bloc U_Q^k de l'utilisateur k , la relation entre les symboles $\tilde{u}_n^k$ et u_n^k est donnée par l'équation (I.16).

$$\tilde{u}_n^k = \begin{cases} u_{(n-k)/L}^k, & \text{sinon } L.q+k, (0 \leq q \leq Q-1) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{I.16})$$

La relation entre les symboles $\{S_m^k\}_{0 \leq m \leq N-1}$ du vecteur S_N^k de la sortie du modulateur I-FDMA et les symboles $\{\tilde{u}_n^k\}_{0 \leq m \leq N-1}$ obtenus après étalement spectral est donnée par la relation ci-dessous :

$$S_m^k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{u}_n^k e^{2j\pi \frac{m}{N} n}, m \in [0, \dots, N-1] \quad (\text{I.17})$$

Etant donné que le nombre de sous-porteuses total N obtenu avec l'étalement spectral est plus élevé que le nombre de sous-porteuse Q réellement allouées à chaque utilisateur, on peut indexer chaque sous-porteuse par $m \in [0, \dots, N-1]$ en fonction de Q et L comme indiqué en (I.18) avec $L = \frac{N}{Q}$.

$$m = Q.L.p, \text{ avec } p \in [0, \dots, Q-1] \text{ et } l \in [0, \dots, L-1] \quad (\text{I.18})$$

D'après l'équation (I.19), les termes $\tilde{u}_n^k$ sont nuls sauf pour $n = L.q + k$ où on a $0 \leq q \leq Q-1$. Ainsi puisque $N = Q.L$, la somme de l'équation (I.17) peut se simplifier en (I.19) en ne considérant que les termes en $n = L.q + k$:

$$S_m^k = S_{Q \cdot l + p}^k = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k \cdot e^{j2\pi \frac{qp}{Q}} \right) \cdot e^{j2\pi \frac{km}{N}} \quad (\text{I.19})$$

Dans cette équation nous reconnaissons une Transformée Inverse de Fourier des symboles u_q^k dont le résultat n'est rien d'autre que les symboles sources de la constellation d_p^k . Nous constatons également l'apparition d'une expression de phase donnée par le vecteur $e^{j2\pi \frac{km}{N}}$ qui est spécifique à chaque utilisateur k . Le signal à la sortie du modulateur I-FDMA peut donc s'écrire comme suit :

$$S_m^k = S_{Q \cdot l + p}^k = \frac{1}{L} \cdot d_p^k \cdot e^{j2\pi \frac{km}{N}} \quad (\text{I.20})$$

Où $l \in [0, \dots, L - 1]$ et $p \in [0, \dots, Q - 1]$. Une écriture plus condensée de cette expression est donnée en (I.21). On en déduit donc l'expression mathématique du signal I-FDMA comme suit :

$$S_m^k = \frac{1}{L} \cdot d_{m \bmod Q}^k \cdot \Phi_m^k, \text{ avec } m \in [0, \dots, N - 1] \quad (\text{I.21})$$

Où $\Phi_k = \{e^{j2\pi \frac{km}{N}}, m \in [0, \dots, N - 1]\}$, est le vecteur de rotation de phase appliqué au signal de l'utilisateur k .

I.10.2. Allocation de ressource en mode localisé

La modulation SC-FDMA est utilisé autre mode d'allocation de ressources appelé L-FDMA « Localise FDMA » Dans la figure (I.12) chaque utilisateur utilise seulement une partie de la bande passante totale et des sous-porteuses de fréquence contiguës sont utilisées pour la transmission de données. La structure de bloc fournit la robustesse au porteur décalages de fréquence ainsi que fournit une grande diversité multiutilisateur en cas d'allocation adaptative de ressources. L-FDMA montre moins diversité de fréquence en tant que sous-porteuses attribuées

à chaque utilisateur est localisé dans une partie de la bande passante. Par contre le système est plus robuste à l'offset de fréquence en garantissant dans ce cas l'orthogonalité des signaux des différents utilisateurs. Il s'agit du mode localisé système LFDMA Cette fois-ci les Q symboles fréquentiels $U_Q^k = \{U_0^k, \dots, U_{Q-1}^k\}$, correspondant à la sortie du modulateur DFT, viennent moduler un multiplexe de Q sous-porteuses contigües ; les $N-Q$ autres sous-porteuses non modulées étant affectées à des signaux nuls.

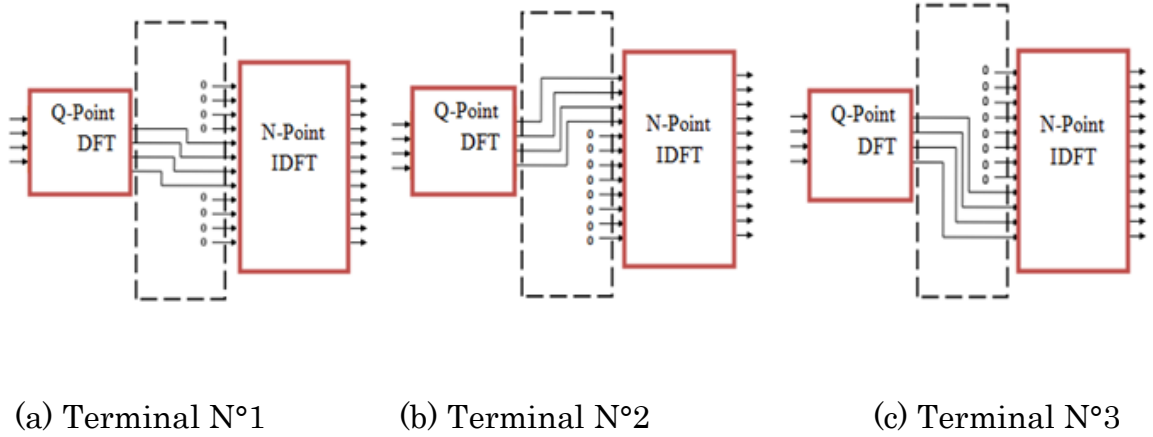


Figure I.12: Mapping L-FDMA [1].

Dans le cas présent la relation entre les suites de symboles $\tilde{u}_k$ et u_k de la chaîne de transmission Figure (I.8), est donnée par :

$$\tilde{u}_n^k = \begin{cases} u_q^k & , \text{sin} = Q.k + q, (0 \leq q \leq Q-1) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{I.22})$$

En prenant la transformée de Fourier inverse de ces symboles, on obtient les symboles S_m^k de la sortie du modulateur I-FDMA, donnés par :

$$S_m^k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{u}_n^k e^{2j\pi \frac{m}{N} n}, m \in [0, \dots, N-1] \quad (\text{I.23})$$

D'après l'équation (I.25), les termes $\tilde{u}^k$ sont nuls sauf pour $n = Q \cdot k + q$ où on a $0 \leq q \leq Q-1$. Ainsi, puisque $N = Q \cdot L$, la somme de l'équation (I.26) peut se simplifier en (I.17) en ne considérant que les termes en $n = L \cdot q + k$:

$$S_m^k = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k e^{2j\pi \frac{m \cdot q}{Q \cdot L}} \right) \cdot e^{2j\pi \frac{m \cdot k}{L}} \quad (\text{I.24})$$

De plus, $m \in [0, \dots, N-1]$ implique qu'il existe $p \in [0, \dots, L-1]$ et $l \in [0, \dots, Q-1]$ tel que $m = L \cdot l + p$. Suivant la valeur du paramètre p , deux cas de figure se présentent : Lorsque $p = 0$, l'équation (I.24) devient :

$$\begin{aligned} S_m^k &= S_{L \cdot l}^k \\ S_m^k &= \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k e^{2j\pi \frac{(L \cdot l) \cdot q}{Q \cdot L}} \right) \\ S_m^k &= \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k e^{2j\pi \frac{l \cdot q}{Q}} \right) \end{aligned} \quad (\text{I.25})$$

Dans cette dernière équation nous reconnaissons une transformée de Fourier inverse des symboles u_q^k dont le résultat n'est rien d'autre que les symboles sources d_l^k , voir la chaîne de transmission, Figure (I.8). Le signal à la sortie du modulateur L-FDMA pour le cas présent, peut donc s'écrire comme suit :

$$S_{L \cdot l}^k = \frac{1}{L} \cdot d_l^k, \text{ avec } l \in [0, \dots, Q-1] \quad (\text{I.26})$$

Lorsque $p \neq 0$, l'équation (I.30) se développe comme suit :

$$S_m^k = S_{L \cdot l + p}^k = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k e^{2j\pi \frac{(L \cdot l + p) \cdot q}{Q \cdot L}} \right) \cdot e^{2j\pi \frac{(L \cdot l + p) \cdot k}{L}} \quad (\text{I.27})$$

Les termes u_q^k étant la transformée de Fourier des symboles sources, sont donnés par :

$$u_q^k = \frac{1}{Q} \sum_{r=0}^{Q-1} d_r^k \cdot e^{2j\pi \frac{r \cdot q}{Q}} \quad (\text{I.28})$$

Posons : $\Phi_l^k = e^{2j\pi \frac{(L \cdot l + p) \cdot k}{L}} = e^{2j\pi \frac{lk}{L}}$. L'équation (I.27) devient :

$$\begin{aligned} S_m^k &= \frac{1}{L} \left[\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} \left(\sum_{r=0}^{Q-1} d_r^k \cdot e^{-2j\pi \frac{r \cdot q}{Q}} \right) \cdot e^{2j\pi \frac{(L \cdot l + p) \cdot q}{Q \cdot L}} \right] \cdot \Phi_l^k \\ &= \frac{1}{L} \left[\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} d_r^k \left(\sum_{r=0}^{Q-1} e^{-2j\pi \left\{ \frac{l-r}{Q} + \frac{p}{N} \right\} q} \right) \right] \cdot \Phi_l^k \\ &= \frac{1}{L} \left[\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} d_r^k \left(\frac{1 - e^{2j\pi \frac{p}{L}}}{1 - e^{2j\pi \left\{ \frac{l-r}{Q} + \frac{p}{N} \right\}}} \right) \right] \cdot \Phi_l^k \quad (\text{I.29}) \end{aligned}$$

Ainsi donc pour $p \neq 0$ on a :

$$S_m^k = \frac{1}{L} \left(1 - e^{2j\pi \frac{p}{L}} \right) \left[\frac{1}{Q} \sum_{r=0}^{Q-1} \left(\frac{d_r^k}{1 - e^{2j\pi \left\{ \frac{l-r}{Q} + \frac{p}{N} \right\}}} \right) \right] \cdot \Phi_l^k \quad (\text{I.30})$$

En résumé, l'expression mathématique du signal temporel LFDMA est donné ci-dessous.

Pour : $m = L \cdot l + p$, avec $p \in [0, \dots, L - 1]$ et $l \in [0, \dots, Q - 1]$

$$x_m^k = x_{L \cdot l + p}^k = \begin{cases} \frac{1}{L} \cdot d_l^k, & \text{si } p = 0 \\ \frac{1}{L} \left(1 - e^{2j\pi \frac{p}{L}}\right) \left[\frac{1}{Q} \sum_{r=0}^{Q-1} \left(\frac{d_r^k}{1 - e^{2j\pi \left(\frac{l-r}{Q} + \frac{p}{N}\right)}} \right) \right] \cdot \Phi_l^k, & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{I.31})$$

Au niveau récepteur, lorsque le système fonctionne dans sa capacité maximale en termes de nombre d'utilisateurs, le spectre du signal est donné par la Figure (I.13). On peut constater l'orthogonalité entre les différentes sous-porteuses allouées à chaque utilisateur, et également l'orthogonalité entre les utilisateurs dans le domaine fréquentiel. En présence d'offset de fréquences, il est clair que le mode localisé est plus robuste que le mode distribué [19]. Ceci vue à travers la simulation.

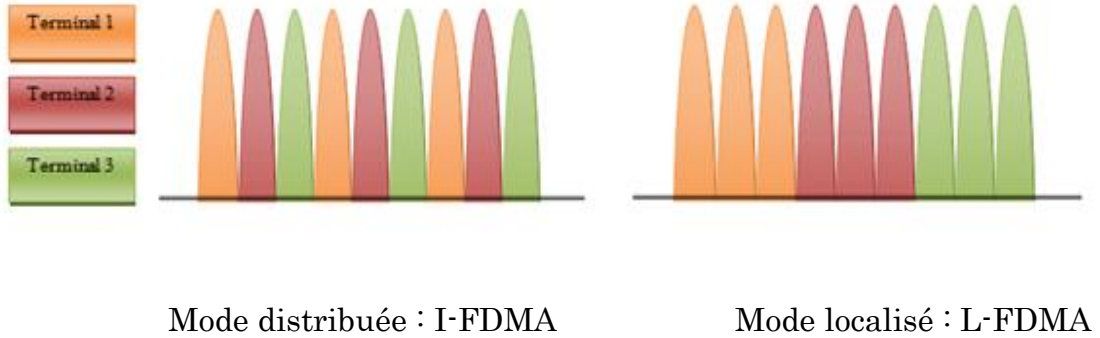


Figure I.13 : Spectre des modes I-FDMA et L-FDMA.

I.10.3. Comparaison des modes I-FDMA et L-FDMA

dans lequel les données du bloc DFT sont mappées sous-porteuses qui sont également espacées sur toute la bande passante. Les lieux inoccupés sont initialisés avec zéro. IFDMA fournit une plus grande diversité de fréquence par rapport à la LFDMA étant donné que les sous-porteuses sont réparties sur toute la bande passante. Performances PAPR s'améliore

mais BER se dégrade par rapport à L-FDMA. I-FDMA fournit une flexibilité dans l'allocation des sous-porteuses [17].

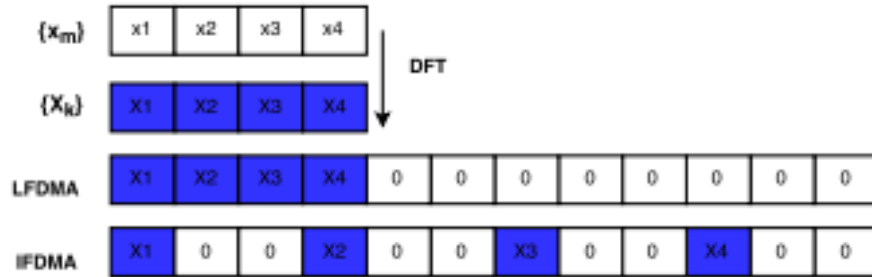


Figure I.14 : Schéma de mappage de sous-porteuse dans le domaine fréquentiel [17].

Le choix du multiplex de fréquences allouées à chaque utilisateur peut se faire de deux manières : Soit de façon statique c'est à dire sur toute la durée de la communication, soit par un algorithme d'ordonnancement de canaux CDS ou « Channel Dépendent Scheduling » qui octroie à chaque utilisateur, le multiplex de sous-porteuses en fonction de la qualité de son canal de transmission. Un utilisateur peut se voir octroyer différents multiplex de sous-porteuses durant la même communication ou même être supprimé du système lorsque son canal de transmission est très médiocre. De plus, le CDS permet d'accroître considérablement la diversité multiutilisateur ainsi que le débit total du système dans le cas du mapping L-FDMA comparé à celui de l'I-FDMA [20]. Cela se justifie par le fait que le mapping I-FDMA, pour laquelle les sous-porteuses sont réparties sur toute la totalité de la bande disponible, aura un débit meilleur que dans la sous-bande déterminée par le CDS, Ce Pour l'une ou l'autre des deux techniques d'allocation.

I.11. Capacité du SC-FDMA

La capacité d'un canal de communication radio avec une puissance de transmission constante P est exprimée par la relation suivante :

$$C = W \cdot \log_2(1 + \frac{SNR_{1.0MHz}}{W}) \text{ Mb/s} \quad (\text{I.32})$$

Avec : W est la bande passante en MHZ

$SNR_{1.0MHz}$: est le SNR à l'intérieur de la largeur de bande de 1.0 MHz avec la puissance d'émission constante P .

La capacité de la SC-FDMA est donnée par la relation :

$$C_{SC-FDMA} = \left(\frac{T_s}{T_s + \Delta} \right) \times \log_2 \left(1 + \frac{KP}{fKP + N_0} \times \frac{1}{10^{(L_{SC-FDMA}/10)}} \right) [b/s/Hz] \quad (\text{I.33})$$

Avec :

- ✓ $\frac{T_s}{T_s + \Delta}$ Représente les pertes de liaison relative à l'OFDMA.
- ✓ K : le nombre d'utilisateurs transmettant simultanément.
- ✓ P : puissance reçue par un utilisateur.
- ✓ f : coefficient d'interférence Co-canal.
- ✓ N_0 : le bruit de fond.
- ✓ α : fraction du signal de l'utilisateur considéré comme une interférence.

Où La capacité est le débit maximal admissible soit sans erreur (théorique) soit pour un taux d'erreur donnée (pratique), elle est exprimée en bits par seconde [21].

I.12. Étude du PAPR du signal SC-FDMA

Le SC-FDMA est une technique d'accès multiple qui s'est imposée dans la nouvelle norme 3GPP LTE à cause principalement de son faible PAPR comparé aux techniques existantes. La notion de PAPR [22] [23] est très importante dans les systèmes de communications. Il est directement lié à la consommation énergétique des amplificateurs de puissance dans les

émetteurs radio mobile et est également un indicateur du risque de distorsion du signal par l'amplification.

Dans cette partie du chapitre nous introduisons la notion du PAPR, le cas spécifique du PAPR du signal SC-FDMA sera examiné et comparé par la suite à celui de l'OFDMA.

Le PAPR d'un signal $x(t)$ ou « Peak to Average Power Ratio » est par définition le rapport entre la puissance maximale du signal $x(t)$ et sa puissance moyenne sur un temps donné. Cette quantité indique l'amplitude des excursions autour de la valeur du signal d'entrée.

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} (|x(t)|^2)}{\frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt} \quad (I.34)$$

Un signal à faible PAPR possède de faibles excursions autour de sa valeur moyenne, contrairement à un signal à fort PAPR possède des excursions très importantes autour de sa moyenne [21].

I.12.1. Évaluation du PAPR du signal SC-FDMA

Dans cette partie nous examinons le PAPR du signal SC-FDMA [15]. Pour cela le signal émis, qui peut s'écrire comme suit où représente la fréquence RF du système.

$$S^k(t) = \frac{1}{N} e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{N-1} S_m^k p(t - mT) \quad (I.35)$$

La relation (I.34) permet de définir le PAPR du signal SC-FDMA de l'utilisateur k comme suit :

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} (|s^k(t)|^2)}{\frac{1}{T} \int_0^T |s^k(t)|^2 dt} \quad (I.36)$$

Le filtrage remonte le PAPR du signal [24] mais lorsqu'aucun filtre de mise en forme n'est utilisé le PAPR du signal SC-FDMA de l'utilisateur k se calcule simplement à partir de ses symboles S_m^k émis :

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq m \leq N-1} (|S_m^k|^2)}{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} |S_m^k|^2} \quad (I.37)$$

La suite de symboles $\{S_m^k\}_{0 \leq m \leq N-1}$ suit une loi aléatoire car générée à partir des symboles sources tirés dans un alphabet de Q éléments selon une loi uniforme. Dès lors le PAPR du signal devient une variable aléatoire. Il est donc nécessaire d'utiliser la distribution du signal pour le calcul de la valeur maximale des échantillons $|S_m^k|^2$ ainsi que de leur valeur moyenne.

En résumé, pour déterminer le PAPR du signal SC-FDMA nous simulerons la chaîne de transmission du système pour générer les symboles $\{0 \leq m \leq N-1\}$ sur une période T ; l'équation (I.37) ou (I.36) sera ensuite appliquée pour déterminer numériquement le PAPR du signal.

I.12.2. Étude comparative du PAPR du signal SC-FDMA et OFDMA

Le système SC-FDMA a des ressemblances à bien des égards avec le système OFDMA. Sur la figure (I.15), on peut observer que le SC-FDMA n'est rien d'autre que de l'OFDMA avec un pré-codage DFT suivi d'un multiplexage particulier dans le domaine fréquentiel. Cette figure permet de relever les points communs entre ces deux techniques qui sont les suivants :

- ✓ Une transmission des données en blocs.

- ✓ Un multiplexage des données en fréquentiel au sens où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- ✓ Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- ✓ Un intervalle de garde pour prévenir des interférences entre blocs.
- ✓ Une complexité globalement équivalente.

La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que le SC-FDMA est quant à elle une technique mono-porteuse.

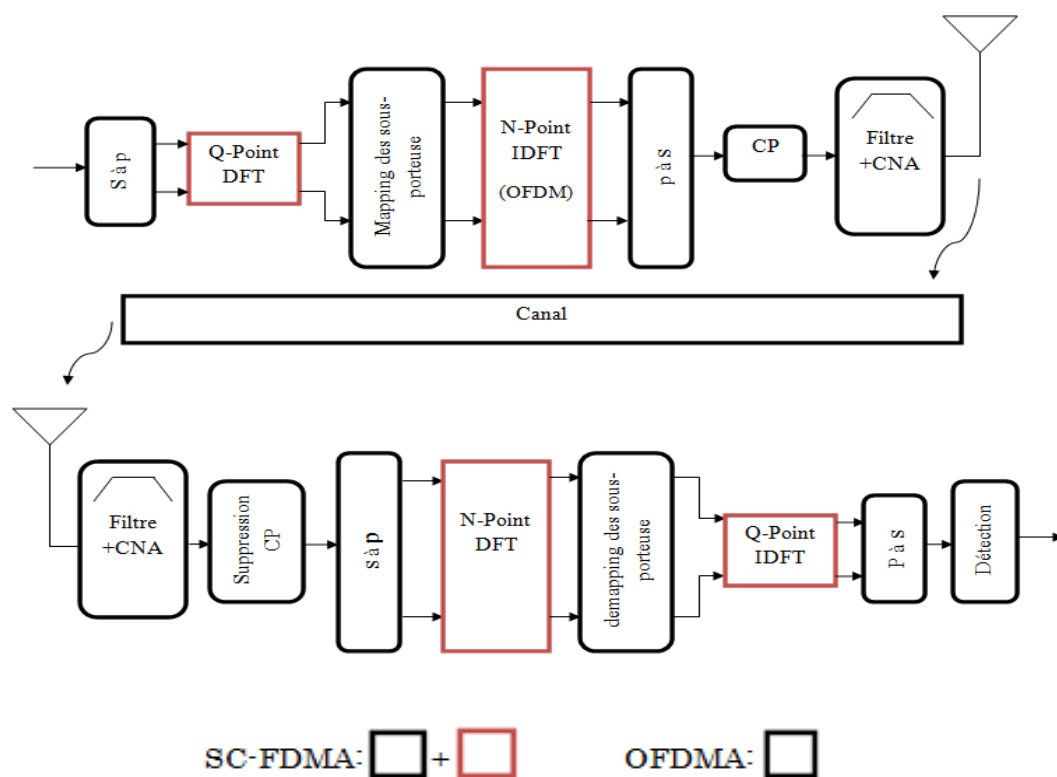


Figure I.15 : Émetteur / Récepteur des systèmes OFDMA et SC-FDMA [1].

I.13. Conclusion

Le système OFDM est présenté dans ce chapitre comme solution de la sélectivité en fréquence dans les canaux de propagation multi-trajet. Le fort PAPR et le CFO sont les inconvénients majeurs de ce système. Le système SC-FDMA est abordé aussi dans ce chapitre. Ce système offre des performances similaires à l'OFDM avec un faible PAPR à cause de la mono porteuse à l'émetteur. Ce dernier est utilisé dans la voie montante de LTE 4G. L'image et sa transmission à travers ce système font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II

L'image et sa transmission

II.1. Introduction

L'image est un support d'information très performant, et comme on dit: une image vaut plus que mille mots. Vu l'importance de l'image, et la grande quantité d'information qu'elle peut contenir, le monde s'intéresse de plus en plus à l'image et tends vers l'universalisation de son utilisation où l'image a touché plusieurs domaines de notre vie. Ce chapitre présente les concepts de base de l'image et sa transmission à travers le système SC-FDMA.

II.2. Formation de l'image

La formation d'image est le processus par lequel une scène visuelle est transformée en une forme qui peut être traitée. Ce processus de formation d'image est illustré à la figure (II.1). Sur cette figure, un objet $f(x_1, y_1)$ dans le système de coordonnées (x_1, y_1) , appelé plan objet, est éclairé par une source d'énergie rayonnante. L'énergie rayonnante transmise se propage dans l'espace. Un système de formation d'image intercepte l'énergie rayonnante de propagation et la transforme de telle sorte que dans le système de coordonnées (x, y) , que l'on appelle plan d'image, une image est formée. Le processus de formation de l'image dépend de la lumière et donc la perception de la lumière présente un grand intérêt pour la transmission d'image [25].

II.3. Définition de l'image

Une image peut être définie comme une fonction bidimensionnelle (2D), $f(x, y)$, où x et y sont des coordonnées spatiales (plan), et l'amplitude de F à n'importe quelle paire de coordonnées (x, y) est appelé l'intensité ou le niveau de gris de l'image à ce moment-là. Lorsque x , y et les valeurs d'amplitude de f sont toutes des quantités finies et discrètes, nous appelons l'image, une image numérique. Notez qu'une image numérique est composée d'un nombre fini d'éléments, dont chacun a un emplacement et une valeur particuliers. Ces éléments sont appelés éléments d'image ou

pixels. L'image est inexploitable par la machine, ce qui nécessite sa numérisation.

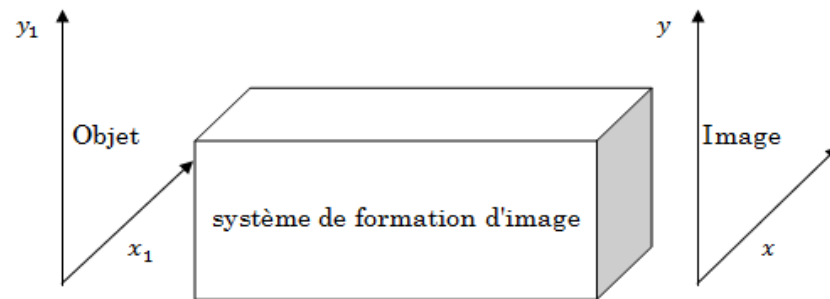


Figure II.1 : Modèle de système d'imagerie linéaire [25].

II.3.1. Image analogique

Une image analogique peut être représentée mathématiquement comme une gamme continue de valeurs représentant la position et l'intensité.

II.3.2. Image Numérique

Contrairement aux images obtenues à l'aide d'un appareil photo (analogique), ou dessinées sur du papier, les images manipulées par un ordinateur sont numériques (représentées par une série de bits). L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs prélevé à l'emplacement correspondant dans l'image réelle, ou calculé à partir d'une description interne de la scène à représenter.

II.3.2.1. L'image en pixel (Bitmap)

une image bitmap est constituée de pixels et se réduit donc à une matrice de points. Ce ne sont pas des formules mathématiques qui définissent les formes, mais un ensemble de pixels qui agissent comme un tableau pointilliste.

✓ **Applications**

- ✓ Dessins type artistique, image qualité photo, animations.....

✓ **Les Formats**

✓ JPG ou JPEG (Joint Photographique Experts Group): est un format utilisant une compression destructrice ce qui signifie que le poids de l'image est réduit en supprimant des données peu visibles à l'œil, ce format très utilisé sur Internet, permet d'afficher les images en mode sans perte.

✓ Le GIF (Graphic Inter change Format): Créé par CompuServe, utilise aussi le codage RVB mais le format GIF n'utilise pas toutes les 16 millions de couleurs. Il prend les 256 couleurs les plus courantes pour réaliser l'image au format GIF. Cela permet une bonne algorithmie de compression LZW (Lempel Zip Welch) et un affichage rapide de l'image.

✓ Le PNG (Portable Network Graphics): est un meilleur compromis car il permet une compression sans perte. Les images sont un peu plus lourdes qu'un JPG mais restent fidèles ce qui en fait un format idéal pour échanger des images en cours de production. Contrairement au JPG, le PNG gère une couche alpha permettant d'ajouter des données supplémentaires comme la transparence.

✓ Le BMP (Basic Metabolic Panel): est le format par défaut de Paint sur Windows. Comme son nom le suggère, c'est un pur bitmap. N'étant pas compressé, il est très lourd et à éviter au profit d'un PNG.

✓ Le PSD (Photoshop Document): est le format utilisé par Photoshop. Il contient tous les calques de travail ainsi que les données brutes des images ce qui en fait un format lourd. Il n'est pas destiné à la distribution.

✓ Le TIFF ou TIF (Tagged Image File Format): est utilisé par les imprimeurs car, contrairement au PNG il gère le mode CMJN tout en offrant une compression sans perte. Par contre il n'a pas de transparence et est l'origine Aldus et Microsoft, pour les images scannées [26].

Il existe autre types des formats de l'image bitmap, PCX, TGA.

✓ **Avantages**

✓ Définition de l'image au point près possibilité de dégradés infinis.

✓ Le mode de codage point par point étant relativement universel, une fois cette opération effectuée, le transcodage demande des calculs répétitifs mais relativement simples: la compatibilité est aisée entre les différents formats.

✓ Le mode de codage des images bitmap (24 bits, codage RBG) les rend adaptées au fonctionnement des principaux périphériques, notamment les contrôleurs d'écran "true colors" [27].

✓ **Inconvénients**

✓ Risque de disparition de pixels lors des modifications de taille.

✓ Ne conserve pas les proportions lors des modifications exemple. Agrandissement ou réduction.

II.3.2.2. l'image vectorielle

L'image vectorielle est une représentation conceptuelle de forme calculée par des formules mathématiques, (exemple, un cercle n'est pas déterminé par des pixels mais par une formule mathématique qui détermine sa forme, sa taille et son emplacement).

✓ **Applications**

✓ Dessins techniques, logo, schémas, dessins de référence pour les machines à commandes numériques [28].

✓ **Les Formats**

✓ Le CGM (Computer Graphics Metafile) : Les fichiers graphiques CGM restent un moyen privilégié d'échange de dessins vectoriels entre, applications mais il ne traite pas les images bitmaps.

✓ Le EPS (Postscript / Encapsulâtes Postscript) : Le Postscript est un langage de description de page conçu pour imprimer des documents indépendamment du périphérique utilisé. Il contient toutes les commandes nécessaires pour dessiner l'image sauvegardée.

✓ Le DXF (Drawing eXchange Format) : origine Autocad, standard en CAO(Conception Assistée par Ordinateur) adapté au travail en 2D; connu et très répandu.

Il existe autres types des formats d'images vectorielles par exemple PICT, HPGL.

✓ **Avantages**

✓ Adaptable à chaque périphérique (car ajustable, coordonnées relatives, adaptable aux drivers intelligents,...).

✓ Adapté aux objets mathématiques et leur extension (voiture, avion).

✓ Stockage moins encombrant (la taille ne dépend que de la complexité du document lui-même).

✓ **Inconvénients**

✓ Mal adapté aux images quelconques.

✓ La difficulté de traitement d'une partie de l'image [27].

II.3.2.3. Caractéristiques d'une image numérique

L'image est un ensemble structuré d'informations caractérisé par les paramètres suivants:

✓ **Résolution**

C'est la clarté ou la finesse de détails atteinte par un moniteur ou une imprimante dans la production d'images. Sur les moniteurs d'ordinateurs, la résolution est exprimée en nombre de pixels par unité de mesure (pouce ou centimètre) [29].

✓ **Dimension**

On appelle définition, le nombre de points (pixel) constituant l'image, c.à.d. sa (dimension informatique). Cette dernière se présente sous forme de matrice dont les éléments sont des valeurs numériques représentatives des intensités lumineuses (pixels). Le nombre de lignes de cette matrice multiplié par le nombre de colonnes nous donne le nombre total de pixels dans une image [30].

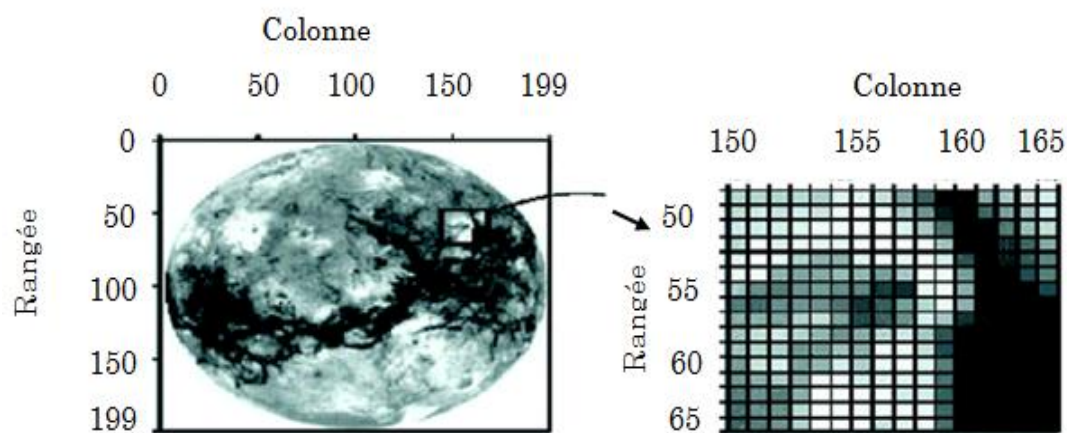


Figure II.2 : Représentation de dimension d'une image [30].

✓ Le pixel

Le pixel, étant le plus petit point de l'image, c'est une entité calculable qui peut recevoir une structure et une quantification. Si le bit est la plus petite unité d'information que peut traiter un ordinateur, le pixel est le plus petit élément que peuvent manipuler les matériels et logiciels d'affichage ou d'impression.

Dans une image couleur (R.V.B.), un pixel peut être représenté sur trois octets : un octet pour chacune des couleurs : Rouge (R), Vert (V) et Bleu (B) [31].

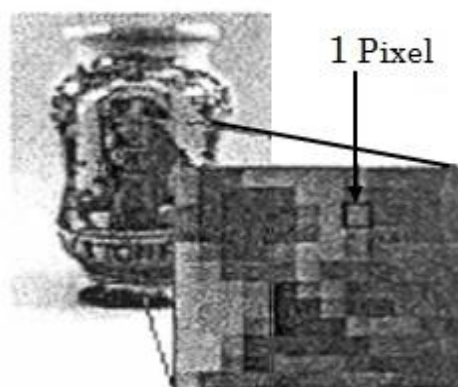


Figure II.3 : représentation de pixel [29].

✓ **Bruit**

Un bruit (parasite) dans une image est considéré comme un phénomène de brusque variation de l'intensité d'un pixel par rapport à ses voisins, il provient de l'éclairage des dispositifs optiques et électroniques du capteur.



Image avec bruit



Image sans bruit

Figure II.4 : Image avec et sans bruit.

✓ **Histogramme de l'image**

L'histogramme des niveaux de gris ou des couleurs d'une image est une fonction qui donne la fréquence d'apparition de chaque niveau de gris (couleur) dans l'image.

✓ **Luminance**

C'est le degré de luminosité des points de l'image. Elle est définie aussi comme étant le quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface, pour un observateur lointain, le mot luminance est substitué au mot brillance, qui correspond à l'éclat d'un objet. Une bonne luminance se caractérise par [30]:

- ✓ Des images lumineuses (brillantes).

✓ Un bon contraste : il faut éviter les images où la gamme de contraste tend vers le blanc ou le noir ; ces images entraînent des pertes de détails dans les zones sombres ou lumineuses.

✓ L'absence de parasites.

✓ Images à niveaux de gris

Le niveau de gris est la valeur de l'intensité lumineuse en un point. La couleur du pixel peut prendre des valeurs allant du noir au blanc en passant par un nombre fini de niveaux intermédiaires [32].

Le nombre de niveaux de gris dépend du nombre de bits utilisés pour décrire la "couleur " de chaque pixel de l'image. Plus ce nombre est important, plus les niveaux possibles sont nombreux.

✓ Images en couleurs

Elle consiste à utiliser 24 bits pour chaque point de l'image. Huit bits sont employés pour décrire la composante rouge (R), huit bits pour la composante verte (V) et huit bits pour la composante bleu (B). Il est ainsi possible de représenter environ 16,8 millions de couleurs différentes simultanément.

Nombres de bits	1 bit/ pixel	8 bit/ pixel	24 bit/ pixel
Nombre de couleurs	2- blanc & noir	256 couleurs	16.8 millions couleurs

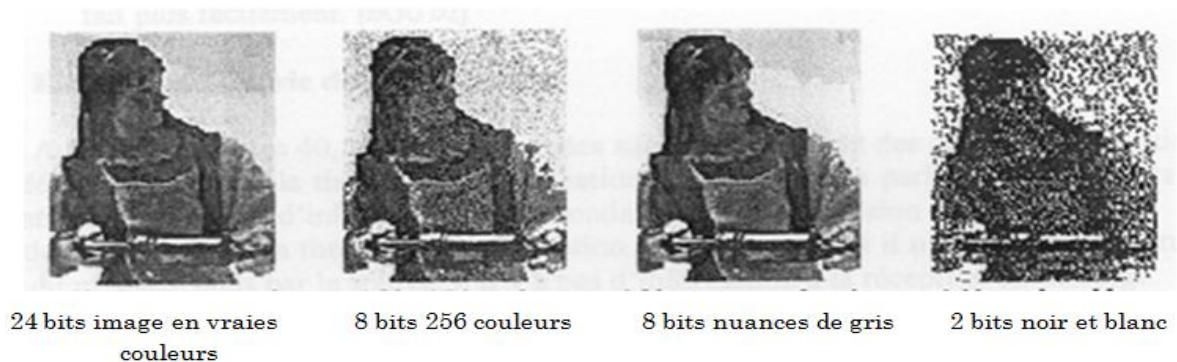


Figure II.5 : le nombre de nuances ou de couleurs dépend du nombre de bits [29].

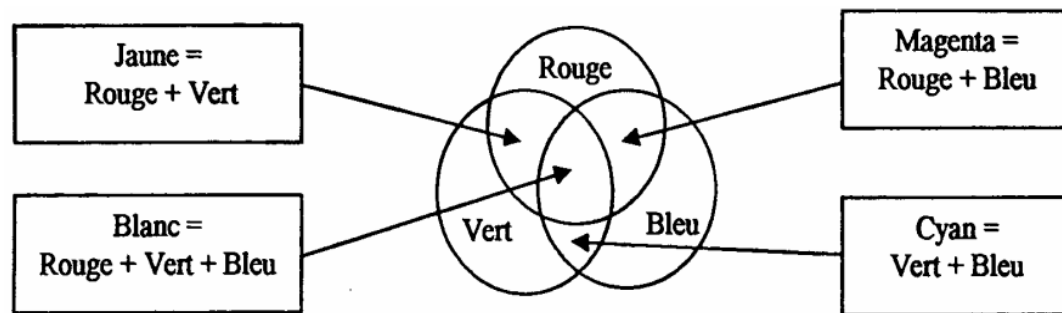


Figure II.6 : Synthèse Additive.

II.4. La numérisation d'image

La numérisation d'une image est la conversion de celle-ci des on était analogique (distribution continue d'intensités lumineuses dans un plan (xoy)) en une image numérique représentée par une matrice bidimensionnelle de valeurs numériques $X(n, m)$.

où: n, m sont les coordonnées cartésiennes d'un point de l'image et $X(n, m)$ le niveau de gris ou de couleur en ce point.

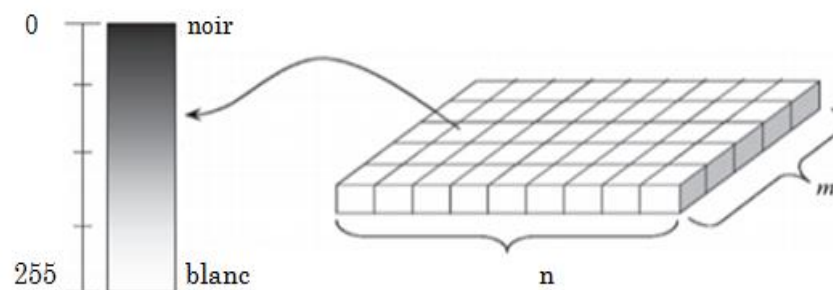


Figure II.7 : Mappage des valeurs de pixels dans l'échelle de gris [25].

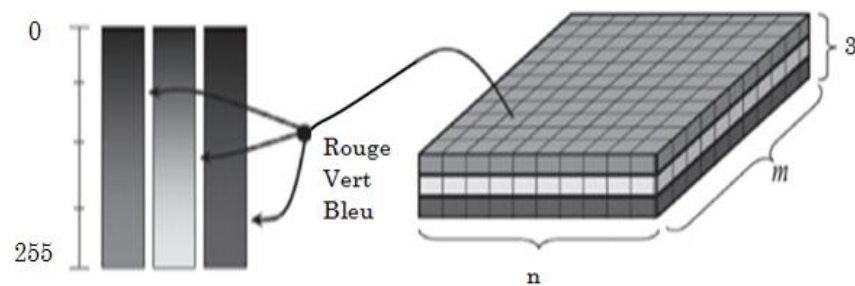


Figure II.8 : le Système de couleurs à 24 bits [25].

Le codage de la couleur est réalisé sur trois octets, chaque octet représentant la valeur d'une composante couleur par un entier de 0 à 255. Ces trois valeurs codent généralement la couleur dans l'espace RVB.

R	V	B	Couleur
0	0	0	noir
0	0	1	nuance de noir
255	0	0	rouge
0	255	0	vert
0	0	255	bleu
128	128	128	gris
255	255	255	blanc

Tableau II.1 : Codage de la couleur.

Où L'acquisition d'une image numérique est réalisée en trois étapes:

✓ **Échantillonnage** : Obtenir des lectures d'intensité à des emplacements régulièrement espacés dans les directions x et y. Ceci est effectué en plaçant une grille régulièrement espacée sur l'image analogique. Les lectures obtenus à ces endroits sont les intensités de pixels.

✓ **Quantification** : Les valeurs d'intensité échantillonnées sont quantifiées arriver à un signal qui est discret dans les deux positions et amplitudes. Ce signal représente l'image [25].

✓ **Encodage** : La conversion des données en une forme binaire. (figure II.2).

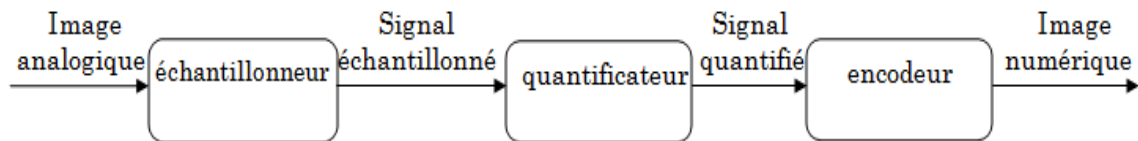


Figure II.9 : Conversion d'une image analogique en une image numérique [25].

La numérisation des images peut aussi se faire de différentes manières [33]:

- ✓ **Les images binaires** : qui contiennent seulement deux niveaux de gris différents.
- ✓ **Les images multi – niveaux** : numérisées sur plus d'un (1) bit par pixel.
- ✓ **Les images multi-canaux** : dont l'exemple classique est celui des images couleurs.

II.4.1. Avantages de la numérisation

II.4.1.1. Recherche

✓ La numérisation facilite et rend plus efficace la recherche par les conservateurs, les étudiants, les enseignants, les érudits, les chargés de cours à l'université, les chercheurs et les spécialistes, car elle permet d'étudier des images disparates dans des contextes nouveaux.

II.4.1.2. Gestion des collections

- ✓ Les rapports sur l'état des objets et les rapports d'évaluation sont plus faciles à produire.
- ✓ Les fonctions de conservation sont accomplies avec plus d'efficacité.
- ✓ L'information contenue dans les systèmes de gestion des collections est améliorée du fait de la présence des données de catalogage nécessaires de la banque d'images de la collection.

II.4.1.3. Conservation

✓ La numérisation offre une stratégie de remplacement pour des objets, par exemple des films et des archives sonores, en voie de détérioration complète.

✓ La manipulation des originaux est réduite au minimum.

✓ La conservation des objets est mise en valeur et améliorée [29].

II.5. Traitements généraux des images

Les traitements généralement appliqués sur l'images sont 2 types [29]:

II.5.1. Amélioration ou retouche de l'image

Le traitement de l'image informatique correspond à toutes les possibilités de travail, retouches ou modifications que l'on peut réaliser avec un ordinateur sur une image (enregistrée) quand elle est affichée à l'écran.

Les logiciels de traitement d'image en pixels permettent de réaliser des modifications sur ces images pour obtenir : modifier la taille à l'écran ou à l'impression, retoucher des couleurs, changer un fond et effacer une partie de l'image.

II.5.2. La compression

La qualité d'une image dépend de sa résolution (nombre de pixels) et du nombre de couleurs utilisées pour coder chaque pixel.

✓ En général image = gros fichier.

✓ Le volume d'une image numérisée est égal à la quantité d'octets utilisés pour le coder.

Les images numériques sont des fichiers volumineux qui occupent beaucoup d'espace sur disque ou allongent considérablement les temps de transmission sur réseau. La compression d'images permet de réduire énormément la taille des images ce ci le but de la compression d'image.

Ce méthode de compression est caractériser par:

II.5.2.1. Rapport et taux de compression

Le rapport de compression est l'une des caractéristiques les plus importantes de toutes les méthodes de compression, il représente le rapport entre le nombre de bits de la forme canonique au nombre de bits après codage [34]:

$$C_R = \frac{\text{nombrebitsavantcompression}}{\text{nombrebitsaprèscompression}} \quad (\text{II.1})$$

Le taux de compression est un pourcentage de l'espace obtenu après la compression par rapport à l'espace total requis par les données avant la compression.

$$T_c = \left(1 - \frac{1}{\text{rapport de compression}}\right) * 100 \quad (\text{II.2})$$

II.5.2.2. Mesure de distorsion

Pour mesurer la distorsion entre l'image reconstruite et l'image originale (Mesure de la qualité visuelle de l'image reconstruite) on va utiliser l'Erreur Quadratique Moyenne MSE (Mean Square Error), c'est l'erreur introduite par l'opération de compression ou utiliser le rapport signal à bruit PSNR.

Pour un $M \times M$ image monochrome, il est défini comme :

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [I_0(i,j) - I_r(i,j)]^2}{M^2} \quad (\text{II.3})$$

Où :

$I_0(i, j)$ est l'image source

$I_r(i, j)$ est l'image reconstruite

Le PSNR est habituellement exprimé en décibels est défini comme suit [25]:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{f_{max}^2}{MSE^2} \right) \quad (II.4)$$

Où f_{max} valeur de pixel maximale possible d'une image f . Pour Pixels de 8 bits, $f_{max} = 255$.

II.6. Applications nécessitant une transmission d'images

La transmission d'image est utilisée dans de nombreuses applications aujourd'hui, parmi les domaines d'application on peut citer :

✓ **Imagerie aérienne et spatiale** : dans laquelle les traitements concernent l'étude des images satellites, l'analyse des ressources terrestres, la cartographie automatique, les analyses météorologiques.

✓ **Imagerie médicale** : on trouve des utilisations de cette technique dans l'échographie, la résonance magnétique nucléaire, ainsi que dans le domaine de la reconnaissance automatique des cellules ou de chromosomes.

✓ **La robotique** : qui connaît actuellement le plus grand développement et dont les tâches usant de l'imagerie sont principalement l'assemblage (pièce mécanique, composants électroniques,...), le contrôle de la qualité, ainsi que la robotique mobile.

✓ **Simulation et contrôle de processus** : on trouve des utilisations de cette technique dans les Cours de pilotage et le contrôle des Panneaux [30].

II.7. Transmission d'image sans fil

La transmission d'image via un canal sans fil nécessite une image compatible avec des caractéristiques du canal telle que la bande passante. Afin de transmettre une image à travers un canal sans fil, diverses caractéristiques telles que le temps de propagation réduit, la consommation d'énergie faible et un débit binaire élevé avec une bande passante efficace sont nécessaires pour une meilleure transmission d'image.

La restriction de la bande passante du canal sans fil exige de réduire la taille des données de l'image transmise. La réduction de la taille des données de l'image est appelée compression d'image, donc l'image à représenter dans un format compact.

Des méthodes de pré-traitement sont mises en œuvre pour améliorer la qualité de l'image avant de compresser efficacement les données. Les méthodes de pré-traitement incluent l'amélioration de l'image, la segmentation et la représentation. Un système de communication sans fil est décrit dans un modèle de communication sans fil d'image .

Puis Les images numériques sont devenues partie intégrante du divertissement, des affaires et de l'éducation dans notre vie quotidienne. L'étude de la communication d'image sur des technologies en évolution telles que SC-FDMA est donc conseillé [35]. Le système de communication d'image avec SC-FDMA est montré à la figure (II.10).

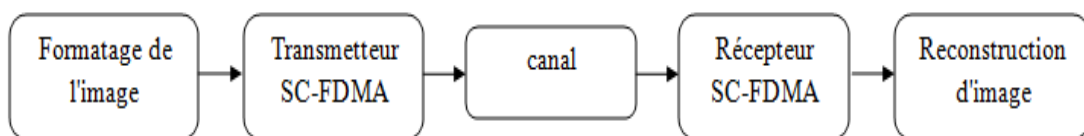


Figure II.10 : Modèle de système de transmission d'image sur le système SC-FDMA [36].

II.7.1. Modèles de systèmes SC-FDMA

II.7.1.1. Système SC-FDMA

Le schéma-bloc du système SC-FDMA est illustré à la figure (II.11) une station de base et des utilisateurs de liaison montante sont supposés. Du côté de l'émetteur, les données codées sont transformées en une séquence multi niveau de nombres complexes dans l'un des plusieurs formats de modulation possibles. Les symboles modulés résultants sont groupés en blocs, chacun contenant des symboles N et la DFT est effectuée. Ensuite, les symboles de données sont mappés, en utilisant la technique de mappage des sous-porteuses entrelacées ou localisées. Après cela, une transformation de Fourier discrète inverse (IDFT) au point M est effectuée et un préfixe cyclique (CP) est ajouté au signal résultant.

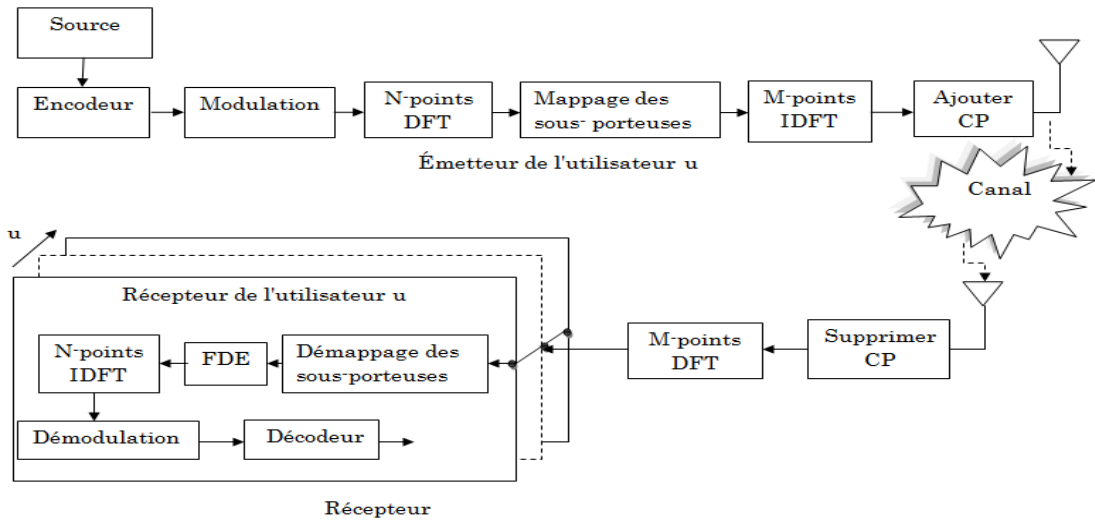


Figure II.11 : Structure du système de liaison montante DFT-SC-FDMA [36].

II.7.1.2. Système DCT-SC-FDMA

La structure du système DCT-SC-FDMA est représentée sur la figure (II.12) sur la partie émettrice, qui est l'unité mobile, la structure du DCT-SC-FDMA est similaire à celle du DFT-SC-FDMA excepté que les blocs IDFT et DFT sont remplacés respectivement par les blocs IDCT et DCT.

Au niveau de la partie réceptrice, qui est la station de base, la structure de la DCT-SC-FDMA utilise toujours la DFT et l'IDFT pour l'égaliseur de domaine de fréquence à une prise en plus des blocs DCT et IDCT. D'un autre côté, la complexité du récepteur du système DCT-SC-FDMA est légèrement supérieure à celle du système DFT-SC-FDMA. Cependant, l'augmentation de la complexité du récepteur dans la liaison montante est tolérable compte tenu des avantages du système DCT-SC-FDMA [25].

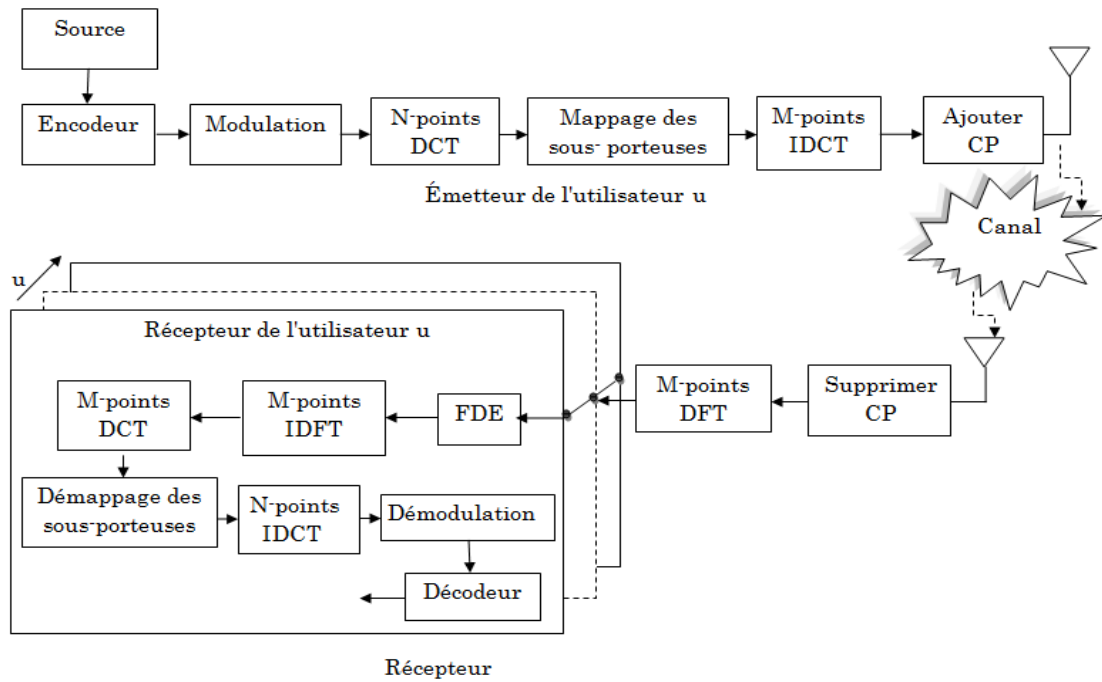


Figure II.12 : Structure du système de liaison montante DCT-SC-FDMA [36].

II.7.1.3. Système DST-SC-FDMA

La structure du système DST-SC-FDMA est similaire à celle du système DCT-SC-FDMA de la sous-section précédente. La différence est que les blocs DCT et IDCT de l'émetteur et du récepteur sont remplacés par les blocs DST et IDST, respectivement dans le système DST-SC-FDMA.

II.8. L'égaliseur

Le FDE (Frequency Domain Equalization) annule l'ISI. Les coefficients d'égalisation $W(m)$ sont calculés selon le type du FDE comme suit:

- L'égaliseur de forçage zéro (ZF):

$$W(m) = \frac{1}{H(m)} \quad m = 0, 1, \dots, N_{DFT} - 1 \quad (\text{II.5})$$

- L'égaliseur d'erreur quadratique moyenne (MMSE) :

$$W(m) = \frac{H^*(m)}{|H(m)|^2 + (E_b/N_0)^{-1}} \quad (\text{II.6})$$

Où : $H(m)$ est la fonction de transfert de canal, $H^*(m)$ désigne le conjugué complexe. (E_b/N_0) est le SNR.

Le ZF FDE inverse parfaitement l'effet du canal dans l'absence de bruit. En présence de bruit, il souffre de phénomène d'augmentation de bruit. D'un autre côté, l'égaliseur MMSE prend en compte le SNR, ce qui rend le compromis optimal entre l'inversion de canal et l'augmentation de bruit [25].

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un récapitulatif sur les notions élémentaires d'image analogique et numérique. Nous avons présenté aussi la transmission d'image sur le système SC-FDMA en utilisant les différents pré-codeurs DFT, DST et DCT. L'investigation par simulation de la transmission d'image sans fil sur le système SC-FDMA fait l'objet de chapitre suivant.

CHAPITRE III

Simulation et résultats

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré aux résultats obtenus lors de notre simulation. On simule la transmission d'image sans fil à base de système SC-FDMA en utilisant le pré-codeur DFT et les différents canaux AWGN, Veh A, Ped A et Uniform. On expose dans ce chapitre le modèle de simulation, les paramètres de simulation et les différents résultats de obtenus.

III.2. Modèle de simulation

Le modèle utilisé lors de notre simulation est représenté par la figure (III.1) pour le système DFT-SC-FDMA.

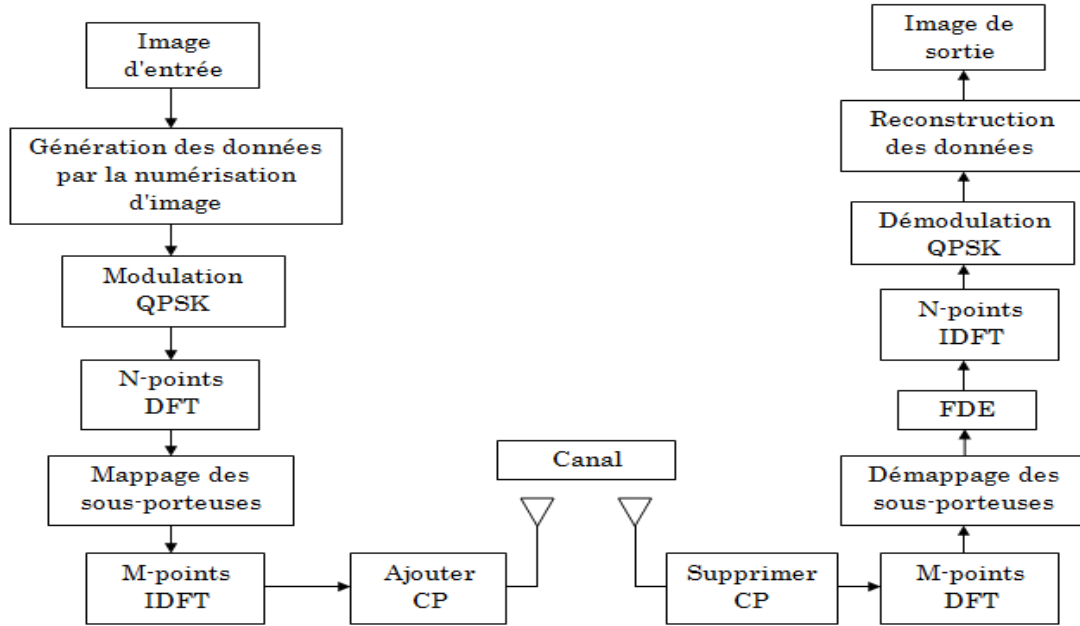


Figure III.1 : Modèle de simulation.

Dans ce modèle de simulation le formatage de l'image est utilisé pour transmettre l'image sur le système SC-FDMA en la convertissant en une forme binaire pouvant être insérée et traitée par le système SC-FDMA. Au début, le signal d'entrée est modulé une QPSK binaire [36]. Ensuite, le signal est transformé en domaine fréquentiel pour produire des symboles fréquents. Après la DFT, le signal résultant peut être exprimé comme suit :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{\frac{j\pi kn}{N}} \quad (\text{III.1})$$

Où : N est la taille du bloc d'entrée.

Les sorties sont ensuite modulées M ($M > N$) sous-porteuses orthogonales suivies par un bloc M-IDFT pour les convertir en une séquence complexe dans le domaine temporel.

M est la taille du bloc de sortie.

A la fin, une partie de l'information utile appelée préfixe cyclique (CP) est ajoutée à chaque symbole pour éviter les interférences (IES).

Au niveau du récepteur, le CP est supprimé, puis le signal reçu est transformé en domaine fréquentiel par M-DFT afin de récupérer les sous-porteuses. L'opération de démappage isole les échantillons de domaine fréquentiel de chaque signal source car le SC-FDMA utilise une modulation mono porteuse.

Les échantillons sont ensuite passés à travers un égaliseur FDE. Puis, on applique N-IDFT pour avoir les symboles dans domaine temporel. Le processus de démodulation récupère les données d'origine, qui sont ensuite transmises à travers le décodeur. La reconstruction d'image est utilisée pour convertir la forme binaire afin de récupérer l'image originale.

III.3. But de simulation

L'objectif de ce travail est d'étudier et de tester l'efficacité de la transmission d'image dans un système sans fil à base de SC-FDMA en utilisant le pré-codeur DFT pour des canaux AWGN, Vehicular A (Veh A), Pedestrian A (Ped A) et Uniform. Pour la comparaison des performances et la clarté des images, on utilise le MSE et le PSNR.

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{f_{max}^2}{MSE^2} \right) \quad (\text{III.2})$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [I_0(i,j) - I_r(i,j)]^2}{M^2} \quad (\text{III.3})$$

$$\text{SNR} = \frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \quad (\text{III.4})$$

Tableau III.1 : Profils de retard de canaux Pedestrian A et Vehicular A de l'UIT [37].

Modèle de canal	Veh A		Ped A	
	Delay (ns)	Puissance(dB)	Delay (ns)	Puissance(dB)
Chemin 1	0	0	0	0
Chemin 2	310	-1.0	110	-9.7
Chemin 3	710	-9.0	190	-19.2
Chemin 4	1090	-10.0	410	-22.8
Chemin 5	1730	-15.0	-	-
Chemin 6	2510	-20.0	-	-

III.4. Les paramètres de simulation

Les paramètres utilisés dans la simulation sont montrés dans le tableau (III.2)

Tableau III.2 : Paramètres de simulation

Paramètres	Valeurs
Sous-porteuses système	512
Sous-porteuses utilisateurs	32
Préfixe cyclique	20
Canal	AWGN, Veh A, Ped A, Uniform
Modulation	QPSK
Pré-codeur	DFT
Égalisateur	MMSE
Bande passante du système	5 MHz
Mode d'allocation	IFDMA, LFDMA
Image	Cameraman 256×256

Pour évaluer les performances et l'efficacité de ce système, une image de cameraman 256×256 est utilisée.

**Figure III.2 :** Image du cameraman.

III.5. Les simulations

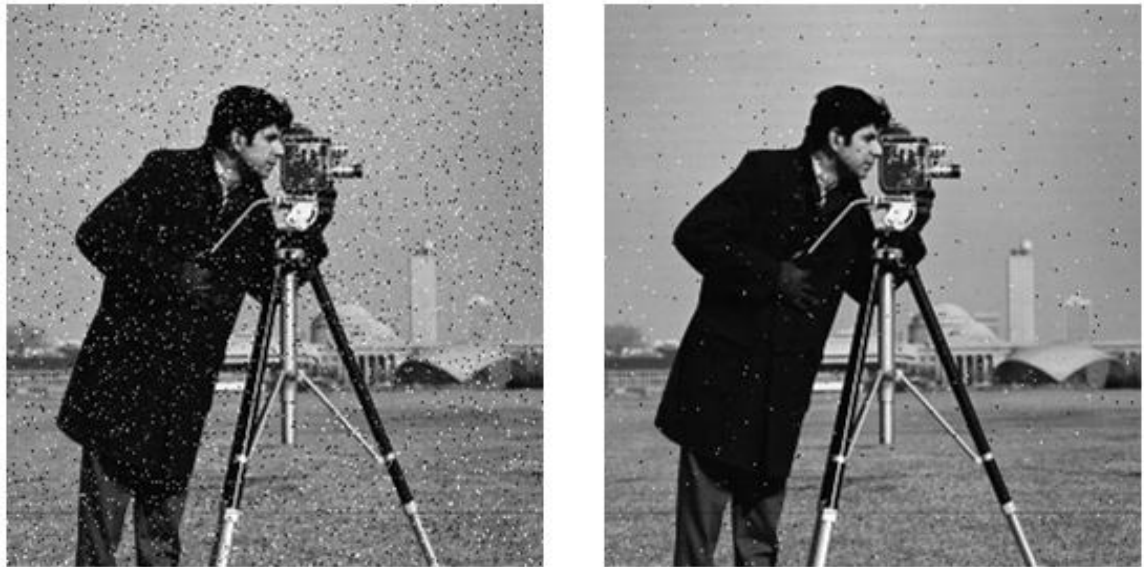
Les métriques utilisées pour l'évaluation des performances de l'image reçue sont le PSNR et le MSE. L'image du cameraman (256x256) a été transmise sur le système SC-FDMA avec le pré-codeur DFT, la modulation QPSK et les deux modes d'allocation des sous porteuses (Localisé et Distribué).

Les valeurs PSNR et MSE de l'image reçue sont calculées pour différentes valeurs de SNR de 0 à 26 dB avec un pas de 2 dB et pour chaque canal (AWGN, uniforme, Ped A et Veh A).

Les valeurs obtenues PSNR et MSE sont tabulées dans les tableaux (III.3), (III.4), (III.5) et (III.6).

Tableau III.3 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal AWGN.

SNR (dB)	Canal AWGN			
	ISC-FDMA		LSC-FDMA	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
0	12.9106	0.0512	15.6822	0.0270
2	14.7515	0.0335	18.6592	0.0136
4	17.2960	0.0186	23.5125	0.0045
6	21.0459	0.0079	30.5169	8.8779e-004
8	27.0602	0.0020	42.8858	5.1454e-005
10	36.1365	2.4342e-004	51.1305	7.7081e-006
12	48.1926	1.5161e-005	Inf	0
14	Inf	0	Inf	0
16	Inf	0	Inf	0
18	Inf	0	Inf	0
20	Inf	0	Inf	0
22	Inf	0	Inf	0
24	Inf	0	Inf	0
26	Inf	0	Inf	0



ISC-FDMA

LSC-FDMA

(PSNR =21.0459, MSE = 0.0079)

(PSNR =30.5169, MSE = 8.8779e-004)

Figure III.3 : Images reçues pour le canal AWGN (SNR = 6 dB).

Tableau III.4 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal 3GPP Veh A.

SNR (dB)	Canal 3GPP Veh A			
	ISC-FDMA		LSC-FDMA	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
0	16.3600	0.0231	25.4545	0.0028
2	17.3718	0.0183	32.6195	5.4708e-004
4	18.6702	0.0136	40.8516	8.2195e-005
6	20.1991	0.0096	53.8871	4.0859e-006
8	22.3717	0.0058	Inf	0
10	25.4672	0.0028	Inf	0
12	29.2641	0.0012	Inf	0
14	34.9126	3.2266e-004	Inf	0
16	41.3622	7.3077e-005	Inf	0
18	44.9605	3.1912e-005	Inf	0
20	53.7272	4.2391e-006	Inf	0
22	77.4307	1.8069e-008	Inf	0
24	87.2647	1.8773e-009	Inf	0
26	Inf	0	Inf	0



ISC-FDMA



LSC-FDMA

(PSNR = 20.1991 , MSE = 0.0096) (PSNR = 53.8871 , MSE = 4.0859e-006)

Figure III.4 : Images reçues pour le canal 3GPP Veh A (SNR = 6 dB).

Tableau III.5 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal 3GPP Ped A.

SNR (dB)	Canal 3GPP Ped A			
	ISC-FDMA		LSC-FDMA	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
0	14.5185	0.0353	19.5128	0.0112
2	16.2785	0.0236	24.7347	0.0034
4	18.4375	0.0143	32.1016	6.1637e-004
6	21.9490	0.0064	44.7060	3.3838e-005
8	26.6167	0.0022	Inf	0
10	33.4304	4.5390e-004	Inf	0
12	45.9867	2.5196e-005	Inf	0
14	71.9499	6.3828e-008	Inf	0
16	Inf	0	Inf	0
18	Inf	0	Inf	0
20	Inf	0	Inf	0
22	Inf	0	Inf	0
24	Inf	0	Inf	0
26	Inf	0	Inf	0



ISC-FDMA

LSC-FDMA

(PSNR = 21.9490, MSE = 0.0064) (PSNR = 44.7060, MSE =3.3838e-004)

Figure III.5 : Images reçues pour le canal 3GPP Ped A (SNR = 6 dB).

Tableau III.6 : Les valeurs de PSNR et MSE de l'image de cameraman reçue pour le canal Uniform.

SNR (dB)	Canal Uniform			
	ISC-FDMA		LSC-FDMA	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
0	9.5802	0.1101	9.6537	0.1083
2	15.2470	0.0299	16.4019	0.0229
4	17.7036	0.0170	22.9679	0.0050
6	29.0053	0.0013	29.9255	0.0010
8	30.3173	9.2954e-004	34.9380	8.0575e-004
10	32.1913	6.0377e-004	42.2905	5.9013e-004
12	60.1720	9.6117e-007	Inf	0
14	96.2956	2.3466e-010	Inf	0
16	Inf	0	Inf	0
18	Inf	0	Inf	0
20	Inf	0	Inf	0
22	Inf	0	Inf	0
24	Inf	0	Inf	0
26	Inf	0	Inf	0



ISC-FDMA

(PSNR =29.0053, MSE = 0.0013)



LSC-FDMA

(PSNR = 29.9255, MSE = 0.0010)

Figure III.6 : Images reçues pour le canal Uniform (SNR = 6 dB).

III.5.1. Comparaison de PSNR des différents canaux

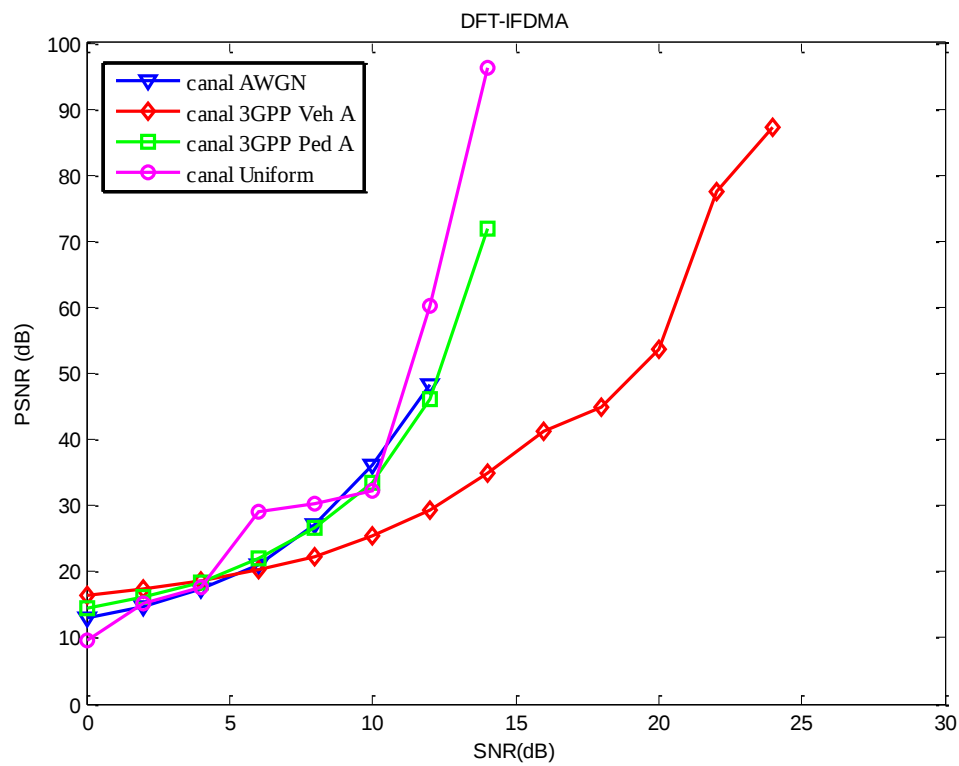


Figure III.7 : PSNR du système ISC-FDMA.

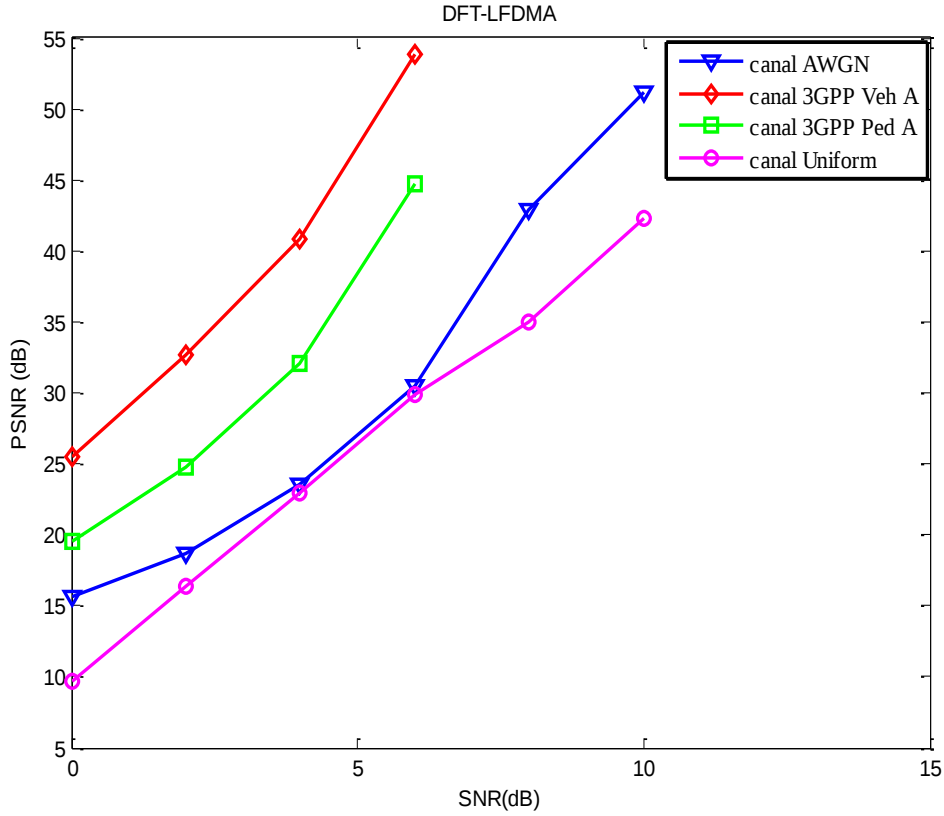


Figure III.8 : PSNR du système LSC-FDMA.

Les figures (III.7) et (III.8) montrent la relation entre PSNR et SNR dans le cas de la transmission d'image du cameraman par le système SC-FDMA à travers différents canaux sans fils pour IFDMA et LFDMA, respectivement. Comme illustré sur les deux figures précédentes, on observe que le PSNR augmente avec l'augmentation de SNR. La meilleure valeur de PSNR pour le mode localisé est atteinte à 12 dB pour le canal AWGN et uniforme, et à 8 dB pour les deux canaux 3GPP. Pour le mode distribué, la meilleure valeur de PSNR est atteinte à 14 dB, 16 dB et 26 dB pour AWGN, Ped A, uniforme et Veh A, respectivement.

III.5.2. Comparaison de MSE des différents canaux

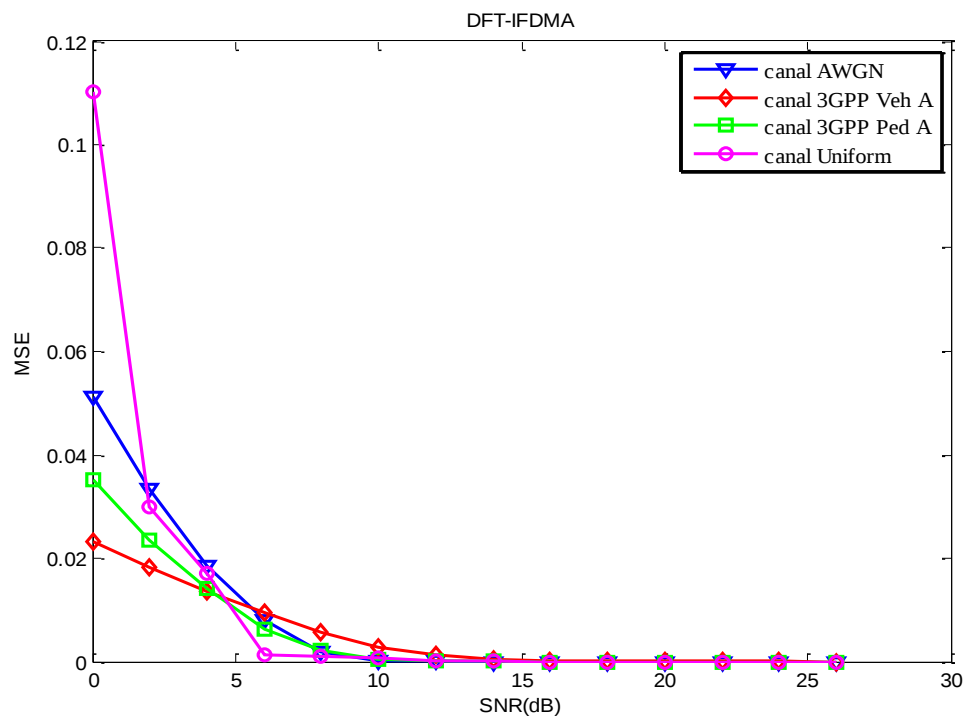


Figure III.9 : MSE du système ISC-FDMA.

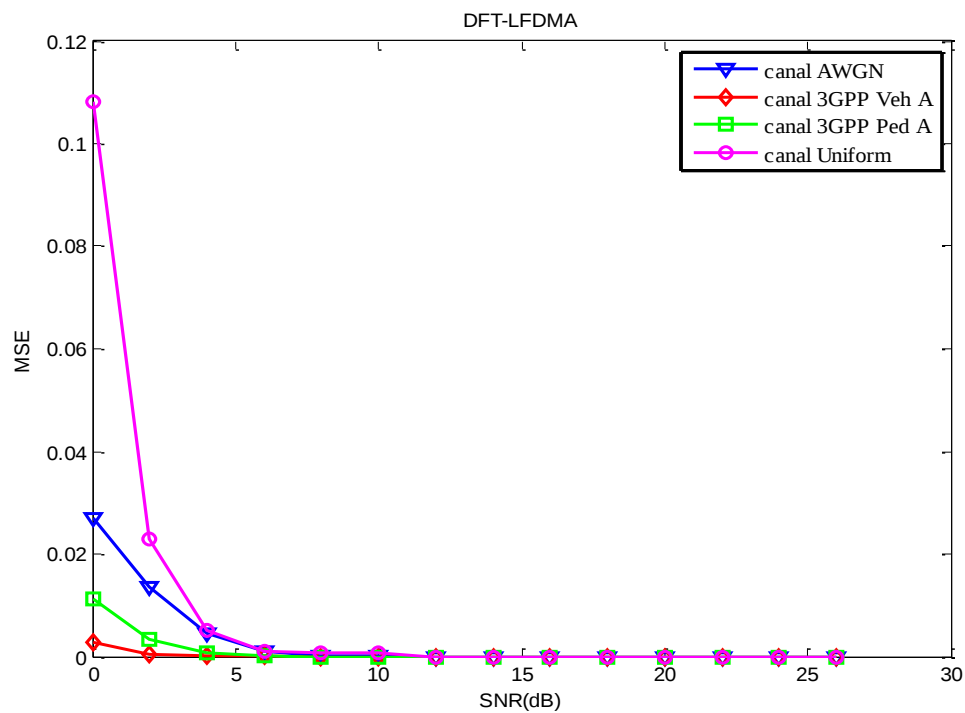


Figure III.10 : MSE du système LSC-FDMA.

Les figures (III.9) et (III.10) montrent la relation entre MSE et SNR dans le cas de la transmission d'image du cameraman par le système SC-FDMA à travers différents canaux sans fils pour IFDMA et LFDMA, respectivement. On observe que le MSE diminue lorsque SNR augmente. En outre, nous avons observé que la valeur ISC-FDMA sur le canal AWGN donne une valeur nulle de MSE après 12 dB et pour le canal 3GPP Veh A après 24 dB. Cependant, nous atteignons la valeur zéro de MSE à 16 dB pour les canaux 3GPP Ped A et uniforme. Pour le LSC-FDMA, les canaux Veh A et Ped A présentent les valeurs les plus faibles de MSE par rapport les autres canaux.

III.5.3. Comparaison des performances PSNR et MSE de mode localisé et distribué pour chaque canal

Dans cette partie, on compare entre le PSNR de mode localisé et de mode distribué pour chaque canal ainsi que le MSE.

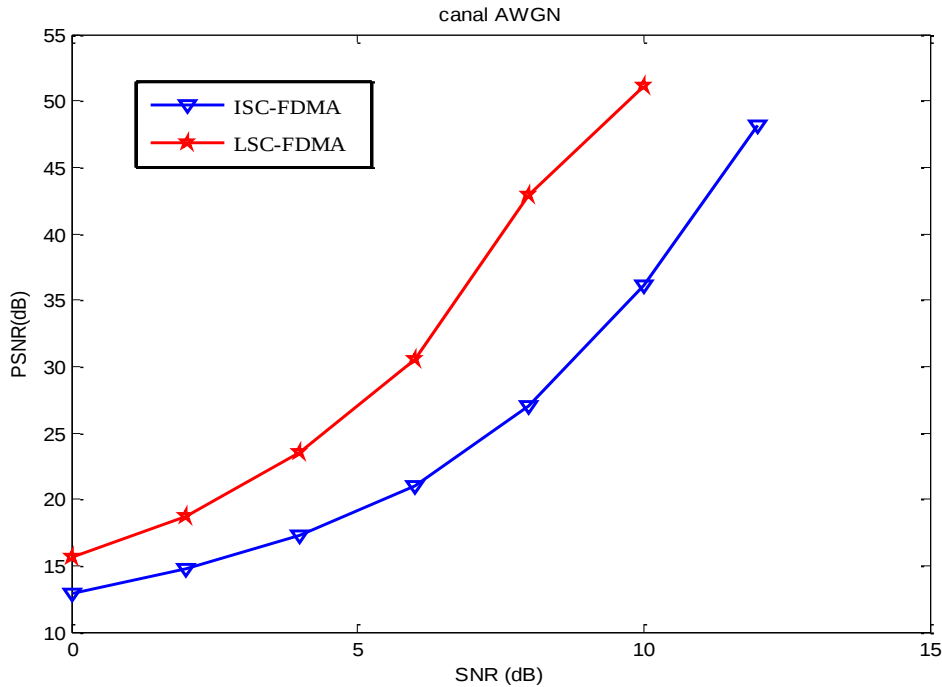


Figure III.11 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal AWGN.

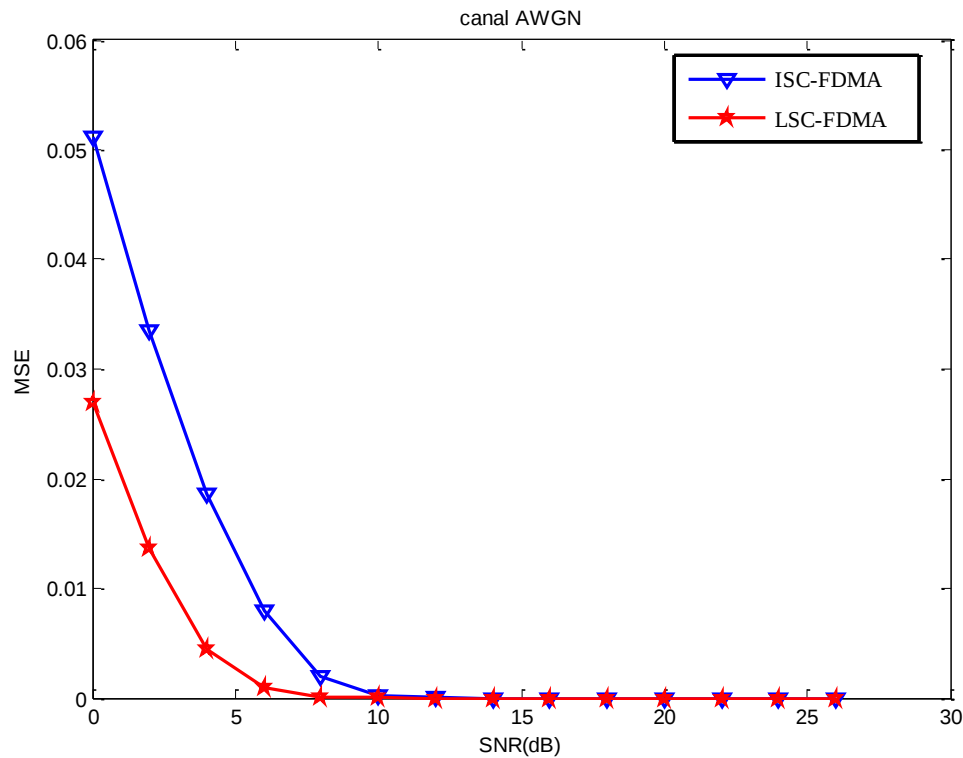


Figure III.12 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal AWGN.

Les figures (III.11) et (III.12) montrent les performances PSNR et MSE pour le mode distribué et le mode localisé de système SC-FDMA sur un canal AWGN. Il est clair que le PSNR augmente avec l'augmentation de SNR et le MSE diminue lorsque le SNR augmente. En outre, il est également noté que les performances de mode localisé sont meilleures par rapport du mode distribué. Les meilleures valeurs de performances sont atteintes après 12 dB et 14 dB pour LSC-FDMA et ISC-FDMA, respectivement.

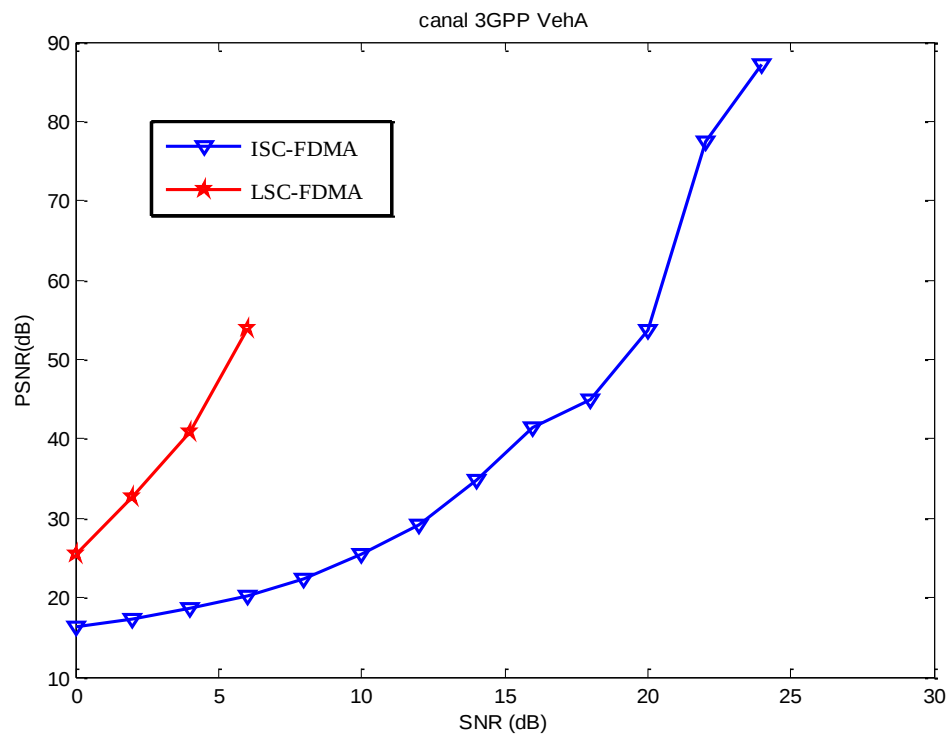


Figure III.13 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Veh A.

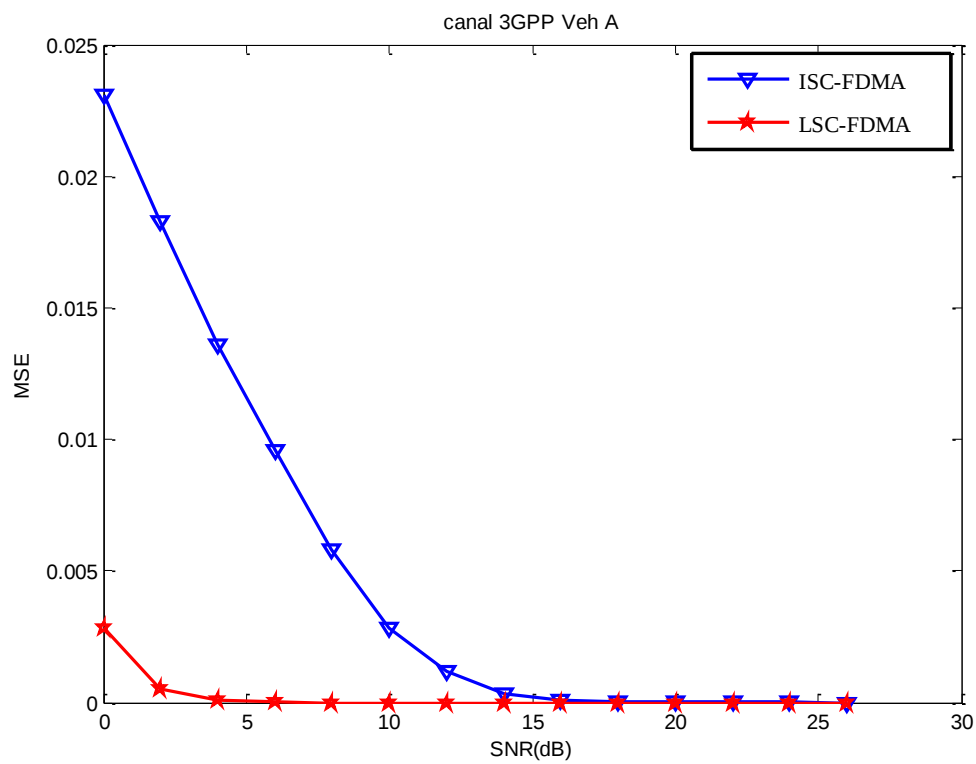


Figure III.14 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Veh A.

Les figures (III.13) et (III.14) montrent les performances PSNR et MSE pour le mode distribué et le mode localisé de système SC-FDMA sur un canal 3GPP Veh A. Il est clair que le PSNR augmente avec l'augmentation de SNR et le MSE diminue lorsque le SNR augmente. En outre, il est également noté que les performances de mode localisé sont meilleures par rapport du mode distribué. Les meilleures valeurs de performances sont atteintes après 6 dB et 24 dB pour LSC-FDMA et ISC-FDMA, respectivement.

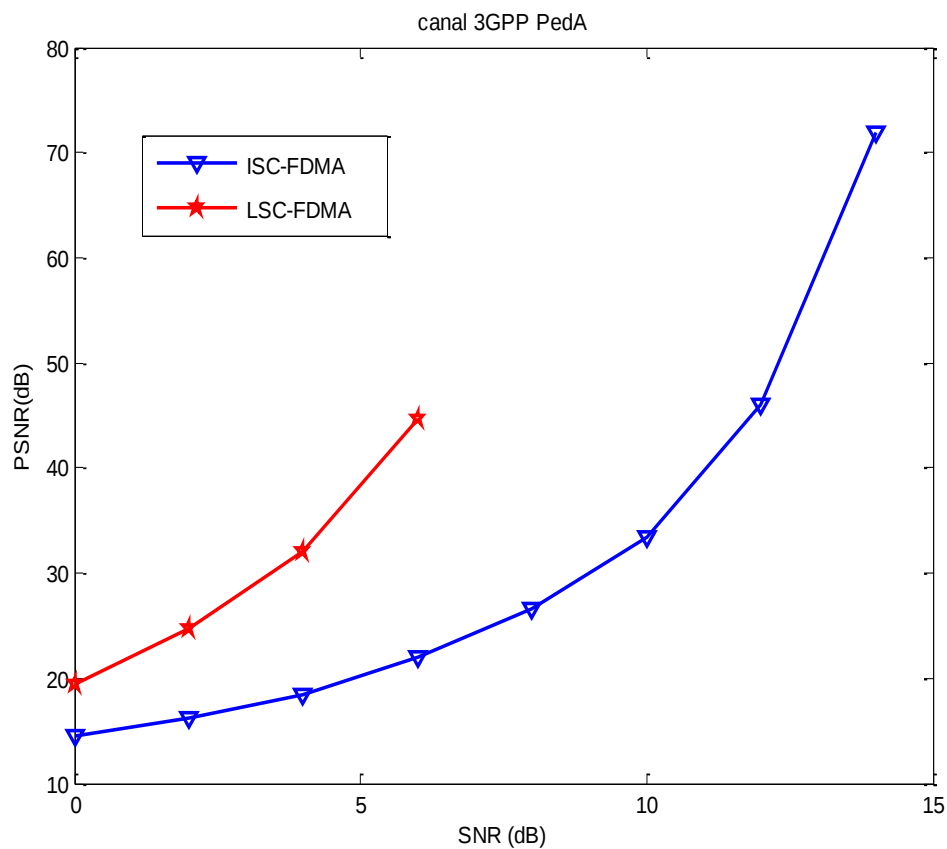


Figure III.15 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Ped A.

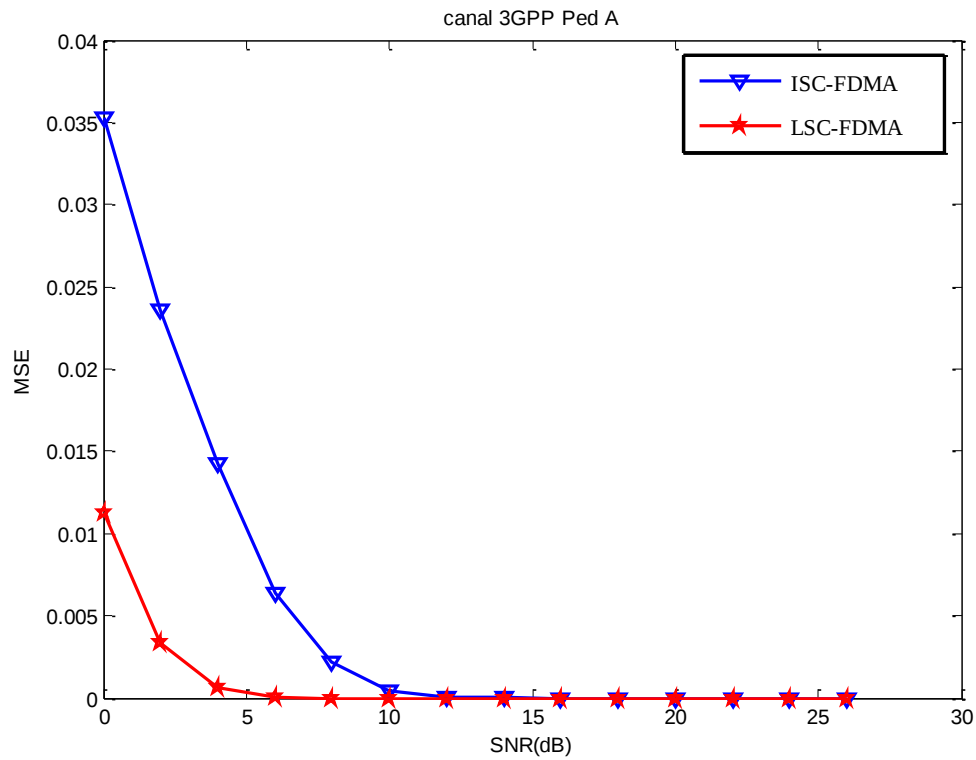


Figure III.16 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal 3GPP Ped A.

Les figures (III.15) et (III.16) montrent les performances PSNR et MSE pour le mode distribué et le mode localisé de système SC-FDMA sur un canal 3GPP Ped A. Il est clair que le PSNR augmente avec l'augmentation de SNR et le MSE diminue lorsque le SNR augmente. En outre, il est également noté que les performances de mode localisé sont meilleures par rapport du mode distribué. Les meilleures valeurs de performances sont atteintes après 6 dB et 14 dB pour LSC-FDMA et ISC-FDMA, respectivement.

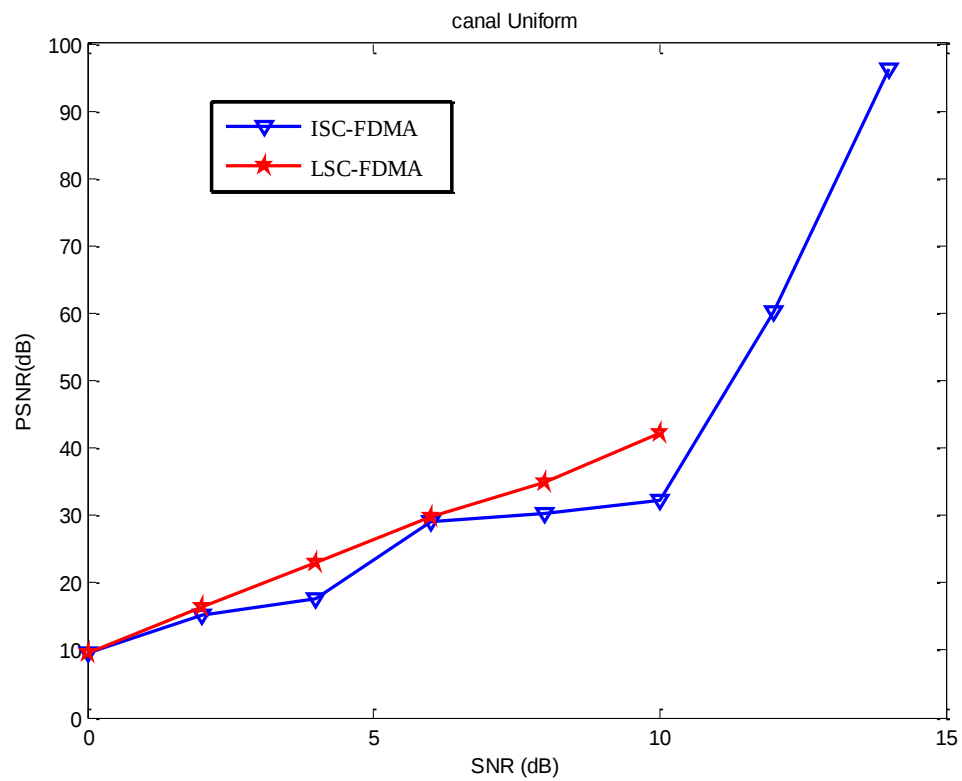


Figure III.17 : PSNR de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal Uniform.

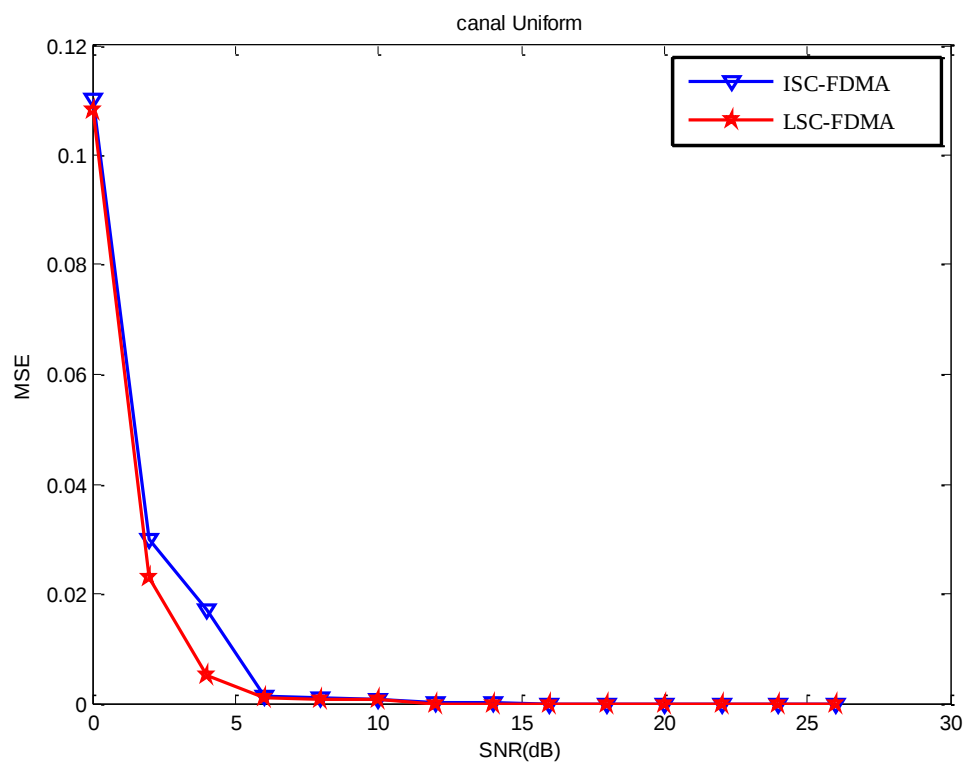


Figure III.18 : MSE de l'image reçue ISC-FDMA et LSC-FDMA pour le canal Uniform.

Les figures (III.17) et (III.18) montrent les performances PSNR et MSE pour le mode distribué et le mode localisé de système SC-FDMA sur un canal uniforme. Il est clair que le PSNR augmente avec l'augmentation de SNR et le MSE diminue lorsque le SNR augmente. En outre, il est également noté que les performances de mode localisé sont meilleures par rapport du mode distribué. Les meilleures valeurs de performances sont atteintes après 10 dB et 14 dB pour LSC-FDMA et ISC-FDMA, respectivement.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a mesuré la qualité de la reconstruction d'images au récepteur pour évaluer la performance et l'efficacité de problème de la transmission d'images sans fil sur le système SC-FDMA. La qualité d'image est mesurée de façon objective par le PSNR en comparant les images reçues avec l'image monochrome, image du cameraman, utilisée comme entrée dans le cadre de simulation. Les résultats obtenus ont montré que les performances de LSC-OFDMA pour le canal 3GPP (Veh A et Ped A) et ISC-FDMA pour le canal AWGN sont meilleures que pour les autres canaux sans fil. Cela indiquait que le système SC-FDMA est capable de transmettre efficacement des images sur différents canaux de communication sans fil.

Conclusion générale

Dans le présent mémoire nous avons étudié la transmission d'image sans fil par le système SC-FDMA.

L'OFDMA est l'un de ces signaux qui présente un très fort PAPR, il est très utilisé dans les systèmes modernes de télécommunication comme la voie descendante de LTE et le WiMax. Par contre, LTE utilise une autre technique pour la voie montante, c'est le SC-FDMA, basé sur l'étalement spectrale DFT de OFDMA (DFT-OFDMA). Son principal avantage réside dans le faible PAPR comparé avec celui d'OFDMA. De plus, SC-FDMA présente une bonne couverture, une bonne efficacité spectrale, une flexibilité d'allocation de ressource et une simplicité d'égalisation au récepteur. La complexité de cette technique est concentrée dans la partie réceptrice ce qui est très convenable pour la voie montante.

Les images et les vidéos numériques sont devenues partie intégrante du divertissement, des affaires et de l'éducation dans notre vie quotidienne. L'étude de la communication d'image sur des technologies évolutives telles que SC-FDMA est donc recommandée.

A partir des résultats de simulation obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'efficacité de la transmission d'image sans fil à travers le système SC-FDMA.
- ✓ Les performances de la transmission en mode localisé sont meilleures par rapport en mode distribué quel que soit le type de canal sans fil utilisé.
- ✓ La transmission en mode localisé améliore considérablement la clarté des images.
- ✓ L'efficacité de PSNR et MSE pour l'évaluation des performances de la transmission des images.

Conclusion générale

✓ Les performances de LSC-OFDMA pour le canal 3GPP (Veh A et Ped A) et ISC-FDMA pour le canal AWGN sont meilleures que les autres canaux sans fil.

Plusieurs axes d'études peuvent être envisagés pour faire suite à ces travaux :

- ✓ La transmission des images médicales par le système SC-FDMA.
- ✓ L'utilisation de pré-codeurs DST et DCT.
- ✓ La transmission d'image par d'autres systèmes modernes comme GFDM (Generalised Frequency Division Multiplexing), FBMC (Filter Bank Multi-Carrier).

Bibliographie

- [1] Yvon Sosthène Yameogo ,**"Etudes de Nouvelles Techniques D'estimation et D'égalisation de Canal Adaptées au Système SC-FDMA"**, Thèse doctorat ,Université de Rennes 2011.
- [2] H. Hijazi, **"Estimation de canal radio-mobile à évolution rapide dans les systèmes à modulation OFMD"**, Thèse doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble -INPG, French, 2008.
- [3] Genevieve Baudoin. **"Radiocommunications Numériques : Principe, Modélisation et Simulation"** (Tome 1), 2002.
- [4] E.T Heald M.L Doelz and D.L Martin. **"Binary data transmission techniques for linear systems"**. Proceedings of IRE, 45 :656–661, 1957.
- [5] C.Smith et D.Collis, **"3G wireless networks"**, Mc Graw Hill Professional, 2002.
- [6] P.M.D. Alwis, **«Call admission control and resource utilization in w-cdma networks»**, Thèse doctorat , Department of Electrical and Computer Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2005.
- [7] F. Nabila et H. Souhaila , **"Etude et Simulation d'une Transmission de Type OFDM Pour Les Communications Sans Fil"**, Mémoire Master, Université Larbi Tebessi – Tebessa.
- [8] W. Y. Zou et Y. Wu ,**"COFDM : An Overview"**, IEEE Transactions on Broad casting, Vol. 41.No. 1, pp. 1-8, 1995.
- [9] A. Ahriche ,**"Étude Comparative des Méthodes D'estimation de Canal à l'aide des Pilotes dans les Systèmes OFDM à Travers un Canal Multi-trajets"**, Mémoire du grade de Maître ès sciences (M.Se), Université Laval Québec,2008.
- [10] A. Rachini,**"Etude de la Synchronisation Temporelle dans les Systèmes MIMO-OFDM Appliqués aux Réseaux Mobiles"**, Thèse doctorat, Université Libanaise,2014.

Bibliographie

- [11] R. Van Née et R. Prasad, " **OFDM for Wireless Multimedia Communications**", Artech House Publishers, 2000 .
- [12] J. G. Proakis, "**Digital communications**", Mc Graw-Hill, 2001.
- [13] S. Arab, "**Une étude sur la réduction du PAPR dans un système OFDM**", Mémoire du grade de Maître es science (M. Se.), Université Laval, Canada, 2010.
- [14] B. Zouheira et Z. Hadjra , "**Effet d'HPA sur le Système SC-FDMA**", Mémoire Master, Université Echahid Hamma Lakhdar-El Oued , 2015.
- [15] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "**Peak-to average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals with Pulse Shaping**", Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2006.
- [16] Y. Sienpégnou Hippolyte, A. Sharif "**Evaluation des performances des Techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA dans la Technologie LTE**" Mémoire Master en Composant et Systèmes Electroniques pour les Télécommunications, Université de Telemcen 2012.
- [17] M. Kumar Sinha, V. Kumar Trivedi, Student Member, IEEE P. Kumar, Member, "**Single Carrier FDMA for Next Generation Communication Systems: An Overview**" Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Patna Bihar 801118, India 2015.
- [18] T. Frank, A. Klein, E. Costa, and E. Schulz, "**I-fdma - a promising multiple access scheme future mobile radio systems**". PIMRC. Berlin, 2005.
- [19] Y. Sung, Y. Lim, L. Tong, and A.-J. van der Veen. "**Signal processing advances for 3g w-cdma : From rake receivers to blind techniques**". 2009.
- [20] H. G. Myung, Kyungjin Oh, Unsung Lim, and D. J. Goodman. "**Channel dependent scheduling of an uplink sc-fdma system with imperfect channel information**". In Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf. WCNC 2008.

Bibliographie

- [21] F. Omar, **"Rapport SC-FDMA"** , Support de cours, Version électronique, 2014.
- [22] J. Palicot and Y. Louet. **Power ratio definition and analysis in single carrier modulation**. European Signal Processing Conference, EUSIPCO, 2005.
- [23] J. Tellado-Mourelo. **"Peak to Average Power Reduction for Multicarrier Modulation"**. PhD thesis, Stanford University, 1999.
- [24] J. A. Davis and J. Jedwab, **"Peak-to-mean power control in OFDM"**, Golay, complementary sequences, IEEE Trans. Inform. Teory, 1999.
- [25] Emad S. Hassan, **"Multi-Carrier Communication Systems with Examples in MATLAB"**, Book. A New Perspective, CRC press Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York 2016 .
- [26] <http://www.marcsaubion.com/tutos/formats-jpg-png-pdf>
- [27] Z. Maymouna et S. Abla, **"Compression des images avec curvelet"**, Mémoire master, Université Echahid Hamma Lakhdar-El Oued , 2015.
- [28] D. Zeller sont des professeurs de Technologie de l'Académie de Strasbourg, P. Faust, C. Guy, D. Passagne, I. Siffert, P. Silvestre.
- [29] Ch. TAOUCHE, **" Implémentation d'un Environnement Parallèle pour la Compression d'Images à l'aide des Fractales"**, Mémoire Magister Département d'Informatique à Université Mentouri Constantine 2005.
- [30] Z. Djazia, **" implémentation d'un environnement parallèle pour la compression d'images à l'aide des fractales"**, Mémoire Magister département d'informatique à université de BATNA 2006.
- [31] R.D. Boss, E.W. Jacobs, **"Fractal-Based Image Compression"**, NOSC Technical Report 1315, Naval Ocean Systems Center San Diego CA 92152-5000, 1989.
- [32] S. Mourad, **" Compression des images numériques par la technique des ondelettes"**, Mémoire Magister, Département d'Electronique à Université Ferhat Abbas-Sétif UFAS 2011.

Bibliographie

- [33] F. Davoine, "**Compression d'Images par Fractales Basée sur la Triangulation de Delaunay**", Thèse l'INPG, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1995.
- [34] K. Benmahamed et R. Souadnia , "**Compression des Images Numériques Fixes Par les Fractales**" Université Mentouri Constantine, 2000.
- [35] <https://ieeexplore.ieee.org/document>.
- [36] K. M. Al-soufy, F. S. Al-kamali and F. A. Al-fuhaidy, " **Performance Evaluation of SC-FDMA Systems Using Wireless Images**", American Journal of Computer Sciences and Applications (ISSN:2575-775X), Research Article, AJCSA, 2017.
- [37] Hyung G. Myung et David J. Goodman, "**Single Carrier FDMA : A New Air Interface for Long Term Evolution**", Book, John Wiley & Sons, 2008.

Résumé

Le SC-FDMA a attiré l'attention dans les communications sans fil en raison de son faible PAPR et sa faible sensibilité au CFO. L'objectif de ce travail est d'étudier et de tester l'efficacité de la transmission d'image dans un système sans fil à base de SC-FDMA en utilisant le pré-codeur DFT et la modulation QPSK, différentes techniques de mappage de sous-porteuses, différents canaux et l'égaliseur MMSE. Plusieurs expériences réalisées afin de choisir la combinaison qui nous permet de transmettre sans fil, avec efficacité, une image à travers un système SC-FDMA. Pour la comparaison des performances et la clarté des images, on utilise le MSE et le PSNR. Les résultats de simulation montrent que le système SC-FDMA est capable de transmettre efficacement des images sur différents canaux de communication sans fil.

Mots-clés: SC-FDMA; Image; Transmission; Uplink; QPSK; PSNR; MSE; MMSE.

Abstract

The SC-FDMA has attracted attention in wireless communications because of its low PAPR and low sensitivity to CFO. The objective of this work is to study and test the efficiency of image transmission in an SC-FDMA based wireless system using the DFT pre-encoder and QPSK modulation, different subcarriers mapping techniques, different channels and the MMSE equalizer. Several experiments carried out in order to choose the combination that enables us to transmit an image efficiently through an SC-FDMA system. For performance comparison and image clarity, MSE and PSNR are used. The simulation results show that the SC-FDMA system is able to efficiently transmit images over different wireless communication channels.

Keywords: SC-FDMA; Picture; Transmission; Uplink; QPSK; PSNR; MSE; MMSE.

المخلص

جذبت تقنية SC-FDMA الاهتمام في الاتصالات اللاسلكية بسبب تميزها بانخفاض PAPR وانخفاض الحساسية إلى CFO. الهدف من هذا العمل هو دراسة واختبار كفاءة نقل الصور في نظام لاسلكي قائم على SC-FDMA باستخدام تقنية التشفير DFT والتشكيل QPSK وتقنيات مختلفة لرسم خرائط الموجات الحاملة الفرعية وقنوات مختلفة والمعدل MMSE سيتم إجراء العديد من التجارب لاختيار المجموعة التي تمكننا من نقل الصورة بكفاءة وفعالية من خلال نظام SC-FDMA. لمقارنة الأداء ووضوح الصورة تم استخدام PSNR و MSE تبين نتائج المحاكاة أن نظام SC-FDMA قادر على نقل الصور بكفاءة عبر قنوات لاسلكية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: SC-FDMA; Image; Transmission; Uplink; QPSK; PSNR; MSE; MMSE.