

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

**Etude et Simulation de la Transmission des Images Médicales
via le Système SC-FDMA LTE**

Présenté par :

BELAID Ali Borhane

Sous la direction de :

Dr. BOUCHEMEL Ammar

Juillet 2021

Remerciements :

Je remercie d'abord Allah de m'avoir donné la force et la volonté pour effectuer ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements et ma reconnaissance envers :

Mr le Docteur BOUCHEMEL Ammar, mon encadreur pour ce mémoire de fin d'étude pour ces conseils judicieux et ses orientations ficelées au cours de la période de recherche.

Je remercie également le président ainsi que tous les membres de jury pour la tâche fastidieuse de rapporteurs de ce mémoire.

Mes remerciements s'étendent également à tous mes enseignants tout au long de mon cursus universitaire.

Enfin, je remercie ma famille pour les encouragements et l'aide qu'elle m'a apporté, Ainsi j'ai pu surmonter tous les obstacles et défis sur mon chemin.

Sommaire :

Chapitre I : Généralités sur l'Image

I.1 Introduction :	3
I.2 Définition d'une Image :	3
I.2.1 Image Analogique :	3
I.2.2 Image Numérique :	3
I.3 Caractéristiques d'une image numérique :	4
I.3.1 Pixel :	4
I.3.2 Définition :	5
I.3.3 Résolution :	5
I.3.4 Luminance :	6
I.3.5 Bruit :	6
I.3.6 Histogramme :	6
I.4 Formats des images numériques :	7
I.4.1 Images matricielle (Bitmap) :	7
I.4.2 Images vectorielles :	8
I.5 Types d'Images numériques :	9
I.5.1 Images en niveaux de gris (Monochromes) :	9
I.5.2 Images Binaires :	9
I.5.3 Images en couleurs (Polychromes) :	9
I.6 Qualité d'une Image :	9
I.7 Traitements généraux sur les Images :	10
I.7.1 Acquisition des Images :	10
I.7.2 Filtrage :	11
I.8 Restauration de l'Image :	11
I.9 Analyse de l'Image :	12

I.10 Transmission des images :	12
I.10.1 Chaîne de transmission des images :	12
I.10.2 Aperçu sur la transmission des images :	13
I.10.3 Applications nécessitant une transmission d'images :	14
I.10.4 Critères d'évaluation d'un système de transmission des images :	16
I.11 Conclusion :	17

Chapitre II : Le Système de Transmission Mono-Porteuse SC-FDMA

II.1 Introduction :	18
II.2 Évolution des réseaux mobiles :	18
II.2.1 Apparition de la 4G LTE et sa normalisation :	20
II.3 But de la 4G LTE :	20
II.4 Caractéristiques du 4G LTE :	21
II.5 Les Spécifications du LTE :	21
II.5 Modulations Mono-porteuse et Multi-porteuses :	22
II.5.1 Modulation Mono-porteuse :	22
II.5.2 Modulation Multi porteuses :	24
II.6 Modulation Multi-porteuses OFDM :	24
II.6.1 Principe d'Orthogonalité :	24
II.6.2 Modulateur OFDM :	26
II.6.3 Intervalle de garde :	27
II.6.4 Démodulateur OFDM :	28
II.6.5 Avantages et Inconvénients :	28
II.7 Système mono-porteuse SC-FDMA :	29
II.7.1 Émetteur SC-FDMA :	29
II.8. Récepteur SC-FDMA :	30
II.9 Modes d'allocation dans le SC-FDMA :	31

II.9.1 Allocation des ressources en mode distribué :	31
II.9.2 Allocation des ressources en mode localisé :	32
II.10 SC-FDMA et OFDMA :	33
II.11 Conclusion :	34

Chapitre III : Simulation d'un Système SC-FDMA pour la Transmission des Images Médicales

III.1 Introduction :	35
III.2 Transmission des Images Numériques :	35
III.2.1 Architecture du Système DFT SC-FDMA :	36
III.2.2 Architecture du Système DCT SC-FDMA :	37
III.2.3 Architecture du Système DWT SC-FDMA :	37
III.3 Paramètres de La Simulation :	38
III.3.1 Type d'image et des Canaux utilisés :	38
III.3.2 Paramètres et caractéristique de l'image médicale transmise :	38
III.4 Analyse Visuelle des Résultats de la transmission de l'image :	38
III.4.1 Transmission dans le canal AWGN :	39
III.4.2 Transmission dans le canal multi-trajets Vehicular A « Veh A » :	40
III.4.3 Transmission dans le canal multi-trajets Pedestrian « Ped A » :	42
III.5 Évaluation des performances du PSNR et MSE dans un canal AWGN :	43
III.5.1 Performances du PSNR dans le canal AWGN :	43
III.5.2 Performances du MSE dans le Canal AWGN :	44
III.6 Performances du PSNR et du MSE dans un canal Multi-trajets :	46
III.6.1 Performances du PSNR dans un canal Multi-trajets :	46
III.6.2 Performances du MSE dans un canal Multi-trajets :	47
III.7 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER :	49
III.7.1 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER dans le canal AWGN :	49

III.7.2 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER dans un canal Multi-trajets :	51
III.8 Conclusion :.....	52
Conclusion Générale :	53
Références bibliographiques :	55

Liste des Figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Une représentation d'une image numérique.....	4
Figure I.2 : Les étapes de la conversion d'une image analogique en une image Numérique.....	4
Figure I.3 : Image et pixels.....	5
Figure I.4 : Des modèles de résolutions.....	6
Figure I.5 : Un exemple d'un histogramme d'une image.....	6
Figure I.6 : La chaine de transmission d'une image.....	12

Chapitre II :

Figure II.1 : La Modulation Mono-porteuse.....	23
Figure II.2 : La Modulation Multi-porteuses	24
Figure II.3 : Un exemple d'une base orthogonale.....	25
Figure II.4 : Spectre d'une sous-porteuse.....	26
Figure II.5 : Schéma de principe du modulateur OFDM numérique.....	27
Figure II.6 : Illustration de l'intervalle de garde entre deux symboles OFDM consécutives.....	27
Figure II.7: Schéma de principe d'un démodulateur OFDM numérique.....	28
Figure II.8 : Un émetteur SC-FDMA.....	30
Figure II.9 : Un Récepteur SC-FDMA.....	31
Figure II.10: Mapping I-FDMA.....	32
Figure II.11: Mapping L-FDMA.....	33
Figure II.12 : Les Émetteurs et les Récepteurs des systèmes OFDMA et SC-FDMA.....	33

Chapitre III :

Figure III.1 : Les étapes de transmission d'une image numérique à l'intérieur d'un système SC-FDMA.....	35
Figure III.2 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DFT.....	36
Figure III.3 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DCT.....	37
Figure III.4 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DWT.....	38
Figure III.5 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR = 5dB. PSNR IFDMA =18.8914 dB, PSNR LFDMA=18.9969 dB.....	39
Figure III.6 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR=5 dB. PSNR IFDMA=42.2041 dB et PSNR LFDMA=45.6460 dB.....	39
Figure III.7 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR= 5dB. PSNR IFDMA=43.9368dB, PSNR LFDMA=40.0183dB.....	40
Figure III.8 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR=5dB.PSNR IFDMA=20.3564dB, PSNR LFDMA=24.8214dB.....	40
Figure III.9 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR= 5dB. PSNR IFDMA= 50.4584dB, PSNR LFDMA= 52.8165dB.....	41
Figure III.10 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA= 45.8565dB, PSNR LFDMA=29.3392dB.....	41

Figure III.11 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA=34.4832dB, PSNR LFDMA=39.6465dB.....	42
Figure III.12 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA = ∞ , PSNR LFDMA= ∞	42
Figure III.13 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA= ∞ , PSNR LFDMA= ∞	43
Figure III.14 : L'évolution du PSNR Des trois systèmes basé sur SC-FDMA dans le canal AWGN.....	43
Figure III.15 : L'évolution du MSE en fonction du SNR dans le canal AWGN.....	45
Figure III.16 : L'évolution du PSNR Des trois systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.....	46
Figure III.17 : L'évolution du MSE en fonction du SNR dans le canal Vehicular A.....	48
Figure III.18 : L'évolution du BER des systèmes à base de SC-FDMA dans le canal AWGN.....	49
Figure III.19 : L'évolution du BER des systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.....	51

Liste des Tableaux :

Chapitre I :

Tableau I.1 : Les formats des images matricielles (Bitmap).....	7
Tableau I.2 : Les Formats des images Vectorielles.....	8
Tableau I.3 : Illustration des Opérations de filtrage.....	11

Chapitre II :

Tableau II.1 : Comparaison entre les différentes technologies mobiles avant la norme LTE.....	19
Tableau II.2 : Les caractéristiques du LTE et du LTE-Advanced.....	21

Chapitre III :

Tableau III.1 : Tableau comparatif des PSNR des Trois Systèmes basés sur SC-FDMA dans le canal AWGN.....	44
Tableau III.2 : Tableau Comparatif des MSE des Trois Systèmes SC-FDMA dans le canal AWGN.....	45
Tableau III.3 : Tableau Comparatif du PSNR des Trois Systèmes SC-FDMA dans le canal Vehicular A.....	47
Tableau III.4 : Tableau Comparatif des MSE des Trois Systèmes SC-FDMA dans le canal Vehicular A.....	48
Tableau III.5 : Tableau Comparatif des BER des Trois Systèmes à base de SC-FDMA dans le canal AWGN.....	50
Tableau III.6 : Tableau Comparatif des BER des Trois Systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.....	52

Liste des Acronymes :

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

AWGN: Additive white Gaussian noise

CDMA : Code Division Multiple Access

COFDM : Coded OFDM

CP : Cyclic prefix

DCT : Discrete Cosinus Transform

DCT SC-FDMA: Discrete Cosinus Transform- Single Carrier FDMA

DFT: Discrete Fourier Transform

DFT SC-FDMA: Discrete Fourier Transform- Single Carrier FDMA

DPI: Dots Per Inch

DST: Discrete Sinus Transform

DWT: Discrete Wavelet Transform

DWT SC-FDMA: Discrete Wavelet Transform- Single Carrier FDMA

EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FFT: Fast Fourier Transform

GIF: Graphic Inter Change Format

GPRS: General Packet Radio Services

GSM: Global System for Mobile Communications

HSPA: High Speed Packet Access

HSPA+: High Speed Packet Access+

IDCT: Inverse Discrete Cosinus Transform

IDFT: Inverse Discrete Fourier Transform

IDWT: Inverse Discrete Wavelet Transform

IEP: Interférence Entre Porteuses

IES : Interférence entre symbols

I-FDMA: Interleaved-FDMA

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform

ISI: Inter Symbole Interference

JPEG : Joint Photographique Experts Group

L-FDMA : Localized –FDMA

MSE : Long Term Evolution

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

P-à-S : Parallèle à Série

PPP : Point Par Pouce

PSNR: Peak Signal to Noise Ratio

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

RGB: Red, Green, Blue

S-à-P : Série à Parallèle

SC-FDMA: Single Carrier Frequency Division Multiple Access

SNR: Signal-to-Noise Ratio

TDMA: Time Division Multiple Access

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

ZP: Zero-Padded

Introduction Générale

Introduction Générale :

De nos jours, la transmission des images numériques via les réseaux sans fil comme l'internet s'est vite développée cela était accompagnée avec d'énormes progrès dans les réseaux de communication sans fil est plus spécifiquement dans le processus du traitement d'images. Elle est actuellement utilisée dans de nombreux domaines innovants comme celui de la Télémedecine, la Télémedecine considérée comme essentielle de nos jours est l'une des applications innovatrices qui permet d'exercer les pratiques médicales à distance, grâce aux technologies de communication. Cette dernière exige un grand niveau d'efficacité et de fiabilité en termes de : qualité de transmission de informations médicales que ce soit par textes, son ou bien par Image ou d'autres moyens rendus nécessaires pour assurer la prévention et le diagnostic ainsi que le traitement et le suivi des patients

Ainsi grâce à la télétransmission des images numérisées permet en conséquence une consultation plus rapide par les médecins qui attribueront un diagnostic plus rapidement ainsi la prise en charge du patient sera par la suite plus efficace.

Durant ces dernières années, les systèmes et réseaux de communications sans fil et plus spécifiquement les réseaux mobiles occupent de plus en plus des bandes passantes de transmission par rapport aux systèmes conventionnels (comme GPRS, EDGE) pour garantir les applications multimédia à large bande avec des débits très élevés pour les abonnées. Ces nouveaux systèmes de communications viennent ainsi enrichir le service de transmission en garantissant la transmission efficace et qualitative des images.

Le 3GPP « 3rd Generation Partnership Project » à bien prédit cette augmentation de demande et cela en annonçant la création de la norme LTE « Long Term Evolution » qui vient répondre à ces demandes croissantes en proposant des Débits plus grand et plus conséquent et optimisant la qualité des services de communications sans fil.

Le LTE utilise le partage des ressources pour la liaison descendante la technique OFDMA « Orthogonal Frequency Division Multiple Access » qui transmet les informations dans des bandes étroites en parallèle qui permettra ainsi d'éviter les évanouissements sélectifs en fréquences mais il présente plusieurs inconvénients notamment une forte consommation d'énergie de la batterie.

Afin de résoudre ce problème qui présente dans la liaison montante, le LTE créa une nouvelle technique d'accès dédiée uniquement à la liaison montante SC-FDMA « Single Carrier Frequency

Division Multiple Access » qui a des performances très performantes en terme PSNR, MSE et BER. Cette propriété est très importante car elle permet d'optimiser les consommations énergétiques du mobile.

Le But de ce mémoire est l'étude détaillée de la technique d'accès multiple SC-FDMA ainsi l'évaluation des performances et l'efficacité d'une transmission d'image médicale par les systèmes à base de SC-FDMA de la norme 4G LTE via divers types de canaux sans fil. Ainsi le PSNR, MSE et le BER seront les outils et les métriques d'évaluation les performances des systèmes à bases de SC-FDMA.

Afin de réaliser ces objectifs, le mémoire est structuré autour de trois chapitres :

Le premier chapitre porte sur la représentation des concepts essentiels et fondamentaux de l'image, sa transmission via les canaux sans fil ainsi que l'application et l'importance de la transmission de l'image dans le domaine de la Télémédecine. Et la fin de ce chapitre nous présentons quelques critères d'évaluation de l'efficacité et la qualité de la transmission de l'image.

Le deuxième chapitre évoque en premier lieu un aperçu général sur la technique de modulation OFDM. Puis dérivons l'idée principale de la technique de multiplexage par division de fréquence sur une seule porteuse l'SC-FDMA, ainsi que ces deux modes : l'entrelacé IFDMA et le localisé LFDMA. En dernier lieu, une comparaison entre SC-FDMA et l'OFDMA.

Le Dernier chapitre est dédié à la simulation sous le logiciel MATLAB d'une transmission d'image médicale par les trois systèmes DFT, DCT et DWT à base de SC-FDMA à travers des canaux multi trajet , et cela en présentant les différents paramètres de la simulation puis en donnera une analyse détaillée des résultats obtenus afin de comparer les trois systèmes dans différents canaux grâce aux critères d'évaluations qui sont : PSNR, MSE et le BER pour en déduire quel est le système à base de SC-FDMA le plus performant et le meilleur pour la transmission efficace des images médicaux.

Enfin La conclusion générale abordera un récapitulatif du travail effectué et présentera les connaissances acquises et les objectifs fixés au cours de ce projet de fin d'étude.

Chapitre I :
Généralités sur l'Image

I.1 Introduction :

De nos jours l'utilisation de l'image est devenu un processus globale et nécessaire dans nos vies quotidiennes, peu importe son axe d'utilisation elle a des conséquences et affecte plusieurs domaines vu la quantité et l'importance des informations qu'elle véhicule. Dans ce chapitre on va aborder les généralités de l'imagerie et évoquer des notions de base de l'image en donnant aussi la définition de l'image numérique et en citant ces différents types et formats et par la suite tacher d'expliquer les techniques employées lors de la transmission de cette dernière et son utilité dans la télémédecine. Enfin on abordera l'intérêt principal de ce mémoire.

I.2 Définition d'une Image :

L'image est une représentation visible et significative à l'œil humaine, elle peut être une représentation d'un objet, un être vivant ou d'un concept. C'est aussi un bloc d'informations organisé qui après son affichage sur un écran peut être interprété par l'œil humaine.

Elle peut être décrite sous la forme d'une fonction $I(x, y)$ de brillance analogique continue, définie dans un domaine borné. Les x et y sont les coordonnées spatiales d'un point de l'image et I est une fonction d'intensité lumineuse et de couleurs. Sous cet aspect, l'image est inexploitable par la machine, ce qui nécessite sa numérisation [1].

I.2.1 Image Analogique :

Elle est représentée par un changement continu dans un milieu et mathématiquement représentée par une suite continue de valeurs qui illustre la position et l'intensité.

I.2.2 Image Numérique :

L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelées cellules ou pixels, ayant chacune 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 [2].

Le processus de numérisation est la transformation de l'état analogique vers un état numérique, dans le cas d'une image : elle sera transformée et convertie de son état analogique vers un état numérique et sera illustrée par une matrice 2D : $f(x, y)$, tel que $f(x, y)$ représente le niveau d'intensité lumineuse et (x, y) sont les coordonnées cartésiennes d'un point de l'image.

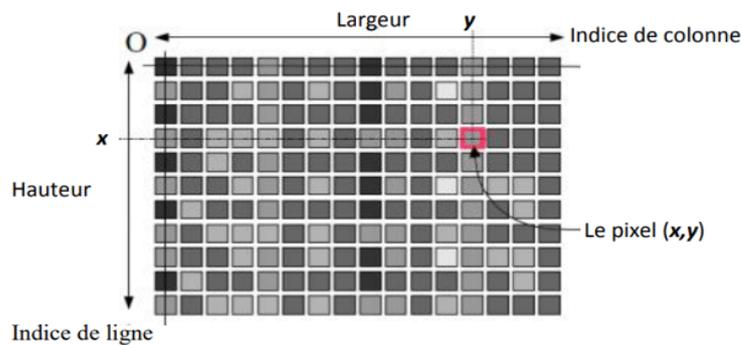


Figure I.1 : Une représentation d'une image numérique [3].

L'obtention d'une image numérique s'effectue en trois étapes [4] :

1. **Échantillonnage** : ou discrétisation spatiale, permet d'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 obtenues à ces emplacements sont les intensités des pixels.
2. **Quantification** : ou discrétisation native, les valeurs d'intensité échantillonnées sont quantifiées pour arriver à un signal discret en positions et en amplitudes. Ce signal représente l'image.
3. **Encodage** : la conversion de valeurs quantifiées sous forme binaire.

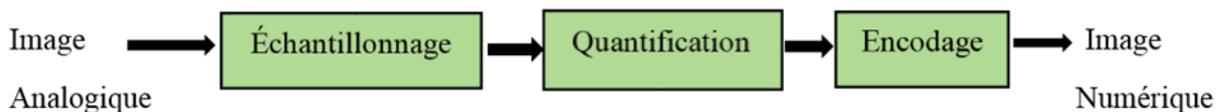


Figure I.2 : Les étapes de la conversion d'une image analogique en une image Numérique.

I.3 Caractéristiques d'une image numérique :

I.3.1 Pixel :

Le pixel (PICTure ELeMent) représente le plus petit élément d'une surface d'affichage, par exemple sur un écran d'ordinateur. Il est souvent présenté comme un petit carré de couleur. Lorsqu'on zoome sur une image numérique matricielle, on aperçoit en effet que celle-ci se compose d'une multitude de petits carrés comme illustré dans la **figure I.3**[5] :

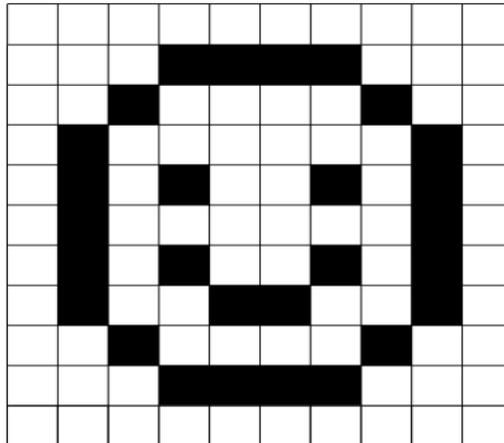


Figure I.3 : Image et pixels.

I.3.2 Définition :

On appelle définition le nombre de points (pixels) constituant une image : c'est le nombre de colonnes de l'image que multiplie son nombre de lignes. Une image possédant 10 colonnes et 11 lignes aura une définition de 10x11. (Note : Lorsqu'on parle de la définition d'un écran, on n'indique pas le résultat. Pour un périphérique d'acquisition d'image on indique le nombre total des pixels) [3].

I.3.3 Résolution :

La résolution est définie par un nombre de pixels par unité de longueur de l'image à numériser en dpi (dots per inch) ou ppp (points par pouce). On parle de définition pour un écran et de résolution pour une image.

Plus le nombre de pixels est élevé par unité de longueur de l'image à numériser, plus la quantité d'information qui décrit l'image est importante et plus la résolution est élevée (et plus le poids de l'image est élevé) [5].

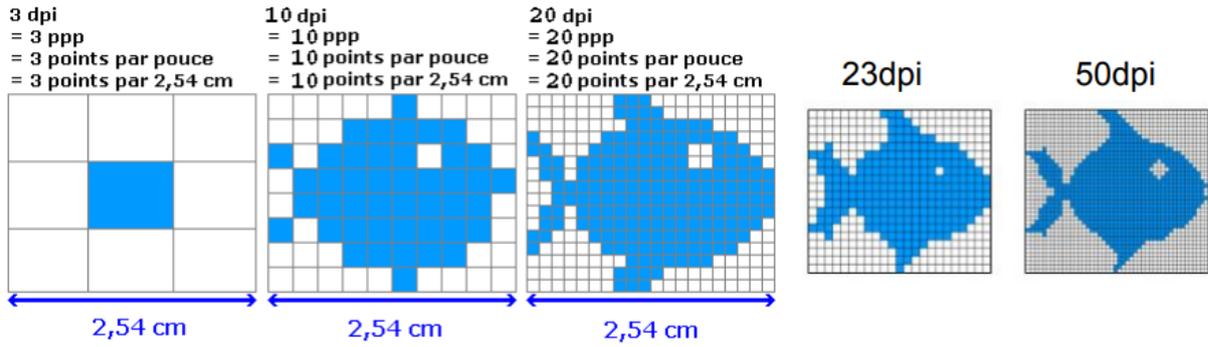


Figure I.4 : Des modèles de résolutions [3].

I.3.4 Luminance :

C'est le niveau de luminosité des pixels qui composent l'image, elle désigne aussi la puissance lumineuse des pixels qui constituent l'image.

I.3.5 Bruit :

Le bruit ou le parasite est un phénomène de variation inattendue dans l'intensité du pixel par rapport à son entourage (les pixels voisins), il est causé par des composants du dispositif comme le capteur et sera superposer sur l'image.

I.3.6 Histogramme :

Un histogramme est une courbe statistique indiquant la répartition des pixels selon leur valeur. L'histogramme est très utile pour contrôler l'exposition d'une image [6]. La figure ci-dessous représente un exemple d'un histogramme d'une image en niveaux de gris, tel que l'axe des X : représente le niveau du gris et l'axe des Y représente : les pixels.

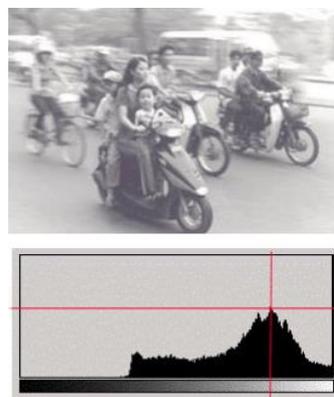


Figure I.5 : Un exemple d'un histogramme d'une image.

I.4 Formats des images numériques :

I.4.1 Images matricielle (Bitmap) :

Une image matricielle (ou bitmap) est une image constituée d'un ensemble de points (les pixels). Chaque point porte des informations de position et de couleur, les photos numériques et les images scannées sont de ce type [7]. Ces formats d'ailleurs sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.1 : Les formats des images matricielles (Bitmap) [7] :

Nom du format	Avantages	Inconvénients	Remarque
JPEG JPEG 2000	Excellente compression	Compression destructrice	Conçu spécialement pour la photographie. La version JPEG 2000 intègre la compression sans perte .
GIF	Possibilité d'animation. Compression efficace	limité à 256 couleurs	répandu sur le web malgré ces faiblesses et un problème de droit sur ces formats de compression, a déconseiller pour les photos.
PNG	Excellente compression sans perte.	Pas efficace pour les larges photographies	Peut remplacer les JPEG et les GIF (sauf en ce qui concerne l'animation).
TIFF	Compression sans pertes efficace.	Lourdeur Des fichiers non compressés	Format de stockage très utilise, à éviter pour le web.
BMP	Format par défaut de Windows	Uniquement disponible sur le Windows OS	Des fichiers (très lourds) car généralement ils ne sont pas compressés.

I.4.2 Images vectorielles :

Les images vectorielles sont composées de formes géométriques qui vont pouvoir être décrites d'un point de vue mathématique. Une droite sera définie par 2 points, un cercle par un centre et un rayon. Le processeur est chargé de "traduire" ces formes en informations interprétables par la carte graphique. Les avantages d'une image vectorielle : les fichiers qui la composent sont petits, les redimensionnements sont faciles sans perte de qualité. Ces inconvénients : une image vectorielle ne permet de représenter que des formes simples. Donc pas utilisable pour la photographie [7].

Tableau I.2 : Les Formats des images Vectorielles [7] :

Nom du format	Avantages	Inconvénients	Remarque
AI	Reconnu par tous les logiciels graphiques	Format privé (propriétaire)	Format standard de adobe Illustrator l'un des plus utilisé vu la popularité du logiciel
PS / EPS	Bien reconnu par tous les systèmes	Utilisé seulement dans le cas d'impressions des fichiers très lourds	Un format composite (mixte):vectoriel/bitmap dédié à l'impression
PICT	Le format par défaut du MAC OS	Disponible seulement sur les produits Apple	N'a pas grand intérêt par rapport aux autres formats présents
PDF	Illustration des documents	Fonctionne seulement avec l'Acrobat Reader ou un logiciel similaire et a aussi une taille exorbitante	Il a été élaboré pour l'affichage(l'illustration) des documents peu importe l'OS
SWF/FLA	Très courant sur le net Ubiquiste , il se sert des Vidéos , mp3 et du JPEG	Un format privé (propriétaire)	Le format par défaut pour les animations sur Internet

I.5 Types d'Images numériques :

Il existe trois types d'images numériques :

I.5.1 Images en niveaux de gris (Monochromes) :

Dans une image numérique, un point ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs entre le noir et le blanc, ces valeurs sont appelées niveaux de gris. Les niveaux de gris $N=256$ sont représentés par les entiers de 0 à $N-1$: (0 à 255), 0 est traditionnellement attribué au noir et $N-1$ au blanc. Il faut aussi noter que les images numériques qui sont subdivisées en pixel (discrétiser), les valeurs de ces pixels aussi seront à leur tour discrétiser, ce processus est alors appelé la quantification [8].

Afin d'avoir et d'obtenir une précision maximale notamment dans le domaine de l'imagerie médicale pour éviter toutes erreurs de diagnostic, il est nécessaire d'augmenter le nombre de pixels en niveaux de gris.

I.5.2 Images Binaires :

Les images binaires se sont des images qui contiennent seulement que deux niveaux de gris (0 = le noir) et (1= le blanc), leurs pixels ne peuvent avoir seulement que deux états qui sont : 1 ou 0.

I.5.3 Images en couleurs (Polychromes) :

Dans le cas des images numériques couleurs, la couleur est représentée par 3 valeurs au lieu d'une. Le plus souvent ces 3 valeurs sont les composantes Rouge, Vert, Bleu de la couleur, de la même façon que pour les niveaux de gris, les 3 valeurs sont quantifiées. Une couleur est donc représentée par 3 entiers [8].

I.6 Qualité d'une Image :

Avant tout traitement sur une image, il est nécessaire d'en définir la qualité. Un examen visuel permet de noter [9] :

- **Le contraste** : une image contrastée présente une bonne dynamique de la distribution des valeurs de gris sur tout l'intervalle des valeurs possibles, avec des blancs bien clairs et des noirs profonds. Au contraire une image peu contrastée a une faible dynamique, la plupart des pixels ont des valeurs de gris très proches.

- **Le bruit** : certains défauts (poussières, petits nuages, baisse momentanée de l'intensité électrique sur les capteurs, etc.) se traduisent par des taches de faible dimension dont la distribution sur l'image est aléatoire.
- **Les déformations géométriques** : dues à la courbure terrestre ou à la parallaxe entre capteur et centre de l'image.

I.7 Traitements généraux sur les Images :

Le traitement d'images est caractérisé par plusieurs techniques appliquées sur l'image dans le but de prélever les informations utiles de cette dernière afin de la rendre plus évidente et percevable et augmenter sa qualité visuelle.

I.7.1 Acquisition des Images :

L'acquisition d'images constitue un des maillons essentiels de toute chaîne de conception et de production d'images. Pour pouvoir manipuler une image sur un système informatique, il est avant tout nécessaire de lui faire subir une transformation qui la rendra lisible et manipulable par ce système. Le passage de cet objet externe (l'image d'origine) à sa représentation interne (dans l'unité de traitement) se fait grâce à une procédure de numérisation. Ces systèmes de saisie, dénommés optiques, peuvent être classés en deux catégories principales : les caméras numériques et les scanners [10].

Grace à l'évolution sans arrêt des technologies qui a donné lieu à l'émergence de nouvelles méthodes et techniques d'acquisition comme celle des cartes d'acquisition, de la sorte qu'elle recueille les images du scanner ou de la caméra numérique en premier lieu, ensuite les transformer en des données binaires (des 0 et des 1) qui seront conservés au sein d'un fichier, il faut noter aussi que le fonctionnement de ces cartes se fait à l'aide d'un capteur CCD (Charge Coupled Device).

L'acquisition d'images numériques mosaïques (sous forme de matrices de nombres) transforme un signal continu analogique (une radiation lumineuse) en échantillonnage numérique discontinu. Il y a donc des pertes d'information dues aux méthodes d'échantillonnage et d'autres dues aux erreurs d'acquisition (capteur défectueux, couverture nuageuse, défauts d'optique, de parallaxe, etc.).

Le premier problème est pris en compte en respectant le principe d'échantillonnage énoncé : la fréquence d'acquisition doit être double de la fréquence maximale du signal. Le deuxième problème est inhérent à la technologie des capteurs et à des facteurs qui échappent en partie au contrôle de l'utilisateur. Ce n'est que par une manipulation des données enregistrées qu'on peut y remédier, d'où les traitements d'images et les filtrages [9].

I.7.2 Filtrage :

Filtrer une image c'est lui appliquer une transformation mathématique qui modifie les valeurs de gris de tout ou une partie des pixels. Si cette fonction est linéaire au sens algébrique du terme, on parle de filtrage linéaire. Si la fonction prend en compte les valeurs de gris au voisinage de chaque pixel transformé, on parle de fonction de convolution. Le terme le plus général est celui d'anamorphose, qui signifie "image grotesque donnée par un miroir courbe » [9].

Le tableau ci-dessous illustre des modèles sur les opérations de filtrages :

Tableau I.3 : Illustration des Opérations de filtrage.

Nom de l'Opération effectuée	Changement effectué
Le Seuillage	Le changement de tous les pixels inférieurs au nombre fixé comme seuil par le nombre 0.
Le Lissage	Le changement de chacun des pixels par la moyenne des valeurs de pixels qui sont liés à lui (ces voisins directs).
L'Extension (Compression Linéaire)	Le changement de chacun des pixels $P(x)$ par $Y(x)$ ainsi : $Y(x) = a * P(x) + b$.

I.8 Restauration de l'Image :

La restauration de l'image est un processus numérique d'imagerie afin de rendre l'image en question (l'image dégradée) à son état initial, telle qu'elle corrige et élimine les défauts, déformations et les erreurs dû à l'agitation du capteur comme : les composantes fréquentielles parasites, les défauts radiométriques et aussi des déformations géométriques liées à l'image, tout cela se fait avec des logiciels de retouche.

I.9 Analyse de l'Image :

L'analyse de l'image numérique réside dans l'enlèvement des facteurs, informations et des données utiles depuis l'image numérique avec des ordinateurs qui nous permettent d'analyser un tas énorme de quantité d'images ainsi cela est faisable seulement grâce aux différents méthodes et processus du traitement du signal.

I.10 Transmission des images :

I.10.1 Chaîne de transmission des images :

La chaîne de transmission d'image comporte plusieurs étapes de traitement pour lesquelles différentes dégradations sont susceptibles d'apparaître lors de l'affichage final [11] :

- La première étape de capture ou d'acquisition de l'image ainsi que la dernière étape celle d'affichage ou de restitution de l'image ont atteint un niveau de perfectionnement très élevé et ne cessent de se perfectionner de jour en jour.
- L'étape du codage nécessite une phase de compression généralement irréversible et avec perte en fonction de la quantité d'information acquise et des contraintes liées à la transmission ou au stockage.
- Cette information codée subit ensuite des distorsions lors de l'étape de transmission.
- L'étape de décodage, introduit encore des défauts qui dépendent de la méthode de codage choisie en amont. A la fin de la chaîne, l'image restituée comportera des défauts plus ou moins visibles et plus au moins gênants pour les applications visées.

La figure ci-dessous illustre la chaîne de transmission :

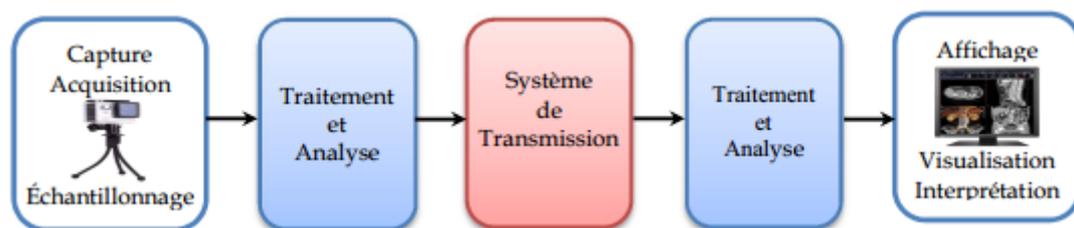


Figure I.6 : La chaîne de transmission d'une image.

I.10.2 Aperçu sur la transmission des images :

La transmission optimale de l'image à haute qualité via un canal sans fil est un grand défi, en particulier pour les applications en temps réel. En raison de la propagation par trajets multiples, des interférences entre symboles (ISI) sont causées, ce qui augmente la probabilité d'erreurs lorsque les données d'image sont transmises [12]. Pour avoir donc une transmission des images optimale et qui se rapproche de l'idéale via l'espace (canal) de propagation, plusieurs paramètres sont à tenir en compte, parmi eux : une bande passante effective, un grand débit, et la réduction du temps de propagation et de la dépense d'énergie. L'OFDM est l'une des modulations multi-porteuses la plus prometteuses, qui présente en effet un niveau de maturité de fait de son utilisation dans de nombreux systèmes de communication sans fil tels que le WiFi, le WIMAX, et encore LTE (Long Term Evaluation) comme standards utilisant aujourd'hui l'OFDM. Cette technique donc apparue comme une solution intéressante permettant aux technologies actuelles d'atteindre des débits très élevés de transmission sans fil grâce à sa bonne efficacité spectrale, sa robustesse vis-à-vis des canaux à multi-trajets, sa simplicité d'égalisation au récepteur, et ses avantages en terme de réduction d'interférence inter-symbole (ISI) [11].

Les méthodes d'accès multiples mises en disposition par le system mobile 4G LTE sont :

- Le SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) est utilisée pour la voie montante.
- L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est utilisée pour la voie descendante.

L'OFDMA a reçu beaucoup d'attention au cours des dernières années, notamment pour la transmission d'image en raison de leur efficacité spectrale, leur débit de transmission et capacité à surmonter les évanouissements sélectifs de fréquence. Ces systèmes offrent de meilleurs résultats avec une bonne qualité d'image par rapport aux techniques traditionnelles [13] [14]. malgré cela un problème majeur est rencontré dans l'OFDMA c'est son taux élevé de consommation d'énergie, qui entraîne des dégradations sévères lorsque le signal passe à travers un dispositif non linéaire comme l'amplificateur de puissance. Pour résoudre les problèmes rencontrés dans la liaison montante de ces systèmes, la concentration est orientée vers un autre système, à savoir le SC-FDMA, car il présente des performances similaires à l'OFDMA mais un PAPR (Peak to Average Power Ratio) plus faible à cause de la mono porteuse à l'émetteur [15] [16]. Ce qui rendra par la suite le mobile moins énergivore.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude on va mettre en avant les caractérisations de la liaison montante du LTE et d'essayer de déterminer le problème de la transmission d'images sur le système SC-FDMA pour les différents systèmes à base de SC-FDMA dans de différents canaux sans fil. Premièrement, évaluer le modèle de système SC-FDMA pour la transmission. Après, on va opposer les performances des systèmes SC-FDMA qui sont basé sur la transformée de Fourier discrète (DFT) avec celui de SC-FDMA qui est basé sur la transformée en cosinus discrète (DCT) et ou encore celui du (DWT) puis les comparer, en termes du rapport signal/bruit de crête (PSNR) et de l'erreur quadratique moyenne (MSE) et évaluer le BER de chacun d'eux pour différents canaux sans fil , afin de sélectionner la technique de transmission appropriée et la plus optimale pour transmission d'images médicales.

I.10.3 Applications nécessitant une transmission d'images :

De nos jours la transmission des images est très utilisé dans de nombreux domaines et a plusieurs applications comme : le télétravail, visioconférence, la télémedecine, les applications de visiophonie et de messagerie, la télédétection (utilisé dans le domaine spatiale) ...etc.

A) La télédétection :

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. La télédétection moderne est née de la photographie aérienne, dont la vue générale et verticale a modelé nos habitudes d'inventaire, de cartographie et de surveillance de l'environnement et des ressources depuis plus d'un siècle [17].

Le transfert des images est devenu très important dans notre monde d'aujourd'hui, tel il est devenu possible de travailler depuis sa maison (télétravail) à mi-temps ou à plein temps dans certains domaines, l'accession fulgurante du l'internet et l'apparition de nouvelle technologie ont tous permis cela,il faut aussi prendre en compte que la transmission des images en temps réel est primordiale dans quelques domaines comme celui de la télémedecine (un domaine vital) donc enfin de compte on est obligé à utiliser ces technologies et les optimiser au maximum afin d'améliorer le quotidien de chacun.

B) Le Télétravail :

Le télétravail désigne une organisation du travail qui consiste pour le télétravailleur [18] :

- À exercer de façon régulière et volontaire, un travail qui aurait pu être effectué dans les locaux de l'employeur, hors de ces locaux en utilisant les technologies de l'information et de la communication (ordinateurs fixes et portables, Internet, téléphonie mobile, tablette, fax, etc.

C) La Télémédecine :

La télémédecine a été conçue comme une solution possible aux principaux problèmes qui se posent actuellement en matière de santé publique. Elle ne se substitue pas aux pratiques médicales traditionnelles mais peut faciliter l'accès de la population à des soins de proximité, pallier le manque de personnel médical et renforcer les missions des établissements isolés. La télémédecine vise aussi à faire des économies grâce à une restructuration des soins et une mise en commun des compétences médicales. En abolissant les distances, la téléconsultation simplifie l'accès à un médecin pour les personnes ayant des problèmes de mobilité et réduit les coûts engendrés par les transferts inutiles de patients et les passages aux urgences.

Parmi les applications importantes de la télémédecine on a [19] :

- **La téléconsultation** : il s'agit d'une consultation à distance, entre un médecin et un patient (seul ou assisté d'un professionnel de santé). Tout médecin libéral ou salarié d'un établissement de santé peut effectuer une téléconsultation, qu'il facture au tarif d'une consultation en présentiel. Toutes les situations médicales peuvent donner lieu à une téléconsultation mais le recours à la téléconsultation relève de la seule décision du médecin.
- **La télé-expertise** : elle consiste en un échange entre au moins deux médecins qui arrêtent ensemble, avec le consentement du patient, un diagnostic ou une stratégie thérapeutique sur la base de données biologiques, radiologiques ou cliniques. Elle permet d'obtenir rapidement l'avis d'un spécialiste, donc de réduire les délais de prise en charge et de suivi.
- **La télé-imagerie** : elle est prédéfinie par deux caractéristiques essentielles qui sont : la numérisation des images médicales et la transmission de ces dernières. Et permet un accès immédiat aux examens d'imageries faites et les examinés peu importe où le patient est situé, parmi les technologies médicales qui utilisent la télé-imagerie on peut citer : la tomographie (TEP), l'IRM, le Scanner et la radiologie.

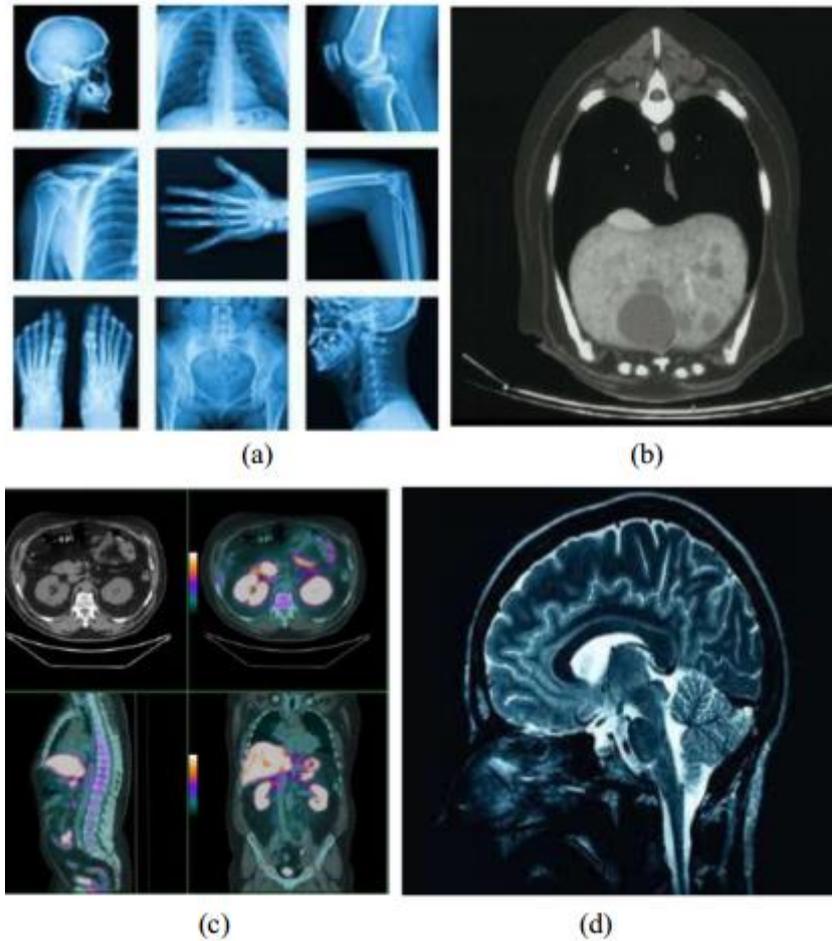


Figure I.7 : Des exemples des images médicales numériques : (a) : La Radiologie, (b) : Image par Scanner, (c) : La Tomographie (TEM), (d) : Image par IRM.

I.10.4 Critères d'évaluation d'un système de transmission des images :

Il y'a plusieurs méthodes et techniques qui nous permettent d'expertiser et d'estimer la qualité d'une image numérique parmi ces critères on cite deux qui sont essentielles :

A) L'erreur quadrature moyenne (MSE : Mean Square Error) :

Ce critère détermine la mesure de la distorsion entre : l'image reconstituée : $\hat{I}(i, j)$ et l'image authentique : $I(i, j)$, il est déterminé par la moyenne des écarts aux carrés entre le pixel $I(i, j)$ de l'image authentique est celui de l'image reconstituée $\hat{I}(i, j)$ illustré dans l'équation ci-dessous, Il est important aussi de noter que l'erreur quadrature moyenne est le critère le plus souvent employé :

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [I(i, j) - \hat{I}(i, j)]^2 \quad (\text{I.1})$$

B) Rapport crête signal sur bruit (Peak Signal to Noise Ratio) :

Il permet de mesurer la fidélité qui est proportionnellement relative à la qualité de l'image. Il s'appuie sur le MSE pour faire l'examen qualitatif de l'image (faire l'évaluation de la qualité visuelle de cette dernière).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{I_{max}^2}{MSE} \quad (I.2)$$

I_{max} détermine la luminance maximale dans le cas d'une image à niveau de gris, on dit sur l'image reconstituée qu'elle est non dégradée lorsque le PSNR est égal à l'infini. Donc plus y'aura de dégradation dans l'image plus la valeur du PSNR décline (baisse). On conclura aussi qu'il associe le MSE à la luminance maximale de l'image.

C) Taux d'erreur binaire « BER » :

Le taux d'erreur binaire ou « binary error rate », est considéré comme un indice et facteur qui permet de mesurer et de calculer le degré qualitatif d'une quelconque transmission numérique. Il est considéré comme une autre modalité d'évaluation et de détermination de l'efficacité du système en question, le SC-FDMA. Il est particularisé par le rapport entre le nombre de bits qui sont erronées sur le nombre total des bits qui ont été envoyés lors de la transmission.

$$BER = \frac{\text{Le Nombre des Bits erronés}}{\text{Le Nombre Totale des Bits}} \quad (I.3)$$

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre on a accompli un récapitulatif et une rétrospective sur les notions essentielles qui constituent l'image analogique et numérique ainsi que les différents traitements et opérations subis lors de la transmission de l'image numérique, on a aussi mis en évidence les domaines et axes d'application de cette dernière particulièrement son utilisation dans la télémédecine. Dans le chapitre qui va suivre on va tacher donc de détailler le système de transmission d'images numériques SC-FDMA.

Chapitre II :
Le Système de Transmission
Mono-Porteuse SC-FDMA

II.1 Introduction :

Le SC-FDMA « Single Carrier Frequency Division Multiple Access » est une technique d'accès multiple qui a été attribuée pour les communications en liaisons montantes relative à la norme 3GPP LTE « Long Term Evolution » nommé réseau cellulaire 4G « 4^{ème} Génération », cette technique porte sur le partage des ressources radio dans un système d'échange radio-mobile.

Au cours de ce deuxième chapitre on va mettre en évidence le principe de fonctionnement détaillé du SC-FDMA, premièrement on va mettre à l'œuvre un aperçu sur l'évolution et le progrès des techniques d'accès multiples dans l'axe de la téléphonie mobile. Par la suite on va mettre en évidence et illuminer chacun des systèmes : le système multi-porteuses OFDM et le système mono-porteuse SC-FDM, ainsi que leurs variantes multi-utilisateurs par ordre : OFDMA et SC-FDMA à la fin on va clore le chapitre en déterminant les différences principales entre les deux systèmes ainsi l'efficacité de la technique d'accès multiples SC-FDMA.

II.2 Évolution des réseaux mobiles :

Depuis l'apparition des réseaux mobiles, ces derniers n'ont pas cessé d'évoluer et de se développer de génération en génération tel qu'ils ont connu une ascension exceptionnelle en débutant de la 1^{ère} génération « 1G » jusqu'à la 5^{ème} génération « 5g » actuellement, en apportant à chaque fois des améliorations exceptionnelles au niveau du : un débit plus élevé, une bande passante plus étendue et avec à chaque fois un accroissement du nombre des utilisateurs en prime.

Dès l'introduction de la 1^{ère} génération de réseaux mobile la « 1G » durant les années 70 qui se basait sur des signaux radio et une modulation analogique, puis l'arrivée de la 2^{ème} génération dite « 2G » une technologie numérique, apportant ainsi avec elle des techniques de répartition et de d'accès numériques comme : le TDMA « Time Division Multiple Acces » et le FDMA « Frequency Division Multiple Acces », ces dernières ont été combinées ensemble notamment dans le standard le plus connu de la 2^{ème} génération des réseaux cellulaires : le GSM « Global System Communication » .

Puis arriva La troisième génération de réseaux mobiles (3G) qui regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA) [20].

Cette dernière avait pour but de se globaliser et être la seule norme au monde entier. Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle [20]. Avec comme objectif en prime l'amélioration et l'optimisation des services suivant : la voix et les données. Le débit maximal qui pouvait être atteint était 384kbits/s (notamment dans la version release 99) pour les deux voies : la voie montante et la voie descendante.

L'UMTS par la suite connaîtra 2 variations essentielles qui sont : Le HSPA « High Speed Packet Access » et Le HSPA+ « High Speed Packet Access+ » avec comme objectifs : augmenter le débit et réduire cette fois-ci le temps de latence et cela tout d'abord en introduisant la commutation par paquets au lieu de la commutation par circuit dans le HSPA, puis le HSPA+ à son tour a été adopté à cause du débit qui devenait insuffisant dans certains pays comme : la Chine, Japon et les Etats-Unis, et en raison du problème des usagers toujours connectés « always on » suite à l'émergence exceptionnelle des produits toujours connectés comme les smartphones.

Le tableau ci-dessous illustre très bien les différentes caractéristiques des différentes générations avant l'arrivée de la « 4G » :

Tableau II.1 : Comparaison entre les différentes technologies mobiles avant la norme LTE [20].

Caractéristiques des Normes	GSM/GPRS /EDGE	UMTS	HSPA Release99	HSPA+ Release8
Débit maximal Up Link	118 Kbits/s	384 Kbits/s	5.8 Mbits/s	11.5 Mbits/s
Débit maximal Down Link	236 Kbits/s	384 Kbits/s	14.4 Mbits/s	42 Mbits/s
Latence	300 ms	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur du canal	200 KHz	5 MHz	5 Mhz	5 Mhz avec une Possibilité de 2 canaux simultanés
Technique d'accès multiples	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL	GMSK	QPSK	QPSK, 16QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Modulation UL	8PSK	BPSK	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, 16QAM
Bandes de fréquences usuelles	900/1800	900/2100	900/2100	900/2100

II.2.1 Apparition de la 4G LTE et sa normalisation :

En décembre 2008, le 3GPP a finalisé la normalisation d'une nouvelle technologie de réseaux cellulaires appelée LTE. Bien que de nombreux concepts soient repris des normes précédentes, elle a aussi apporté de nouvelles innovations technologiques. En effet, contrairement aux améliorations successives vues jusqu'ici, LTE n'est pas une simple évolution de la release R99. Cette toute nouvelle norme introduit une nouvelle technique de transmission sur plusieurs porteuses complètement différentes de l'étalement de spectre des versions précédentes [21]. Elle définit également une architecture de réseau simplifiée et entend ainsi offrir de meilleures performances [20]. Ainsi agrandir la capacité du réseau tout cela grâce aux nouvelles techniques d'accès à la ressource fréquentielle proposée par cette dernière.

Le LTE est ainsi défini dans la Version 8 du 3GPP, tel qu'il est considéré comme la quatrième génération dans l'évolution des réseaux d'accès mobiles, ou aussi appelée 4G LTE. On peut ainsi véritablement parler d'une révolution de l'UMTS, plutôt que d'une évolution [20].

II.3 But de la 4G LTE :

La première version de la 1^{ère} norme du LTE, la release R8 avait comme objectifs [21] :

- **Débits et efficacité spectrale** : les débits crêtes doivent atteindre sur la voie descendante 100 Mbps et sur la voie montante 50 Mbps pour une largeur de bande de 20 MHz. Le débit moyen des utilisateurs doit atteindre, pour une même bande, 3 à 4 fois le débit moyen HSDPA sur la voie descendante et 2 à 3 fois le débit moyen HSUPA sur la voie montante. L'efficacité spectrale visée en bits/s/Hz/site doit augmenter dans les mêmes proportions.
- **Délais** : le délai de transmission d'un « petit » paquet IP à travers le RAN en faible charge et jusqu'à l'UE ne doit pas dépasser 5 ms. La transition d'un état de veille à un état actif ne doit pas dépasser 100 ms.
- **Mobilité** : les performances maximales ne sont, bien sûr, assurées que pour les faibles mobilités, typiquement inférieures à 15 km/h, mais le service doit être assuré jusqu'à 350 km/h.
- **Couverture** : les performances précédentes doivent être assurées pour des rayons de cellules allant jusqu'à 5 km.

- **Coexistence** : les terminaux multi-technologies doivent pouvoir effectuer des mesures sur les réseaux 2G et 3G et l'interruption de service due à un handover vers ou depuis le réseau d'accès ne doit pas dépasser 300 ms pour les services temps réel et 500 ms pour les services non temps réel, le LTE pourra également s'ouvrir à des technologies 2G et 3G non issues du 3GPP comme le CDMA2000 ou WiMax.

II.4 Caractéristiques du 4G LTE :

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz dans une plage de fréquences théorique de 450 MHz à 3,8 GHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « liaison descendante » (down Link) ; la « vraie 4G », appelée LTE Advanced offrira un débit descendant pouvant atteindre 1 Gbit/s ; ce débit nécessitera l'utilisation de bandes de fréquences de 2×100 MHz de largeur qui sont définies dans les versions 10 et 11 (3GPP releases 10 et 11) de la norme LTE Advanced[11].

Tableau II.2 : Les caractéristiques du LTE et du LTE-Advanced [20].

Caractéristiques		LTE	LTE Advanced
Débits crêtes maximum	Down Link	300 Mbits/s	1 Gbits/s
	Up Link	75 Mbits/s	500 Mbits/s
Bandes de fréquence		1.4 à 20 MHz	100 MHz
Latence	Données	10 ms	10 ms (RRT)
	Sessions	100 ms	50 ms
Efficacité spectrale (DL/UL)	Max	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En Limite	0.04/0.02 b/s/Hz	0.009/0.07 b/s/Hz

II.5 Les Spécifications du LTE :

L'arrivée du LTE n'a pas seulement permis d'accroître le débit, et de simplifier les équipements. Mais aussi elle a permis d'introduire de nouvelles techniques d'accès, la première est l'OFDMA « Orthogonal Frequency Division Multiple Access » pour la liaison descendante (Down-Link), elle permet une augmentation remarquable du débit qui peut atteindre 100 Mbits/s

en voie descendante et qui se dégrade peu. Elle est très facile à employer et établie à partir de la modulation OFDM « Orthogonal Frequency-Division Multiplexing » et elle résiste aux canaux sélectifs multi trajets.

En ce qui concerne la voie montante « up-Link » le LTE a introduit une deuxième technique d'accès dont elle l'appartient qui se nomme SC-FDMA « Single Carrier Frequency Division Multiple Access », qu'est bien meilleure que L'OFDMA car elle consomme moins d'énergie. Ce qu'est désirable et requis pour les terminaux mobiles. Autant plus qu'elle offre les mêmes avantages du OFDMA qui ont été déjà abordés dans le paragraphe ci-dessus.

Le standard LTE utilise deux techniques de multiplexage fréquentiel : le mode distribué IFDMA, et le mode localisé LFDMA. L'IFDMA pour lequel les sous-porteuses modulées sont uniformément réparties sur toute la largeur de bande du système, alors que le mode localisé LFDMA, les sous-porteuses sont contigües. La technique d'accès localisée LFDMA a été préférée par rapport à la technique d'accès entrelacée l'IFDMA, car permettant d'obtenir des débits plus importants. Avec cette technique d'accès le débit crête atteint 50 Mbps en uplink pour le LTE [22].

Pour finir les deux méthodes de duplexage qui sont la FDD « Frequency-Division Duplexing » et la TDD « Time-Division Duplexing » sont tous les deux exploités par le LTE. La TDD dispose d'une seule bande de fréquence qui est divisée en intervalles de temps pour les deux liaisons montante et descendante, par contre la FDD emploie plusieurs bandes de fréquences distinctes les unes des autres pour les deux liaisons : montante et descendante.

II.5 Modulations Mono-porteuse et Multi-porteuses :

II.5.1 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 II.1**. Cette technique est certes très simple à mettre en œuvre mais nécessite l'utilisation de techniques élaborées d'estimation et d'égalisation de canal au niveau récepteur, 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 la transmission et qui ne saurait apporter de la diversité lorsqu'elle n'est pas compensée en réception. Des techniques d'estimation et d'égalisation de canal s'imposent donc au niveau récepteur, c'est 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 [23].

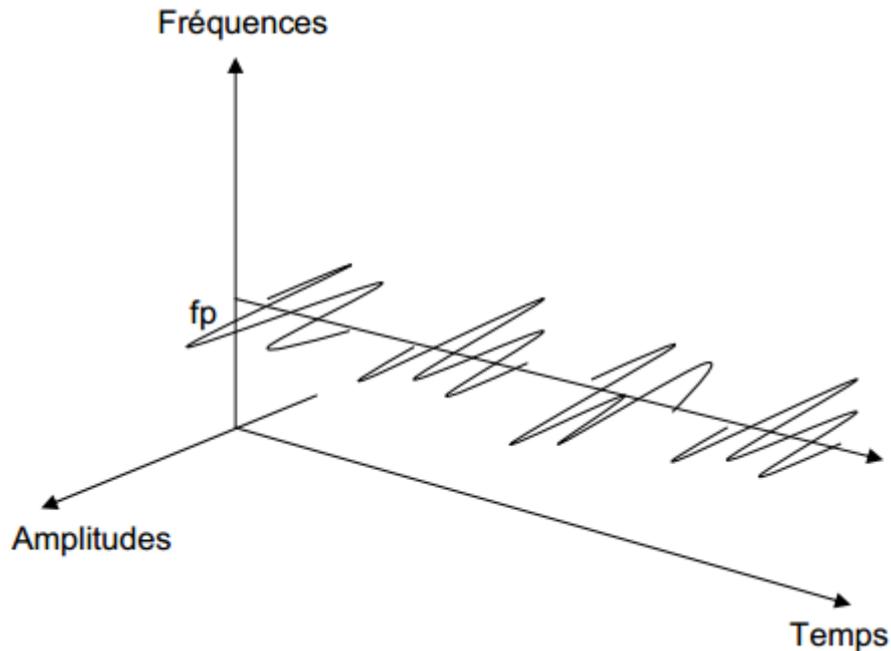


Figure II.1 : La Modulation Mono-porteuse [23].

II.5.2 Modulation Multi porteuses :

L'un des systèmes de transmission en multi-porteuses le plus abouti et le plus réussi est sans doute L'OFDM, c'est pourquoi la LTE est basée sur lui. Tel qu'il peut transmettre instantanément les données grâce aux porteuses multiples dont il dispose tout cela en assurant des débits remarquables, une résistance au canaux sélectifs et en réduisant bien sûr les interférences entre symboles les IES.

La figure ci-dessous met bien en scène la modulation multi-porteuses :

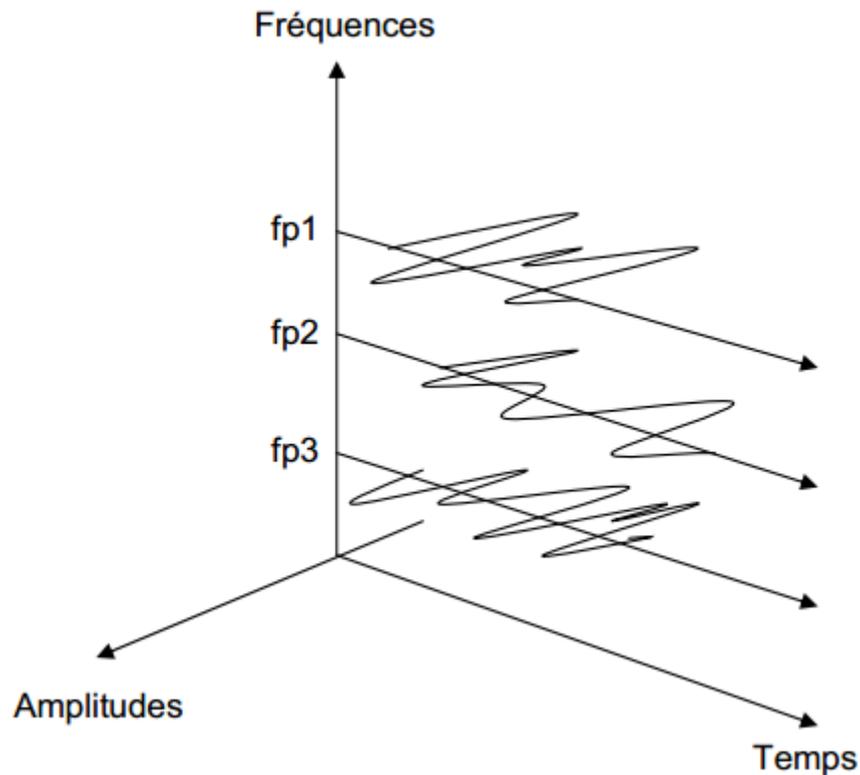


Figure II.2 : La Modulation Multi-porteuses [23].

II.6 Modulation Multi-porteuses OFDM :

Le principe de l'OFDM consiste dans la distribution de la suite des symboles qu'on veut envoyer sur une multitude de fréquences porteuses qui sont orthogonales, toutes dans une seule bande de fréquences tel que le débit total de cette dernière sera subdivisé entre ces porteuses, chacune aura par la suite son propre débit et sa propre bande passante « des sous-bandes » qui sera plus petite. Par conséquent la durée du symbole augmentera, ce qui implique la baisse des interférences entre symboles « ISI ou IES » pour ces dernières, et plus de solidité et de résistance face à la sélectivité fréquentielle du canal.

II.6.1 Principe d'Orthogonalité :

Le point qui différencie la modulation OFDM des autres modulations c'est bien son efficacité spectrale, et cela est faisable seulement grâce au principe de l'orthogonalité dont elle dispose. Telle quelle joue un rôle essentiel afin de se préserver des interférences qui surviennent lors de l'envoi des données dans un canal commun. Cela commence initialement en mettant les multitudes de porteuses en orthogonalité, ci-dessous on va découvrir ce principe mathématiquement parlant et son importance.

On dit que les fonctions $F_1(t)$ et $F_2(t)$ sont orthogonales sur un intervalle $[a, b]$ si [24] :

$$\int_b^a F_1(t) \cdot F_2(t) dt = 0 \quad (\text{II.1})$$

Ainsi ce principe d'orthogonalité permettra par la suite un recouvrement dit « recouvrement partiel » entre les canaux, ci-dessous est illustré un exemple de base orthogonale en fonction du temps :

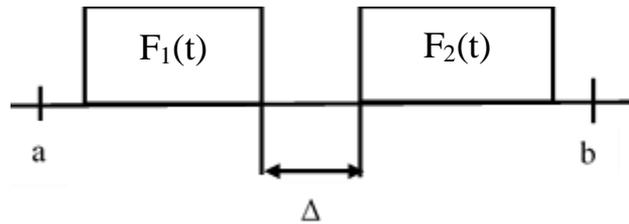


Figure II.3 : Un exemple d'une base orthogonale.

La transformée de Fourier (TF) de la fonction rectangulaire ou porte $\Pi_{T_U}(t)$ d'amplitude A et de largeur T_U est un sinus cardinal donné par l'équation [11] :

$$TF\{A\Pi_{T_U}(t)\} = A \frac{\sin(\pi f T_U)}{\pi f} = A T_U \text{Sinc}(f T_U) \quad (\text{II.2})$$

Le signal véhiculé par chaque sous-porteuse est représenté dans le domaine fréquentiel par un sinus cardinal qui est maximal lorsque le spectre des autres sous-porteuses est nul, cette orthogonalité est obtenue lorsque l'espacement entre les sous porteuses est exactement égal à l'inverse de la durée d'un symbole, c'est-à-dire lorsque $\Delta f = 1/ T_{\text{Symb}}$ [21].

L'orthogonalité dans le domaine fréquentiel est réalisée puisque le maximum de chaque sous-porteuse correspond à un « zéro » des autres. Cette condition permet ainsi d'avoir une occupation spectrale idéale et d'éviter les interférences entre sous-porteuses [24].

Tel que L'espacement en fréquence entre les N -sinus cardinaux (sous-porteuses) de la base orthogonale fréquentielle est défini par [11] :

$$\Delta f = \frac{1}{T_U} \quad (\text{II.3})$$

Sachant que :

1. T_U : la durée de la fenêtre ou de la fonction porte Π attribuée à la sous-porteuse.
2. B : la bande de fréquences des sous-porteuses et $B = N \cdot \Delta f = N/ T_U$.
3. N : nombre de sous-porteuses.

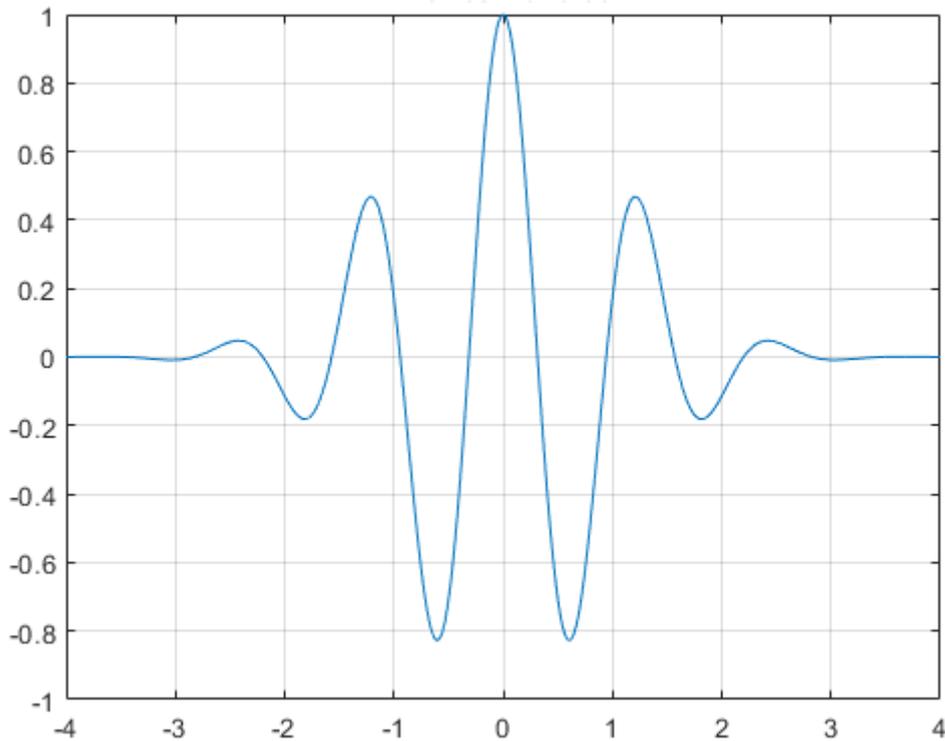


Figure II.4 : Spectre d'une sous-porteuse.

II.6.2 Modulateur OFDM :

Le modulateur OFDM attribue un nombre conséquent des symboles aux multitudes de sous-porteuses utilisables de façon que chacun des symboles attribués prend une bande passante libre.

Le processus d'attribution de l'information sur les le nombre des sous-porteuses : Consiste dans la conversion de bits porteurs de cette information en symboles qui seront véhiculés par la constellation QAM ce processus alors est nommé le mappage « mapping ». Les symboles par la suite seront mis et groupés dans blocs « paquets » chacun d'eux dispose d'une longueur N. et les symboles produits seront de la forme de nombre complexes [11] :

$$X_K = a_k + jb_k \quad (\text{II.4})$$

On appliquera alors une transformée de Fourier discrète inverse (IDFT) aux symboles X_k qu'on veut envoyer afin d'obtenir les symboles S_n , tout en précisant le nombre de sous-porteuses $N=2^m$. Cela est faisable grâce un simple algorithme de transformée de Fourier inverse (IFFT). Le $i^{\text{ème}}$ Symbole OFDM qui sera obtenu attribué au $i^{\text{ème}}$ paquet d'une longueur N est donnée par [11] :

$$s_i(k) = \sum_{n=-N/2}^{\frac{N}{2}-1} X_{i,n} e^{j2\pi \frac{nt}{T}} \quad (\text{II.5})$$

Tel que K varie entre : $-N/2$ et $N/2-1$, et T : la durée d'un symbole OFDM et N : le nombre de sous porteuses orthogonales de fréquence :

$$f_n = \frac{n}{T} \quad (\text{II.6})$$

Les fréquences orthogonales sont espacées, tel que l'espace entre deux fréquences adjacentes est égale à $1/T$:

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T} \quad (\text{II.7})$$

Avec : k qui varie entre $[0 \dots N-1]$.

Tandis que f_0 constitue la première fréquence de la bande de signal tel que quand l'échantillonnage sera effectué à la fréquence f_k d'une sous porteuse, il n'y aura pas d'interférences avec les autres sous porteuses.

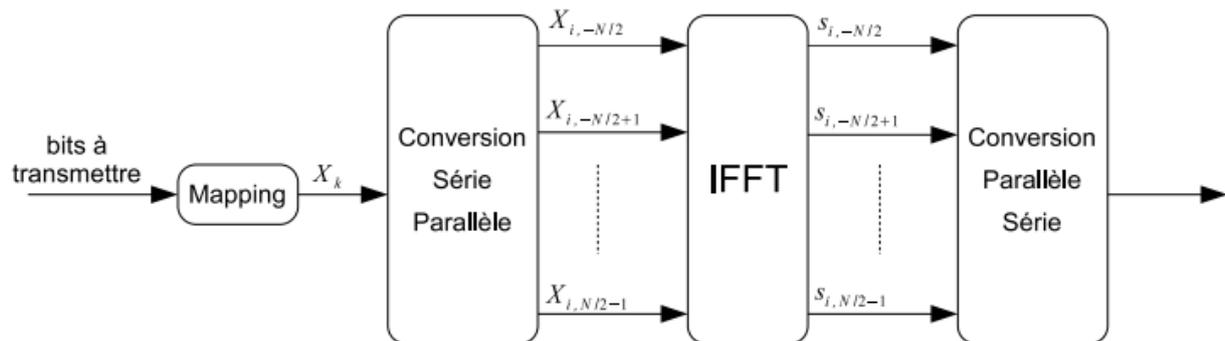


Figure II.5 : Schéma de principe du modulateur OFDM numérique [25].

II.6.3 Intervalle de garde :

L'intervalle de garde est un délai introduit entre la transmission de deux symboles OFDM consécutifs, est utilisé dans les systèmes terrestres afin d'absorber l'étalement des retards dus aux multi-trajets [25].

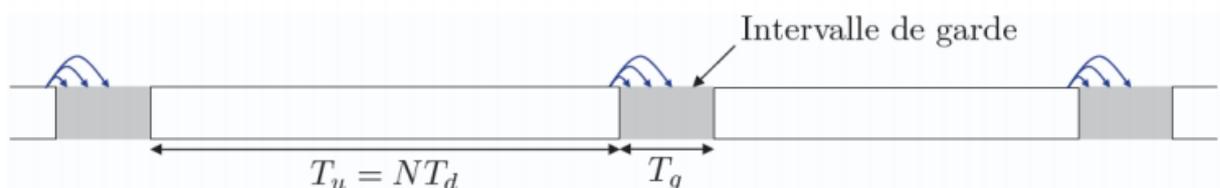


Figure II.6 : Illustration de l'intervalle de garde entre deux symboles OFDM consécutives [26].

Il existe deux formes d'inclusion de l'intervalle de garde :

- **Le Préfixe Cyclique (CP) :** c'est une copie de l'arrière train du symbole OFDM à envoyer, qui est placée au début de ce dernier (à l'intérieur de l'intervalle de garde) dans l'intention d'éviter les interférences entre symboles (ISI ou IES) et synchroniser ces derniers.
- **Zero Padded (ZP) :** contrairement à tous ce qu'est dit dans la partie précédente, l'intervalle de garde dans du ZP est composé avec que des zéros seulement. Ce qui nous permettra plus d'économie d'énergie.

II.6.4 Démodulateur OFDM :

À l'inverse du processus de la modulation et du modulateur, un démodulateur nous permet à la réception d'extraire les bits d'informations supposées modulés et envoyés du côté de l'émission, ce dernier grâce à une transformée de Fourier discrète directe (DFT) qui basée sur un algorithme de calcul qui est la transformation de Fourier rapide (FFT). Généralement les démodulateurs sont associées à des decodeurs correcteurs d'erreurs afin éviter les tas de perturbation que le signal a subi lors de son périple .

La figure ci-dessous illustre les blocs et parties fondamentales du démodulateur :

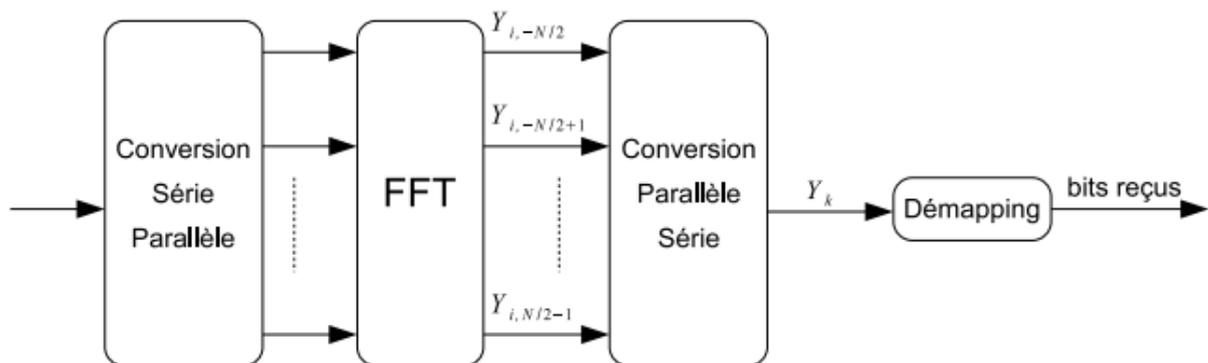


Figure II.7: Schéma de principe d'un démodulateur OFDM numérique [25].

II.6.5 Avantages et Inconvénients :

Parmi les avantages qu'ont rendu l'OFDM si essentiel on peut sans doute en citer [24] :

1. Sa simplicité et sa facilité d'implémentation dû notamment aux algorithmes de calcul rapide qu'il embarque (IFFT/FFT).

2. La solidité de ses signaux vis-à-vis des canaux sélectifs, plus particulièrement qui dû à l'orthogonalité de ses sous-porteuses qui nous épargnera par la suite les interférences entre les sous porteuses (ICI) et ainsi optimisation l'utilisation de la plage fréquentielle.
3. L'intervalle de garde qui lui donne l'habilité de faire une égalisation numérique et également la suppression des interférences entre les symboles (ISI).
4. L'incorporation des sous porteuses qui sont séparée les unes les autres qui aura par la suite de bonnes répercutions dans la gestion du bruit et qui le rendra un système plus fiable et robuste.

On constate aussi que le système et la modulation OFDM ne comporte pas seulement des avantages mais aussi certains inconvénients qu'ils faudra évoquer :

1. Sa sensibilité face au erreurs de synchronisation, qui introduira ensuite à la réception un déphasage des symboles.
2. La sensibilité de ses signaux dans les zones de non linéarités au cours de leurs périples à l'intérieur des équipements qui fonctionne dans ces zones, plus spécifiquement les amplificateurs. En conséquent la provocation des répercutions énergétique notamment : la hausse de la consommation d'énergie ce qui causera plus de distorsions.

II.7 Système mono-porteuse SC-FDMA :

Cette méthode d'accès multiple est venue résoudre le souci de gestion et d'économie de l'énergie, dont tous les cellulaires souffre dans la technologie 4G LTE, en étant moins énergivore que l'OFDMA. C'est pourquoi dès l'année 2008 elle a remplacé cette dernière et a été mis en service pour les liaisons montantes au sein de la norme 3GPP LTE.

II.7.1 Émetteur SC-FDMA :

La modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse mais très proche de la modulation OFDM. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses, non pas directement les symboles source comme en OFDM, mais leur représentation fréquentielle après les avoir réparties sur la bande du système selon un certain mode. On a d'abord un modulateur DFT « Discrete Fourier Transform » dont l'entrée $D_Q^a(n)$, constitue le bloc de symboles source de la modulation MAQ de l'utilisateur a à l'instant n . Ce modulateur transforme le bloc $D_Q^a(n)$ en Q symboles fréquentiels $U_Q^a(f)$, qui viennent ensuite moduler un ensemble de Q sous-porteuses choisies parmi N tel que ($N \geq Q$) avec comme objectif l'étalement spectral du signal et le multiplexage fréquentiel des signaux. La sortie du multiplexeur est enfin ramenée dans

le domaine temporel par un modulateur IDFT (« Inverse DFT ») pour donner les symboles de sortie $S_N^a(n)$. On peut remarquer que cette dernière partie de la chaîne n'est rien d'autre que le modulateur classique OFDM. Dès lors, on peut considérer le système SC-FDMA comme un système OFDM avec un pré-codage DFT et une allocation de ressources particulière [23].

Par la suite y'a deux étapes très importantes qu'il ne faut pas aussi négliger, qui sont les insertions du préfixe cyclique tout d'abord puis un filtre de mise en forme avec pour objectifs une transmissions quasi-optimale des informations.

Le Signal $S^k(t)$ d'un utilisateur k à la sortie d'un modulateur SC-FDMA sera donné par l'expression suivante [11] :

$$S^K(t) = \sum_{n \in \Omega_Q^k} u_n^k p(\tau - nT_S) e^{2j\pi f_n \tau} \quad (\text{II.8})$$

La **figure II.8** illustre parfaitement les nombreuses constituantes d'un émetteur SC-FDMA :

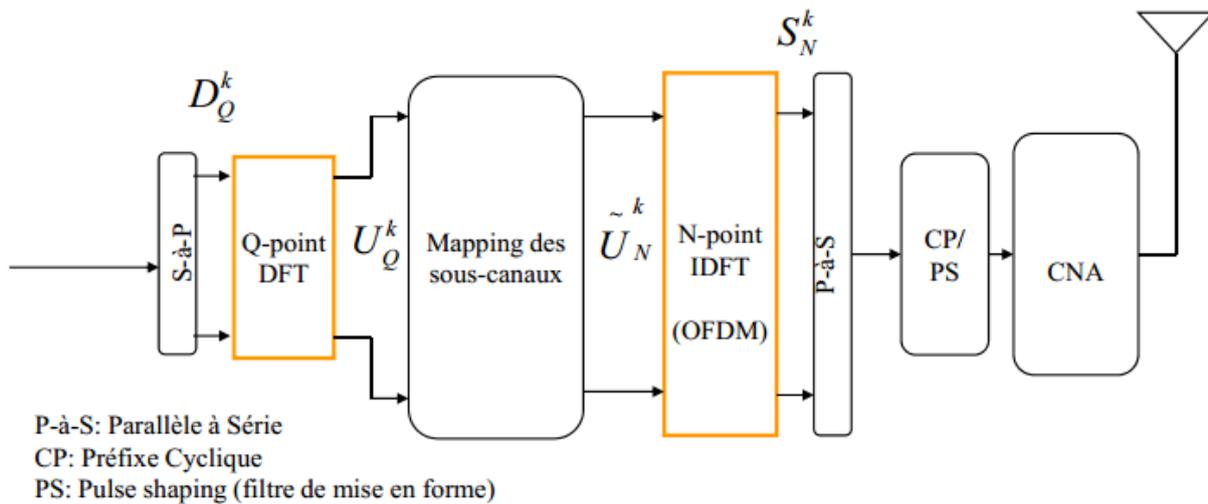


Figure II.8 : Un émetteur SC-FDMA.

II.8. Récepteur SC-FDMA :

Le principe de la démodulation du système SC-FDMA consiste à démoduler le signal sur chacune des sous-porteuses du système. En effet, le signal reçu $y^a(t)$ 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. Un égaliseur est ensuite mis en œuvre, dans le but de supprimer la contribution du canal sur chaque sous-porteuse du signal, et de récupérer ainsi les symboles fréquentiels $\{u_q^{n,a}\}$. Un démodulateur IDFT permet ensuite de récupérer les symboles sources $\{d_q^{n,a}\}$ [23].

La figure ci-dessous illustre cela parfaitement :

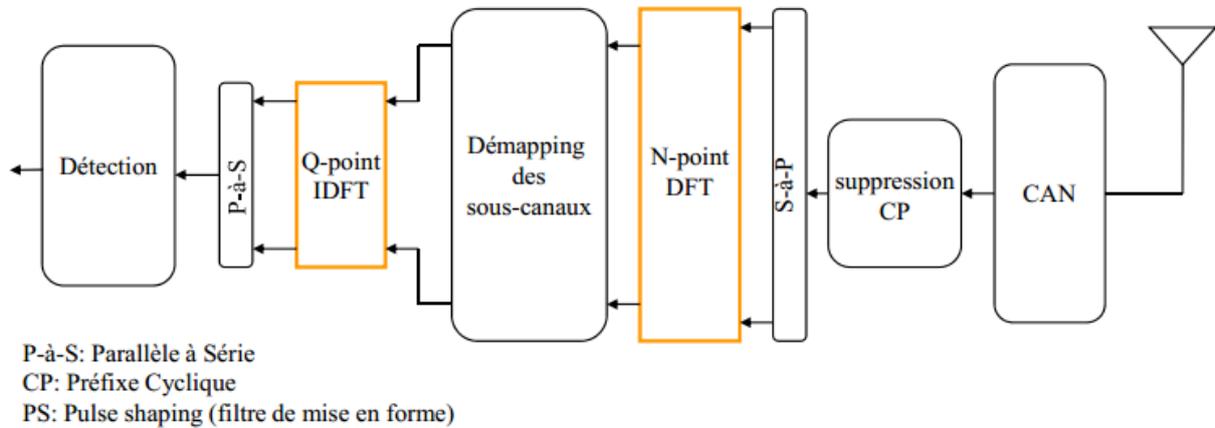


Figure II.9 : Un Récepteur SC-FDMA.

II.9 Modes d'allocation dans le SC-FDMA :

Dans le SC-FDMA la bande de fréquence totale est divisée en plusieurs sous bandes de fréquences au moyen d'une méthode d'étalement spectrale qui permettra l'attribution des sous-bandes à chacun des utilisateurs afin de restreindre les interférences entre eux. Par conséquent avoir un accroissement du nombre de ces derniers et une amélioration des ressources spectrales.

II.9.1 Allocation des ressources en mode distribué :

Dans le mode distribué les Q sous-porteuses d'un multiplex qui sont régulièrement réparties sur toute la bande passante du système, et qui sont modulées par Q symboles générés à la sortie du bloc DFT, et les $N - Q$ sous porteuse qui ne sont pas modulées seront nuls **Figure II.10** Le SC-FDMA dans ce cas porte le nom de IFDMA ou « Interleaved FDMA » [27] [28], permettant ainsi de préserver l'orthogonalité entre les différents usagers néanmoins y'a des cas qui actionnent la perte de cette dernière, parmi eux : une grande mobilité et une fausse synchronisation qui provoqueront une instabilité dans le système et génèreront aussi les offsets de fréquences qui affecteront par la suite l'IFDMA [11].

La figure II.10 illustre très clairement l'allocation des ressources en mode distribué :

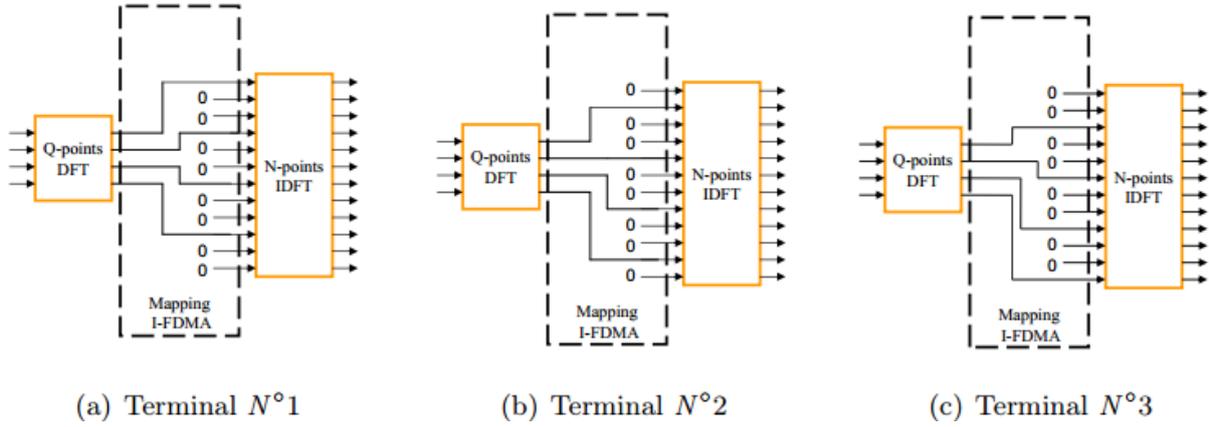


Figure II.10: Mapping I-FDMA [23].

Le signal à la sortie d'un modulateur I-FDMA peut s'écrire comme suit [11] :

$$S_{Q.l+p}^k = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k \cdot e^{j2\pi \frac{qp}{Q}} \right) \cdot e^{j2\pi \frac{km}{N}} \quad (\text{II.9})$$

$$S_m^k = S_{Q.l+p}^k = \frac{1}{L} \cdot d_p^k \cdot e^{j2\pi \frac{km}{N}} \quad (\text{II.10})$$

Où d_p^k représente les symboles source de constellation obtenue par une transformée de Fourier inverse des symboles u_q^k .

II.9.2 Allocation des ressources en mode localisé :

Dans ce mode d'allocation des ressources de manière localisée ou également appelé « Localised FDMA » le L-FDMA. À la sortie du modulateur DFT, l'ensemble des symboles fréquentiels vont être associés et viennent moduler un bloc ou une séquence de sous porteuses voisines. Cependant il a un point en commun avec le mode I-FDMA déjà expliqué ci-dessus dans c'est l'attribution des sous porteuses non-modulées à des signaux nuls. Mais à la grande différence du I-FDMA le L-FDMA assure une orthogonalité des signaux des différents usagers, cela est notamment dû grâce à sa solidité et sa résistance aux offsets fréquentiels. Ce qui a fait de lui le mode d'allocation utilisé dans transmission de données dans la 4G LTE pour la liaison montante [23]. Ainsi, Le signal à la sortie d'un modulateur L-FDMA peut s'écrire comme suit [11] :

$$S_m^k = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{Q} \sum_{q=0}^{Q-1} u_q^k e^{2j \frac{m \cdot q}{Q \cdot L}} \right) \cdot e^{2j\pi \frac{m \cdot k}{L}} \quad (\text{II.11})$$

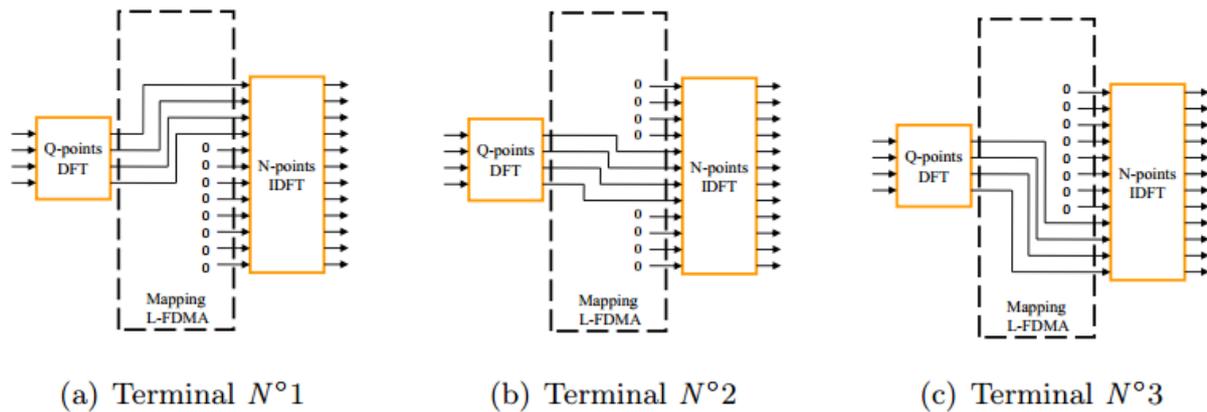


Figure II.11: Mapping L-FDMA [23].

II.10 SC-FDMA et OFDMA :

L'OFDMA est une méthode d'accès multiple qui a été fondée à partir de la technique qui a été introduite et utilisée au sein de la norme 3GPP LTE pour la transmission des informations pour la liaison descendante. Cette dernière a été établie à partir d'une association de FDMA et TDMA et a beaucoup de point en commun avec SC-FDMA, telle que la différence entre eux se résume dans le pré-codage accompagné par un multiplexage fréquentiel qu'apporte la SC-FDMA en plus par rapport l'OFDMA [23].

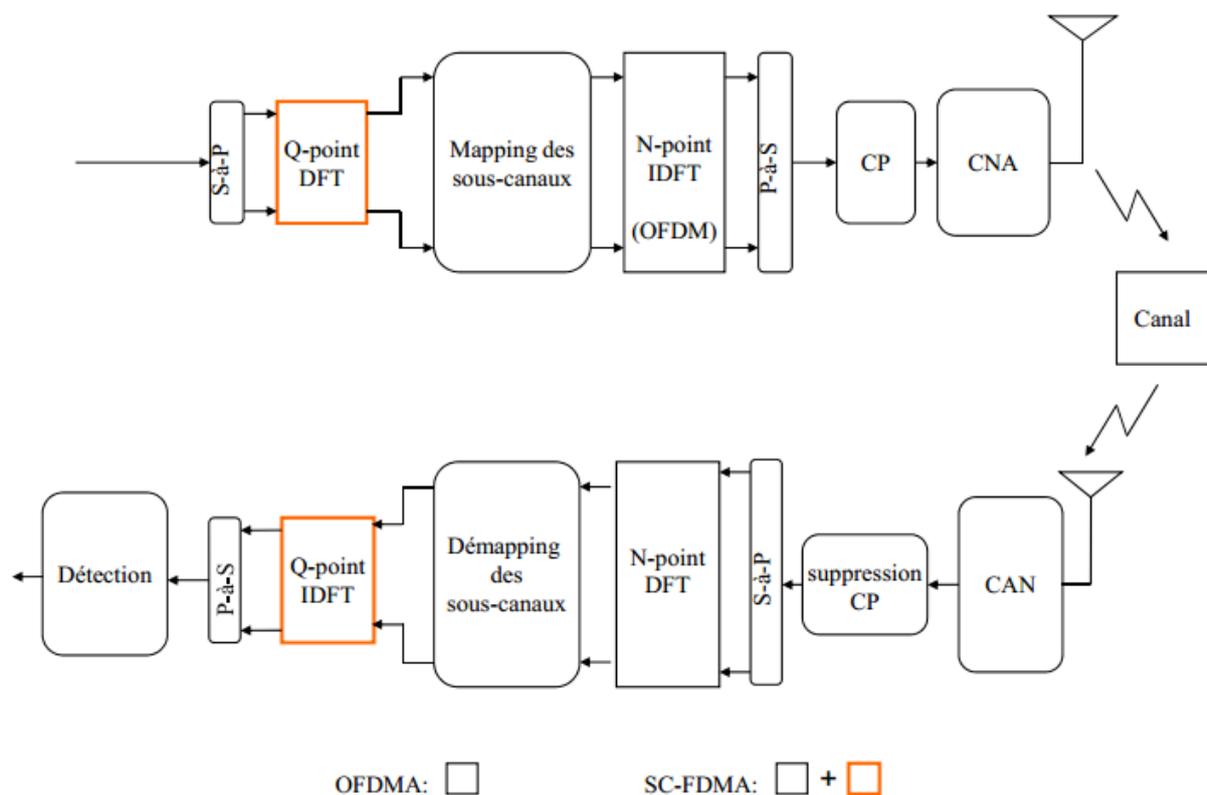


Figure II.12 : Les Émetteurs et les Récepteurs des systèmes OFDMA et SC-FDMA [23].

La figure ci-dessus indique les similitudes que les deux systèmes OFDMA et SC-FDMA partagent, parmi celles-ci on peut en citer :

1. L'ajout d'un intervalle de garde qui limite l'apparition des interférences entre les différents blocs.
2. La transmission des informations se fera de la même manière, c'est à dire divisé en séquence (des blocs).
3. La réalisation de l'égalisation du canal et le multiplexage dans le même axe, à savoir tous les deux se passeront dans le domaine fréquentiel.

Ces deux systèmes ne partagent pas seulement que des similitudes, mais aussi des différences parmi ces points qui les différencient on peut en citer :

1. La première distinction capitale dont le système SC-FDMA se distingue avec, est l'insertion de la DFT, telle que l'élaboration de la détection et l'égalisation se passera de manière divergente de chacune des sous-porteuses indépendamment des autres.
2. Le SC-FDMA est utilisée dans la transmission en mono-porteuse pour la liaison montante « up-Link », tandis que l'OFDMA est employée dans la transmission multi-porteuse pour la liaison descendante « down-Link ».
3. Le SC-FDMA consomme moins d'énergie par rapport au OFDMA.
4. La transmission des informations dans SC-FDMA se fait de manière consécutive portée par une seule fréquence modulante, par contre dans l'OFDMA la transmission se fait de manière instantanée véhiculée par plusieurs fréquences porteuses.

II.11 Conclusion :

Au cours de ce 2^{ème} chapitre on a tâché de mettre en évidence le système mono-porteuse SC-FDMA qui est utilisé comme une technique d'accès multiple pour la voie montante dans la norme 4G LTE, avec toute ces méthodes de modulation et de démodulation. On a aussi pu assimiler que ce dernier transmet les informations par séquences, et qu'il a un critère avantageux qui se résume dans sa faible consommation d'énergie, qui s'est révélé être capitale dans l'utilisation notamment pour les appareils cellulaires. On a aussi pu illustré clairement les modes de multiplexage fréquentiel de ce système, le I-FDMA et le L-FDMA, ainsi que les nombreux avantages que présente le SC-FDMA par rapport au OFDMA. Enfin Au cours du dernier chapitre on tachera de mettre au clair la transmission des images médicales en utilisant trois systèmes qui seront à base du SC-FDMA.

Chapitre III :
Simulation d'un Système SC-
FDMA pour la Transmission
des Images Médicales

III.1 Introduction :

Au cours de ces dernières années, le transfert et la transmission des images numériques via les réseaux sans fil a connu une ascension fulgurante notamment dans le domaine de la télémédecine, et cela est spécialement dû aux innovations et le déploiement de nouvelles processus de traitement des images, et les innovations faites coté transfert en temps réel des données, avec l'introduction à chaque fois de nouvelles techniques qui permettent de réduire les délais de latences et ainsi optimiser la transmission.

Dans ce dernier chapitre on va mettre en œuvre un système de transmission d'images médicales basée sur le système SC-FDMA, et cela avec le logiciel de simulation Matlab. Tel qu'il va d'abord nous permettre de simuler et de représenter l'SC-FDMA avec ces différents paramètres et caractéristiques, ensuite on va pouvoir comparer le rendement des trois prototypes de ce dernier à savoir : DFT SC-FDMA, DCT SC-FDMA et DWT SC-FDMA. Ainsi évaluer la qualité visuelle de l'image médicale véhiculé par ces trois systèmes dans deux types de canaux : le Canal AWGN, et deux Canaux Multi-trajets. Et aussi évaluer leurs performances grâce aux outils et aux métriques d'expertise comme : MSE, PSNR et BER dans deux canaux de transmission qui sont : le canal AWGN et le Canal Multi-trajet « Vehicular A ».

III.2 Transmission des Images Numériques :

Comme il était dit précédemment la transmission des images numériques est devenue très importante de nos jours, d'où le but de ce dernier chapitre tel qu'il va permettre d'évaluer et analyser la transmission des images médicales via le système SC-FDMA ainsi comparer ces trois modèles qui sont DFT-SCFDMA, DCT-SCFDMA et DWT-SCFDMA en vue de designer la technique la plus convenable et adéquate à la transmission qualitative et efficace des images médicales.

La figure ci-dessous illustre clairement comment se déroule la transmission des images numériques avec un système SC-FDMA :

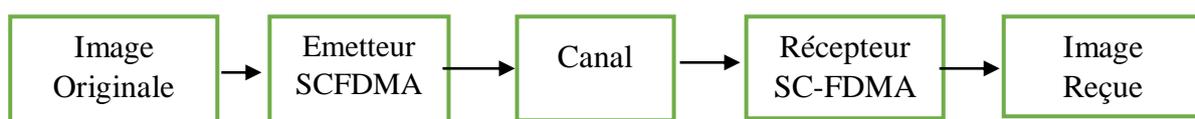


Figure III.1 : Les étapes de transmission d'une image numérique à l'intérieur d'un système SC-FDMA.

III.2.1 Architecture du Système DFT SC-FDMA :

La figure ci-dessous illustre parfaitement les différents blocs qui composent le système en question établie à partir d'une DFT :

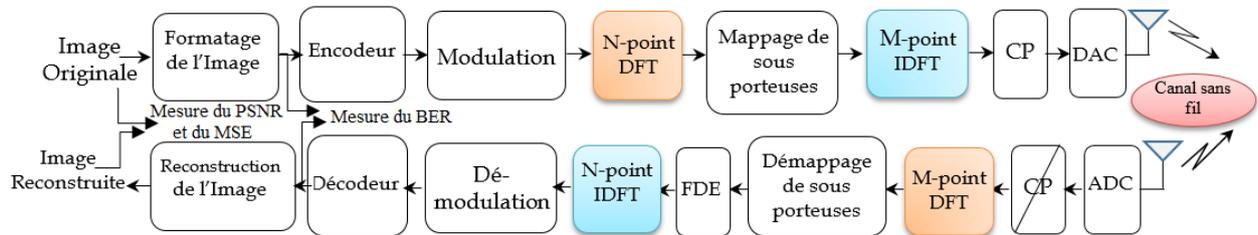


Figure III.2 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DFT.

En premier lieu l'image subit un formatage, tel qu'il transforme l'image de sa forme matricielle à une forme binaire adéquate aux diverses opérations et traitements qu'elle va subir dans le système SC-FDMA.

Après la transformation en forme binaire, les valeurs binaires qui contiennent l'image vont être codées par un codeur correcteur d'erreurs, par la suite ils seront modulés par une modulation de phase en quadrature QPSK. Les symboles fréquentiels seront mappés à des sous porteuses orthogonales. Suivi par une IDFT pour convertir les symboles fréquentiels en des symboles temporels.

Enfin un Préfixe Cyclique sera ajouté au signal, ce dernier par la suite sera converti de sa forme numérique à une forme analogique prêt à être transmis dans l'espace libre.

Dans la partie réception, le signal reconverti subira un processus inverse tel qu'il le préfixe cyclique sera retiré, puis le signal va être converti dans le domaine fréquentiel avec une DFT pour rétablir les sous-porteuses suivi d'un processus de dé-mappage de sous porteuses pour extraire les fragments de chaque signal source.

Enfin, les symboles subiront cette fois-ci une conversion du domaine fréquentiel vers le domaine temporel avec IDFT suivi d'une opération de démodulation afin de récupérer les informations initiales qui seront décodées par un décodeur et ainsi reconstruire le signal (l'image transmise dans notre cas) qui sera prête à être utilisée.

III.2.2 Architecture du Système DCT SC-FDMA :

La figure ci-dessus illustre très clairement les blocs constituant le système SC-FDMA basé sur une « Discret Cosine Transform » dite DCT telle qu'elle est semblable à celle basée sur une DFT, avec des changements importants établis au niveau du DFT et IDFT qui sont remplacés dans ce cas par Des DCT et IDCT.

A la différence de la DFT, la DCT utilise des valeurs qui sont réelles contrairement à la DFT qui utilise des valeurs complexes, ce qui rend la DCT moins compliquée et plus facile par rapport à la DFT. En plus de, elle est plus robuste et résistante aux interférences entre les symboles « ISI ». Cette dernière permet de concentrer les données transmises dans des basses fréquences qui sont plus proche à la limite nulle donc par conséquence, elles seront moins sensibles face l'effet de l'ISI.

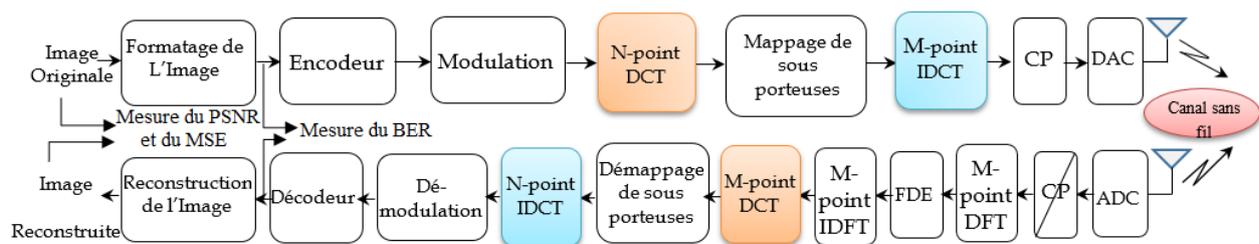


Figure III.3 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DCT.

III.2.3 Architecture du Système DWT SC-FDMA :

Il est simplement une forme développée du SC-FDMA avec un système d'égalisation du domaine fréquentiel (SCFDE) ce qui aide à faciliter l'accès multiple aux services multimédias. Son principe consiste en des fluctuations de signal plus faibles qui absorbe considérablement moins d'énergie, ce qui entraîne une durée de vie prolongée de la batterie. Cette technique permet au système de réduire les distorsions du signal et les problèmes de PAPR. La technique SC-FDMA peut être adoptée avec le DWT « Discrete Wavelet Transform » pour la transmission d'image via les systèmes de communication sans fil. Cette association va nous donner des avantages comme [29] :

1. Améliore la transmission et la qualité de l'image en réduisant le BER.
2. Permet une bonne localisation en temps et en fréquences.
3. Plus grande flexibilité et introduit un « Scaling » inhérent et effectue une transformation de l'image entière.

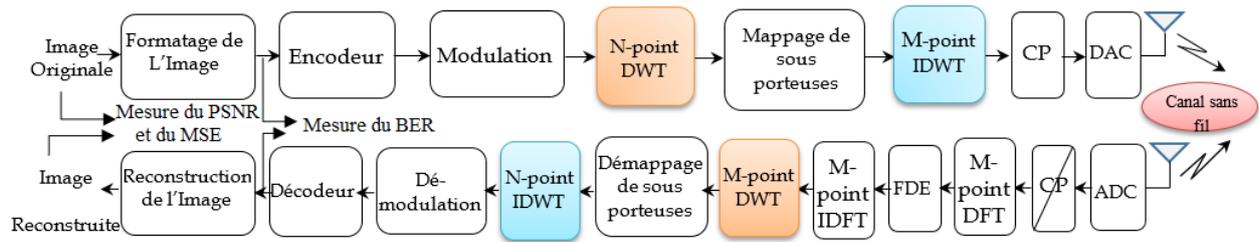


Figure III.4 : Schéma à blocs constituant le système SC-FDMA à base de DWT.

III.3 Paramètres de La Simulation :

III.3.1 Type d'image et des Canaux utilisés :

La simulation porte sur une transmission d'image numérique médicale via la technique SC-FDMA et ces diverses spécificités qui ont été prises par un scanner thoracique, l'image en question évoque une infection pulmonaire telle que la Covid-19.

Dans le but de tester les performances des trois systèmes DFT, DCT et DWT basés sur L' SC-FDMA lors de la transmission de l'image médicale, il est nécessaire de faire une simulation dans différents types de canaux de transmission. Commencant d'abord par le canal AWGN « Additive White Gaussien Noise » puis dans les canaux multi-trajets comme : le canal « Vehicular A », un long canal qui est caractérisé par beaucoup d'évanouissements. Ensuite y'a le canal « Pedestrian A » qu'est caractérisé par moins d'évanouissements et une courte longueur de canal.

III.3.2 Paramètres et caractéristique de l'image médicale transmise :

Parmi les paramètres les plus essentiels de cette simulation, qu'il faudra absolument évoquer, d'abord les pré-codeurs utilisés sont : DFT, DCT et DWT avec une modulation QPSK dans les canaux multi-trajets « Ped A », « Veh A » et le canal AWGN en utilisant un égaliseur « MMSE ». Tout cela sera associé avec les deux modes d'allocations : le Localisé et l'entrelacé.

III.4 Analyse Visuelle des Résultats de la transmission de l'image :

Dans un premier temps on va prélever l'image médicale originale qui a été envoyée dans le canal AWGN puis voir les résultats visuels dans les deux modes IFDMA et LFDMA. et recommencer le processus de nouveau dans les deux canaux multi-trajets « Pedestrian A » et « Vehicular A ».

III.4.1 Transmission dans le canal AWGN :

A. Système SC-FDMA basé sur le pré-codeur DFT :

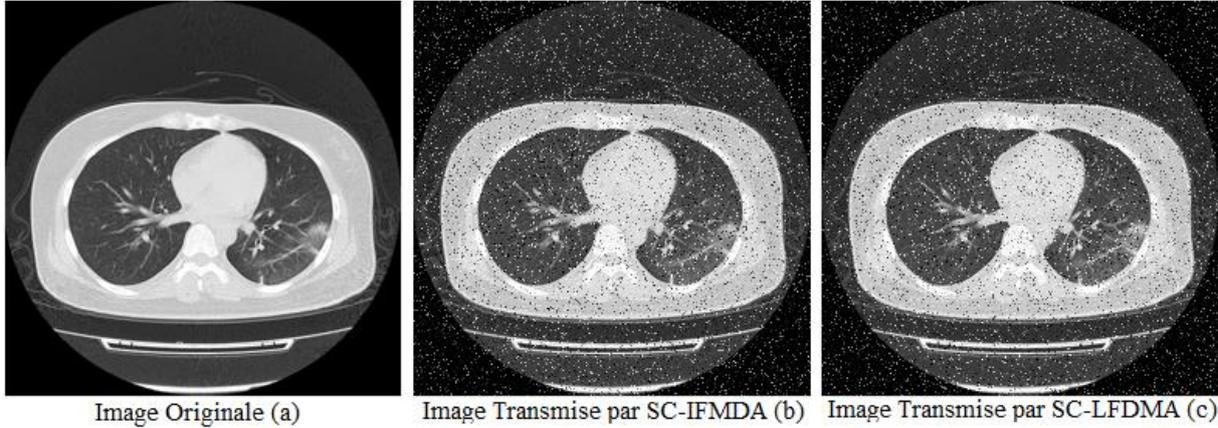


Figure III.5 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR = 5dB. PSNR IFDMA =18.8914 dB, PSNR LFDMA=18.9969 dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =18.8914dB, tandis que le PSNR du mode localisé=18,9969dB.

B. Système SC-FDMA basé sur le pré-codeur DCT :

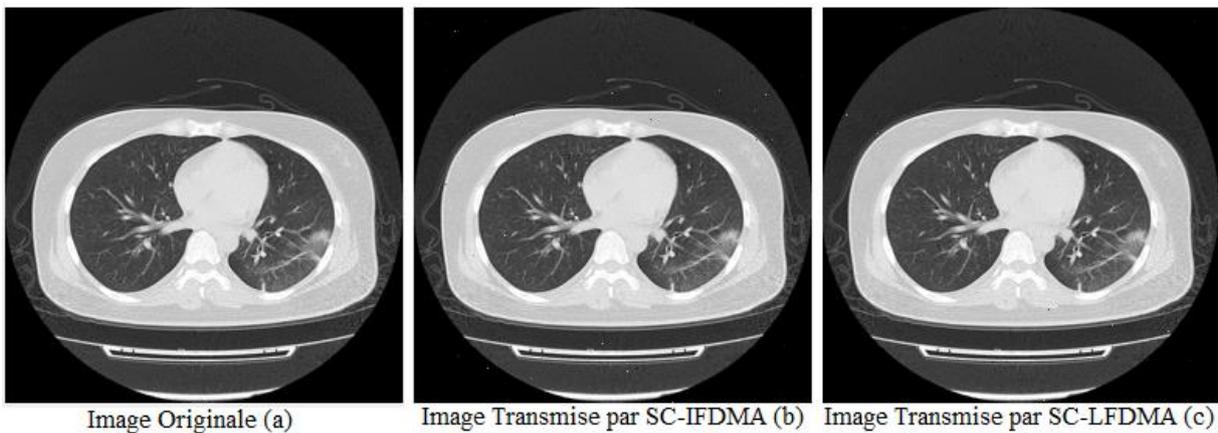


Figure III.6 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR=5 dB. PSNR IFDMA=42.2041 dB et PSNR LFDMA=45.6460 dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =42.2041dB, tandis que le PSNR du mode localisé=45.6460dB.

C. Système SC-FDMA basé sur le pré-codeur DWT :

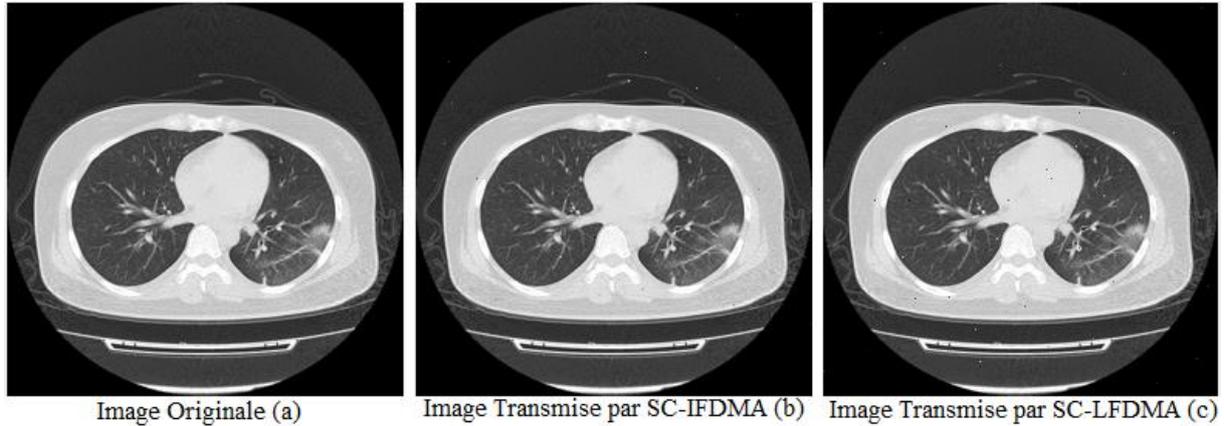


Figure III.7 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR= 5dB. PSNR IFDMA=43.9368dB, PSNR LFDMA=40.0183dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =43.9368dB, tandis que le PSNR du mode localisé=40.0183dB.

III.4.2 Transmission dans le canal multi-trajets Vehicular A « Veh A » :

A. Système basé sur le pré-codeur DFT :

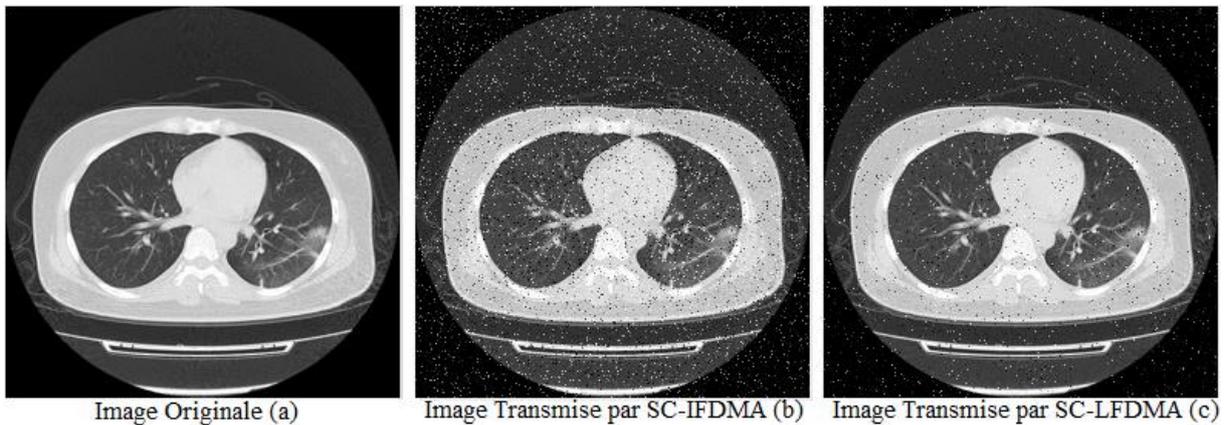


Figure III.8 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA=20.3564dB, PSNR LFDMA=24.8214dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =20.3564dB, tandis que le PSNR du mode localisé=24.8214dB.

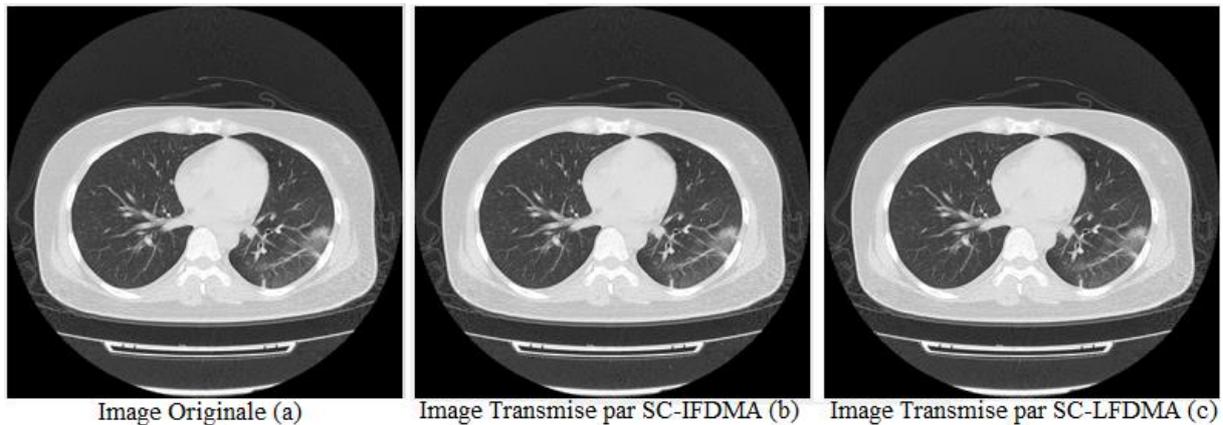
B. Système basé sur le pré-codeur DCT :

Figure III.9 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR= 5dB. PSNR IFDMA= 50.4584dB, PSNR LFDMA= 52.8165dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =50.4584dB, tandis que le PSNR du mode localisé=52.8165dB.

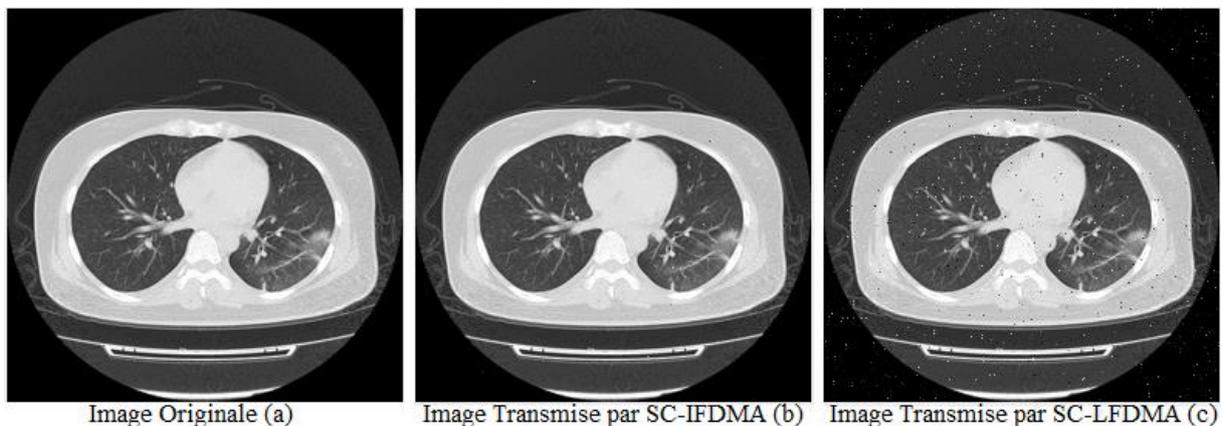
C. Système basé sur le pré-codeur DWT :

Figure III.10 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA= 45.8565dB, PSNR LFDMA=29.3392dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =45.8565dB, tandis que le PSNR du mode localisé=29.3392dB.

III.4.3 Transmission dans le canal multi-trajets Pedestrian « Ped A » :

A. Système basé sur le pré-codeur DFT :

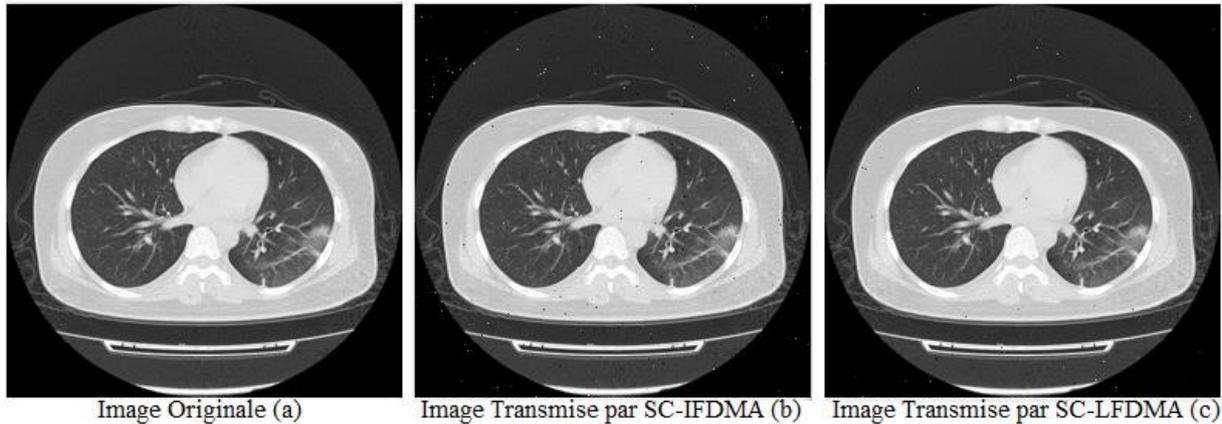


Figure III.11 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DFT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA=34.4832dB, PSNR LFDMA=39.6465dB.

On remarque que le PSNR du mode entrelacé =34.4832dB, tandis que le PSNR du mode localisé=39.6465dB.

B. Système basé sur le pré-codeur DCT :

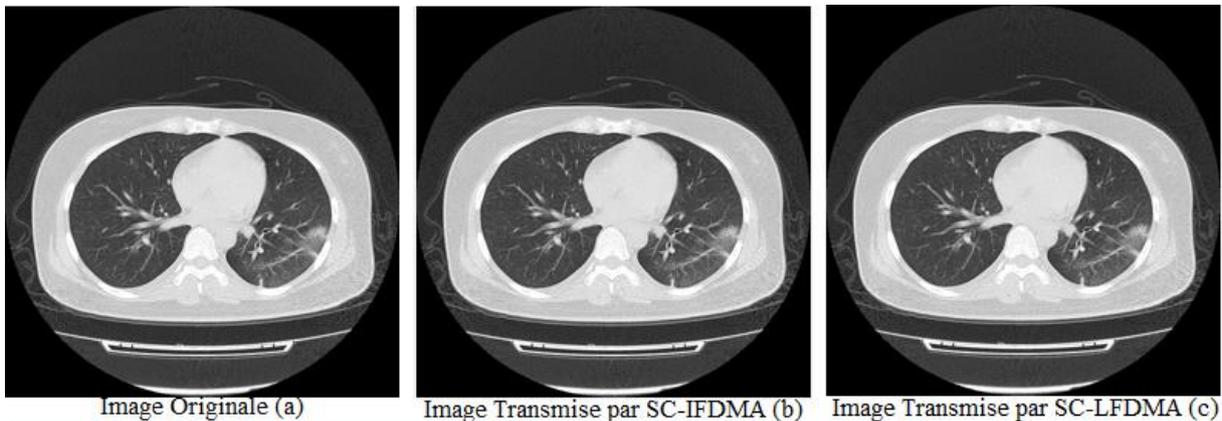


Figure III.12 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DCT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA = ∞ , PSNR LFDMA = ∞ .

On remarque que le PSNR du mode entrelacé = ∞ , tandis que le PSNR du mode localisé= ∞ .

C. Système basé sur le pré-codeur DWT :

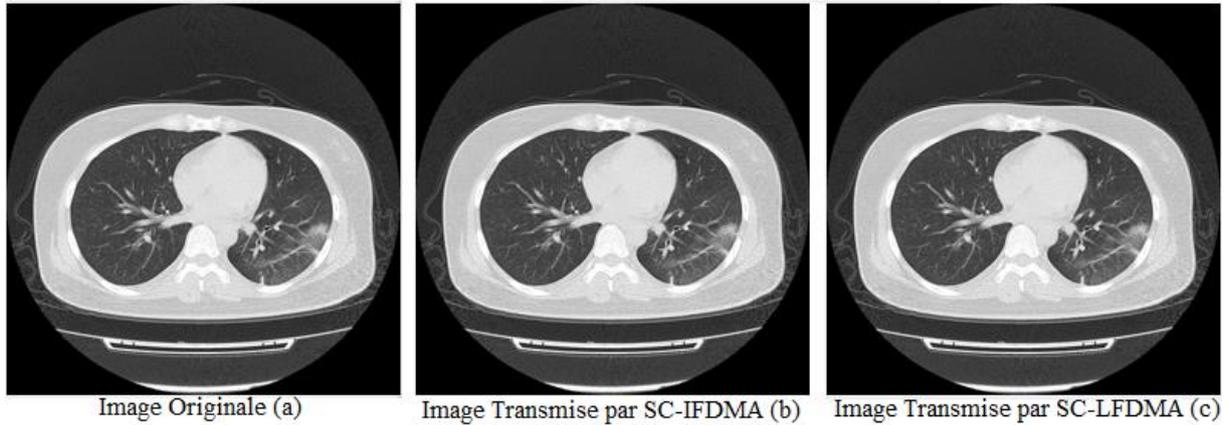


Figure III.13 : Les images résultantes de la transmission de l'image originale via le système DWT SC-FDMA avec un SNR=5dB. PSNR IFDMA= ∞ , PSNR LFDMA= ∞ .

On remarque que le PSNR du mode entrelacé = ∞ , tandis que le PSNR du mode localisé = ∞ .

III.5 Évaluation des performances du PSNR et MSE dans un canal AWGN :

III.5.1 Performances du PSNR dans le canal AWGN :

Dans un premier temps on fera une comparaison entre le comportement du PSNR en fonction du SNR des trois systèmes basés sur SC-FDMA dans les deux modes d'allocations :

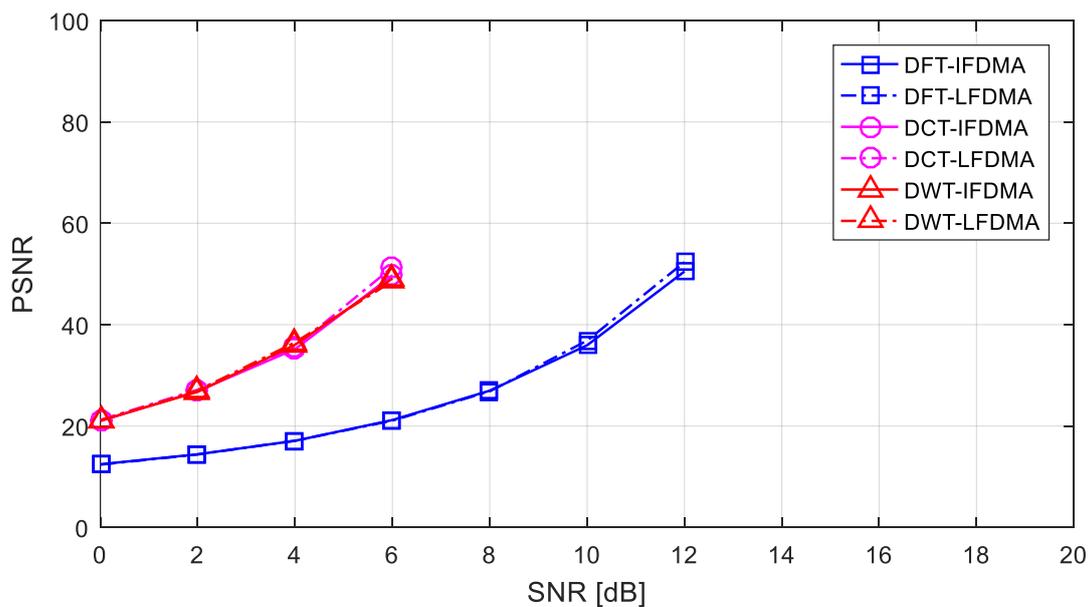


Figure III.14 : L'évolution du PSNR Des trois systèmes basés sur SC-FDMA dans le canal AWGN.

La figure ci-dessus illustre très clairement l'évolution à la réception du PSNR dans le canal AWGN concernant l'image médicale qu'on a envoyé dans trois systèmes : DFT SC-FDMA, DCT SC-FDMA et DWT SC-FDMA pour les deux modes d'allocations : le mode l'entrelacé IFDMA et le mode localisé LFDMA.

La figure ci-dessus montre que le PSNR des trois systèmes augmente en parallèle en fonction de l'augmentation du SNR, de plus l'évolution du système du DWT SC-FDMA dans les deux modes est nettement supérieure que celles des systèmes : DFT SC-FDMA et DCT SC-FDMA. En plus de l'autre observation à noter est l'évolution du PSNR du système DFT SC-FDMA qui très lente par rapport aux deux autres systèmes qui ont des performances proches dans ce canal AWGN.

Tableau III.1 : Tableau Comparatif des PSNR des Trois Systèmes basés sur SC-FDMA dans le canal AWGN.

PSNR des Systèmes SC-FDMA	DFT SC- FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
0	12.4535	12.3748	20.9810	21.2125	21.0646	21.0989
5	18.8240	18.7999	41.6079	40.8957	41.8634	40.9694
10	35.9288	36.8436	∞	∞	∞	∞

Le tableau en dessus permet clairement d'indiquer le meilleur système à base de SC-FDMA, qui est sans doute dans ce cas-là le DWT SC-FDMA.

III.5.2 Performances du MSE dans le Canal AWGN :

Dans cette partie on va voir le comportement du MSE dans en fonction du SNR dans le cas de la transmission d'image pour le système SC-FDMA basé sur : DFT, DCT et DWT avec les mêmes modes d'allocations.

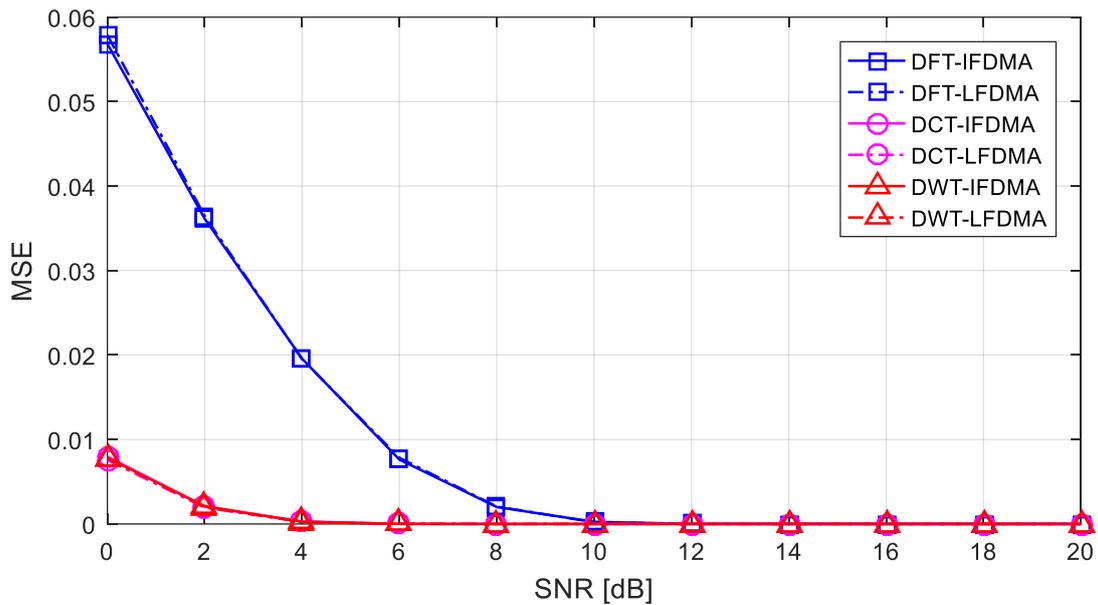


Figure III.15 : L'évolution du MSE en fonction du SNR dans le canal AWGN.

On remarque cette fois-ci lorsque la valeur du SNR (dB) augmente, la valeur du MSE diminue jusqu'à elle s'annule pour les trois systèmes, telle que le MSE des deux modes IFDMA et LFDMA des systèmes DCT SC-FDMA et DWT SC-FDMA régressent jusqu'à ils s'annulent aux alentours de la valeur du SNR 5dB. par contre le système DFT SC-FDMA avec ces deux modes IFDMA et LFDMA s'annule dans la valeur du SNR 10 dB comme il est illustré dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.2 : Tableau Comparatif des MSE des trois Systèmes SC-FDMA dans le canal AWGN.

Systèmes SC-FDMA	DFT SC- FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
SNR (dB)						
0	0.0568	0.0579	0.0080	0.0076	0.0078	0.0077
5	0.0131	0.0129	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
10	0.0003	0.0002	0	0	0	0

Le tableau en dessus permet d'indiquer que le MSE du système DWT SC-FDMA est le plus performant entre les trois systèmes évalués, tel qu'il tend vers la valeur nulle plus rapidement que les deux autres. Par conséquent le DWT SC-FDMA est bien le meilleur dans ce cas-là.

III.6 Performances du PSNR et du MSE dans un canal Multi-trajets :

III.6.1 Performances du PSNR dans un canal Multi-trajets :

Cette partie concerne tout d'abord le comportement des trois systèmes en question pour les deux modes d'allocations IFDMA et LFDMA dans le cas d'un canal multi trajets « Vehicular A » et comporte ainsi une analyse des performances de ces systèmes et l'évolution de leurs PSNR dans ce canal.

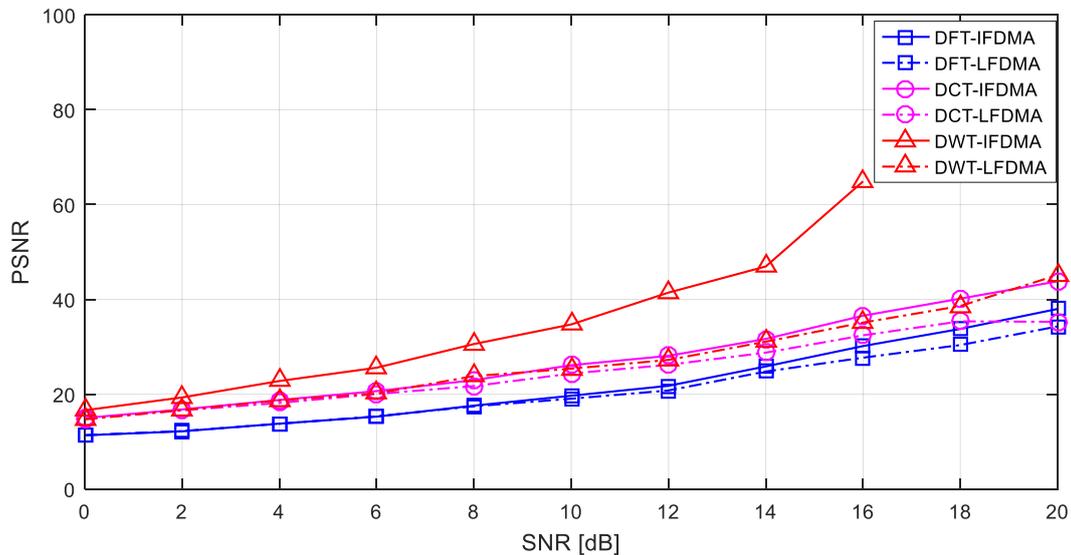


Figure III.16 : L'évolution du PSNR Des trois systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.

Le changement qui s'opère dans le canal « Vehicular A » est qu'on peut très clairement remarquer c'est la supériorité évidente et le rendement efficace du mode entrelacé « IFDMA » du système DWT SC-FDMA. Tel que au moment où le SNR est fixé à 10 dB, la valeur du PSNR de ce dernier est autour de 35 jusqu'à l'atteinte de la valeur 52 à un SNR fixé à 15dB, tandis que les autres modes d'allocations des trois systèmes sont dans un intervalle varié entre 18 et 29 qui contiennent leurs augmentations dans un intervalle étroit. C'est nous prouve encore la supériorité du système DWT SC-FDMA dans le mode multi trajets Vehicular A.

Tableau III.3 : Tableau Comparatif du PSNR des Trois Systèmes SC-FDMA dans le canal Vehicular A.

PSNR des Systèmes SC-FDMA	DFT SC-FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
SNR (dB)						
0	11.3224	11.3693	14.9797	14.8365	16.6073	14.9401
5	14.6297	14.6095	19.8769	19.2888	24.0013	19.1312
10	19.6697	19.0476	26.1107	24.3583	34.7089	25.2423

Le tableau ci-dessus permet de comparer entre les trois systèmes à base de SC-FDMA et aussi comparer leurs modes d'allocations, tel qu'on remarque premièrement que peu importe le système y'a toujours une supériorité en PSNR du mode d'allocation entrelacé « IFDMA » par rapport au mode localisé « LFDMA ». Puis l'autre observation importante à faire et déjà évoquée grâce aux courbes c'est la supériorité du PSNR du système DWT SC-FDMA par rapport aux deux autres système DCT SC-FDMA et DFT SC-FDMA, tel que le DFT SC-FDMA est le plus inférieur entre ces trois Systèmes en rendement et efficacité du PSNR.

III.6.2 Performances du MSE dans un canal Multi-trajets :

Dans la deuxième partie nous allons évaluer les performances du MSE des trois systèmes basés sur SC-FDMA dans le canal « Vehicular A » pour les deux modes cette évaluation est présentée sur la figure ci-dessous :

Comme dans le canal AWGN les trois systèmes à base de SC-FDMA diminuent en fonction de l'augmentation du SNR (dB). la première remarque à noter c'est que le DFT SC-FDMA avec ces deux modes régressent plus lentement par rapport aux d'autres systèmes, tel que au moment où le SNR = 10dB il a une valeur aux alentours de 0.01 jusqu'à il s'annule.

Tandis que les autres systèmes ainsi que leurs modes régressent presque de la même façon certes plus rapide que DFT SC-FDMA à l'exception du mode entrelacé IFDMA du système DWT SC-FDMA qui est considéré comme étant le plus rapide de tous dans cette régression tel qu'il s'annule déjà au moment où le SNR= 10 dB. Par conséquent le MSE et comportement total du système DWT SC-FDMA est considéré comme le meilleur parmi les trois systèmes évalués.

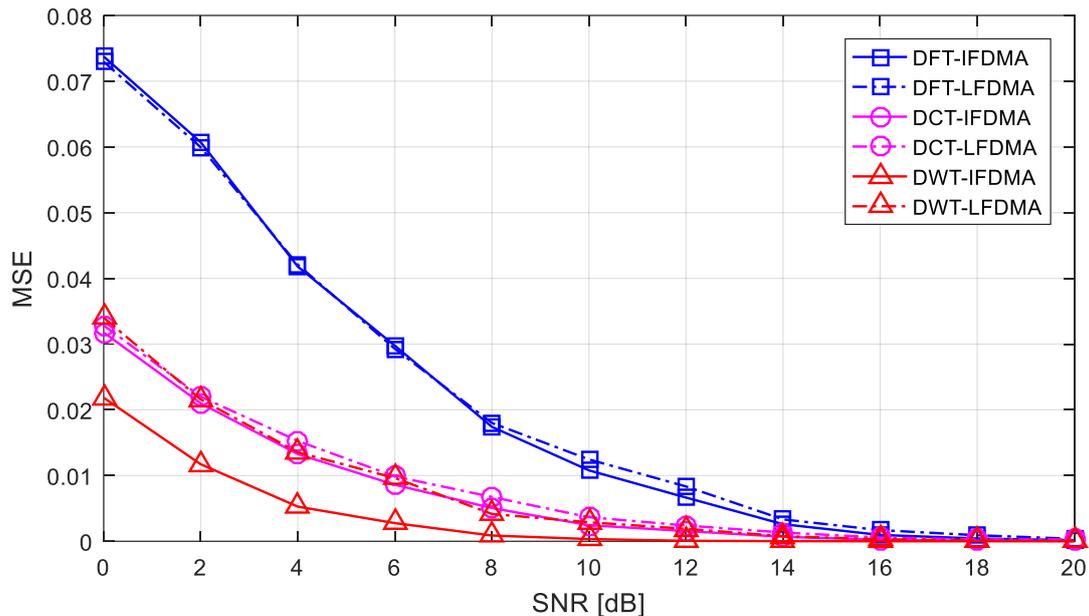


Figure III.17 : L'évolution du MSE en fonction du SNR dans le canal Vehicular A.

Le tableau ci-dessous donne avec précision la valeur de MSE des trois systèmes SC-FDMA :

Tableau III.4 : Tableau Comparatif des MSE des trois Systèmes SC-FDMA dans le canal Vehicular A.

MSE des Systèmes SC-FDMA	DFT SC-FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
SNR (dB)						
0	0.0738	0.0730	0.0318	0.0328	0.0208	0.0321
5	0.0344	0.0346	0.0103	0.0118	0.0040	0.0122
10	0.0108	0.0125	0.0024	0.0037	0.0003	0.0029

On remarque que le mode localisé LFDMA des trois systèmes diminuent plus lentement que le mode entrelacé IFDMA. Puis un autre point à ajouter c'est la régression rapide du mode entrelacé IFDMA du système DWT SC-FDMA ce qui justifie le niveau de performance de ce mode de ce système en question par rapport aux autres systèmes.

III.7 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER :

III.7.1 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER dans le canal AWGN :

Premièrement j'essayerai d'analyser et évaluer le taux d'erreurs binaires « BER » des trois systèmes à base de SC-FDMA ainsi que leurs modes à la réception dans un canal AWGN :

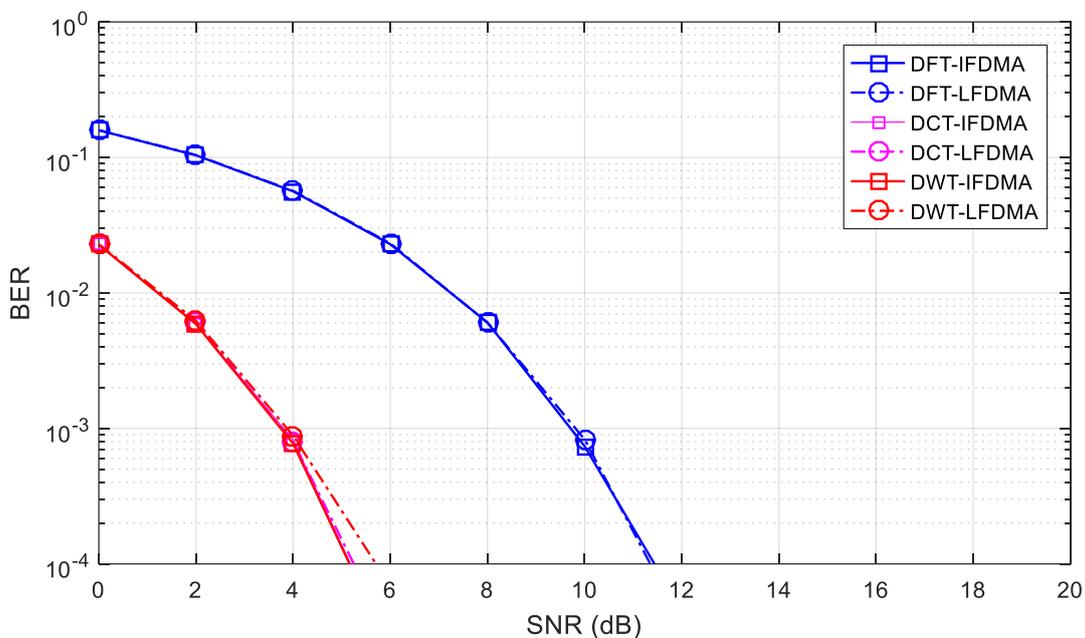


Figure III.18 : L'évolution du BER des systèmes à base de SC-FDMA dans le canal AWGN.

La figure ci-dessus montre clairement l'évolution du BER des trois systèmes à base de SC-FDMA ainsi que leurs modes en fonction de l'évolution du SNR (dB) tel que on remarque que :

Le système DFT SC-FDMA avec ces deux modes à un BER très élevé par rapport aux deux autres systèmes, qui diminuent en fonction de l'augmentation du SNR, on peut remarquer aussi que les deux systèmes DCT SC-FDMA et DWT SC-FDMA ont un BER qui égale à 10^{-4} Au moment où le SNR=5dB. Tandis que système DFT SC-FDMA ainsi que ces deux modes atteignent un BER $=10^{-4}$ quand le SNR=11dB.

L'autre observation plus généraliste entre le BER et le SNR à faire sur le graphe et sur les différentes figures c'est qu'ils ont une relation proportionnellement inversée.

Ensuite, une comparaison des BER entre les trois systèmes à base de SC-FDMA ainsi que leurs modes, le tableau ci-dessous illustre clairement cela :

Tableau III.5 : Tableau comparatif des BER des Trois Systèmes à base de SC-FDMA dans le canal AWGN.

BER des Systèmes SC-FDMA	DFT SC-FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
SNR (dB)						
0	0.1584	0.1588	0.0227	0.0227	0.0226	0.0228
5	0.0377	0.0379	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
10	0.0007	0.0008	0	0	0	0

Le tableau qui est en dessus permet parfaitement de distinguer le taux d'erreurs binaires de chacun des modes de chaque système, tel que la première observation est le faible taux BER du mode entrelacé IFDMA dans chacun des trois systèmes par rapport au mode localisé. Puis l'autre observation est entre les systèmes on remarque que le système DWT-SC FDMA a le plus faible taux d'erreurs binaire « BER » par rapport aux deux autres systèmes ce qui justifie encore une autre fois son niveau de performance par rapport aux autres et en conséquence implique qu'il est le meilleur système entre les trois systèmes qu'on a comparé dans cet axe de comparaison.

III.7.2 Évaluation du Taux d'erreurs binaire BER dans un canal Multi-trajets :

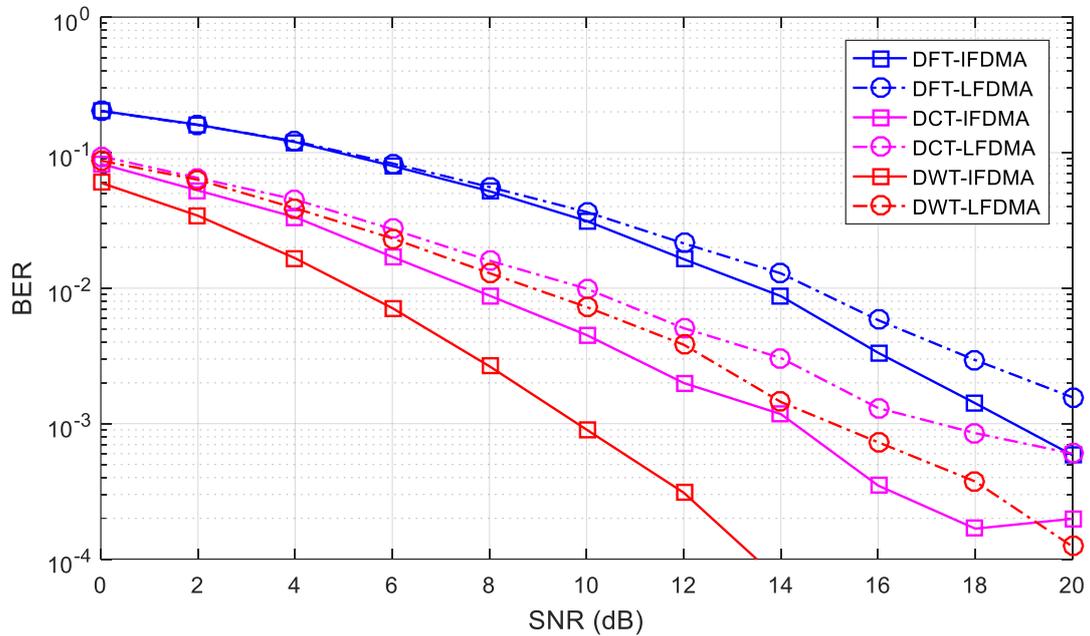


Figure III.19 : L'évolution du BER des systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.

Comme dans le canal AWGN, dans cette partie concerne l'évaluation des systèmes à base de SC-FDMA dans un canal multi-trajets « Vehicular A », tel que :

L'observation évidente à noter est la régression très rapide du BER système DWT SC-FDMA vers la valeur nulle, plus rapide que celles des autres systèmes DFT SC-FDMA et DCT SC-FDMA, le tableau ci-dessous d'ailleurs nous permet très clairement de distinguer lequel des systèmes à base de SC-FDMA a un BER performant par rapport aux autres :

Tableau III.6 : Tableau Comparatif des BER des Trois Systèmes à base de SC-FDMA dans le canal Vehicular A.

BER des Systèmes SC-FDMA	DFT SC-FDMA		DCT SC-FDMA		DWT SC-FDMA	
	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA	IFDMA	LFDMA
SNR (dB)						
0	0.2035	0.2029	0.0827	0.0940	0.0599	0.0873
5	0.0996	0.1025	0.0243	0.0348	0.0111	0.0320
10	0.0313	0.0365	0.0045	0.0099	0.0009	0.0073

Comme dans le cas précédent, le système DWT diminuent plus rapidement que les deux autres systèmes tel que au moment où le SNR = 10 dB, les valeurs du BER du système sont presque nulle. Ceci ne fait que renforcer encore plus les données théoriques sur l'efficacité de ce système spécialement et des systèmes à base SC-FDMA en général.

III.8 Conclusion :

Ce Troisième et dernier chapitre était centré sur l'évaluation des performances de trois systèmes à base de SC-FDMA pour la transmission des images médicales à travers différents modèles de canal sans fil. Les résultats de simulation obtenus montrent clairement les performances du système DWT SC-FDMA qu'est meilleur par rapport aux deux autres systèmes DCT SC-FDMA et DFT SC-FDMA qui ont été évalués en termes de qualités visuelles, PSNR, MSE et BER. Ainsi que les performances du mode entrelacé IFDMA qui est toujours meilleur par rapport au mode localisé LFDMA. Ce qui implique que le système DWT SC-FDMA capable transmettre efficacement les images médicales via les canaux multi-trajets.

Par conséquent le système DWT à base de SC-FDMA est le meilleur par rapport aux autres systèmes à base de DFT et DCT, pour la transmission des images, en particulier dans le cas des canaux multi-trajets. Ces résultats améliorés justifient l'utilisation du système DWT SC-FDMA pour la transmission des images médicales.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Ce travail a été dédié à l'étude et la simulation de la transmission efficace des images médicales par le système de transmission sans fil basés sur SC-FDMA.

On sait que l'image aujourd'hui est devenue un outil très efficace qui transmet plusieurs d'information, par conséquent elle a acquis une place très importante et utilisée dans la quasi-totalité des domaines scientifiques, notamment dans le domaine médical.

D'autre part, l'OFDM qui est une technique de modulation multi-porteuses a bien démontrée son efficacité dans l'axe de la communication à haut débit. D'ailleurs elle est très employée dans la majorité des standards de communication sans fil actuels.

L'OFDMA la technique d'accès multiple basée sur l'OFDM et qui a été choisie par la norme LTE pour le transport des communications dans la voie descendante « down-Link », un de ses défauts principaux c'est son taux de consommation énergétique qui est très élevée, et qui aura par la suite des conséquences directes sur la batterie de mobile.

Par contre le SC-FDMA qui est une technique d'accès multiple dédiée par la norme LTE aux communications pour la voie montante « Up-Link ». Cette technique à porteuse unique contrairement à l'OFDMA à un taux énergétique plus faible que celui de l'OFDMA ce qui signifie qu'elle consomme moins d'énergie que l'OFDMA et qui est son plus grand avantage, ce permettra par la suite plus de conservation dans la batterie du mobile.

En plus de ça elle a d'autres avantages tels que la bonne efficacité spectrale, une bonne couverture, la simplicité d'allocations des ressources et la simplicité d'égalisation au niveau du récepteur.

Selon les résultats obtenus après la réalisation de la simulation, les conclusions à mentionner sont :

1. Les systèmes à base de SC-FDMA sont habiles à transmettre les images médicales d'une façon efficace dans plusieurs canaux sans fil.
2. Il est clair que le mode entrelacé « distribué » est plus performant que le mode localisé et cela peu importe le type de canal et pré-codeur qui ont été utilisé.
3. Il est aussi important que le système de transmission à base DWT SC-FDMA est le plus performant par rapport aux autres systèmes : DFT SC-FDMA et DCT SC-FDMA.

4. Les métriques utilisées lors de ce travail et qui sont : PSNR, MSE et BER sont des critères essentiels et efficaces afin d'évaluer les performances d'une transmission d'images.

Enfin d'autres axes de recherche sont envisageables pour donner suite à ces travaux :

1. La transmission des images avec d'autres systèmes qui sont plus modernes comme : le FBMC « Filter Bank Multi-Carrier », UFMC « Universal Filtered Multi-Carrier » ou encore le GFDM « Generalised Frequency Division Multiplexing ».
2. L'utilisation d'autres types pré-codeurs comme celui du : DST « Discret Sinus Transform ».

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] : Guerrou EL-Hachemi « Performances dans la segmentation d'images médicales ». Thèse de doctorat. Juillet. 2018. doi : 10.13140/RG.2.2.36804.88964. École Nationale Supérieure en Informatique (ESI). Algérie.
- [2] : Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods « Digital Image Processing, Global Edition » Pearson. 2017.
- [3] : Raphaël Isdant. « Traitement numérique de l'image ». 2009. le lien internet : http://raphael.isdant.free.fr/traitement_numerique/2-traitement_numerique_de_l'image.pdf
Consulté le : 15/04/2021.
- [4]: H. C. Andrews « Digital image processing ». Computer Journal. 7(5). pp.17-19, 1974 doi : 10.1109/MC.1974.6323522.
- [5] : Melouk Anfel et Harmali Ines « La segmentation des images médicales en utilisant les champs de Markov cachés et la technique Deep Learning ». Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état. Septembre.2020.doi : 10.13140/RG.2.2.24745.21605. École Supérieure en Informatique (ESI). Algérie.
- [6] : « Traitement d'Images, Histogrammes ». Université de Rennes2. https://www.sites.univ-rennes2.fr/arts-spectacle/cian/image_numFlash/pdf/chap5_tout51.pdf Consulté le : 24/04/2021.
- [7] : Serge Wacker « Les Formats d'Images Numériques ». le lien internet : http://serge.wacker.free.fr/technoprinaire/c2i/revisions/formats_image.pdf .Consulté le : 29/4/2021.
- [8] : « Qu'est-ce qu'une Image Numérique ». Université de Rennes2. le lien internet : https://www.sites.univ-rennes2.fr/arts-spectacle/cian/image_numFlash/pdf/chap3_tout.pdf .Consulté le : 30/04/2021.
- [9] : Jean Fruitet. Support de cours « Outils et Méthodes Pour Le Traitement Des Images Par Ordinateur ». Université Marne-La-Vallée. France
- [10] : Rafidison Maminaiina Alphonse « Contribution à l'Amélioration de la Segmentation d'Images par Croissances de régions » Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'études approfondies. Avril. 2011.Université D'Antananarivo.

- [11] : Tahiri Nadia Hafidha et Guira Chaima « Etude et Simulation d'un Système de Communication SC-FDMA pour La Transmission efficace des Images Médicales ». Mémoire de Master. Aout .2020. Université Zianne Achour de Djelfa. Algérie.
- [12] : T. S. Rappaport, « Wireless Communications Principles and Practice », 2nd edn., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [13]: F. S. Al-Kamali, A. A. Qasem, S. A. Abuasbaa, and G. A. Qasem, « SC-FDMA and OFDMA: An Efficient Wireless Image Transmission Schemes » Journal of Control and Systems Engineering. Vol 4, ISS 1, pp. 74–83 (2016).
- [14]: F. S. Al-Kamali, A. A. Qasem, « Wireless images transmission over OFDMA systems: investigation and evaluation » Journal of Engineering. Vol 2016, ISS 9, pp.332-343 (2016). doi:10.1049/joe.2016.0077.
- [15]: A. Elbeherly, S. A. S. Abdelwahab, M. A. El Naby, E. S. Hassan and S. Elaraby, « C3. Image Transmission with DCT Based SC-FDMA System Using Continuous Phase Modulation », 2013 30th National Radio Science Conference (NRSC). pp. 149-157. 2013 doi: 10.1109/NRSC.2013.6587937.
- [16]: 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 1:11, 2017.
- [17] : Site Internet : <https://www.usherbrooke.ca/geomatique/programmes-detudes/par-discipline/teledetection/quest-ce-que-la-teledetection/> .Consulté le : 01/05/2021.
- [18] : Site Internet : <http://www.teletravailler.fr/le-teletravail/quest-ce-que-cest/le-teletravail-cest-quoi> .Consulté le : 01/05/2021.
- [19]: Site Internet : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/18473-la-telemedecine-une-pratique-en-voie-de-generalisation> .Consulté le : 01/05/2021.
- [20] : BOUGUEN Yannick, Eric Hardouin et F.X Wolff « LTE et les réseaux 4G », Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
- [21] : Coupechoux M., Martins P « LTE : vers la quatrième génération. In: Vers les systèmes radiomobiles de 4e génération ». Collection IRIS. Springer, Paris. 2013. doi: https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0085-1_6 .

- [22]: H. G. Myung and D. J. Goodman «Single Carrier FDMA: A New Air Interface for Long Term Evolution». 1 st edition, Wiley, 2008.
- [23] : Yvon Sosthène Yameogo « Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptées au système SC-FDMA ». Thèse de doctorat. Septembre. 2011. Université Rennes1. France.
- [24] : Larbi Nacira « Détection multi-utilisateurs dans le contexte de communication mobile : Exploitation de la combinaison OFDM/CDMA ». Thèse de doctorat. 2015. Université des Sciences et de Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Algérie.
- [25] : HO Anh Tai « Application des techniques multiporteuses de type OFDM pour les futurs systèmes de télécommunications par satellite ». Thèse de Doctorat. 30 Mars. 2009. Institut National Polytechnique de Toulouse. France.
- [26] : E. Gueguen « Etude et optimisation des techniques UWB haut dé bit multi-bandes OFDM ». Thèse de Doctorat. Janvier. 2009. Institut National des Sciences Appliquées de Rennes. France.
- [27]: Tobias Frank, Anja Klein, Elena Costa, and Egon Schulz « Ifdma - a promising multiple access scheme future mobile radio systems ». IEEE. Berlin. Vol.2. pp.1214-1218. 2005.
- [28]: U. Sorger, I. De Broeck and M. Schnell « Interleaved FDMA-a new spread-spectrum multiple-access scheme». ICC '98. 1998 IEEE International Conference on Communications. Conference Record.Vol.2. pp. 1013-1017. 1998. doi: 10.1109/ICC.1998.685165.
- [29]: V.M Padmapriya, and K.Thenmozhi « Image Transmission in 4G LTE Using DWT Based SC-FDMA System ». Biomed & Pharmacology Journal. Vol.11(3). pp.1633-1642. 2018. doi: <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/1531>.

RÉSUMÉ :

Le système SC-FDMA a réussi à capter l'attention dans le monde des communications sans fil, notamment grâce à ces avantages énergétiques. L'objectif principale de ce travail est l'étude et l'évaluation des performances de la transmission des images médicales avec des systèmes sans fil basés sur le SC-FDMA avec différentes techniques de pré-codage dans plusieurs canaux sans fil.

Plusieurs expériences ont été réalisées afin de choisir l'architecture idéale qui va permettre de transmettre les images médicales qualitativement et efficacement avec un système sans fil SC-FDMA. Afin d'évaluer les performances, les métriques : PSNR, MSE et le BER ont été utilisés.

Enfin les résultats de simulation obtenus montrent vraiment que le système SC-FDMA peut transmettre efficacement les images médicales sur différents canaux sans fil.

Mots Clés : SC-FDMA, DFT, DCT, DWT, PSNR, MSE, BER, Image Médicale.

ABSTRACT:

The SC-FDMA system has succeeded in gaining attention in the world of wireless communications, in part because of his energy advantages. The main objective of this work is the study and evaluation of the performance of the transmission of medical images with wireless systems based on SC-FDMA with different pre-coding techniques in multiple wireless channels.

Several experiments were carried out in order to choose the ideal architecture that will allow the transmission of medical images qualitatively and efficiently with an SC-FDMA wireless system. In order to assess performance, the metrics: PSNR, MSE and BER were used.

Finally, the simulation results obtained really show that the SC-FDMA system can efficiently transmit medical images on different wireless channels.

Keywords: SC-FDMA, DFT, DCT, DWT, PSNR, MSE, BER, Image Médicale.

ملخص:

نجد نظام SC-FDMA في جذب الانتباه في عالم الاتصالات اللاسلكية، ويرجع ذلك جزئيًا إلى مزايا الطاقة هذه. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة وتقييم أداء إرسال الصور الطبية بأنظمة لاسلكية قائمة على SC-FDMA بتقنيات تشفير مسبق مختلفة في قنوات لاسلكية متعددة.

تم إجراء العديد من التجارب من أجل اختيار البنية المثالية التي تسمح بنقل الصور الطبية نوعيًا وفعالًا باستخدام نظام SC-FDMA اللاسلكي. من أجل تقييم الأداء، تم استخدام المقاييس: PSNR وMSE وBER.

أخيرًا، تُظهر نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها حقًا أن نظام SC-FDMA يمكنه نقل الصور الطبية بكفاءة على قنوات لاسلكية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: Image Médicale , BER , MSE , PSNR , DWT, DCT, DFT , SC-FDMA.