

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane mira Bejaïa

Faculté de technologie

Mémoire fin d'étude

Domaine : Science et Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Thème

**Etude comparative des performances OFDM et
F-OFDM pour un
Réseau 5G basé sur la technologie MIMO**

Réalisé par :

- Hammoudi yasmine
- Benhamouche Ferroudja

Sous la direction de :

Dr : Mezhoud Naima

Examineurs :

Mme Achor .L

Mr Berrah.S

Année universitaire : 2019 -2020

Remerciement

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné les courages et la volonté de mener à terme ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé avec l'aide de nombreuses Personnes que nous souhaitons remercier.

Ce travail a été effectué à l'université de Bejaïa Algérie Il est le fruit de tant d'années d'étude. Il nous donne l'occasion de remercier tous les enseignants de notre Département d'électronique et télécommunication ayant participé d'une manière ou d'une autre à notre formation.

Finalement nous souhaitons exprimer notre gratitude envers les membres du jury.

Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir donné le courage et la patience pour aller jusqu'au bout du parcours de nos études. Je dédie ce mémoire :

A mon cher père

En exprimant ma gratitude, mon profond d'amour et ma passion, pour sa confiance, son soutien moral et matériel.

A ma chère mère

En exprimant ma profonde gratitude et mon incontestable reconnaissance, pour tous les sacrifices pour me contenter, toute la confiance qu'elle m'a accordée et de tout l'amour dont elle m'entoure.

A mes chers frères, mon cher mari AMINE

Aucune dédicace ne serait exprimer assez profondément ce que je ressens envers vous. Merci d'être toujours là pour me soutenir dans les moments difficiles. Je vous dirais tout simplement, un grand merci, je vous aime.

A mon cher binôme : **ferroudja** qui m'a vraiment aidé à réaliser ce travail

En témoignage de l'amitié sincère qui nous a liées et des bons moments passés ensemble. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonnes promesses. En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments passé ensemble. J'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

A tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail

Yasmine

Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir donné le courage et la patience pour aller jusqu'au bout du parcours de nos études. Je dédie ce mémoire :

À mes chers parents :

qui ont sacrifié leurs vies pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux et qui m'ont appris à aimer la vie et respecter les autres et de garder la tête haute et à ne jamais renoncer à mes rêves .J'espère qu'un jour, Je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête bonheur et longue vie inchallah.

A mon cher petit frère Rafik

Qui m'a encouragé, Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite.

A mon cher ami Abid

Qui m'a soutenue tout au long de ce projet, aucune dédicace ne serait exprimer assez profondément ce que je ressens envers vous et Merci d'être toujours là pour me soutenir dans tous les moments.

A mon cher binôme Yasmine

Pour tous les bons moments passés avec toi, tu es toujours dans mon cœur comme une sœur.
Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et réussite.

A tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Ferroudja.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 01 : Généralité sur le réseau 5G	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition 5G.....	3
1.3 Spectre et système des réseaux de la 5G	4
1.3.1 Spectre.....	4
1.3.1.1 Les bandes millimétriques	5
1.3.1.2 Micros-celles.....	5
1.3.1.3 MIMO massive.....	6
1.3.1.4 Beamforming.....	7
1.3.1.5 Full Duplex.....	7
1.4 Architecture de réseaux 5G et ses services.....	8
1.4.1 New Generation Radio Access Network (NG-RAN)	10
1.4.2 5G core.....	11
1.5 Comparaison entre 4G et 5G.....	11
1.6 Avantages et inconvénient de la 5G.....	13
1.6 Les exigences de la 5G.....	15
1.7 Conclusion.....	16

Chapitre 02 : comparaison des performances OFDM et F-OFDM

2.1 Introduction.....	17
2.2 Technologie OFDM	17
2.2.1 Définition de L'OFDM.....	17
2.2.2 Principe et le fonctionnement de l'OFDM.....	18
2.2.3 Modulation et démodulation OFDM.....	20
2.2.3.1 Modulation QPSK.....	20
2.2.3.2 Modulation QAM.....	21
2.2.4 Transformé de fourrier inverse rapide/transformé de fourrier rapide.....	21
2.2.5 Notion d'orthogonalité.....	22
2.2.6 Intervalle de garde.....	23
2.2.7 Principe du préfixe cyclique.....	25
2.2.8 Les avantages.....	26
2.2.9 Les inconvénients.....	27
2.3 Technologie F-OFDM	27
2.3.1 Définition de F-OFDM.....	27
2.3.2 Principe et fonctionnement de F-OFDM.....	28
2.3.3 Les avantages F-OFDM.....	29
2.3.4 La comparaison de l'OFDM, F-OFDM.....	29
2.4 Conclusion	30

Chapitre 03 : simulation et interprétations des résultats

3.1 Introduction.....	31
3.2 Langage utilisé.....	31
3.3 Les paramètres de la simulation.....	32
3.4 Interprétations des résultats.....	33
3.4.1 Comparaison de L'OFDM et F-OFDM en utilisant la DSP.....	33
3.4.1.1 influence de la modification de nombre de ressources blocs.....	33
3.4.1.1.1 25 ressources blocs (300 sous-porteuses).....	33
3.4.1.1.2 50 ressources blocs (600 sous-porteuses).....	34
3.4.1.1.3 100 ressources bloc (1200 sous-porteuses).....	34
3.4.1.2 Influence de la modification des types de modulations.....	35
3.4.1.2.1 Modulation 2 QPSK.....	35
3.4.1.2.2 Modulation 64 QAM.....	36
3.4.1.2.3 Modulation 256 QAM.....	37
3.4.2 Comparaison des deux performances en fonction BER et SNR.....	37
3.5 Conclusion.....	38
Conclusion Générale.....	39
Bibliographie.....	40

Liste des figures

Chapitre 1

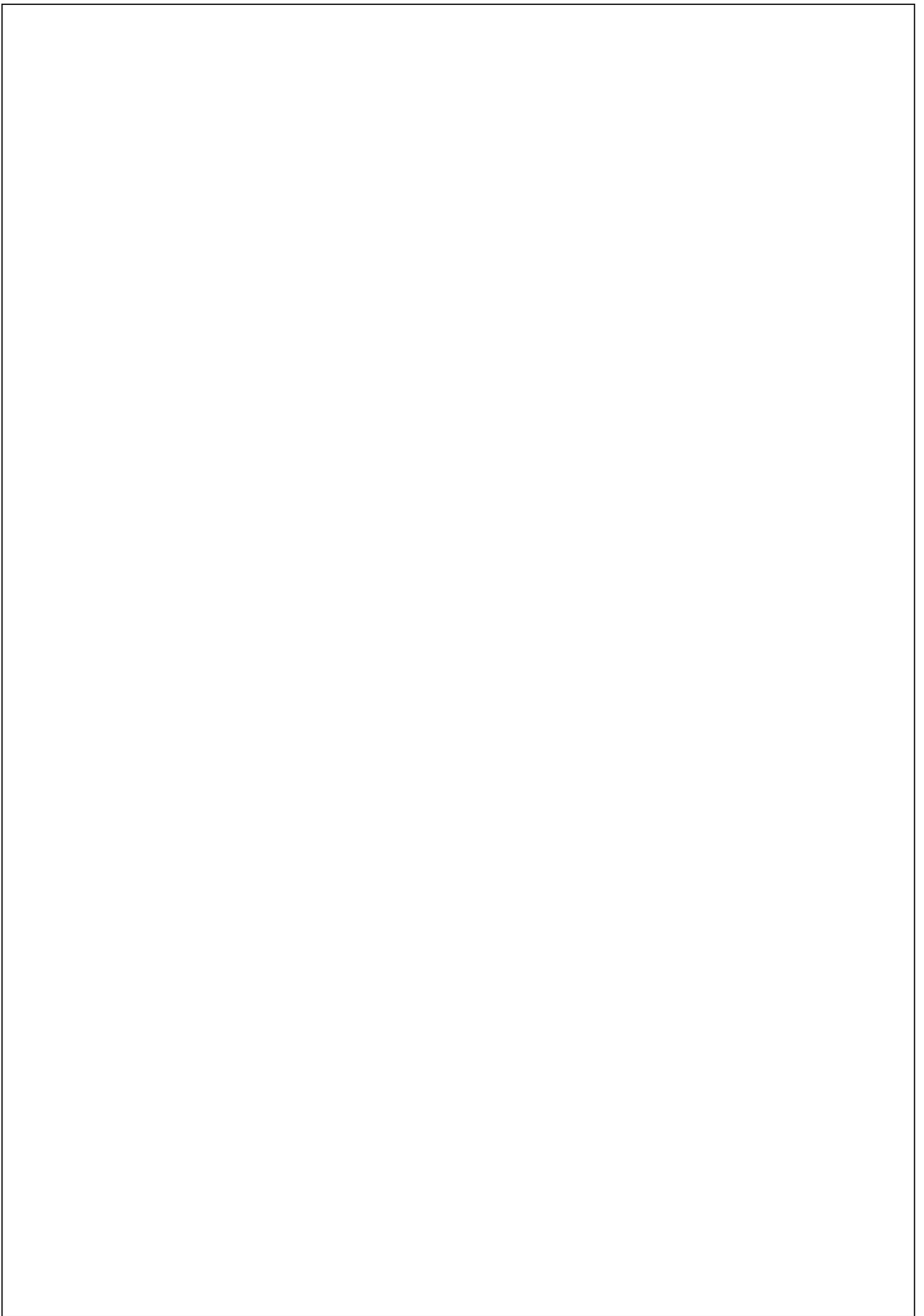
Figure 1.1 Spectre électromagnétique	4
Figure 1.2 Massive MIMO	6
Figure 1.3 5G principe de Beamforming.....	7
Figure 1.4 Full duplex.....	7
Figure 1.5 Architecture de réseau 5G.....	8
Figure 1.6 Session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP).....	9
Figure 1.7 Séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC.....	10
Figure 1.8 Architecture de NG-RAN.....	10
Figure 1.9 Comparaison entre 4G et 5G.....	12

Chapitre 2

Figure 2.1 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM.....	18
Figure 2.2 : Un système OFDM complet comprend un émetteur (à gauche) et un récepteur (à droite), amplificateur de puissance dans l'émetteur non illustré.....	19
Figure 2.3 : Modulation de phase QPSK.....	20
Figure 2.4 : Enveloppes spectrales de sous porteuses.....	23
Figure 2.5 : Sous porteuses orthogonales du signal OFDM.....	25
Figure 2.6 : Insertion du préfixe cyclique.....	26
Figure 2.7 : Conception de filtre sous bande.....	28
Figure 2.8 : Comparaison entre OFDM et F-OFDM.....	30

Chapitre 3

Figure 3.1: Densité spectral de puissance pour OFDM (300 sous-porteuse).....	33
Figure 3.2: Densité spectral de puissance F-OFDM pour (300 sous –porteuse).....	33
Figure 3.3: Densité spectral de puissance pour F-OFDM (600 sous-porteuse).....	34
Figure 3.4: Densité spectral de puissance pour OFDM (600-sous -porteuse).....	34
Figure 3.5: Densité spectral de puissance pour F-OFDM (1200 sous –porteuse)	34
Figure 3.6 : Densité spectral de puissance OFDM (1200 sous –porteuse).....	35
Figure 3.7: Densité spectral de puissance pour OFDM, (1200 sous-porteuses).....	35
Figure 3.8: Densité spectral de puissance pour F-OFDM (1200 sous-porteuse).....	36
Figure 3.9: Densité spectral de puissance pour OFDM 1200(Sous-porteuse).....	36
Figure 3.10: Densité spectral de puissance pour OFDM (1200 Sous-porteuse).....	36
Figure 3.11: Densité spectral de puissance pour F- OFDM (1200 Sous-porteuse).....	37
Figure 3.12: Densité spectral de puissance pour F-OFDM (1200 Sous-porteuse).....	37
Figure 3.13: comparaison de L’OFDM et F-OFDM en fonction de BER et SNR.....	38



Liste des tableaux

Tableau 1.1: les caractéristiques de la 5 G.....	13
Tableau 3. 1: paramètres de la simulation.....	32

Abréviations

ADC : Analog-to-Digital Converter.

BER : Bit Error Rate.

CAN : Convertisseur Analogique- Numérique.

CP : Préfixe Cyclique.

DAB : Digital Audio Broadcasting.

DAC : Digital-To- Analog Converter.

DVB-H: Digital Video Broadcasting – Handheld.

DVB-T: Digital Video Broadcasting – Terrestrial.

DRM: Digital Radio Mondiale.

FFT: Fast Fourier Transform.

GNB: G NodeB.

GNB-CU-CP: Central Unit - Control Plane.

HDTV: La Télévision Haute Définition.

HTTP : Hyper Text Transfer Protocol.

ICI : Inter Carrier Interference.

IFFT : Inverse Fast Fourier Transform.

ISI : Inter-Symbol-Interference.

ITU : International Télécommunication Union.

JSON : JavaScript Object Notation.

MIMO: Multiple Input Multiple Output.

MmWave: Ondes Millimétriques.

MU-MIMO : (Multi-Utilisateur MIMO).

NG : Next Génération.

NGRAN : Next-Generation Radio Access Network.

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

PDU : Protocol Data Unit.

PSD : Power Spectral Density.

QAM : Quadrature Amplitude Modulation.

QOS : Quality Of Service.

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying.

REST : Representational State Transfer.

RF : Radio Frequency.

SNR: Signal To Noise Ratio

TCP/IP : Transmission Contrôle Protocol / Internet Protocol.

UE: User Equipment

UHDV : La vidéo Ultra Haute Définition.

UHF : Ultra Haute Fréquence.

UMTC : Universal Mobile Telecommunications System.

UPF : User Plane Function.

WI-FI : wireless Fidelity.

WIMAX : Worldwide Interoperability For Microwave Access.

Xn : L'interface Du Plan Utilisateur.

5G (AN) : 5G Access Network.

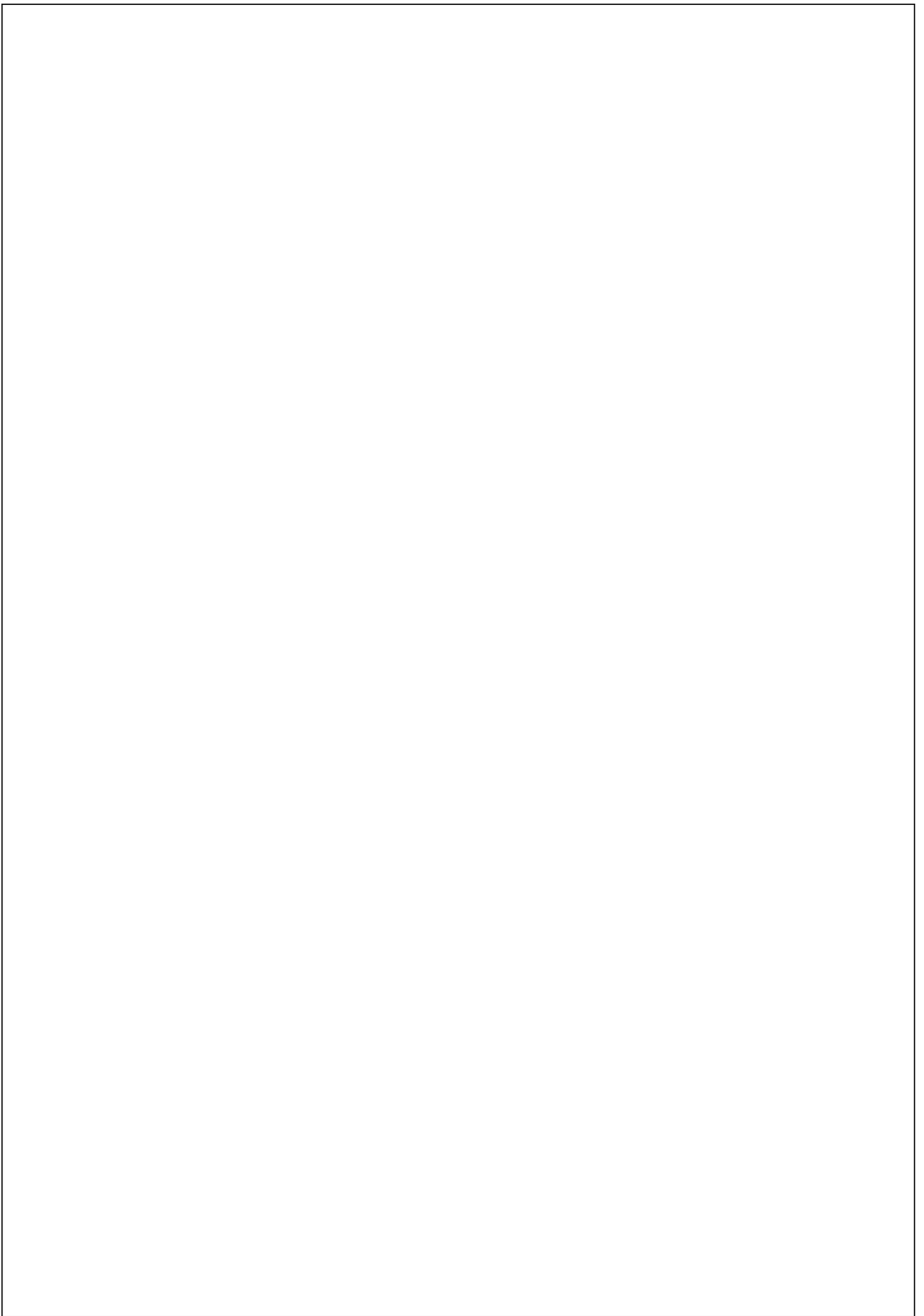
5G (NR) : 5G New Radio.

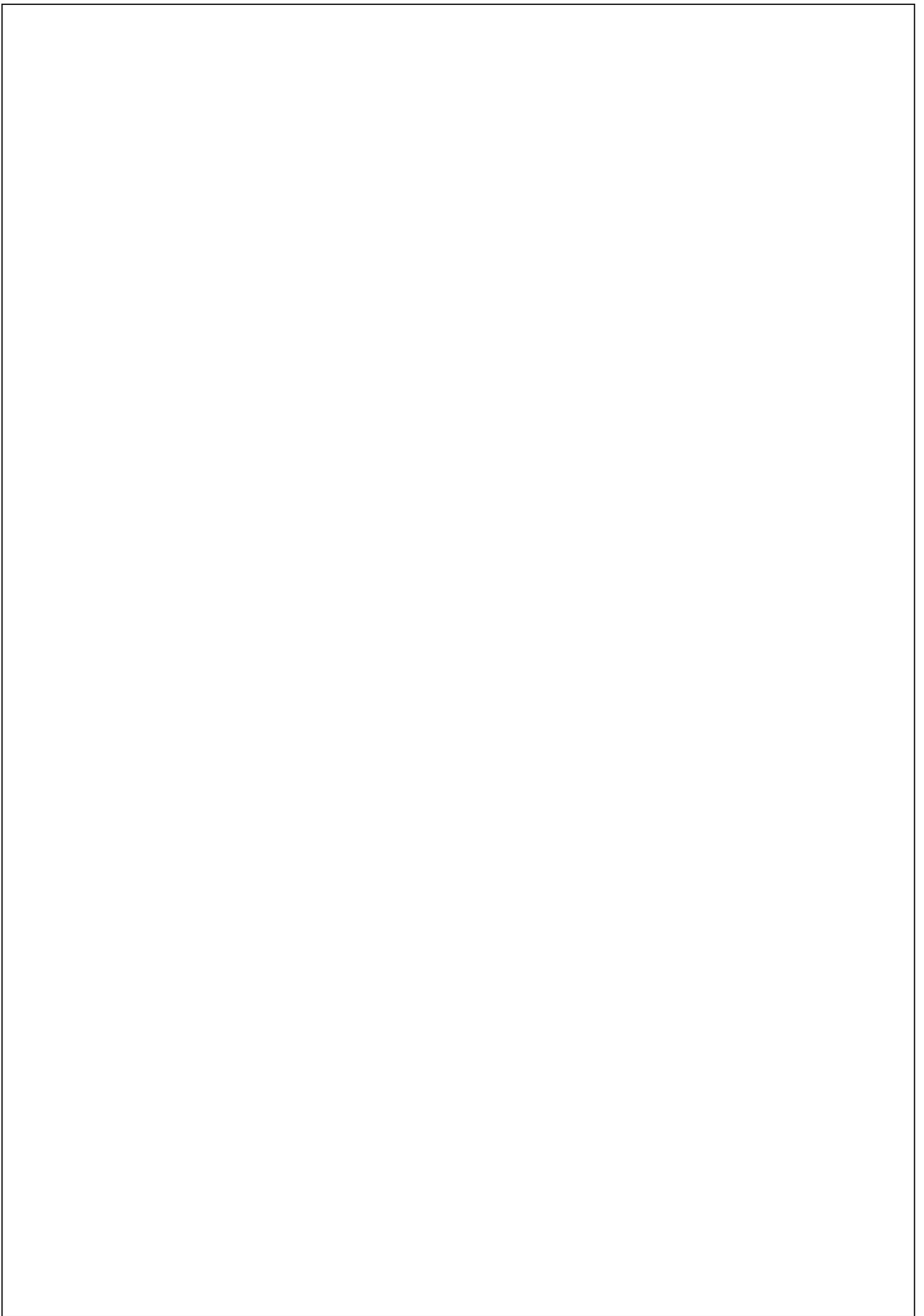
3GPP : 3rd Generation Partnership Project.

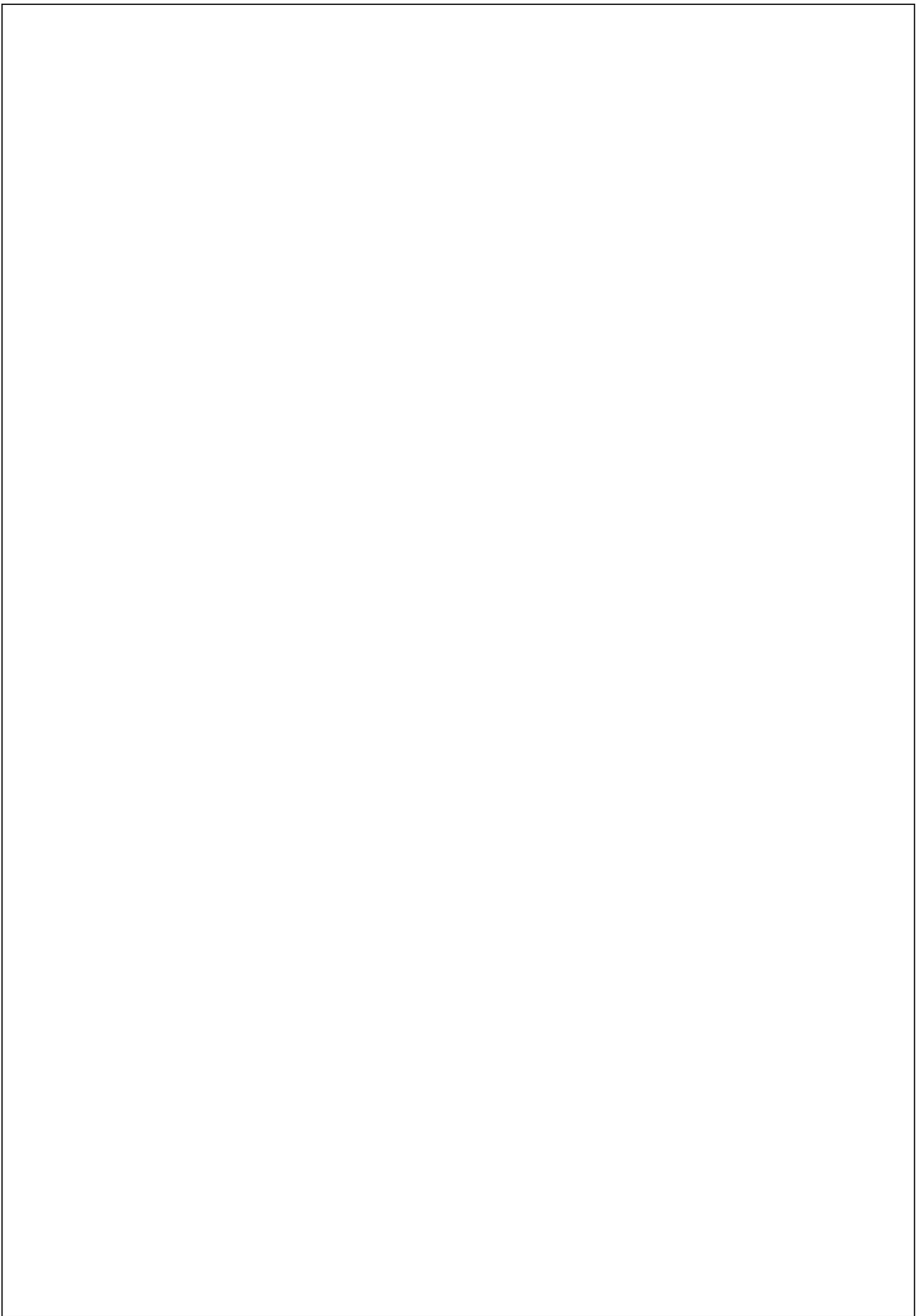
5GC: 5G Core Network.

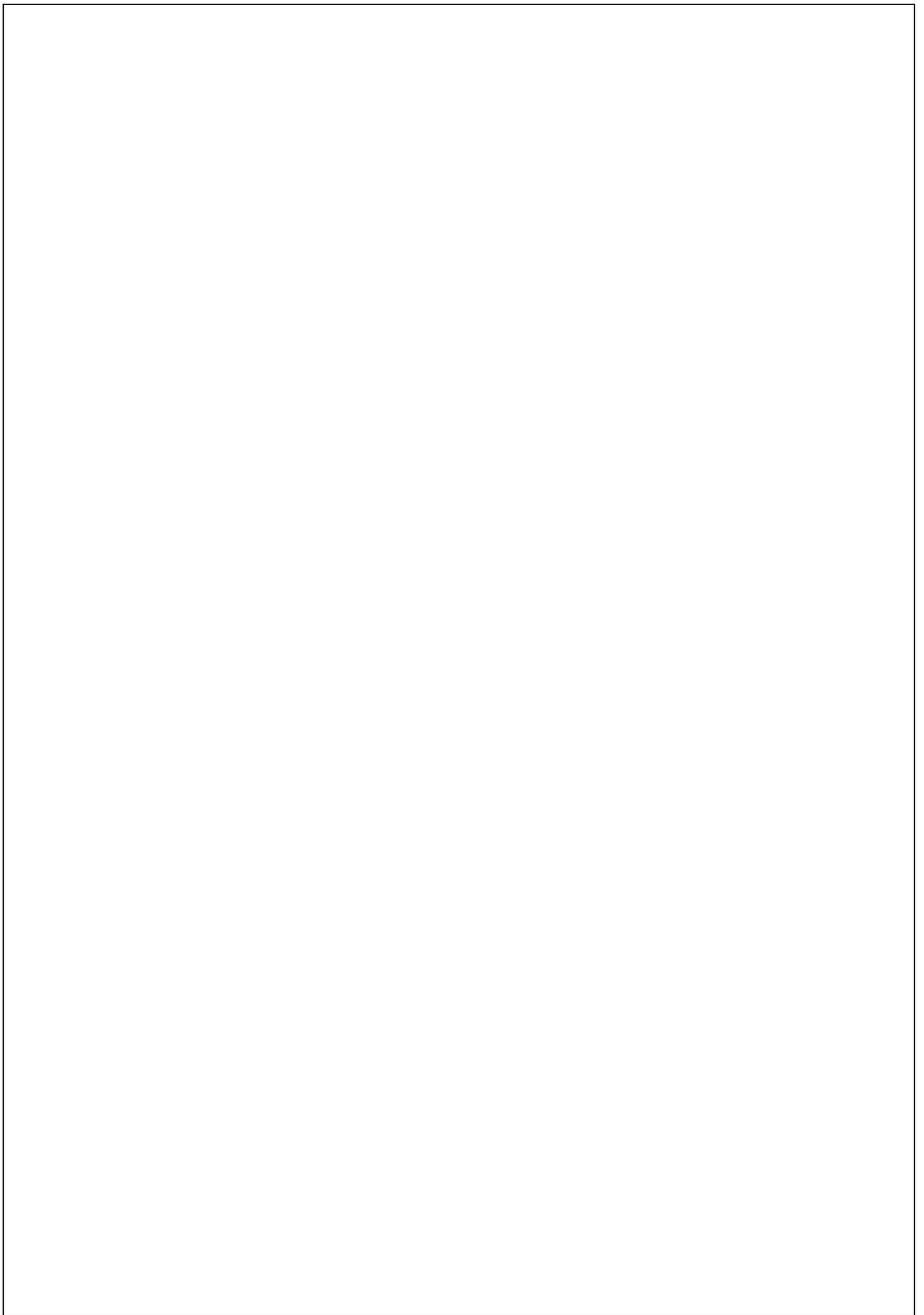
5G : Cinquième Génération.

4k : Ultra-haute Définition.









Introduction générale

L'un des facteurs qui ont boosté l'évolution des générations mobile au cours des décennies est l'augmentation remarquable des nombres des objets smart. Les technologies 3G et 4G visaient principalement l'internet mobile très haut débit alors que la 5G va continuer à adresser ce marché mais vise également à prendre en compte et favoriser les marchés verticaux tels l'Internet des Objets. Par rapport à la technologie 4G LTE actuelle, la 5G vise en même temps un débit élevé (1 G bit/s), une faible consommation et une faible latence, elle permettra de connecter un nombre impressionnant d'objets et d'équipements ou voitures, simultanément en dépensant moins d'énergie grâce à sa grande capacité.

Les communications sans fil se réalisent à travers la propagation d'une onde électromagnétique dans l'espace ; or, le canal est généralement de type multi-trajets, à cause de la présence des obstacles (bâtiments, arbres, voitures,...). En réception, le signal reçu est alors composé d'une combinaison de signaux provenant de directions différentes rendant le canal sélectif en fréquence et dont l'influence augmente avec le débit de transmission. Afin de faire face à ces problèmes, deux technologies très prometteuses ont vu le jour, à savoir, MIMO (Multiple Input Multiple Output), qui permet d'apporter un gain en diversité spatiale, ainsi qu'une amélioration de la capacité du système, et la modulation multi-porteuse OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), grâce à laquelle on peut atteindre une bonne efficacité spectrale avec une bonne robustesse de la transmission.

Malgré les avantages, l'OFDM souffre d'un certain nombre de limitations devant les exigences des futures applications 5G, Les chercheurs sont incités pour proposer des solutions à ces limitations soit en améliorant les propriétés de cette technique soit en proposant d'autres alternatives telles que : F-OFDM qui est l'objectif de notre travail, à savoir faire l'étude comparative entre ces deux dernières modulation.

Notre mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre montre comment le monde est arrivé à la 5G ensuite nous allons décrire une présentation complète sur l'architecture et système de la 5G, ainsi son fonctionnement et ses avantages et ses inconvénients, et on termine par les exigences de la 5G.

Nous passons ensuite au deuxième chapitre qui représente les deux performances (OFDM, F-OFDM) et leurs principes de fonctionnement. Le troisième chapitre caractérise le travail théorique décrit dans les deux chapitres précédents à l'aide de MATLAB par la simulation des deux performances OFDM et F-OFDM. Enfin notre mémoire s'achève par une conclusion générale.

1.1 Introduction

La **5G** est une nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile qui va succéder à la 4G LTE, cette évolution va être déployée à chaque objet physique dans le monde et il sera connecté sur internet sous le nouveau concept « IOT » (Internet Of Things- internet des objets). La 5G ne représente pas une évolution des réseaux précédents mais elle correspond à une nouvelle fondation technologique développée pour but de soutenir les demandes croissantes des clients, elle répond aussi aux différents besoins comme : l'augmentation des débits pour les usages courants de la mobilité et une latence de 1 ms ou moins.

Ce chapitre a pour but de décrire la 5G en commençant par sa définition et une explication de son spectre, découvrir son architecture, ensuite une comparaison entre la 4G et la 5G, ses avantages et ses inconvénients ainsi son fonctionnement, et on termine par ses exigences.

1.2 Définition

Le réseau **5G** contient un ensemble de technologies correspondant à la cinquième génération du standard pour la téléphonie mobile, il est validé par **L'ITU**. Cette nouvelle technologie a pour but d'améliorer la vitesse et la réactivité des réseaux sans fil. Avec la 5G, la transmission des données sur connexions haut débit sans fil pourrait atteindre selon certaines estimations une vitesse de 20Gbit/s.

Le réseau 5G réduira considérablement les temps de latence à 1 ms contrairement aux 30-40 ms observées aujourd'hui. Ce nouveau réseau ouvre de nouvelles perspectives, l'objectif serait que le spectre des usages et la diversité des utilisateurs soit grandement élargi et bien de pouvoir prendre contrôle des objets à distance.

1.3 Spectre et système des réseaux de la 5G

1.3.1 Spectre de la 5G

Même si la technologie 5G apporte d'énormes améliorations par rapport aux réseaux sans fil, il peut être difficile de déterminer avec précision quelles fréquences utilisera la technologie 5G, notamment parce qu'elles varient d'un pays à l'autre et même d'un opérateur à l'autre. La 5G est la première technologie mobile à fonctionner dans des fréquences à la fois basses et hautes. Cette technologie utilise des fréquences de diffusion ultra-hautes (6-300 GHz) qui sont des ondes millimétriques utilisées pour transférer un maximum de données plus rapidement. On décrit 3 bandes de fréquences fondatrices.

Premièrement on retrouve **les fréquences moyennes** ou "Coverage and Capacity layer" qui sont utilisées dans les bandes de 2 et 6 GHz pour donner et délivrer le meilleur accord entre capacité et couverture, ensuite quand il s'agit d'un cas d'usage typique qui exige des débits très élevés, on utilise des **fréquences hautes** ou "Super Data Layer" sur des bandes de fréquence au-dessus de 6 GHz (e.g 24.25-29.5 GHz et 37-43.5 GHz), passant ensuite aux **fréquences basses** ou "coverage layer" qui sont exploités dans des bandes sous 2GHz (e.g 700 MHz et 1400 MHz) pour fournir des couvertures très importantes.

Sachant que la plage de diffusion est limitée, on utilise la technologie **Beamforming** à travers **MU-MIMO** (multi-utilisateur MIMO) pour survenir à cet obstacle. Cette dernière permet la diffusion continue des données sur plusieurs appareils, et le processus **multi-cell handover** pour assurer des connexions solo de l'ordre de **Gbit** même en marche.

1.3.1.1 Bandes millimétriques

Afin d'accomplir des services de communication multi-G bit comme la télévision haute définition (**HDTV**) et la vidéo ultra haute définition (**UHDV**), des communications à ondes millimétriques (**mmWave**) ont été suggérées comme une partie considérable du réseau mobile 5G avec une bande passante énorme dans la bande millimétrique de 28 GHz à 300 GHz.

Les ondes millimétriques subissent une faible qualité de propagation, ce qui induit que chaque cellule aura une couverture réduite, pour mieux focaliser l'énergie envoyée par les antennes, on utilise des techniques de **Beamforming** [1].

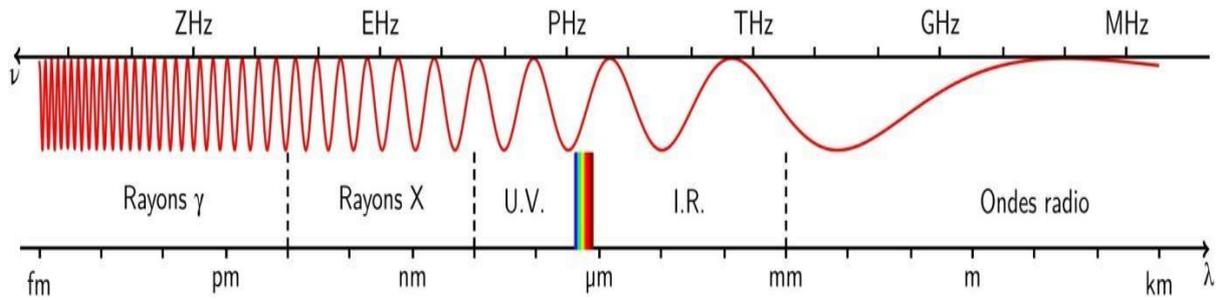


Figure 1.1 : spectre électromagnétique.

1.3.1.2 Micro-Cells

C'est un point d'accès à un réseau de télécommunications mobiles qui sert à la diminution du nombre d'utilisateurs connectés à chaque antenne, ce qui offre plus de spectre à chaque utilisateur, et qui sert aussi à augmenter l'efficacité spectrale de la zone. En diminuant les cellules et en réutilisant le spectre, la capacité totale du réseau augmente. Le principal inconvénient des petites cellules est le coût de l'installation.

1.3.1.3 Massive MIMO

C'est une technologie qui est caractérisée par l'utilisation d'un nombre élevé de micro antennes « **intelligentes** » au niveau de l'émetteur et du récepteur pour permettre à une variété de chemins de signaux de transporter les données envoyées aux appareils connectés, autrement dit elle permet de diriger le signal radio uniquement vers les utilisateurs quand ils en ont besoin au lieu d'être émis dans toutes les directions de manière constante, et de mieux couvrir les zones surchargées comme les stades, les centres commerciaux ou les aéroports.

Le **MIMO massif** permet d'améliorer la fiabilité, réduire la latence et augmenter les débits grâce au multiplexage spatiotemporel dont le temps est complété par la dimension spatiale inhérente à l'utilisation de plusieurs antennes réparties dans l'espace, autrement dit l'utilisation de plusieurs antennes qui sont placées à différents points, elle permet de concentrer l'énergie sur un terminal, pour améliorer son bilan de liaison, grâce à la formation de faisceau, ou Beamforming [1].

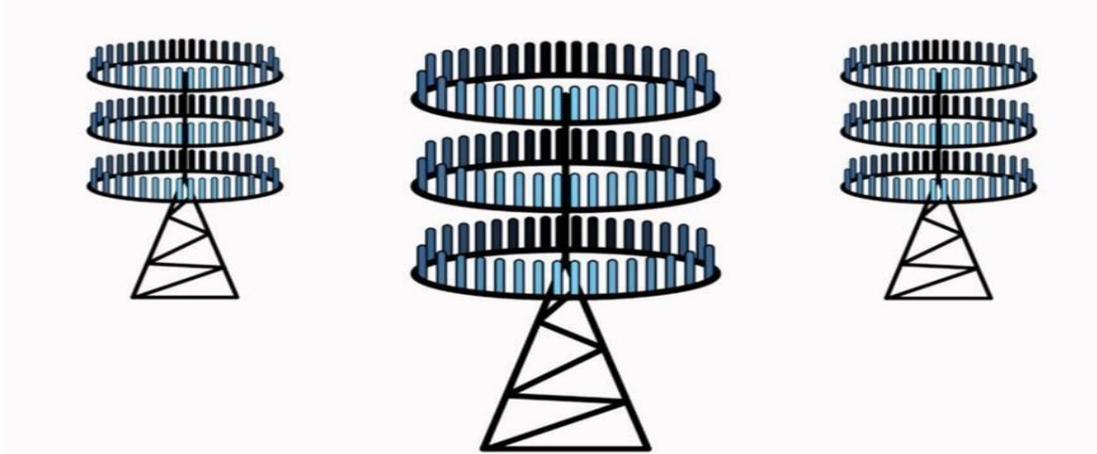


Figure 1.2: Massive MIMO [21]

1.3.1.4 Beamforming

Le **Beamforming** est une technologie réseau basée sur les antennes intelligentes à l'émission et à la réception. Elle est appelée aussi le **filtrage spatial** pour créer une connexion directe entre l'appareil et l'antenne émettrice. Cela permet d'améliorer la stabilité du signal émis et sa puissance. Notamment dans des endroits saturés, comme les lieux publics [2].



Figure 1.3: 5G principe de Beamforming

1.3.1.5 Full duplex

En télécommunications, un canal de communication duplex est un canal de communication qui transporte l'information dans les deux sens (bidirectionnel). Le concept full duplex 5G est de pouvoir émettre et recevoir simultanément l'information, sur les mêmes fréquences.

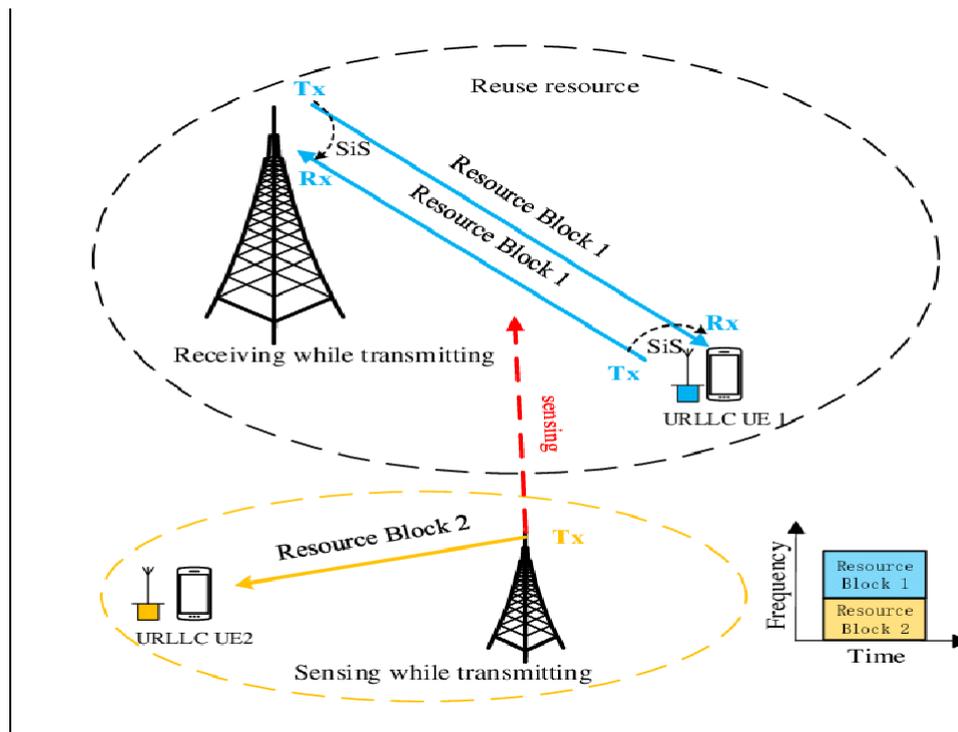


Figure 1.4: Full duplex

1.4 Systèmes et architecture du réseau 5G :

La 5G utilise une architecture plus intelligente avec des réseaux d'accès 5G(AN) qui est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN). Il utilise la nouvelle interface radio 5G(NR) et un réseau cœur où on trouve la norme 3GPP qui établit des spécifications de système complètes pour l'architecture des réseaux 5G qui est beaucoup plus orientée vers les services que les générations précédentes. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacent, qui prend en charge les fichiers QoS [3].

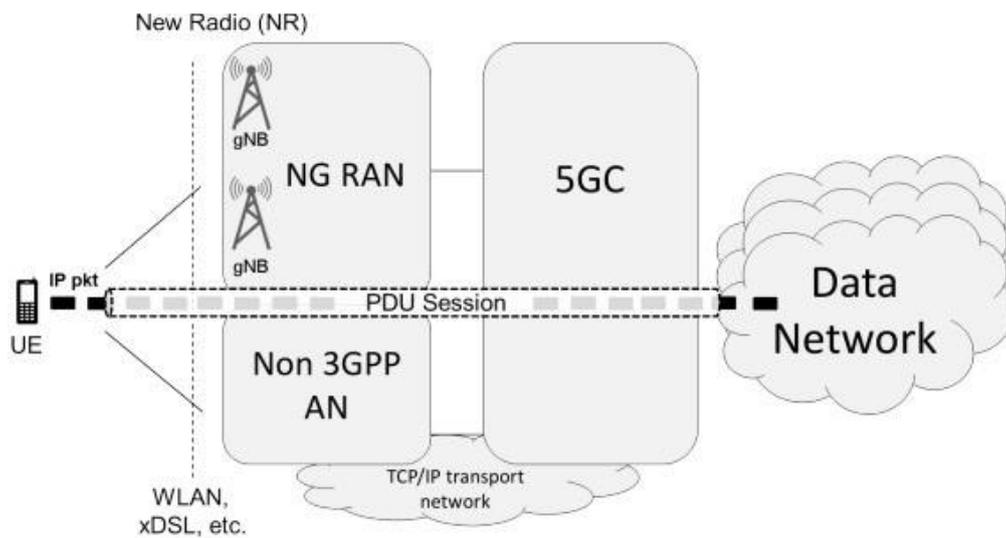


Figure 1.5 : Architecture de réseau 5G.

Le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (**UE**) à des réseaux de données externes. Comme le montre la figure (1.7). La session **PDU** représente le service de connectivité 5G elle est très similaire à un porteur EPS à LTE, sauf pour le modèle **QoS** et les unités de données des utilisateurs supportées. Le modèle 5G est basé sur le concept de flux de QoS. Les différents flux de QoS peuvent appartenir à une seule session **PDU**.

Elle constitue par une séquence de tunnels **NG** dans le **5GC** plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur comme le montre la figure (1.8).

En effet, une session **PDU** peut transporter non seulement les paquets **IP** de l'utilisateur mais aussi l'**ETHERNET** ou les cadres non survenus, permettant ainsi une communication de la couche-2 entre les groupes d'**UE** [3].

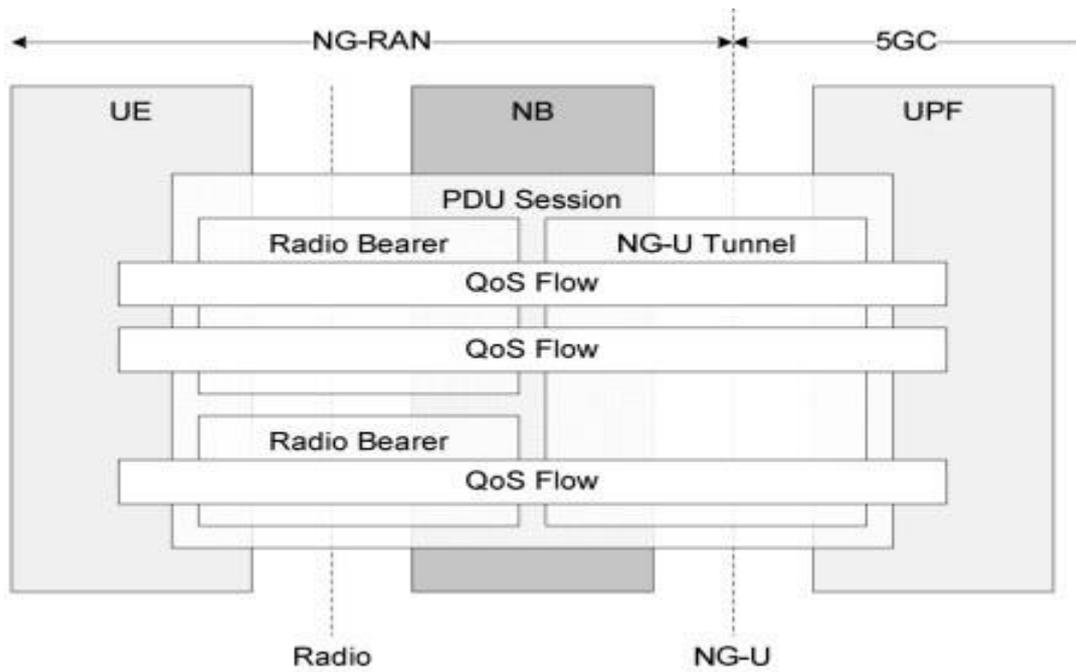


Figure 1.6 : Session PDU et Flux QoS : plan utilisateur (UP).

La figure (1.9) montre la séparation fonctionnelle entre 5G le NG-RAN et le 5G cœur. On définit le NG-RAN qui est le responsable de l'établissement, la maintenance et la libération des parties des sessions PDU qui traversent l'interface radio. Il fait face aux problèmes de l'insuffisance physique (ex : interférences, réduction énergétique etc.), les handover inter gNB, et le multiplexage de la session (planification).

Les fonctions de 5GC gèrent les parties restantes des parties PDU ainsi que tous les autres processus non liés à l'accès radio (gestion de la mobilité, sécurité adresses IP, allocation etc.) [3].

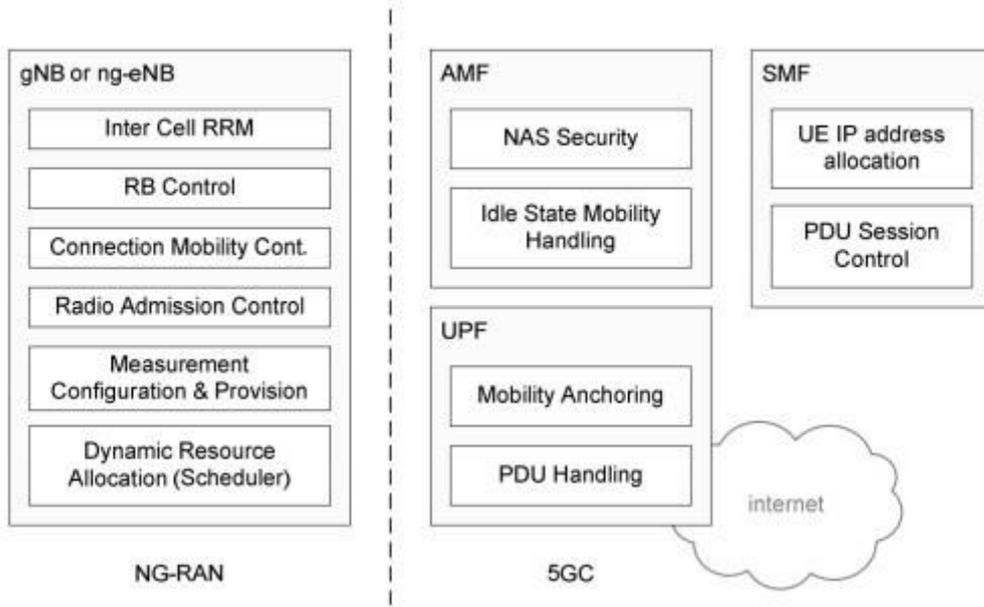


Figure 1.7 : Séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC.

1.4.1 New Génération Radio Access Network (NG-RAN)

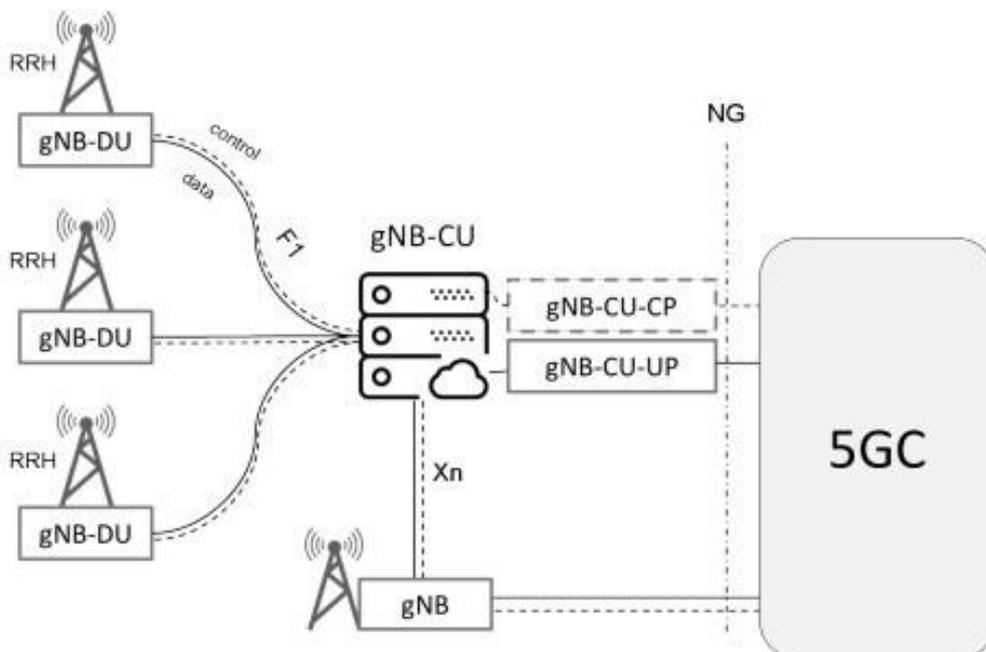


Figure 1.8 : Architecture de NG-RAN.

La figure (1.10) présente le **NG-RAN** qui s'agit d'un ensemble de stations de bases 5G, appelées **gNBs** qui sont connectées au 5GC à travers un ensemble d'interfaces logiques. Les **gNBs** peuvent être interconnectées à travers l'interface **Xn** pour améliorer les fonctions de mobilité (handover) et de gestion (coordination d'interférences intercellulaires).

Le fonctionnement de la **gNB** est parfois réparti. Dans ce cas, l'architecture résultante est formée par une unité centrale (**gNB-CU**) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (**gNB-DU**) et connectée à une carte radio distante (RRH). L'unité centrale est encore divisée en deux parties, une pour les fonctions de plan de contrôle (**gNB-CU-CP**) et l'autre pour les fonctions de plan d'utilisateur (**gNB-CU-UP**) [3].

1.4.2 5G Core network

La décomposition des fonctions exécutées par les nœuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définie en termes de fonctions de réseau exposées sous formes de services.

Comme ce produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entre le plan contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur on trouve une ou plusieurs fonctions UP (UPFs), qui réalisent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U (Figure 1.8) et forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle.

Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est la modélisation d'interface, qui a été passé de " l'orientation-bit point-à-point " (bit-oriented point-to-point) vers " l'orientation-web basé-service " (web-oriented service-based). En effet, 5G est une architecture basée sur le service applicable par tout, les procédures sont définies comme des services de sorte qu'il est possible de les réutiliser.

Il existe une interface point-à-point normalisée, soit réelle ou logique, entre toute paire d'entités de réseau 2G, 3G et 4G en interaction. Cette interface utilise un protocole spécial orienté-bit. Dans le core 5G, les interactions entre les entités du plan contrôle utilisent des interfaces basées sur les services prises en charge par des outils web tels que HTTP/2, REST et JSON [3].

1.6 Comparaison entre 4G et 5G

La 5G vise à terme, une grande accélération des transferts de données avec une vitesse qui peut atteindre jusqu'à 100Gbit/s, elle est plus intelligente et plus performante que la 4G. A part cela, il y aura une plus grande capacité à gérer un grand nombre d'appareils connectés simultanément.

En terme de latence, qui est le temps écoulé entre le moment où l'information est envoyée par un appareil et le moment où elle arrive à destination, La 5G présentera 10 fois moins de latence que la 4G, contre 30 à 40 ms à ce jour. avec une fréquence plus haute elle permet de télécharger des fichiers plus rapide et facile même pour visionner des vidéos 4k, prenant exemple d'un film de 800Mo qui prenait environ 40 secondes à télécharger en 4G ne prendra plus qu'une seconde avec la 5G [4].

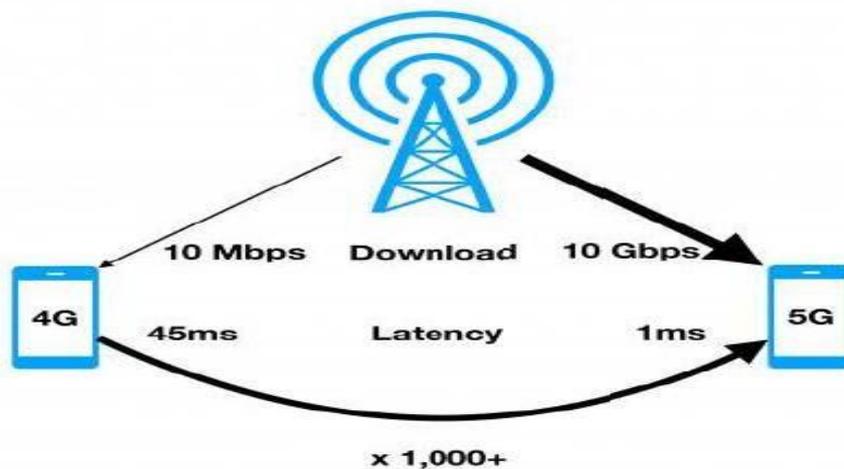


Figure 1.9 : Comparaison entre 4G et 5G

- ❖ Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de la 5G et celles qui sont actuellement disponibles avec la 4G,

Performances / Génération	4G	5G
Débit maximal (Gbit/s)	1	20
Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
Efficacité spectrale	1x	3x
Latence (ms)	10	1
Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets /km ²)	10 ⁵	10 ⁶
Efficacité énergétique du réseau	1x	100x
Débit sur une zone (Mbit/s/m ²)	0.1	100

Tableau 1.1: comparaison de la 5G

1.7 Avantage et inconvénients de la 5G

Ce nouveau réseau mobile 5G présente des avantages indéniables, à savoir :

- ❖ En terme de débit, La 5G va permettre d'aller vite, beaucoup plus vite : des débits de 10 Gbit/s contre 100 Mb/s aujourd'hui.
- ❖ Sur le point de latence réduite, une réactivité augmentée grâce à un temps de latence divisé par dix,

- ❖ En parlant de connectivité massive, beaucoup d'utilisateurs qui pourront se connecter en même temps(en simultanés), en gardant une bonne connexion.
- ❖ en terme d'objet connectés, Tous les objets habituels vont pouvoir être connectés simplement et à moindre coût au réseau. C'est l'explosion des volumes de données transmises et les milliards d'objets connectés.
- ❖ consommation d'énergie, la 5G est plus efficace en termes de performance tout en consommant moins d'énergie [5].

1.7.2 Inconvénients du futur réseau 5G

- ❖ l'impact des antennes-relais sur la santé et l'environnement fait encore débat, la perspective de leur augmentation massive suscite déjà l'inquiétude.
- ❖ Beaucoup d'anciens appareils ne seraient pas compétents pour la 5G, ça sera une affaire couteuse.
- ❖ Le développement de l'infrastructure nécessite des coûts élevés.
- ❖ la sécurité et de la protection de la vie privée n'a pas encore été résolue [5].

1.8 Les exigences de la 5G

La technologie 5G repose sur 9 exigences :

- Exigence de débit : jusqu'à 10Gbit/s (10 à 100 fois plus que les réseaux 4G)
- La fiabilité et la latence (1 milliseconde de latence) : Adapter de nouvelle forme d'onde et modulation pour dépasser le défi que pose le uMTC en terme de précision et de fiabilité et de faible latence. Arriver à une latence inférieure à 1ms et plus que 1Gbps est un challenge principal pour le passage vers la 5G.
- Supporter une large bande de fréquences (1 000 fois plus de bande passante par unité de surface)
- Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface (par rapport à la 4G LTE)
- 100 % de disponibilité
- Exigence de couverture qui est à 100%
- 90 % de réduction en utilisation d'énergie du réseau
- Minimiser la surcharge des signalisations pour tirer le maximum de la capacité.
- Supporter plusieurs types de services : La 5G a besoin d'offrir une multi connectivité, supporter des différentes bandes de fréquences, et plusieurs services [6].

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons résumé les principales technologies envisagées pour la 5G qui apportent d'énormes améliorations par rapport aux autres réseaux sans fil.

On a commencé par une petite description de la 5G suivie du principe de son spectre. Nous avons expliqué les 3 bandes de fréquence fondatrices, et les ondes millimétriques qui sont importantes dans le réseau 5G mobile, passant ensuite à définir la technologie MIMO et BEAMFORMING qui permet la diffusion continue des données sur plusieurs appareils.

Ensuite nous avons vu que la 5G utilise une architecture plus intelligente avec un réseau d'accès (AN) et un réseau cœur 5GC, et on a fait une petite comparaison entre la 4G et la 5G qui est plus performante. Pour finir, on a cité les avantages et inconvénients de la 5G ainsi que son fonctionnement et ses exigences.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les deux performances OFDM et F-OFDM ainsi que leur comparaison.

2.1 Introduction :

La révolution en transmission numérique sans fil se manifeste dans l'émergence de plusieurs nouvelles technologies permettant d'augmenter considérablement les débits de transmission et d'améliorer la qualité de transmission. Parmi ces technologies : la technologie **MIMO** (Multiple Input Multiple Output), ou on peut utiliser des techniques de modulation F-OFDM et OFDM dans les systèmes 4G et 5G.... Ces techniques résolvent les problèmes de sélection des fréquences et améliorent l'efficacité du spectre.

Les systèmes multi porteuses utilisent OFDM, dans lequel la modulation dépend de la transformée de Fourier inverse rapide (IFFT) et le préfixe cyclique (CP).

F-OFDM (OFDM filtré) qui est un système modifié d'OFDM utilisant le filtrage par sous-bande.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude comparative entre l'OFDM et F-OFDM en utilisant la technologie MIMO.

2.2 Technologie OFDM

2.2.1 Définition de L'OFDM

Technique de modulation consistant à répartir le signal sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales modulées individuellement à bas débit. Outre une efficacité spectrale très proche de l'optimum, et c'est grâce à cette orthogonalité les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent mais n'interfèrent pas entre eux (9). L'OFDM est utilisé pour la télévision numérique de Terrestre en mode fixe (DVB-T) ou portable (DVB-H), la radio numérique (DAB, DRM), mais aussi pour les réseaux sans fil qui s'appuient sur les normes 802.11a, 802.11g (WiFi) et 802.16 (WiMax) notamment (8).

Comme le montre la Figure (2.1) : la vue temporelle plus fréquentielle d'un signal OFDM. L'axe vertical représente l'amplitude et l'axe horizontal la fréquence, le troisième axe représente le temps, nous permettant de voir le signal OFDM progresser de l'arrière du graphique vers l'avant. Chaque symbole représenté sur la figure est un ensemble de sous-porteuses OFDM transmises sur le canal.

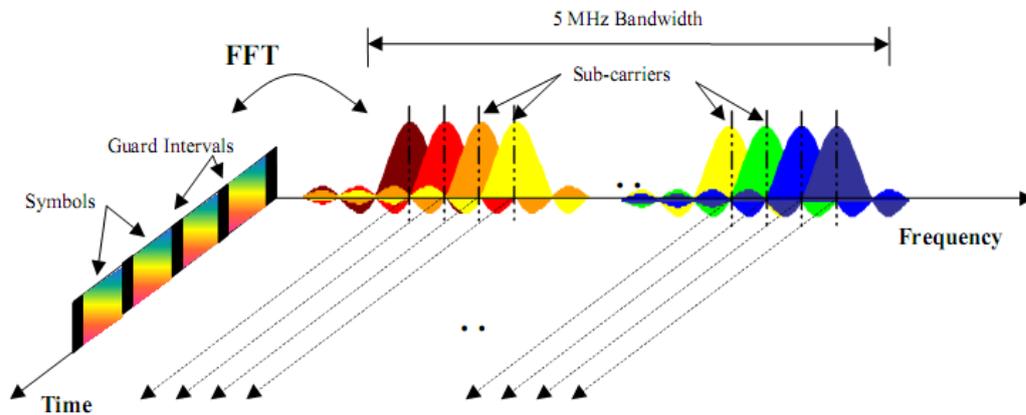


Figure 2.1 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM

2.2.2 Principe et fonctionnement de l'OFDM :

La figure (2.2) représente le fonctionnement et le principe d'un système OFDM qui se compose d'un émetteur et d'un récepteur. Le train de bit entre dans le système sur la gauche du diagramme. Ce flux binaire unique est démultiplexé (DEMUX) en flux binaires plus petites qui sont fournis aux modulateurs QAM individuels pour chacune des N sous-porteuses. L'OFDM utilise de la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) pour créer efficacement la forme d'onde du domaine temporel à partir du réseau de sous-porteuses modulés.

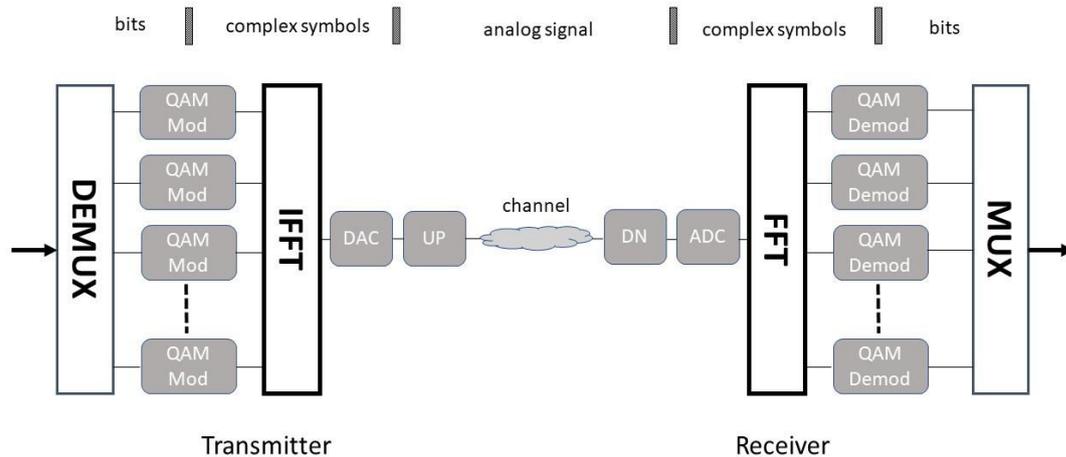


Figure 2.2 : Un système OFDM complet comprend un émetteur (à gauche) et un récepteur (à droite), amplificateur de puissance dans l'émetteur non illustré.

Le résultat du signal **OFDM** est sous forme numérique qui pilote le convertisseur numérique-analogique (**DAC**) est convertit en un signal analogique. Ce signal en bande de base est généralement converti à la hausse (**UP**) à une fréquence plus élevée (et peut-être amplifié) avant d'être transmis via le canal en direct.

A la réception, le processus est inversé. Un convertisseur abaisseur analogique (**DN**) ramène le signal **OFDM** en bande de base. Le convertisseur analogique-numérique (**ADC**) convertit le signal sous forme numérique et le transmet au bloc **FFT**, pour le retransformer du domaine temporel au domaine fréquentiel. Les démodulateurs **QAM** reproduisent le flux binaire de chaque sous-porteuse, qui est ensuite multiplexé (**MUX**) pour recréer le flux de données unique d'origine [14].

Toute déviation en fréquence entraîne la perte de l'orthogonalité des sous-porteuses et crée par conséquent des interférences entre celles-ci, pour cela le décodage **OFDM** nécessite une synchronisation très précise de la fréquence du récepteur avec celle de l'émetteur. Si le récepteur est en mouvement la synchronisation devient difficile à réaliser [10].

Ce principe permet de limiter les interférences entre symboles, et l'éliminer grâce à l'intervalle de garde qu'on ajoute après chaque symbole émis [10].

2.2.3 Modulation démodulation OFDM

L'OFDM est une technologie de modulation utilisée dans de nombreux systèmes de communication à large bande. D'une manière générale, il peut être défini comme une évolution du FDM (Frequency Division Multiplexage), avec chevauchement orthogonal sous-porteuses. La transmission d'un signal OFDM se fait en parallèle au moyen de différentes sous-porteuses, avec l'application d'une technique de modulation simple (par exemple, QPSK, 16QAM, etc.) dans chacun d'entre eux. Les bits de données modulés sont mappés en sous-porteuses, ensuite les symboles de modulation sont traités par un IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), résultant en des échantillons dans le domaine temporel, après cela, un CP (préfixe cyclique), qui consiste à répliquer la fin du symbole OFDM au début du bloc de signaux à transmettre, est ajoutée au signal, puis dans le cas du f-OFDM, le signal OFDM résultant est filtré. Enfin, le signal OFDM ou f-OFDM passe par une conversion numérique-analogique, puis est envoyé à la RF (radio fréquence) module frontal, qui transmet le signal à la fréquence souhaitée. Afin de récupérer la séquence de données d'origine, le signal passe par le traitement suivant au côté récepteur: conversion RF et analogique-numérique, en option filtrage (uniquement en cas de f-OFDM), suppression CP, FFT (Fast Fourier Transform), extraction de sous-porteuses, linéaire détection et démodulation.

2.2.3.1 Modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying)

La modulation QPSK code deux bits par symbole, cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, à équidistance autour d'un cercle Avec quatre phases.

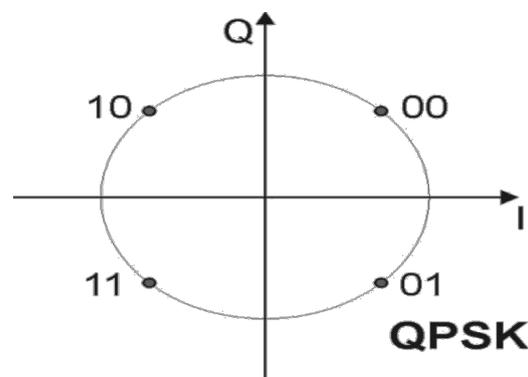


Figure 2.3 : Modulation de phase QPSK.

L'implémentation de QPSK est plus générale et d'un ordre PSK, L'écriture des symboles liés au

diagramme de constellation en termes de composantes sinus et cosinus est représentée par [20]:

$$S_i(t) = \frac{\sqrt{2E_s}}{T} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{(2i-1)\pi}{4}\right), i = 1,2,3,4$$

E_s : Energie par symbole

2.2.3.2 : Modulation QAM (*quadrature amplitude modulation*)

La modulation d'amplitude en quadrature modifie à la fois l'amplitude et la phase du signal. Elle résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses sinusoïdales déphasées l'une de l'autre de 90° et elle permet des débits élevés avec une rapidité de modulation relativement faible, la QAM16 utilise 4 bits par symbole, QAM32 utilise 6 bit par symboles et QAM256 utilise 8 bit par symboles. La transmission de deux signaux analogiques à l'aide d'une modulation de type QAM, le signal transmis est de la forme [19]:

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$$

$I(t)$ et $Q(t)$ sont les signaux modulants et f_0 est la fréquence de porteuse.

Dans le domaine fréquentiel, en utilisant les propriétés de la transformée de Fourier, on trouve que :

$$s(f) = \frac{1}{2} [M_i(f - f_0) + m_i(f + f_0)] + \frac{1}{2j} [M_q(f - f_0) - M_q(f + f_0)]$$

Où $s(f)$, $M_i(f)$ and $M_q(f)$ sont respectivement les transformés de Fourier de $s(t)$, $I(t)$ et $Q(t)$.

2.2.4: Transformée de Fourier Inverse rapide / Transformée de Fourier Rapide

Dans le système OFDM, la partie de modulation et de démodulation est largement réalisée par FFT / IFFT. Les opérations mathématiques d'IFFT / FFT sont principalement utilisées pour convertir les signaux du domaine temporel vers le domaine fréquentiel et vice versa.

$Y = \text{fft}(X)$ et $X = \text{ifft}(Y)$ calculent la transformation de Fourier discrète (TFD) et son inverse en utilisant un algorithme de transformation de Fourier rapide [18].

$$y(k) = \sum_{j=1}^N X(j) W_N^{(j-1)(k-1)}$$

$$X(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y(k) W_N^{-(j-1)(k-1)}$$

Avec $W_N = e^{-\frac{2\pi i}{N}}$

2.2.5 Notion d'orthogonalité

Les techniques classiques de modulation l'OFDM autorise un fort recouvrement spectral entre les sous-porteuses, ce qui permet d'augmenter sensiblement leur nombre ou d'amoinrir l'encombrement spectral. Cependant, pour que ce recouvrement n'ait pas d'effet néfaste, les sous porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité, à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel.

On définit l'orthogonalité de deux fonctions f et g sur un intervalle $[a, b]$ par la relation suivante:

$$\int_a^b f(t).g(t)dt = 0 \quad (2.1)$$

Cela veut dire que : (f) et (g) sont disjointes sur le segment $[a, b]$, et n'interfèrent pas entre elles.

Dans le domaine fréquentiel, on peut percevoir la notion d'orthogonalité du signal OFDM.

Chaque sous-porteuse OFDM a une réponse en fréquence sinus cardinal. La forme sinus cardinal a un lobe principal étroit, avec de nombreux lobes latéraux.

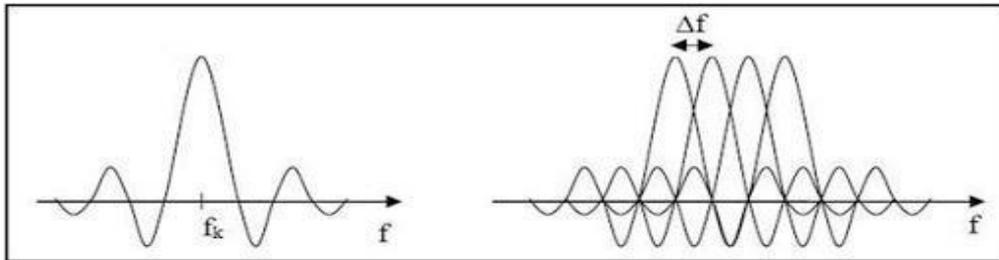


Figure 2.4 : Enveloppes spectrales de sous porteuses

$$y_k(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_k t) & 0 < t < T_u \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad \text{Pour } k \in [1, N]$$

L'orthogonalité est réalisée lorsque 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. Le spectre total du signal OFDM est la somme des spectres individuels des différentes porteuses.

Afin de pouvoir séparer les sous-porteuses à la réception, les porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité, à la fois dans le domaine temporel et fréquentiel.

2.2.6 Intervalle de garde

Les signaux OFDM sont transmis à des intervalles égaux. Un symbole transmis prend différents retards pour arriver au récepteur dans le cas d'un canal multi-trajet, ce qui cause des étalements temporels. La prolongation de la durée des symboles fait chevaucher les symboles entre eux, ce qui donne naissance à l'interférence entre symboles (ISI) [15].

Donc pour éviter les interférences, il suffit d'ajouter un intervalle de garde entre deux symboles **OFDM** transmis successivement. Les symboles subissent des échos, les derniers échos du premier symbole **OFDM** auront lieu durant cet intervalle, et le symbole **OFDM** suivant ne sera plus perturbé la figure (2.5). Généralement l'intervalle de garde évite l'**ISI** et conserve l'orthogonalité des sous porteuses seulement dans le cas où il est composé par les derniers symboles de la trame **OFDM** (16). Dans ce cas, l'intervalle est appelé préfixe cyclique. Par conséquent, l'égalisation au récepteur devient très simple. Pour que cet intervalle de garde soit efficace, sa durée doit être au moins égale à la durée de l'étalement des retards non négligeables du canal

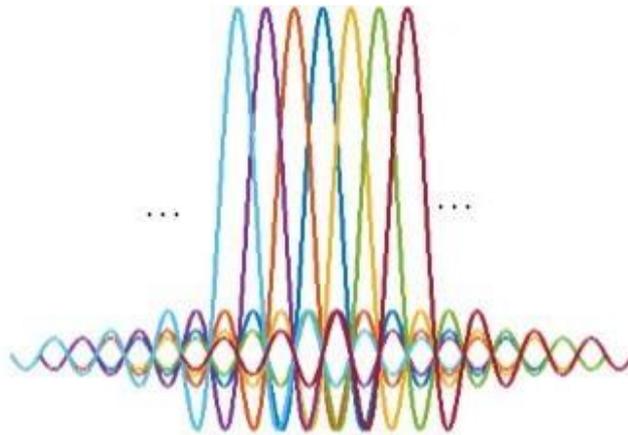


Figure 2.5 : Sous porteuses orthogonales du signal OFDM.

2.2.7 Principe du préfixe cyclique

Si la durée d'un symbole est largement supérieure à l'étalement des trajets, le signal reçu n'est pas exempt d'interférence. Donc L'intérêt de l'OFDM est de conserver une durée symbole importante tout en transmettant à haut débit. Le préfixe cyclique est une bonne méthode pour combattre les interférences entre symbole (ISI) et entre porteuses (ICI).

On duplique les derniers symboles temporels de tout symbole OFDM et on les transmet en tête (figure 2.6), Ces parties répétées constituent le préfixe cyclique.

Le nombre de symboles répétés doit correspondre à une durée supérieure ou égale à τ . Soit N_g le nombre de symboles répétés. Donc le nombre total de symboles temporels transmis est $N + N_g$.

Si on considère que le premier symbole est reçu au temps $t = 0$ suivant le trajet direct, il suffit de ne pas tenir compte des N_g premiers symboles et considérer seulement les N symboles suivants. Ceux-ci sont soumis uniquement à de l'interférence au sein du même symbole.

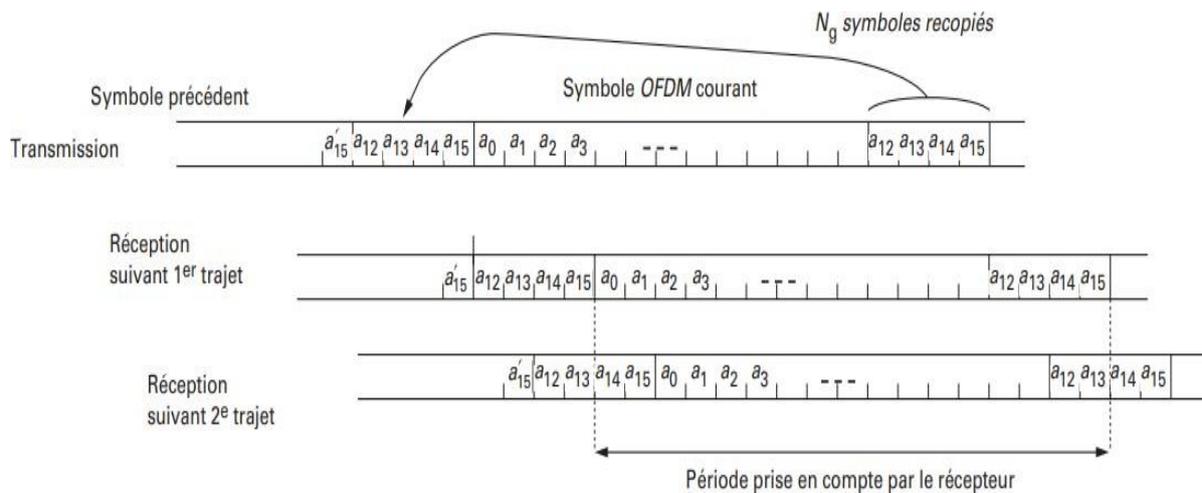


Figure 2.6 : Insertion du préfixe cyclique

2.2.9 Avantages et inconvénients de l'OFDM

2.2.9.1 Avantage

- L'utilisation optimale de la bande de fréquence allouée par orthogonalisation des porteuses.
- L'égalisation n'est pas nécessaire mais une simple estimation périodique de la réponse du canal.
- Permet de s'affranchir des multi-trajets en liant les éléments statistiquement indépendants.
- la multiplicité de la modulation est basée sur un algorithme bien connu et peu complexe : la FFT.
- un codage et entrelacement adapté permet d'améliorer de façon importante le taux d'erreur.

2.2.9.2 Inconvénients:

- L'OFDM est également très vulnérable aux problèmes de décalage en fréquence et de synchronisation.
- Sensible aux erreurs de fréquence et de timing et aussi au bruit de phase.
- Évolutive : la localisation spectrale est trop mauvaise.
- Grand rapport Peak-to-Average Power : L'OFDM est sensible aux non linéarités des amplificateurs. Le signal peut présenter un PAPR (Peak to Average Power Ratio) très élevé, engendrant la saturation des blocs analogiques [11].

2.3 Technologie F-OFDM

2.3.1 Définition F-OFDM

F-OFDM signifie «OFDM filtré». La vraie signification derrière **F-OFDM** peut être illustrée comme ci-dessous, une bande peut être divisée en plusieurs sous-bandes. Chacune des bandes peut avoir une bande passante différente. Et chaque sous-bande est composée de plusieurs sous-porteuses et l'espacement des fréquences entre les sous-porteuses peut différer avec chaque sous-bande. Et grâce à la combinaison de la flexibilité de sous-bande et de sous-porteuse, on pourra créer une structure de sous-trame très flexible qui peut transporter les différents types de données de service dans la même sous-trame. Sur la base des exigences de sous-trame pour la 5G, il est probable que ce type de forme d'onde flexible sera adopté dans la 5G [12].

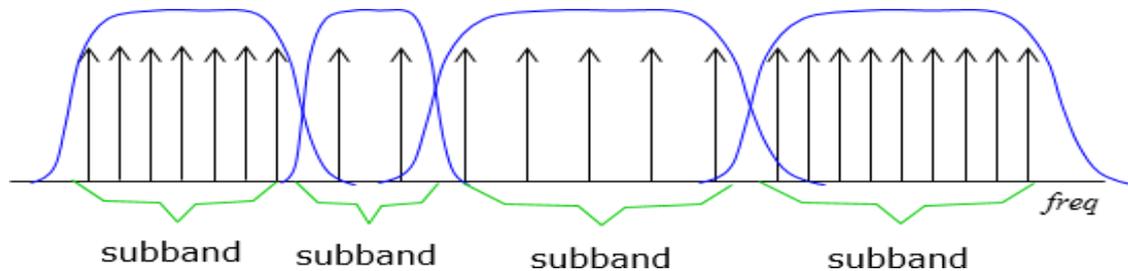


Figure 2.7 : Conception de filtre sous bande

2.3.2 Principe et fonctionnement de F-OFDM

F-OFDM utilisant le filtrage par sous-bande c'est un système modifié d'**OFDM**, la modulation **f-OFDM** est très similaire à celle de la technique OFDM traditionnelle, le filtrage est effectué après le bloc **IFFT** afin de réduire le bruit, et ainsi diminuer l'interférence entre les signaux adjacents. Au niveau du récepteur, le filtrage est effectué après la conversion analogique- numérique.

La différence entre le processus de modulation / démodulation **f-OFDM**, c'est l'ajout de filtres passe-bas, si la bande de transition est plus étroite possible et avec une bande passante plate donc le filtre est idéal [13].

La conception appropriée du filtre doit conserver **ICI** (Inter Carrier Interference) et **ISI** (Inter Symbol Interference) à des niveaux acceptables [20]. Dans le cas **f-OFDM**, le type de filtre que nous utilisons à la majorité son énergie concentrée dans le lobe principal du signal Sinc, qui a une longueur inférieure à la longueur **CP**, pour cela la longueur du filtre n'a pas besoin d'être inférieure à la longueur du **CP**.

Par conséquent, elle permet d'avoir des filtres avec des longueurs plus longues que le **CP**. Et l'énergie qui fuit dans le **CP** du symbole OFDM suivant est très petite et ne se produit que pendant une courte période [17].

2.3.3 Avantages de F-OFDM

- Le schéma **F-OFDM** peut offrir une meilleure efficacité du spectre que le schéma OFDM.
- La réduction des émissions OOB (out of band) fournie par le filtrage basée sur les sous bandes dans **F-OFDM**, la transmission asynchrone à travers les sous-bandes peut également être utilisée.
- La capacité à fournir une numérotique unifiée avec différentes exigences de temps et de fréquence en fonction des types d'applications dans la bande passante disponible.

2.3.4 Comparaison entre l'OFDM et F-OFDM

Ce schéma représente la différence fondamentale entre L'OFDM et F-OFDM :

Dans l'**OFDM**, toute la bande est composée d'un seul bloc avec un espacement des fréquences entre chaque sous-porteuse identique (étiquette comme Δf). Par contre, dans **f-OFDM**, toute la bande est composée de plusieurs sous-blocs (sous-bandes) et avec un espacement des sous-porteuses dans chaque sous-bande est différent (exemple : l'espacement des sous-porteuses pour la sous-bande $N1$ est $\Delta f/2$ et l'espacement des sous-porteuses pour Nk est $4*\Delta f$) et chaque sous-bande a son propre CP (la longueur de chaque CP peut également varier) et chaque sous-bande est appliquée par son propre filtre. De toute évidence, le principal avantage de cette forme d'onde serait la flexibilité et le principe inconvénient serait la complexité de la structure et de la mise en œuvre [12].

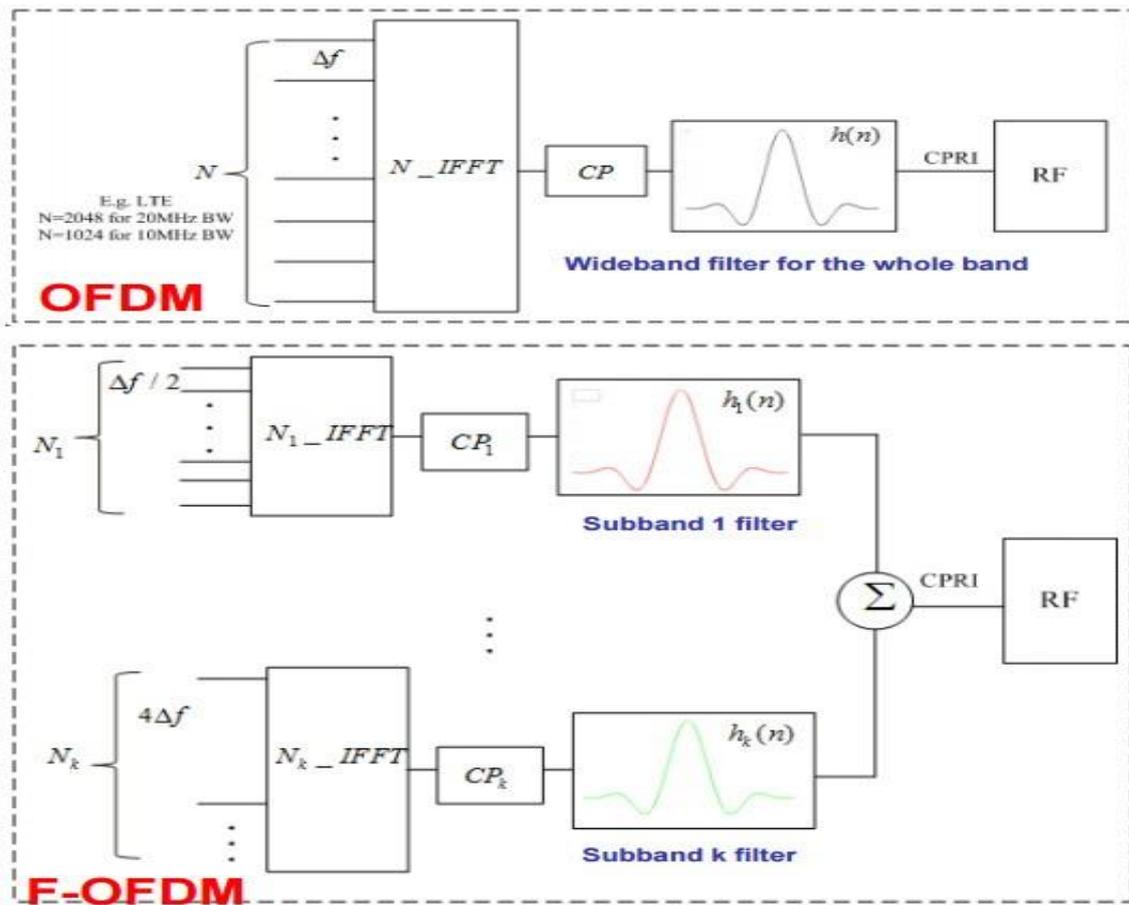


Figure 2.8 : comparaison entre OFDM et F-OFDM

2.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les techniques de modulation **OFDM** et **F-OFDM**. L'**OFDM** est une bonne solution pour les trajets multiples en divisant la bande de transmission en N sous-canaux orthogonaux, nous avons démontré l'importance du filtrage du module **OFDM** signal comme un moyen d'atténuer les interférences sur les canaux adjacents. Notre analyse conclut que les systèmes équipés de **f-OFDM** sont mieux que l'**OFDM**, Compte tenu de cette condition, nous pouvons dire que **f-OFDM** est un excellent candidat pour les générations futures pour les réseaux mobiles.

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, Dans ce présent chapitre, nous exposons les résultats graphiques de simulation, obtenus par le logiciel Matlab, et ces explications.

Nous allons simuler la technique F-OFDM et OFDM en changeant chaque fois le nombre de ressources blocs et le type de modulation et on compare ces deux dernières en fonction de BER et SNR.

3.2 Langage utilisé

Afin de réaliser les différentes simulations de notre système, nous avons eu recours à l'outil de programmation MATLAB. Ce dernier est un langage de calcul scientifique de haut niveau et un environnement interactif pour le développement d'algorithmes, la visualisation et l'analyse des données, ou encore le calcul numérique.

Il est particulièrement performant pour le calcul matriciel car sa structure de données interne est basée sur les matrices. Il dispose également de grandes capacités graphiques pour, par exemple, la visualisation d'objets mathématiques complexes.

3.3 Les paramètres de simulation

Les paramètres considérés au niveau du système sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Nombre de points FFT	1024
Nombre de blocs de ressources	25 50 100
Nombre de sous-porteuses par bloc de Ressources	300 600 1200
Longueur du préfixe cyclique dans les échantillon	72
Modulation	QPSK , QAM
Décalage de tonalité ou de bande passante excédentaire (dans les sous-porteuses)	2.5 %
Longueur du filtre	513

Tableau 3.1 Paramètres de la simulation

Dans le domaine fréquentiel, on utilise la fonction $w(n)$ avec son inverse donné par la fonction sinus cardinal qu'on a défini dans l'équation suivante :

$$p(n) = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi[12NPRB+2Ne]n}{NFFT}\right) / \frac{\pi[12NPRB+2Ne]n}{NFFT}, & n \neq 0 \\ 1, & n = 0 \end{cases}$$

- ❖ NPRB est le nombre de blocs de ressources physiques, NFFT est la longueur FFT utilisée dans la modulation OFDM, L est la longueur du filtre.

Afin d'obtenir des filtres réalisables, nous trinquons la synchronisation de la réponse en appliquant une fenêtre, $w(n)$, qui est définie dans l'équation suivante :

$$\omega(n) = \left\{ \frac{1}{2 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right) \right]} \right\}^{0.6}$$

Enfin, les coefficients du filtre normalisé sont obtenus comme défini dans l'équation suivante :

$$f(n) = \frac{p(n) \cdot \omega(n)}{\sum_k p(k) \cdot \omega(k)}$$

3.4 Interprétation des résultats

3.4.1 Comparaison de l'OFDM et F-OFDM en utilisant la DSP :

Nous avons comparé entre les techniques F-OFDM et OFDM en tenant compte des paramètres présenter dans le tableau ci-dessus.

3.1.1 Influence de la modification de nombre de ressource bloc

➤ 25 ressources bloc

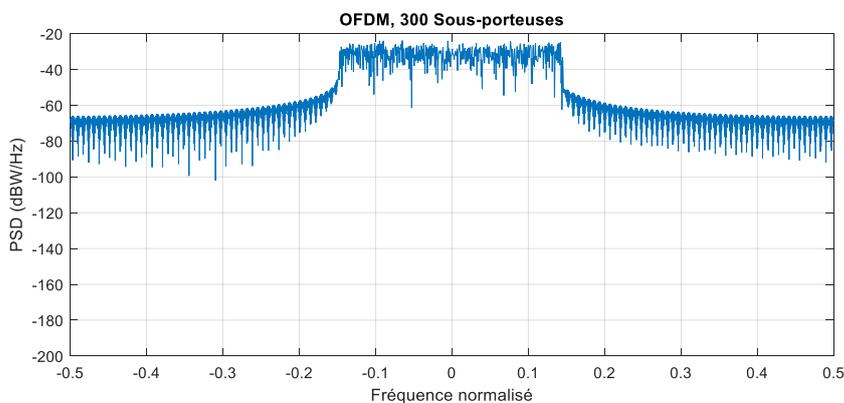


Figure 3.1: densité spectrale de puissance pour OFDM 300 sous-porteuses.

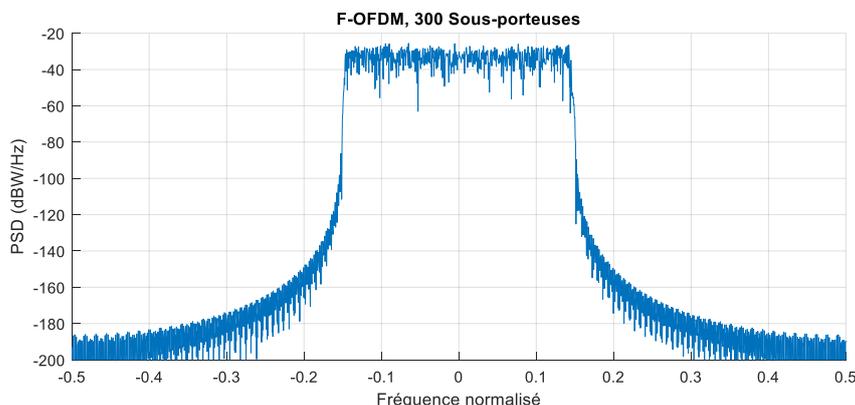


Figure 3.2 : densité spectrale de puissance pour F-OFDM 300 sous-porteuses.

➤ 50 ressources blocs :

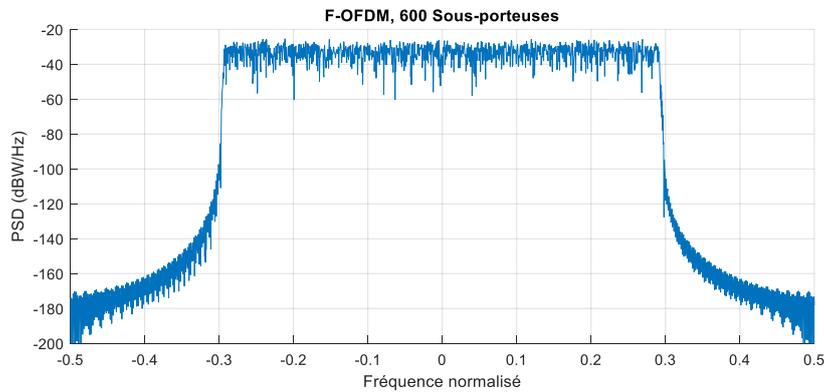


Figure 3.3: densité spectrale de puissance pour F-OFDM 600 sous-porteuses.

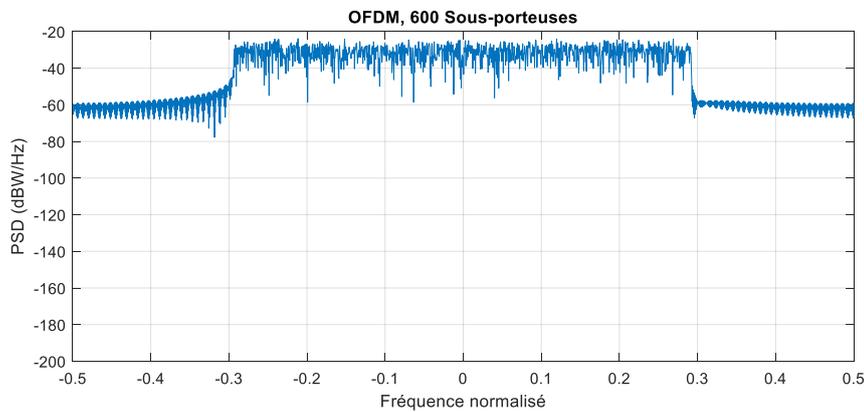


Figure 3.4 : Densité spectrale de puissance pour l'OFDM 600 sous-porteuses.

➤ 100 ressources blocs :

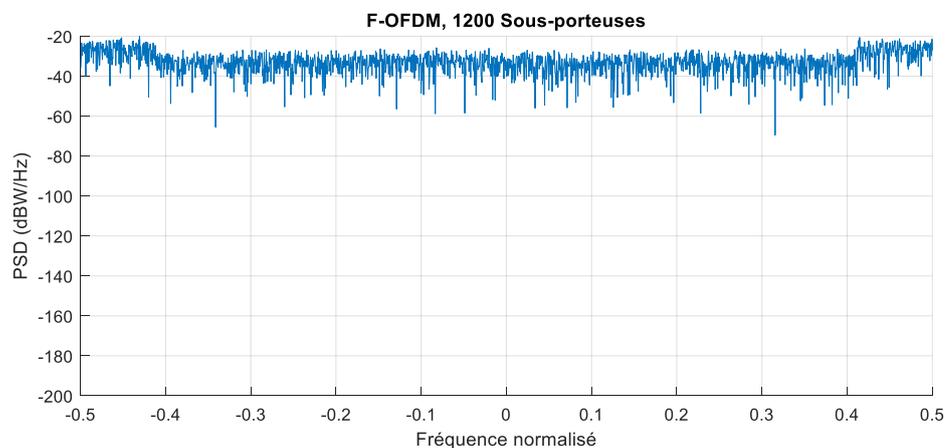


Figure 3.5 : densité spectral de puissance pour F-OFDM 1200 sous -porteuses.

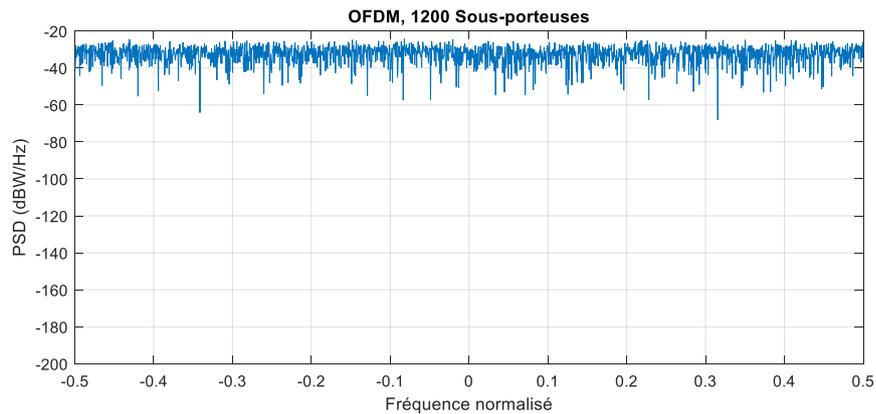


Figure 3.6 : densité spectrale de puissance pour OFDM 1200 sous-porteuses.

En comparant les différentes figures présentées ci-dessus, on constate que les performances sont améliorées de façon significative lorsque le nombre de sous-porteuses augmente. L'ajout du filtre FIR à la chaîne de transmission OFDM réduit considérablement le bruit et élimine les erreurs.

F-OFDM a plus d'avantage par rapport à l'OFDM en termes d'efficacité Spectrale. Contrairement à l'OFDM des bandes de fréquence très larges ce qui provoque une perte en efficacité spectrale. On a déduit que plus la largeur de filtre augmente plus l'efficacité spectrale en F-OFDM augmente avec une réduction des fuites spectrales.

3.1.2 Influences de type de modulation :

On a fixé 100ressources blocs, les résultats sont illustrés sur les figures ci-après :

➤ QPSK

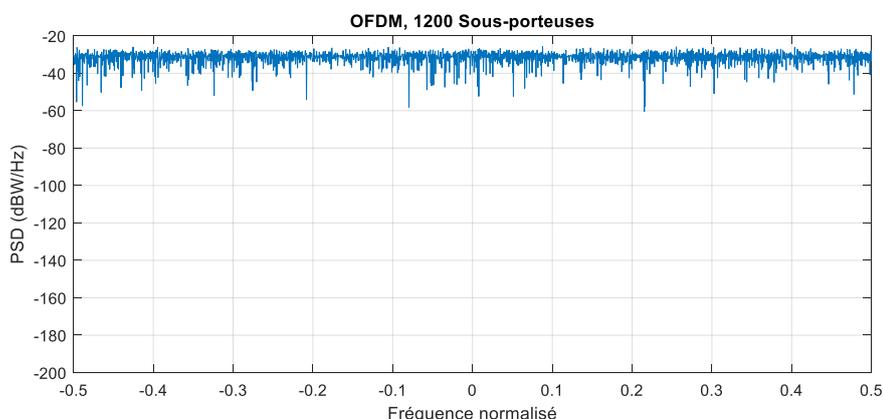


Figure 3.7: densité spectrale de puissance pour OFDM 1200 sous-porteuses.

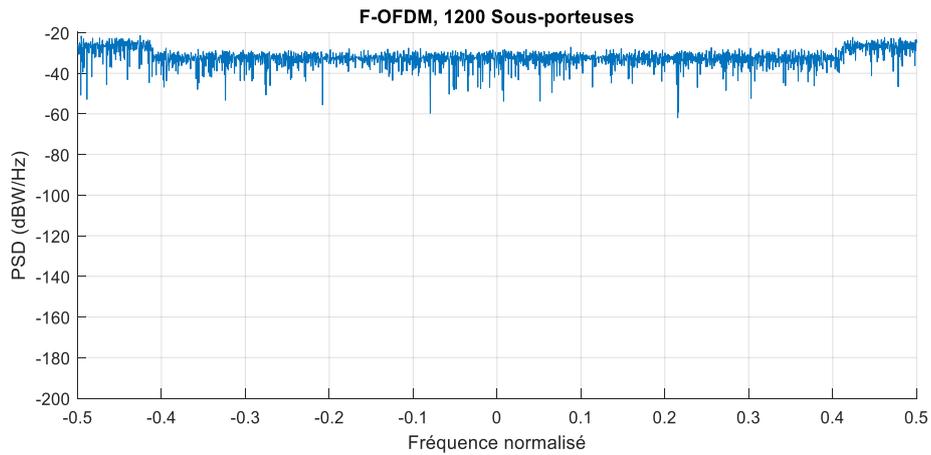


Figure 3.8 : densité spectrale de puissance pour F-OFDM 1200sous-porteuses.

➤ 64QPSK

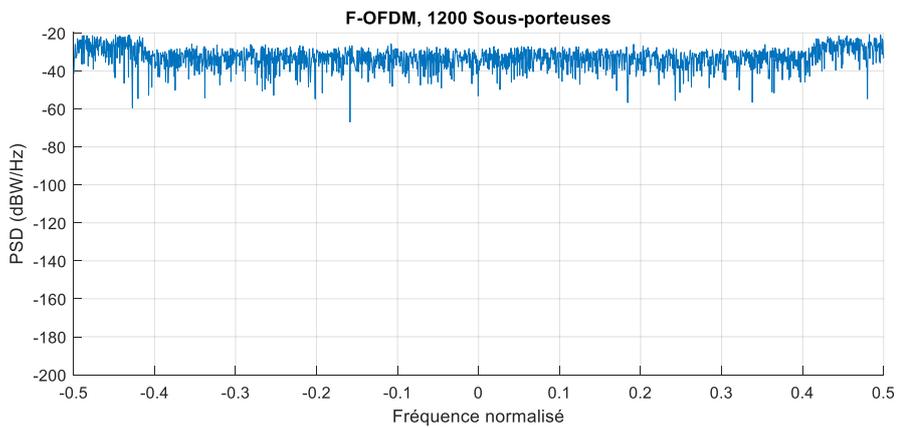


Figure 3.9 : densité spectrale de puissance pour OFDM 1200 sous-porteuses.

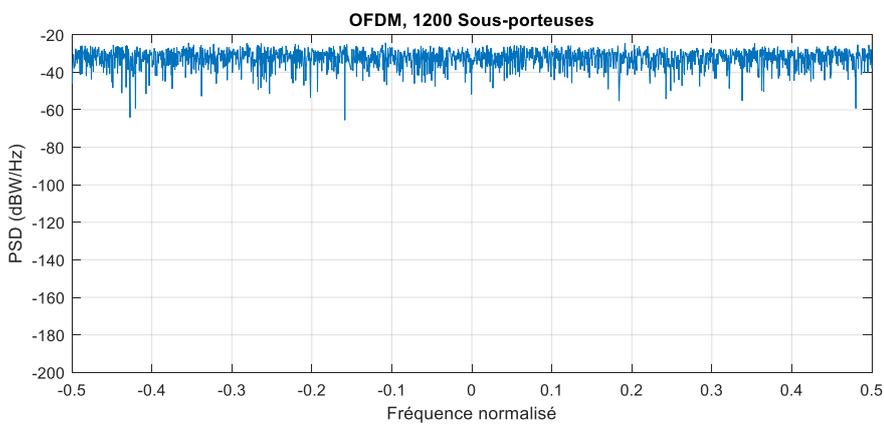


Figure3.10 : densité spectrale de puissance pour OFDM 1200 sous-porteuses.

➤ 256QAM

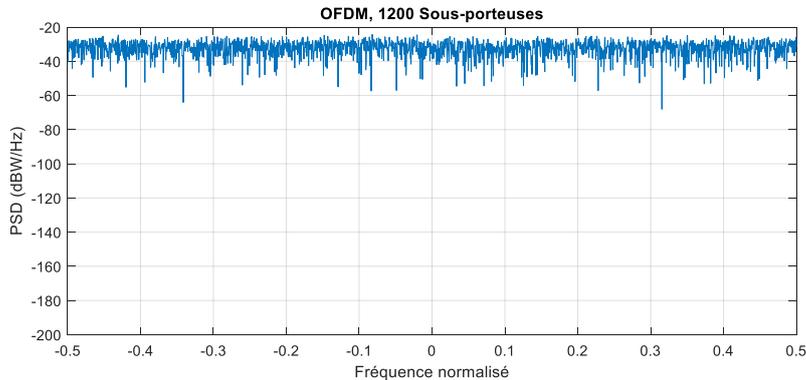


Figure 3.11 : densité spectrale de puissance pour OFDM 1200 sous-porteuses.

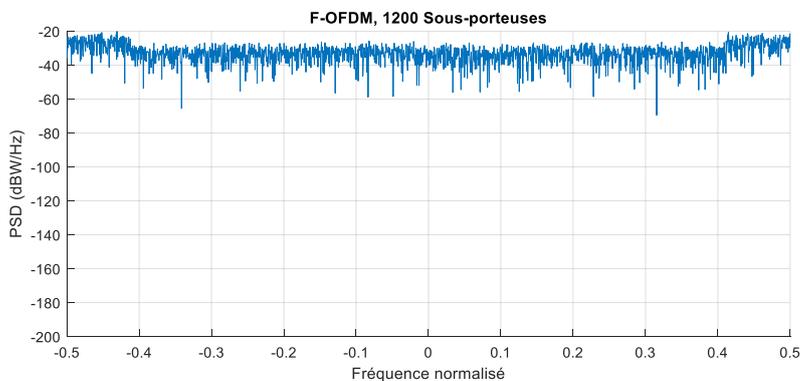


Figure 3.12 : densité spectrale de puissance pour F- OFDM 1200 sous-porteuses.

Dans les figures précédentes, On remarque que plus le nombre de bits envoyés est élevés plus l'information est moins bruité. On remarque qu'avec la modulation QAM, les dégradations de performances du système deviennent importantes par rapport à la structure OFDM-QPSK.

3.4.2 Comparaison des deux performances en fonction BER et SNR

Pour améliorer le débit de données, la solution c'est de développer le rapport signal sur bruit (SNR) dans le but de servir autant d'utilisateurs que possible avec le débit de données le plus élevé possible.

On définit E_b / N_0 (The energy per bit to noise power spectral density ratio) qui a pour but lorsque l'on compare les performances de BER de différents schémas de modulation numérique sans prendre en compte la bande passante, il s'agit d'une mesure normalisée de SNR, également appelée "SNR par bit".

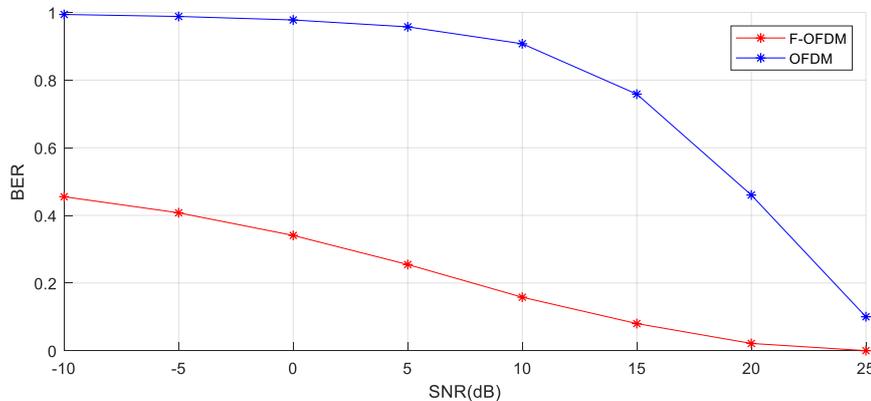


Figure 3.13 : Comparaison de L'OFDM et F-OFDM en fonction de BER et SNR.

La figure (3.13) présente la variation du taux d'erreur BER en fonction de rapport signal sur bruit, on observe que quand le SNR augmente, le BER diminue. Comme on peut le voir, le BER est plus faible en utilisant la technique f-OFDM par rapport à OFDM.

3.4 Conclusion

Ce chapitre est la concrétisation du travail théorique décrit aux chapitres 1 et 2, OFDM et F-OFDM ont été simulés à l'aide de MATLAB et leurs performances sont vérifiées en termes de densité spectrale de puissance (DSP) et de taux d'erreur des bits (BER). Notre analyse conclut que les systèmes équipés de F-OFDM peuvent fonctionner mieux que l'OFDM, elle est plus avantageuse.

Conclusion Générale

La technologie 5G est la sommation de plusieurs technologies utilisées dans les autres standards comme (3G, 4G). Si les réseaux 3G et 4G ont été conçus pour répondre à un besoin de vitesse sur l'internet mobile, la 5G vise beaucoup plus haut. Un futur entièrement connecté.

Dans un premier temps on a défini brièvement la 5ème génération avec la description de son fonctionnement et la présentation de l'architecture et les systèmes qui sont exigé par les besoins de réseaux 5G. Ensuite, nous avons présenté les techniques OFDM et F-OFDM en expliquant leurs fonctionnements et principes en utilisant la technologie MIMO qui permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur.

F-OFDM est un bon candidat pour la forme d'onde pour la largeur de la bande est beaucoup plus élevées en 5G, qui exploite efficacement la bande passante disponible en la divisant en plusieurs sous-bandes et en utilisant l'OFDM avec différents paramètres de forme d'onde en fonction des besoins des services à fournir, Contrairement à OFDM.

F-OFDM est basée sur le filtrage du signal OFDM pour minimiser l'OOB (Out Of Band), en comparant les performances de F-OFDM à celles de l'OFDM afin de montrer les améliorations que peut apporter la technique F-OFDM.

Et pour finir, nous avons comparé les deux technologies par une simulation des deux modèles théoriques, comme on les a comparés en variant les types de modulation et leur taux d'erreurs binaires.

On conclue que la technique F-OFDM est meilleure par rapport à l'OFDM, elle offre une efficacité spectrale améliorée.

Bibliographie

- [1] http://www.efort.com/r_tutoriels/5G_EFORT.pdf
- [2] https://www.frandroid.com/telecom/488716_reseau-5g-tout-ce-qui-va-changer-quels-usages-et-pourquoi-la-technologie-est-importante
- [3] <http://dSPACE.univ-guelma.dz:8080/xmlui/handle/123456789/4031>
- [4] http://www.efort.com/r_tutoriels/5G_EFORT.pdf
- [5] https://www.frandroid.com/telecom/488716_reseau-5g-tout-ce-qui-va-changer-quels-usages-et-pourquoi-la-technologie-est-importante
- [6] <http://dSPACE.univ-guelma.dz:8080/xmlui/handle/123456789/4031>
- [7] <https://justaskthales.com/fr/quelle-est-la-difference-entre-un-reseau-4g-et-5g/#:~:text=En%20deux%20mots%2C%20la%205G,plus%20rapide%20que%20la%204G>
- [8] <https://www.prixtel.com/decouvrir-prixtel/actualite/news/reseau-5g-les-avantages-et-les-inconvenients/>
- [9] <http://dSPACE.univ-guelma.dz:8080/xmlui/handle/123456789/4019>
- [8] [Définition | OFDM - Orthogonal Frequency Division www.futura-sciences.com.](#)
- [9] « Cours de Réseaux 802.11 » université sid Mohamed Ben Abdalah 2014/2015.
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency_division_multiplexing#Principe.
- [11] http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2004ttnfa_05/demaret-vangeslti/site_fichiers/ofdm.htm
- [12] https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_Candidate_fOFDM.html
- [13] Felipe A. P. de Figueiredo, R. Mennes, X. Jiao, W. Liu, and I. Moerman, A spectrum sharing framework for intelligent nextgenerationwireless networks, IEEE Access, vol 6, pp. 60704-60735, Nov. 2018
- [14] <https://www.5gtechnologyworld.com/the-basics-of-5gs-modulation-ofdm/>

[15] J. G. Proakis, "Digital communications," McGraw-Hill, 4th edition, 2001.

[16] A. Peled and A. Ruiz, "Frequency Domain Data Transmission using Reduced Computational Complexity Algorithms," Proceeding of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 5, pp. 964-967, 1980.

[17] L. Zhang, A. Ijaz, P. Xiao, M. M. Molu, and R. Tafazolli, Filtered OFDM systems, algorithms and performance analysis for 5G and beyond, IEEE Trans. Commun., vol. 66, no. 3, pp. 1205-1218, Nov. 2017.

[18] <https://perso.ensta-paris.fr/~pcarpent/MO102/Cours/Projets/Pr-optiqu/projet%20MATLAB%20-%20fft,%20ifft%20et%20fftshift.pdf> vendredi 21 octobre 2020.

[19] https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_d%27amplitude_en_quadrature

[20] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Quadrature_phase-shift_keying_\(QPSK\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Quadrature_phase-shift_keying_(QPSK))

[21] <https://medium.com/@miccowang/the-role-of-massive-mimo-in-5g-c362e790ef61>

Résumé

La nouvelle génération des réseaux mobiles (5G) devrait répondre à des nombreuses exigences, y compris un débit des données élevées, un temps de transmission court, la prise en charge d'un grand nombre de périphériques. L'objectif de ce travail était l'étude d'étudier la comparaison entre les deux performances OFDM et F-OFDM pour réseau 5G basé sur la technologie MIMO. Dans ce travail, nous commençons par les généralités sur la 5ème génération (5G). Ensuite nous décrivons les deux technologies OFDM et F-OFDM et une comparaison entre les deux. En fin les notions théoriques étudiés ont été validés à travers des simulations MATLAB, et plus précisément, une comparaison basée sur le BER et la DSP.

Nous avons pu constater que la technique F-OFDM apporte des améliorations par rapport à L'OFDM, c'est un bon candidat pour minimiser les bruits et offrir une meilleure efficacité spectrale.

Mots clés : OFDM, F-OFDM, DSP, MIMO.

Abstract

The new generation of mobile networks (5G) should meet many requirements, including high data throughput, short transmission time, and support for a large number of devices. The objective of this work was to study the comparison between the two OFDM and F-OFDM performances for 5G based on MIMO technology. In this work, we start with generals on the 5th generation (5G). Then we will describe the two technologies OFDM and F-OFDM and a comparison between the two. In the end the theoretical concepts studied were validated through MATLAB simulations, and more precisely, a comparison based on BER and DSP.

We have seen that the F-OFDM technique makes improvements over the OFDM; it is a good candidate to minimize noise and to offer better spectral efficiency.

Keywords: OFDM, F-OFDM, DSP, MIMO.