



N° d'ordre :

N° de série :



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Sciences et de La Technologies
Filière: Genie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En: Télécommunication

Spécialité: Systèmes de télécommunication

Par: Roguiai Soufiane, Boudjelkha Ala Eddine Et Mokeddem Bahia

Thème

Analyse des performances de
F-OFDM

Devant le jury composé de :

Mr. Ajgou Riadh	M C A	Président
Mr. Touhami Ridha	M A A	Examineur
Mr. Khelil Abdellatif	M C B	Encadreur

2018-2019

Remerciement

Ce travail a été effectué au département de télécommunication de la faculté de Technologie de l'Université Hamma-Lakhder d'El-Oued. Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage a fin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur Dr. Khelil Abdellatif qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nos ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire.

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. Le but de ce mémoire est d'étudier et d'analyser les performances de F-OFDM utilisée pour surmonter les inconvénients d'OFDM classique afin de satisfaire ces exigences de la 5G. Dans ce travail, nous commençons par les exigences de la 5ème génération (5G). Ensuite, nous entamons les modulations multi-porteuses OFDM et F-OFDM. En fin, une comparaison basée sur le BER et la DSP, entre OFDM et F-OFDM est effectuée. Les différents résultats ont été simulés sous logiciel MATLAB.

Mots clés : OFDM, F-OFDM, DSP.

Abstract:

The next generation of mobile networks (5G) is expected to meet many requirements, including high data throughput, short transmission time, support a large number of devices, and other requirements. The purpose of this thesis is to study and analyzing the performance of F-OFDM used to overcome the disadvantages of conventional OFDM in order to meet these requirements of 5G. In this work, we start with the requirements of the 5th generation (5G). Then we expose the OFDM and F-OFDM multi-carrier modulations. Finally, a comparison based on the BER and the DSP, between OFDM and F-OFDM is performed. The different results were simulated under MATLAB software.

Keywords: OFDM, F-OFDM, PSD.

ملخص:

من المتوقع أن يفي الجيل الجديد من شبكات الهاتف المحمول (5G) بالعديد من المتطلبات كسرعة الانتقال العالية للبيانات ووقت الإرسال القصير ، ودعم عدد كبير من الأجهزة. الغرض من هذه المذكرة هو دراسة تحليل أداء تقنية F-OFDM المستخدمة للتغلب على عيوب تقنية OFDM التقليدية وذلك من أجل تلبية متطلبات الجيل الخامس 5G. في هذا العمل ، نبدأ بمتطلبات الجيل الخامس (5G). ثم نتطرق للتضمينات متعددة الحاملات OFDM و F-OFDM. أخيراً ، يتم إجراء مقارنة تستند على BER و DSP ، بين OFDM و F-OFDM. بعد ذلك تمت محاكاة النتائج المختلفة باستعمال برنامج MATLAB.

الكلمات المفتاحية: التضمين متعدد الحاملات (OFDM) ، التضمين متعدد الحاملات المصفاة (F-OFDM) ،

الكثافة الطيفية للقدرة (PSD) ، معدل خطأ البتات (BER).

Table des matieres:

Remerciement

Résumé

Table des matieres: I

Table des figures: III

Liste des tableaux:..... V

Abréviations: VI

Introduction generale 1

Chapitre I: Généralités sur la 5G

I.1. Introduction : 2

I.1. Historique: 3

I.2. Indicateurs de performance: 4

I.3. Les principales technologies de la 5G: 5

I.3.1. Ondes millimétriques: 5

I.3.2. Les petites cellules (small cell): 7

I.3.3. Massive MIMO: 8

I.3.4. Full duplex: 9

I.3.5. Formes d'onde : 10

I.4. Quelques formes d'ondes candidates pour la 5G: 10

I.5. Technique d'accès : 13

I.5.1. Multiplexage NOMA : 13

I.6. Modulations: 14

I.7. Conclusion: 14

Chapitre II: La forme d'onde F-OFDM

II.1. Introduction : 16

II.2. Principe et fonctionnement de l'OFDM : 17

II.2.1. Notions d'orthogonalite : 18

II.3. Émetteur-récepteur OFDM: 19

II.4. Intervalle de garde : 21

II.4.1. Types d'intervalle de garde : 21

II.5. Les avantages et inconvénients de l'OFDM: 22

II.5.1. Les avantages : 22

II.5.2. Inconvénients : 22

II.6. Définition de F-OFDM:	23
II.7. Structure général	23
II.8. Émetteur-récepteur F-OFDM.....	27
II.9. Conception du filtre:.....	29
II.10. Filtre RIF basé sur la fenêtre:	30
II.11. Conclusion:.....	37
Chapitre III: Simulation et Analyse	
III.1. Introduction :	38
III.2. Modèle de simulation :	38
III.3. Comparaison des performances de BER d'OFDM et F-OFDM.....	39
III.3.1. Le canal AWGN:	40
III.3.2. Le canal Pedestrian A :	41
III.3.3. Le canal Vehicular A :	42
III.4. Comparaison des DSP d'OFDM et F-OFDM :	42
III.4.1. Le filtre Sinc (0.1) :	43
III.4.2. Le filtre Sinc (0.4) :	45
III.4.3. Le filtre Sinc (0.9) :	47
III.5. Conclusion :	49
Conclusion generale	50
Bibliographie:.....	VIII

Table des figures:

Figure I.1: comparaison entre 4G et 5G.....	5
Figure I.2: spectre des ondes millimétriques. [5]	6
Figure I.3:small cell. [8]	8
Figure I.4: massive MIMO [8]	8
Figure I.5: full duplex	9
Figure I.6: Half duplex	9
Figure I.7 : schémas block FBMC.....	10
Figure I.8 : schémas block UPMC[7]	10
Figure I.9 : schémas block GFDM[7]	11
Figure I.10 : schémas block F-OFDM[7].....	12
Figure I.11:schemas bloc OFDM	12
Figure I.12: NOMA ET OMA	13
Figure II.1 : Modulation multi-porteuse [16]	17
Figure II.2 : OFDM vsFDM.....	18
Figure II.3 :Enveloppes spectrales de sous porteuses[17]	18
Figure II.4: Structure de l'émetteur du système OFDM.....	19
Figure II.5: Structure du récepteur du système OFDM	20
Figure II.6 : Intervalle de garde[20].....	21
Figure II.7 : Insertion du préfixe cyclique[21].....	21
Figure II.8: conception de filter sous bande	23
Figure II.9: Coexistence de formes d'onde [23]	24
Figure II.10: Transmission asynchrone d'un système F-OFDM.....	26
Figure II.11: Evolution de OFDM en F-OFDM [22].....	27
Figure II.12: Structure de l'émetteur du système F-OFDM.	28
Figure II.13: Structure du récepteur du système F-OFDM.	29
Figure II.14: Méthode de fenêtrage dans le domaine fréquentiel [26].	30
Figure II.15: Exemple de filtrage doux d'un filtre idéal.	32
Figure II.16: Les réponses dans le domaine temporel et fréquentiel de la fenêtre de Kaiser avec une longueur = 64	33
Figure II.18: PSD des filtres basés sur des fenêtres	36
Figure III.1: modèle de simulation de la technique F-OFDM.....	38

Figure III.2: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour le canal AWGN.40
Figure III.3: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour le canal Pedestrian A.....41
Figure III.4: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour le canal Vehicular A.....42
Figure III.5: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.1).....43
Figure III.6: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.1)44
Figure III.7: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.4).....45
Figure III.8: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.4)46
Figure III.9: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.9).....47
Figure III.10: Comparaison entre le BER d’OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.9).....48

Liste des tableaux:

Tab I.1: Comparaisons entre 4G et de la 5G au niveau des huit indicateurs de performance. ..4	
Tab III.1: les paramètres de simulation	39
Tab III.2: les paramètres de simulation.....	43

Abréviations:

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
AWGN	Additive White Gaussian Noise Ber Bit Error Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Préfixe
CP-OFDM	Cyclic Préfixe Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DSP	Power Spectral Density
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
FBMC	Filter Bank Based Multicarrier
FDM	Frequency Division Multiplexing
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response
F-OFDM	Filtered- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
GFDM	Generalized Frequency Division Multiplexing
GPS	Global Positioning System
ICI	Inter-Carrier Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMT-2020	International Mobile Telecommunications-2020
ISI	Inter-Symbol Interference
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Metals And Minerals Trading Corporation
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access
OBE	Out Of Band
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
OOB	Out Of Band
PAPR	Peak-To-Average Power Ratio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SCMA	Sparse Code Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UFMC	Universal Filtered Multi Carrier
UF-OFDM	Universal Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing
UIT	Union Internationale Des Télécommunications

Abréviations

URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
V2V	Vehicle To Vehicle
ZP	Zero Padding
ZP-OFDM	Zero-Padded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Introduction generale

Les activités de normalisation des télécommunications mobiles sans fil ont commencé avec des normes analogiques qui ont été introduites dans les années 1980[1]. Une nouvelle génération se développe presque tous les 10 ans pour satisfaire la demande exponentielle croissante du marché. Le saut de l'analogique au numérique a eu lieu dans les systèmes de deuxième génération (2G) dont nous avons commencé l'utilisation des services de données mobiles. L'évolution numérique de la 3G a connu la mise en œuvre des appels vidéo et du service (GPS) sur les appareils mobiles. Les systèmes de 4G sont apparus pour enlever la sélectivité fréquentiel et pour obtenir un débit élevé à l'aide de l'OFDM.

L'étude de la nouvelle generation (5G) est actuellement en cours avec une harmonie entre les universités, l'industrie et les organismes de normalisation pour qu'elle sera commercialisé en 2020.

L'OFDM est une norme de 4G dans laquelle plusieurs sous-porteuses, qui sont orthogonal entre eux, sont utilisées pour la transmission de données. Les systèmes OFDM sont capables de fournir un débit de données élevé, une réduction de la complexité du récepteur et une amélioration de l'efficacité spectrale. Cependant les inconvénients de base de l'OFDM sont le niveau élevé du PAPR et des lobes hors bande. Par conséquent, F-OFDM est considérée comme un nouveau candidat pour remplacer la technique OFDM dans la couche physique des réseaux 5G.

L'objectif de ce mémoire est de faire une étude théorique et pratique (par simulation) de la modulation F-OFDM qui est proposée pour satisfaire les exigences des systèmes 5G.

F-OFDM est une version filtré de l'OFDM conventionnel. Dans F-OFDM, une bande peut être divisée en plusieurs sous-bandes. Chaque sous-bande est traitée exactement comme l'OFDM puis elle est filtrée ,Grâce à ces filtres. Le OOB de système F-OFDM est réduit, et le rendement spectral s' améliore.

Dans le premier chapitre, nous allons donner une brève définition concernant la cinquième génération 5G et nous allons déterminer les indicateurs de performances de ce standard. Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter la modulation OFDM, qui est utilisée dans la 4G , ces avantages et ces inconvénients, ainsi qu'une étude de la nouvelle

technique F-OFDM et ses caractéristiques. Dans le dernier chapitre, nous allons exposer les tests de simulation permettant l'évaluation des performances de la technique F-OFDM .

Chapitre I:

Généralités sur la 5G

I.1. Introduction :

La « **5G** » est une nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile. Cette technologie de télécommunication sans fil promet une révolution dans le monde de la communication . des véhicules autonomes, des robots chirurgicaux, les drones, « l'Internet des Objets » (Internet of Things ou IoT) devront se mettre à cette technologie .

L'objectif de la 5G consiste à faire évoluer les réseaux de la 4G pour répondre aux différents besoins : augmenter les débits pour les usages courants de la mobilité, une latence de 1 ms ou moins, supporter des communications à basse consommation d'énergie et longue portée pour les objets connectés [2].

I.1. Historique:

La « **5G** » fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile. La première génération de téléphones mobiles (1G), les « téléphones de voiture », vit le jour vers **1980** ; introduits sur le marché par Motorola, ces téléphones fonctionnaient comme des radios et utilisaient leurs fréquences en mode analogique. Au début des années **1990**, les téléphones de deuxième génération (2G) furent développés avec une évolution vers les réseaux numériques : les débits d'échanges de données pour ces téléphones étaient bien inférieurs à **1000 bits** par seconde (bps) mais des améliorations significatives en termes de performance ont été introduites en l'an 2000 (2,5G). Peu de temps après, apparut la troisième génération (3G), et la vitesse de débit de données atteignit **100000 bps** ; l'amélioration était considérable, puisqu'il devenait possible de transmettre des appels vidéo limités, et de fournir des connexions Internet avec des vitesses raisonnables. Des améliorations furent introduites dans le codage numérique de la communication («**3.5G** », vers **2009** ; « **3.9G** » en **2012**).

La **5G** implique de nombreuses évolutions technologiques au niveau des protocoles radio (dits «**5G New Radio**»), des outils de gestion des réseaux ainsi que par une utilisation plus large du spectre électromagnétique, au-dessus de **3 GHz**, dans les ondes pré-millimétriques après **6 GHz** et dans les ondes millimétriques, au-delà de **24 GHz**. En s'attaquant à des nouvelles bandes de fréquences élevées, la **5G** se donne des ailes pour apporter des débits bien plus importants. Les standards de la **5G** sont spécifiés par l'Union Internationale des Télécommunications (**UIT**, une agence de l'**ONU**) et le **3GPP** (3rd Generation Partnership Project). L'UIT a défini le cadre et les standards de base de la 5G sous la dénomination **IMT-2020** (International Mobile Télécommunications). A ce jour, les différents standards de la 5G ne sont pas encore finalisés et ils le seront par étape avec au minimum deux versions.[3]

I.2. Indicateurs de performance:

Huit indicateurs de performance (KPI – Key performance indicators) ont été établis par l'UIT pour préciser, quantifier et mesurer les caractéristiques de systèmes IMT-2020 (5G)[4]:

- ✓ Débit crête par utilisateur (Gbit/s) ;
- ✓ Débit moyen perçu par l'utilisateur (Mbit/s) ;
- ✓ Efficacité spectrale (bit/Hz) ;
- ✓ Vitesse maximale des terminaux (km/h) ;
- ✓ Latence (ms) ;
- ✓ Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/km²) ;
- ✓ Efficacité énergétique du réseau ;
- ✓ Débit sur une zone (Mbit/s/m²) ;

A ces huit classes, 5 nouveaux indicateurs ont été définis et sont en cours d'étude : fiabilité, temps d'interruption de la mobilité, largeur de bande, efficacité spectrale maximale, 5^{ème} percentile d'efficacité spectrale.

Performances/Génération	4G	5G
Débit maximal (Gbit/s)	1	20
Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
Efficacité spectrale	1x	3x
Vitesse (km/h)	350	500
Latence (ms)	10	1
Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/km²)	10 ⁵	10 ⁶
Efficacité énergétique du réseau	1x	100x
Débit sur une zone (Mbit/s/m²)	0.1	10

Tab I.1: Comparaisons entre 4G et de la 5G au niveau des huit indicateurs de performance.

Dans les spécifications IMT-2020, la 5G permet d'améliorer tout ou partie de huit paramètres de performance des réseaux dont le débit maximal, le débit constaté, la latence, la

densité d'objets connectés au réseau et la vitesse de déplacement de ces objets, comme représenté dans la figure ci-dessus.

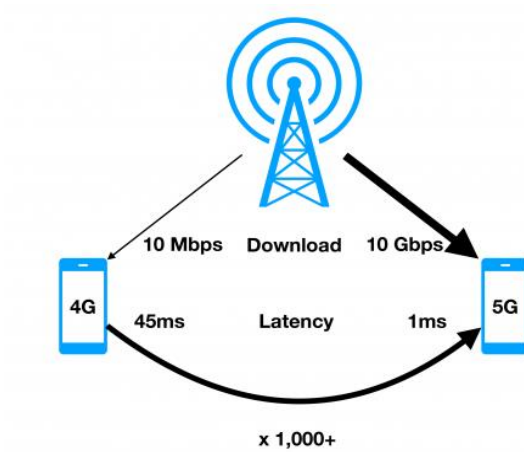


Figure I.1: comparaison entre 4G et 5G. [5]

I.3. Les principales technologies de la 5G:

Afin de comprendre à quel point la 5G va changer le paysage des télécommunications, il est nécessaire de s'attarder sur les technologies qui en constituent la base. L'utilisation de plusieurs technologies clé distingue la 5G des normes précédents :

I.3.1. Ondes millimétriques:

Le nom d'ondes millimétriques désigne toutes les composantes présentes dans le spectre de fréquence entre 30 et 300 GHz. Les ondes millimétriques font partie des ondes radio. L'utilisation d'ondes millimétriques est jusqu'à présent restreinte aux applications (indoor) et aux faisceaux hertziens. L'une des raisons de cette restriction repose sur le fait que les ondes millimétriques subissent plus d'atténuations : (path loss) ou un affaiblissement de propagation. Vu que la formule de Friis indique que les pertes de propagation en espace libre sont proportionnelles à la fréquence, l'utilisation des ondes millimétriques à l'extérieur pose un défi important. Le terme millimétrique met en relief l'aspect longueur d'onde[6].

Néanmoins, cette montée en fréquence n'est pas sans conséquences, quel que soit le domaine d'utilisation. Plus la fréquence est augmentée, la portée est diminuée et la pénétration dans les bâtiments est élevée.

Bien évidemment, il est possible d'aller au-delà de cette limite dans le cas de liaison point à point (ou point à multipoints), mais avec des antennes et une infrastructure différentes de celles pour les transmissions à distance courte.

Pour augmenter la portée des ondes millimétriques, et elle est notamment utilisée pour la **5G**. Il s'agit de « **faire converger la puissance des ondes radio vers la position du mobile afin d'éliminer les interférences** » L'idée est de transmettre la même puissance sur une zone moins large pour gagner en efficacité, comme on le ferait en plaçant une lentille devant une lampe de poche pour mieux éclairer un point précis, cette technique permettrait d'obtenir une portée équivalente à celle de la 4G avec l'utilisation des ondes millimétriques.



Figure I.2: spectre des ondes millimétriques. [5]

Avantages des ondes millimétriques :

- ✓ la quantité de spectre disponible.
- ✓ la taille des antennes diminue lorsque la fréquence augmente.

Inconvénients des ondes millimétriques:

- ✓ forte atténuation par les murs.
- ✓ la portée limitée (inférieures 1 km).
- ✓ atténuation importante.

Différents effets :

1) Atténuation :

- Causée par les hydrométéores (gouttelettes d'eau nuageuse ou sous forme de la pluie)
- Causée par les gaz atmosphériques.

2) Dépolarisation :

- Causée par l'anisotropie des cristaux de glace ou des gouttes de pluie.

3) Scintillation:

- Causée par inhomogénéités d'indice de réfraction de l'air .

I.3.2. Les petites cellules (small cell):

Une petite cellule ou (anglais : smallcell) est un point d'accès à un réseau de télécommunications mobiles. De faible consommation d'énergie et avec une portée allant jusqu'à 10 m au moins d'un km ; elle est petite en comparaison avec des autres antennes cellulaires dont la portée est de quelques km à quelques dizaines de kilomètres. Les petites cellules incluent les (femtocells). [7]

L'avantage d'un réseau de petites cellules comparé à un réseau macro-cellulaire est tout-d'abord la diminution du nombre d'utilisateurs connectés à chaque antenne. En effet, lorsque le nombre d'antennes augmente, on diminue le nombre d'utilisateurs par antenne et donc les phénomènes de saturation des cellules radio. Un autre avantage des réseaux (small cells) est de s'adapter à de grandes variations de la charge, c'est-à-dire du nombre d'utilisateurs. Par exemple, à l'échelle d'une rue fréquentée, le nombre d'utilisateurs varie fortement en fonction de l'heure ; par conséquent il est possible de faire varier la puissance d'émission de la cellule ou de la mettre en veille. Ce système de mises en veille permettrait de diminuer grandement la consommation des réseaux mobiles.

Le principal inconvénient des petites cellules est le coût de l'installation des antennes et de leur connexion (backhaul) avec le cœur de réseau de l'opérateur mobile. Le coût d'installation des antennes représente un investissement non négligeable pour les fournisseurs d'accès mobile. Ensuite la multiplication du (handover) lorsque l'utilisateur passe d'une cellule à l'autre est un enjeu important des systèmes de petites cellules. Enfin, la mise en veille et la gestion de la consommation des nœuds du réseau (antennes) est aussi un sujet majeur de préoccupation concernant le déploiement à grande échelle de la technologie des réseaux de petites cellules.

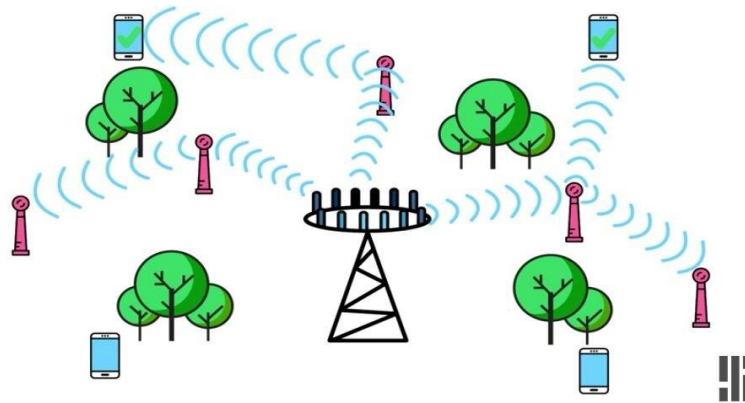


Figure I.3:small cell. [8]

I.3.3. Massive MIMO:

Massive MIMO est la technologie de couche physique sub-6 GHz actuellement la plus convaincante pour un accès sans fil de futur. Le concept principal est d'utiliser de grandes baies d'antennes aux stations de base pour desservir simultanément de nombreux terminaux autonomes, comme illustré à la figure I.3. Les signatures de propagation riches et uniques des terminaux sont exploitées avec un traitement intelligent à la matrice pour obtenir une capacité supérieure. Massive MIMO offre deux avantages les plus souhaitables:

Excellente efficacité spectrale, obtenue par multiplexage spatial de nombreux terminaux dans la même ressource temps-fréquence.

Efficacité énergétique supérieure, sous du gain de la baie, qui permet une réduction de la puissance apparente rayonnée. [5]

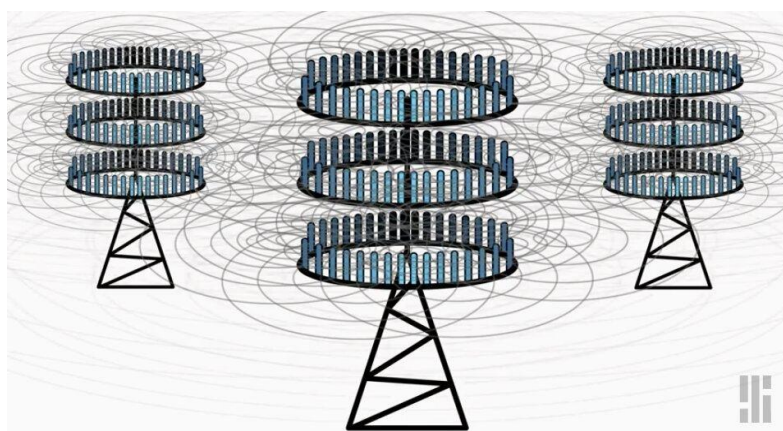


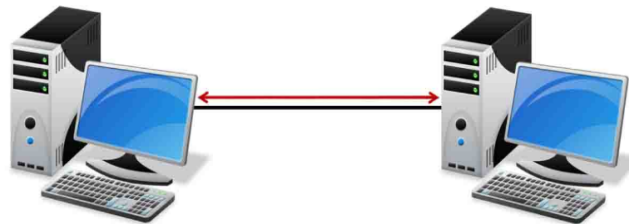
Figure I.4: massive MIMO [8]

I.3.4. Full duplex:

En télécommunications, un canal de communication duplex est un canal de communication qui transporte l'information dans les deux sens (bidirectionnel). Selon que l'information peut être transportée simultanément dans les deux sens ou non, on parle respectivement de canal full-duplex ou half-duplex. Un canal qui transporte l'information dans un seul sens est appelé simplex (monodirectionnel). [5]

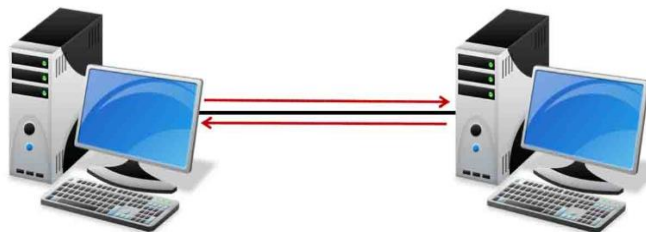
Le concept full duplex 5G est de pouvoir émettre et recevoir simultanément l'information, sur les mêmes fréquences. Ce duplex offre plusieurs avantages :

- ✓ Efficacité du spectre.
- ✓ Caractéristique d'évanouissement.
- ✓ Filtrage.
- ✓ Nouvelles solution de relais.
- ✓ Coordination améliorée des interférences.



FULL DUPLEX

Figure I.5: full duplex



HALF DUPLEX

Figure I.6: Half duplex

I.3.5. Formes d'onde :

Bien que l'OFDM nécessite l'utilisation d'un préfixe cyclique mais il a eu un grand succès dans la 4G. Maintenant que la 5G est basée sur les filtres afin d'utiliser des formes d'onde optimales pour satisfaire les exigences proposées. [5]

I.4. Quelques formes d'ondes candidates pour la 5G:

- 1) **FBMC**: son principe de base est de diviser le spectre de fréquence en plusieurs sous-porteuses qui sont très étroites et les filtrer individuellement, il est capable de fournir un très haut niveau d'efficacité spectrale.

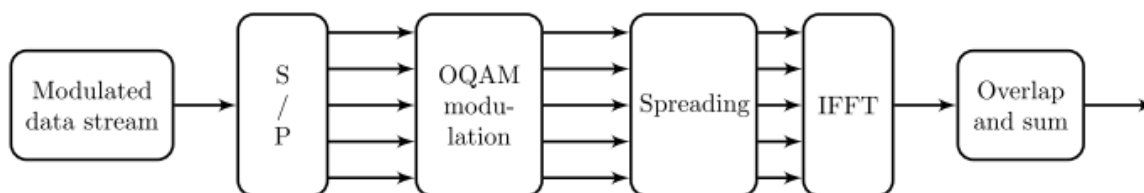


Figure I.7 : schémas block FBMC[7]

- 2) **UFMC**: Il diffère de FBMC, au lieu de filtré chaque sous-porteuse individuellement, UFMC divise le signal en un certain nombre de sous-bande qu'il filtrera. Ensuite, on peut l'utiliser pour améliorer la protection contre les interférences entre symboles.

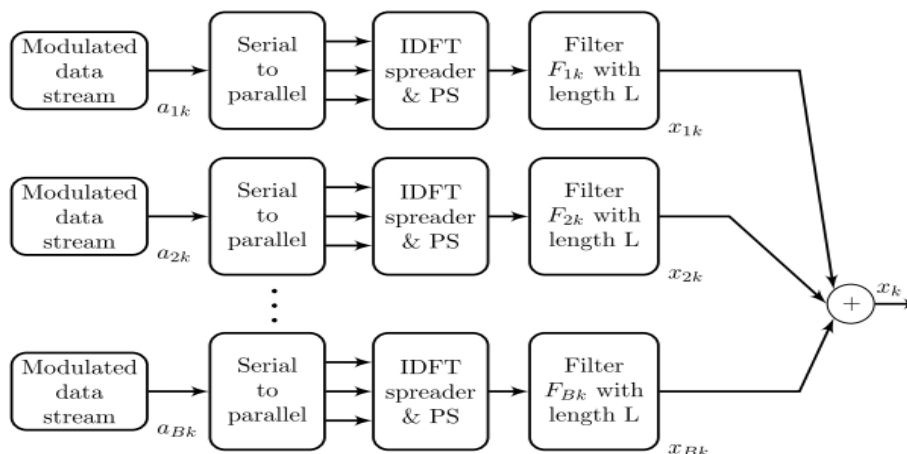


Figure I.8 : schémas block UFMC[7]

- 3) **GFDM** : Est une technique de transmission multi-porteuse flexible qui présente de nombreuses similitudes avec OFDM. La principale différence est que les porteuses ne sont pas orthogonales entre elles. GFDM fournit un meilleur contrôle des émissions hors bande et réduit le rapport de puissance.

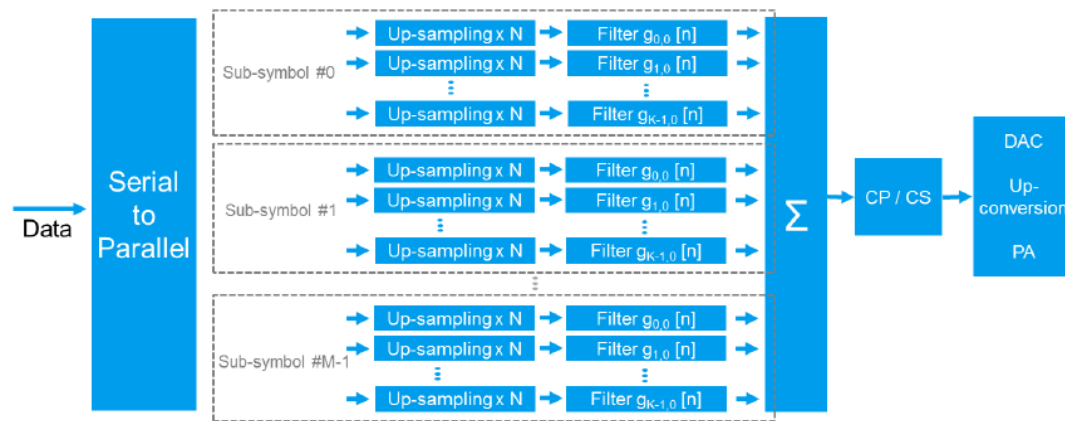


Figure I.9 : schémas block GFDM[7]

- 4) **F-OFDM**: OFDM-Filtré, en appliquant le filtrage de sous-bande sur le traditionnel CP-OFDM, peut répondre aux besoins de la forme d'onde pour la 5G. La bande passante du système est divisée en sous-bandes et filtrée indépendamment, puis chaque sous-bande peut être configurée avec différents paramètres de forme d'onde définis selon le scénario de trafic réel. Grâce à la configuration du filtre, chaque sous-bande réaliserait sa propre configuration, et les formes d'onde 5G combinées supportent la configuration dynamique des paramètres souples pour l'interface air selon les types de trafic.

Le sens réel derrière F-OFDM peut être illustré comme ci-dessous. Dans F-OFDM, une bande peut être déviée en plusieurs sous-bandes. Chacune des sous-bandes peut avoir une bande passante différente. Un autre point que vous devez remarquer est que chaque sous-bande est composée de plusieurs sous-porteuses et l'espacement des fréquences entre les sous-porteuses peut différer avec chaque sous-bande. Combinant cette souplesse de sous-bande et la flexibilité de sous-porteuse, vous pouvez créer une structure très flexible de sous-trame qui peut transporter les différents types de données de service dans la même sous-trame. Sur la base de l'exigence de sous-trame pour la 5G, il est probable que ce type de forme d'onde flexible sera adopté en 5G.

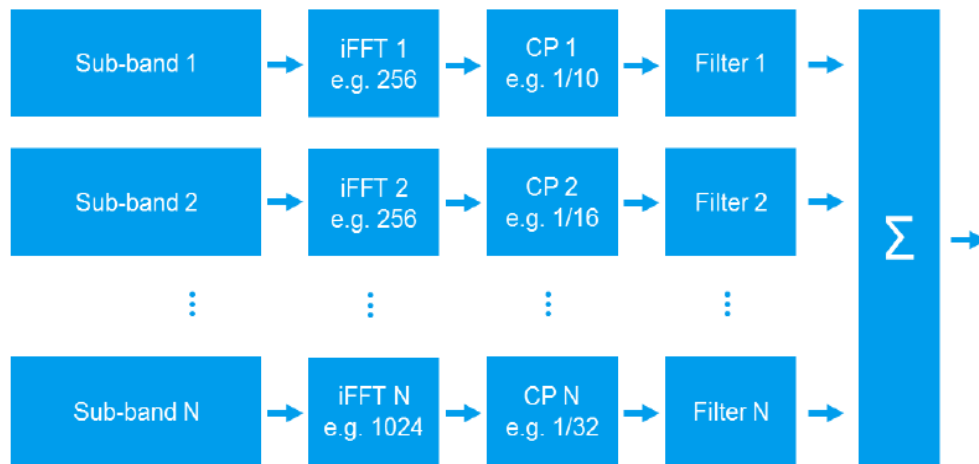


Figure I.10 : schémas block F-OFDM[7]

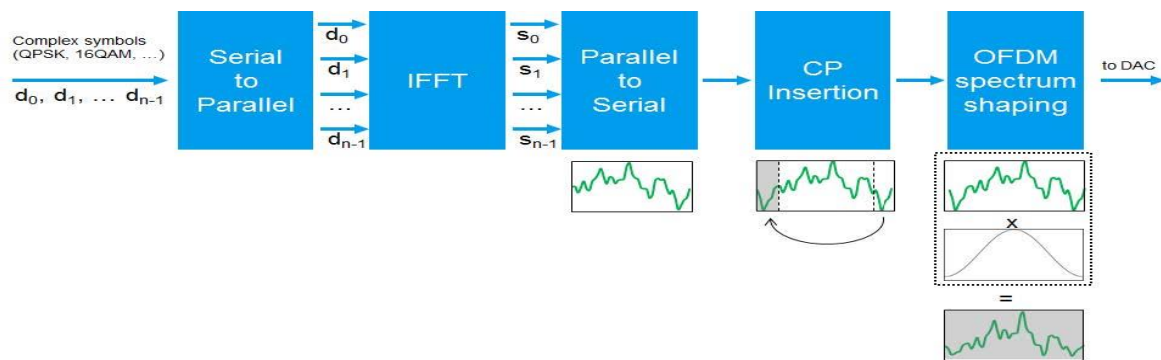


Figure I.11:shemas bloc OFDM[7]

I.5. Technique d'accès :

I.5.1. Multiplexage NOMA :

LTE utilise un multiplexage dit orthogonal, chaque terminal utilise, de manière unique, une partie des fréquences à un instant donné. Pour améliorer l'efficacité spectrale de la 5G par rapport à la 4G des méthodes de multiplexage non orthogonale, c'est-à-dire que plusieurs utilisateurs peuvent recourir aux mêmes fréquences au même moment, La discrimination entre plusieurs utilisateurs peut se faire en attribuant des codes différents à chaque utilisateur (SCMA, CDMA)

Le NOMA donne une meilleure performance dans les aspects de l'efficacité spectrale, la latence et de l'égalité de l'utilisateur, ce qui offre une solution prometteuse pour les questions fondamentales dans les exigences du réseau de communication 5G. Toutefois, en raison de l'interférence mutuelle existant entre les utilisateurs dans le système NOMA, les interférences devraient être gérées pendant la transmission, [5]

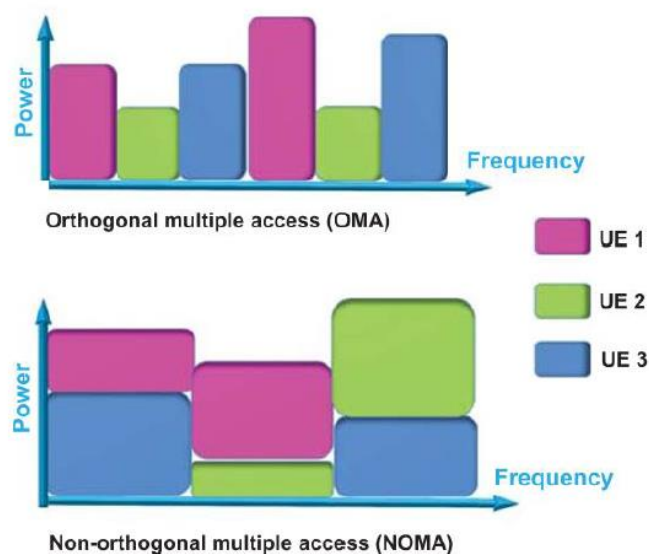


Figure I.12: NOMA ET OMA

I.6. Modulations:

La 4G utilise la modulation d'amplitude en quadrature (**QAM**). Cette modulation peut atteindre **QAM-64**, c'est-à-dire qu'à chaque instant, 6 bits d'information sont transmis. Grâce à l'amélioration du bilan de liaison de la 5G, via des technologies antennaires ou de traitement de signal, la modulation atteint à l'ordre **QAM-256** (8 bits d'informations), ces modulations offrent une excellente efficacité spectrale et ont permis de réaliser des débits de données très élevés.

I.7. Conclusion:

La technologie de la 5G est la somme de plusieurs technologies utilisées dans les autres standards comme (4G, 3Getc.)

Dans le présent chapitre, nous avons présenté les exigences, les formes d'ondes candidates et les technologies de la nouvelle génération 5G qui est prévue d'être commercialisée en 2020.

Chapitre II:

La forme d'onde F-OFDM

II.1. Introduction :

La technologie à bande large mobile avancée, la communication de type machine massive, la communication ultra fiable et de délai de latence court ont été identifiées comme exigences à être supportées pour la 5ème génération de communication mobile (5G). Actuellement, la technologie OFDM est utilisée aux communications sans fil 4G, en raison de sa grande résistance aux interférences et des caractéristiques de la technique de transformation de Fourier (DFT). Cependant, la technologie OFDM présente de nombreux défauts qui ne peuvent pas répondre aux exigences de la 5G.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude comparative détaillée entre l'OFDM classique et une version alternative F-OFDM , Basé sur le filtrage .

II.2. Principe et fonctionnement de l'OFDM :

OFDM est une technique de modulation multi-porteuse. Contrairement à la modulation à une seule porteuse, il convertit les flux de données en série en flux de données parallèles et effectue la modulation des données dans différentes sous-porteuses (figure II.1). Les sous-transporteurs doivent être espacés de manière à ne causer aucune interférence entre porteuses. D'une façon de les garder séparés, imposant des bandes de garde parmi eux. En faisant cela nous gaspillons beaucoup de spectre, il est donc nécessaire d'espacer les sous-porteuses d'une telle manière qu'ils se chevauchent, tout en maintenant l'orthogonalité. Ceci est illustré dans (figure II.2). L'amélioration de l'efficacité spectrale s'effectue est obtenue grâce à l'orthogonalisation des sous porteuses, ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits basés sur l'algorithme de la transformée de Fourier rapide (FFT).

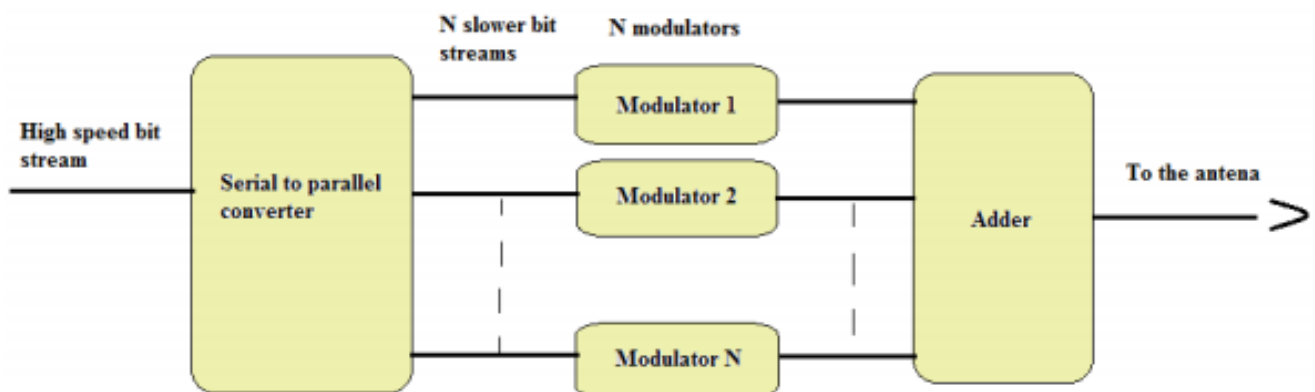


Figure II.1 : Modulation multi-porteuse [16]

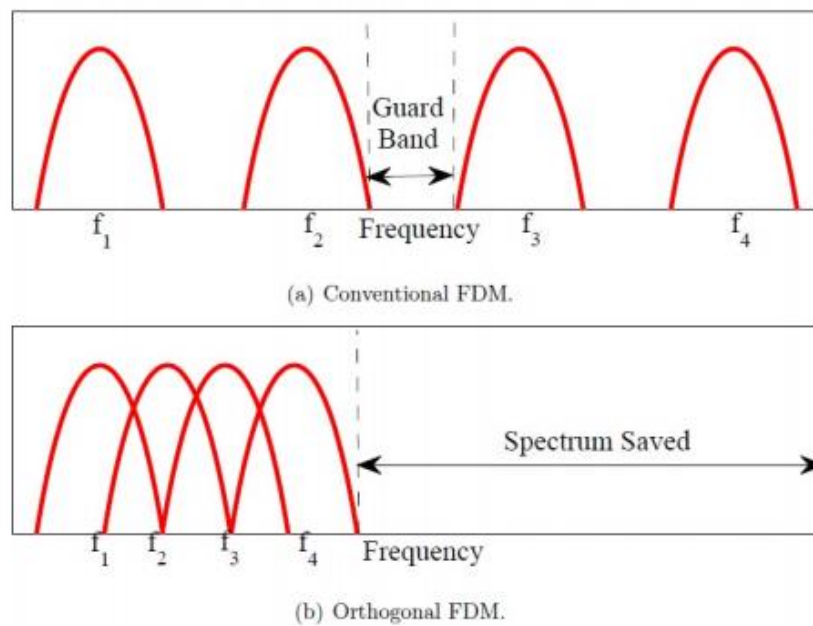


Figure II.2 : OFDM vsFDM [16]

II.2.1. Notions d'orthogonalité :

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 signifie que (f) et (g) sont disjointes sur le segment $[a,b]$.

On peut percevoir la notion d'orthogonalité du signal OFDM dans le domaine fréquentiel. Chaque sous-porteuse OFDM a une réponse en fréquence sinus cardinal,. La forme sinus cardinal a lobe principal étroit, avec de nombreux lobes latéraux.

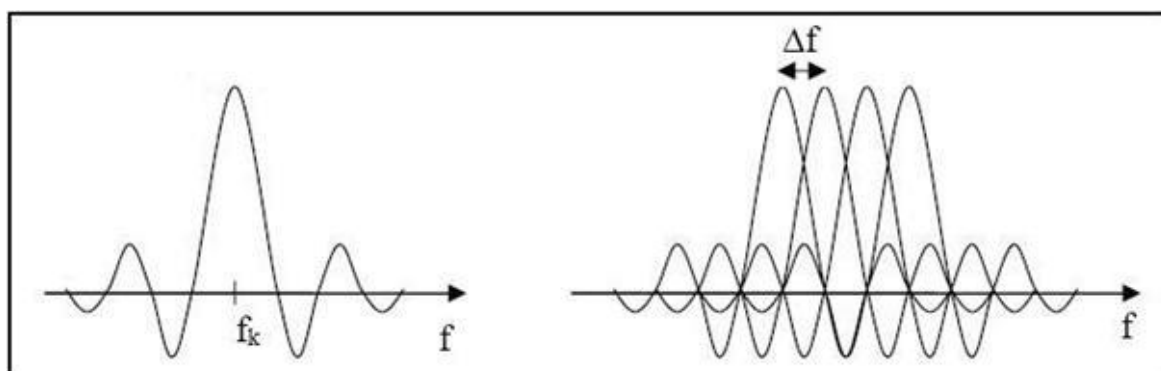


Figure II.3 :Enveloppes spectrales de sous porteuses[17]

$$S_k(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_k t) & 0 < t < T_u \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \text{ pour } k \in [1, N] \quad (2.2)$$

L'orthogonalité dans le domaine fréquentiel 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.

II.3. Émetteur-récepteur OFDM:

Dans les émetteurs OFDM [26], comme illustré à la figure II.4, une séquence de bits de données binaires est d'abord générée et mappée en symboles de données complexes (sous-porteuses) à l'aide de la technique de modulation d'amplitude en quadrature dans l'ordre M (M-QAM), qui est utilisée dans le système LTE. Ensuite, les sous-porteuses en série sont converties en sous-porteuses parallèles et un groupe constitué de N nombres de sous-porteuses produit un symbole OFDM. Chaque groupe de sous-porteuses est suréchantillonné avec un facteur L par un remplissage $(L - 1)N$ zéros, et un symbole OFDM est obtenu en appliquant une IFFT à N points, où $N = LN_{sub}$ est la taille IFFT / FFT.

Par conséquent, chaque symbole OFDM a un nombre N_{sub} de sous-porteuses dans le domaine fréquentiel.

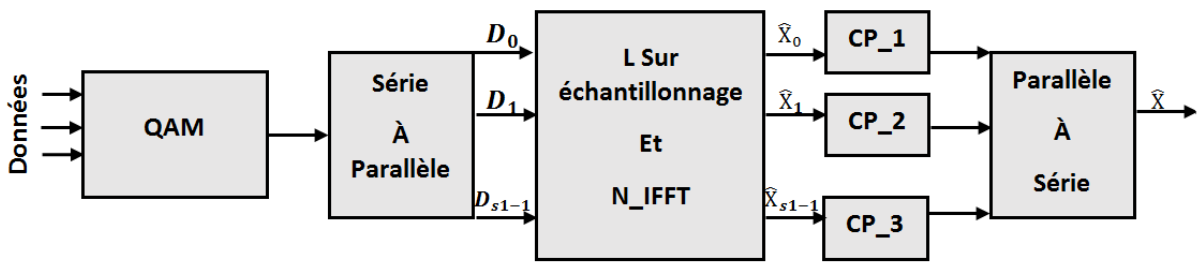


Figure II.4: Structure de l'émetteur du système OFDM.

Avec:

D_s = un vecteur complexe de N_{sub} sous-porteuse au symbole $S^{ème}$ OFDM

x_s = un vecteur complexe de $S^{ème}$ symbole OFDM de longueur N

Mathématiquement, un symbole OFDM à temps discret, $\hat{x}_s(n)$, peut être présenté comme [19]:

$$\hat{x}_s(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^{N_{sub}} D_s(i) e^{j\frac{2\pi n i}{N}} \quad (2.3)$$

où (n) indique un indice de temps discret égal à $n = 1, \dots, N$ et (i) est un indice de sous-porteuses égal à $i = 1, \dots, N_{sub}$. D_s représente un vecteur complexe de sous-porteuses au symbole sth. Après avoir généré le symbole OFDM, un CP de longueur N_{cp} est ensuite inséré dans chaque symbole OFDM et la somme de leurs numéros S donne un seul signal OFDM, $\hat{x}(k)$, à l'émetteur, comme suit:

$$\hat{x}(k) = \sum_{s=0}^{S-1} \hat{x}_s(k - s(N + N_{cp})) , -N_{cp} < k < N \quad (2.4)$$

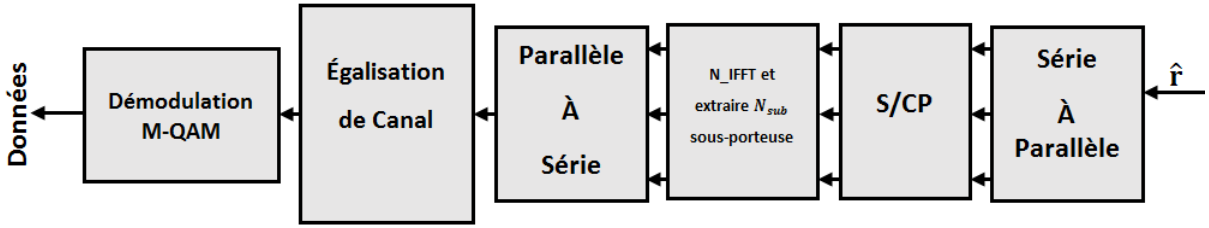


Figure II.5: Structure du récepteur du système OFDM

Le récepteur OFDM fonctionne comme un processus inverse de l'émetteur, comme illustré à la figure II.5. Au destinataire, après avoir retiré le CP de chaque symbole OFDM, chaque symbole reçu, $\hat{r}_s(n)$, est converti en symboles du domaine fréquentiel par application de la FFT à N point, qui peut être représenté par [19]:

$$D_s(i) = \sqrt{N} \sum_{n=1}^N \hat{r}_s(n) e^{-j\frac{2\pi n i}{N}} \quad (2.5)$$

Ensuite, une estimation et une égalisation de canal dans le domaine fréquentiel sont effectuées et les symboles résultants sont démodulés dans les bits de données.

II.4. Intervalle de garde :

Les intervalles de gardes sont nécessaires lorsque le canal introduit des multi trajets au signal. Ceux-ci permettent de créer une zone (tampon) dans laquelle il seront accumulées les versions retardées susceptibles de produire des interférences. Plusieurs techniques différentes existent pour l'introduction des intervalles de gardes dans OFDM.

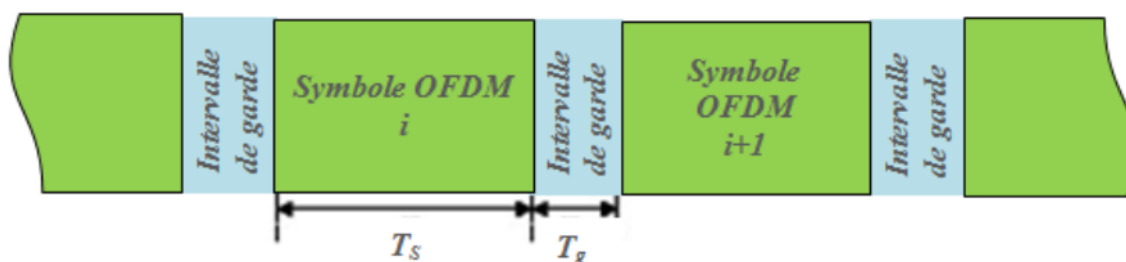


Figure II.6 : Intervalle de garde[20]

II.4.1. Types d'intervalle de garde :

CP : Est une technique qui consiste à insérer une copie d'un bloc d'information à transmettre en amont de la trame. Plus clairement, il s'agit de récupérer une partie des informations à transmettre et d'insérer ces informations en début de trame appelé Préfixe cyclique. Le préfixe cyclique est une bonne méthode pour combattre les interférences entre symboles (ISI) et entre porteuses (ICI). La figure suivante donne une vue sur le principe d'insertion du préfixe cyclique.

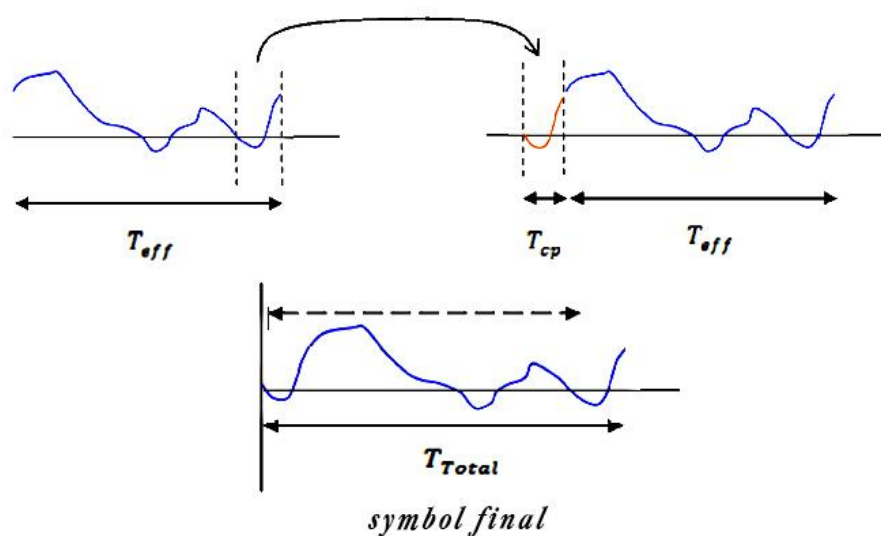


Figure II.7 : Insertion du préfixe cyclique[21]

Le suffixe cyclique est aussi une extension cyclique du symbole OFDM. C'est le même principe de rajout que précédemment sauf que dans ce cas, le suffixe est intégré à la fin du symbole OFDM. Il est utilisé pour éviter l'interférence entre le flot montant et celui descendant dans une communication.

ZP : Insérer des zéros au lieu d'intervalle de garde et aucun signal est transmise pendant l'intervalle de garde, appeler zero-padding (ZP-OFDM)

II.5. Les avantages et inconvénients de l'OFDM:

II.5.1. Les avantages :

OFDM a été utilisé dans de nombreux systèmes sans fil haut débit en raison des nombreux avantages :

- ❖ La simplicité d'utilisation, car exploite les transformées et transformées inverses de Fourier rapide (IFFT et FFT) pour répartir l'information entre un nombre important de sous porteuses orthogonales aussi proche que possible les uns des autres.
- ❖ favorise une exploitation optimale de la bande passante disponible et une haute efficacité spectrale.
- ❖ Grande résistance à la sélectivité fréquentielle.

II.5.2. Inconvénients :

- ❖ La bande entière doit utiliser le même espacement de sous-porteuse
- ❖ 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.
- ❖ L'OFDM est également très vulnérable aux problèmes de décalage en fréquence (frequency) et de synchronisation.

II.6. Définition de F-OFDM:

La vraie signification de f-OFDM peut être illustrée ci-dessous. Comme vous le voyez dans la Figure II.8, dans f-OFDM, une bande peut être divisée en plusieurs sous-bandes. Chaque sous-bande peut avoir une bande passante différente. Il convient également de noter que chaque sous-bande est composée de plusieurs sous-porteuses et que l'espacement des fréquences entre les sous-porteuses peut différer d'un pays à l'autre. En combinant ces flexibilité de sous-bande et de sous-porteuse, vous pouvez créer une structure très flexible de sous-trame pouvant transporter les différents types de données de service dans la même sous-trame. Sur la base de l'exigence de sous-trame pour la 5G, il est probable que ce type de forme d'onde flexible sera adopté en 5G.

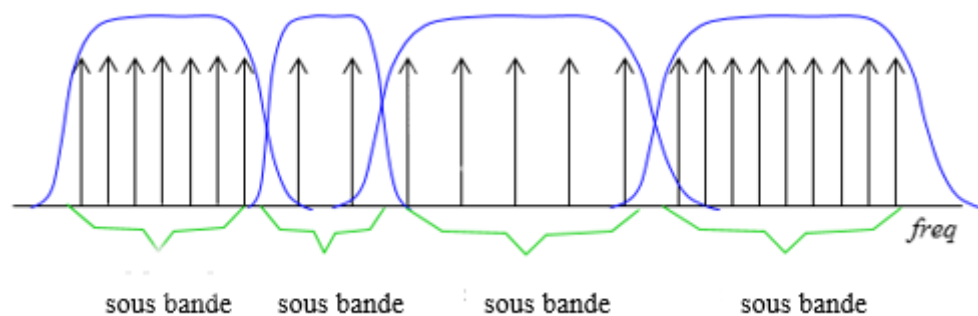


Figure II.8: conception de filter sous bande

II.7. Structure général

En 5G, les largeurs de bande sont beaucoup plus élevées, comprises entre 100 MHz et 200 MHz, devraient être utilisées. Pour de telles largeurs de bande, F-OFDM est un bon candidat pour la forme d'onde, 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 dispose de la flexibilité en termes de temps et de fréquence pour prendre en charge différents types de services dans la même bande passante donnée [22]. La figure II.8 illustre la flexibilité temporelle et fréquentielle du système F-OFDM pour une largeur de bande donnée. Par exemple, dans le cas de la technologie IoT, un système de modulation à porteuse unique avec un intervalle de temps de transmission (TTI) peut être utilisé à la place d'un système OFDM classique.

D'autre part, dans un environnement de communication véhicule à véhicule (V2V), qui nécessite beaucoup moins de latence, un schéma OFDM de base avec un très grand espacement des sous-porteuses peut être utilisé, de sorte qu'une TTI soit beaucoup plus courte pour être fournie. Par conséquent, avec le système F-OFDM, différents types de modulations avec différentes numérolgies peuvent être intégrés en fonction des besoins des services et des types de canaux sans fil disponibles [22].

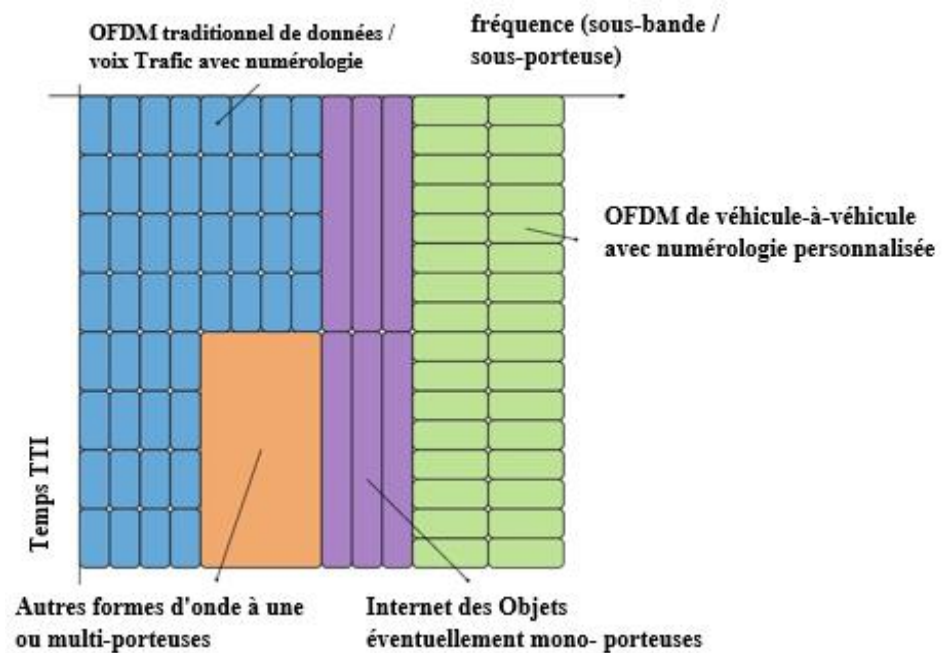


Figure II.9: Coexistence de formes d'onde [23]

F-OFDM est un système modifié d'OFDM utilisant le filtrage par sous-bande. Le filtrage a été généralement utilisé dans les systèmes OFDM pour améliorer la localisation du spectre [23] [24]. Outre le F-OFDM, un OFDM à filtrage universel (UF-OFDM) ou un portier à filtrage universel (UFMC), qui reposent également sur le filtrage en sous-bande des signaux OFDM, a été introduit dans [15] [27]. La comparaison des OFDM, F-OFDM et UF-OFDM en forme d'impulsions classique peut être présentée comme suit :

1. Dans l'OFDM conventionnelle en forme d'impulsion, la mise en forme d'impulsion basée sur une sous-porteuse est effectuée en appliquant un filtre sur chaque symbole CP-OFDM. D'autre part, dans F-OFDM, un filtrage basé sur une sous-bande est effectué sur chaque signal OFDM composé de plusieurs symboles CP-OFDM dans une sous-bande afin d'atténuer l'émission OOB.

2. Tandis que le système UF-OFDM effectue le filtrage du signal OFDM avec préfixe zéro (ZP) dans la sous-bande et dans le système F-OFDM, cette opération est effectuée sur le signal CP-OFDM. Etant donné que F-OFDM est basé sur CP-OFDM, le problème lié à l'ISI peut être atténué, de sorte que l'égalisation de canal devient moins complexe par rapport au système UF-OFDM. De plus, dans UF-OFDM, la longueur du filtre ne peut pas dépasser la longueur de ZP, afin d'éviter l'ISI. En revanche, F-OFDM permet à la longueur du filtre de dépasser celle du CP, pour pouvoir prendre en charge une meilleure localisation du temps et des fréquences.

L'avantage F-OFDM par rapport à OFDM peut également être résumé comme suit [18] [22]:

1. En raison du filtrage basé sur les sous-bandes, il est possible de réduire les émissions hors bande. Par conséquent, une bande de garde inférieure peut être appliquée contrairement à OFDM, qui utilise 10% de sa bande passante donnée en 4G en tant que bande de garde aux deux extrémités de la bande passante. Par conséquent, le schéma F-OFDM peut offrir une meilleure efficacité du spectre que le schéma OFDM.
2. En outre, la réduction des émissions OOB fournie par le filtrage basée sur les sous-bandes dans F-OFDM, la transmission asynchrone à travers les sous-bandes peut également être utilisée.

Cela est dû au fait que le filtrage des sous-bandes délibérément l'orthogonalité dans le domaine temporel entre différents équipements d'utilisateur (UE), de sorte que la signalisation à l'avance pour la synchronisation peut être négligée. Par contre, dans OFDM, un signal de synchronisation lourd est requis pour maintenir l'orthogonalité. La figure II.10 illustre la transmission asynchrone prise en charge par un système F-OFDM.

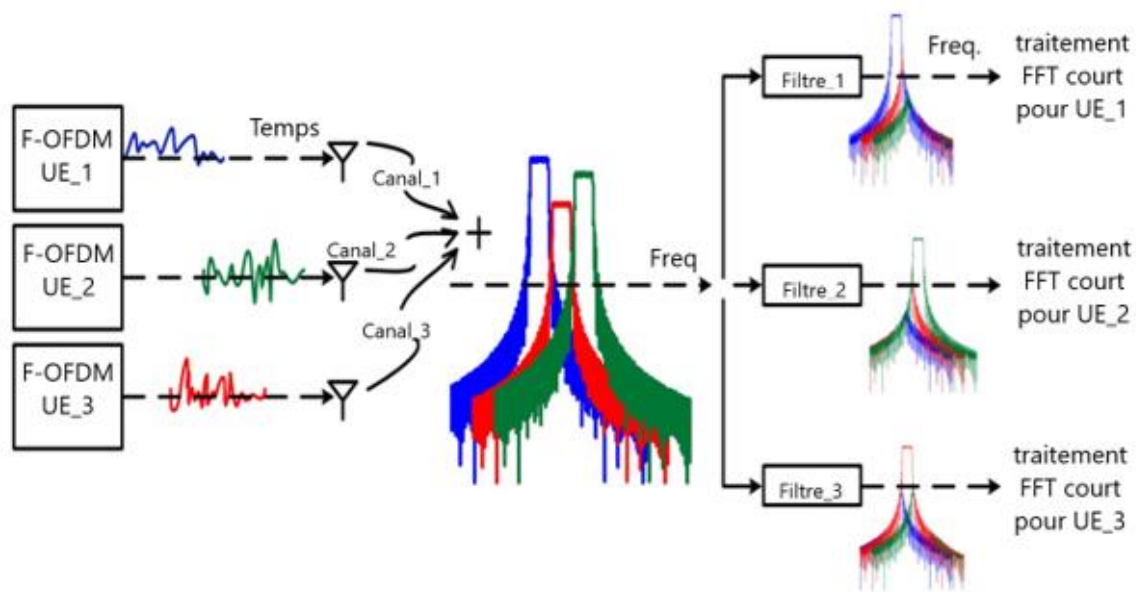


Figure II.10: Transmission asynchrone d'un système F-OFDM [25].

3. L'avantage le plus important du système F-OFDM réside dans sa capacité à fournir une numérogie unifiée avec différentes exigences de temps et de fréquence en fonction des types d'applications dans la bande passante disponible. La coexistence de différents schémas de modulation et de la flexibilité du F-OFDM a déjà été expliquée à figure II.9. En revanche, OFDM ne peut pas fournir différents paramètres requis par les différents types de transmission en même temps.

De nombreuses études ont été réalisées concernant le F-OFDM. Selon l'étude de [22], les auteurs sont convaincus que le F-OFDM peut être facilement adopté en 5G à partir de 4G. La figure II.11 décrit l'évolution possible du F-OFDM en 5G à partir d'OFDM en 4G. La technologie 4G utilise 10% de la bande passante attribuée en tant que bande de garde. Au début du développement, cette bande de garde sera également utilisée pour la transmission de données via F-OFDM, de sorte que les technologies de communication actuelles basées sur la 4G puissent toujours être utilisées. À l'avenir, la bande passante assignée de la 4G deviendra plus petite et la 5G utilisera le reste de la bande passante par l'intermédiaire du schéma F-OFDM, afin de fournir une meilleure efficacité du spectre.

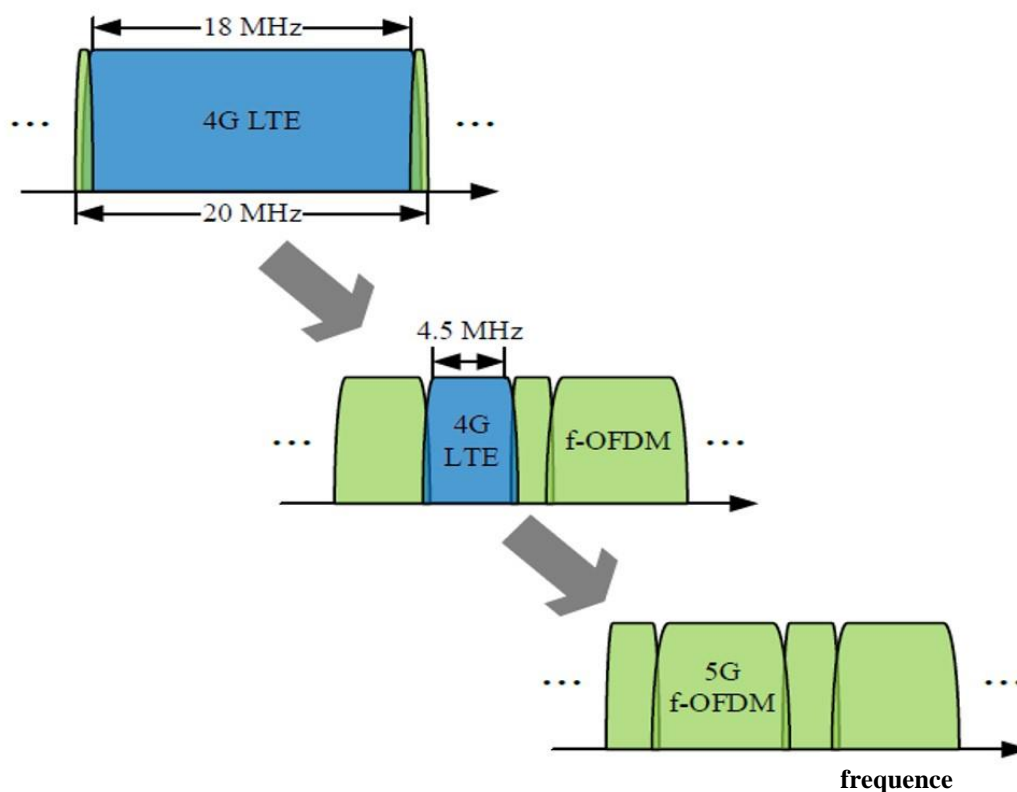


Figure II.11: Evolution de OFDM en F-OFDM [22].

II.8. Émetteur-récepteur F-OFDM

Fondamentalement, un signal F-OFDM est obtenu à partir de plusieurs signaux OFDM par une méthode de filtrage appropriée. Les structures tant émettrice que réceptrice sont décrites aux figures II.12 et II.13, respectivement. Comme l'indique la figure II.12 de l'émetteur F-OFDM, une largeur de bande disponible donnée est divisée en plusieurs sous-bandes et chaque sous-bande passe par le schéma OFDM avec des paramètres identiques ou différents. N_{sub} , N , N_{cp} et S ; en conséquence.

Un signal F-OFDM dans la $g^{\text{ème}}$ sous-bande, $x_g(k)$ est obtenu en filtrant le signal CP-OFDM résultant, $\hat{x}(k)$, avec un filtre approprié, $f(k)$, et peut être exprimé sous forme de signal linéaire. processus de convolution dans le domaine temporel comme suit [18]:

$$x_g(k) = \hat{x}(k) * f(k) \quad (2.6)$$

Du fait que l'ajout de CP dans le signal OFDM transforme la convolution linéaire en

convolution circulaire, le processus de convolution dans le domaine temporel peut prendre la méthode alternative dans le domaine fréquentiel multiplication en sens inverse [26]. Par conséquent, le processus de filtrage dans le domaine fréquentiel peut s'écrire comme une simple multiplication de la transformée de Fourier de $\hat{X}(n)$ et $f(n)$:

$$X_g(e^{j2\pi f}) = \hat{X}(e^{j2\pi f}) \cdot F(e^{j2\pi f}) \quad (2.7)$$

où "." représente la multiplication élément par élément.

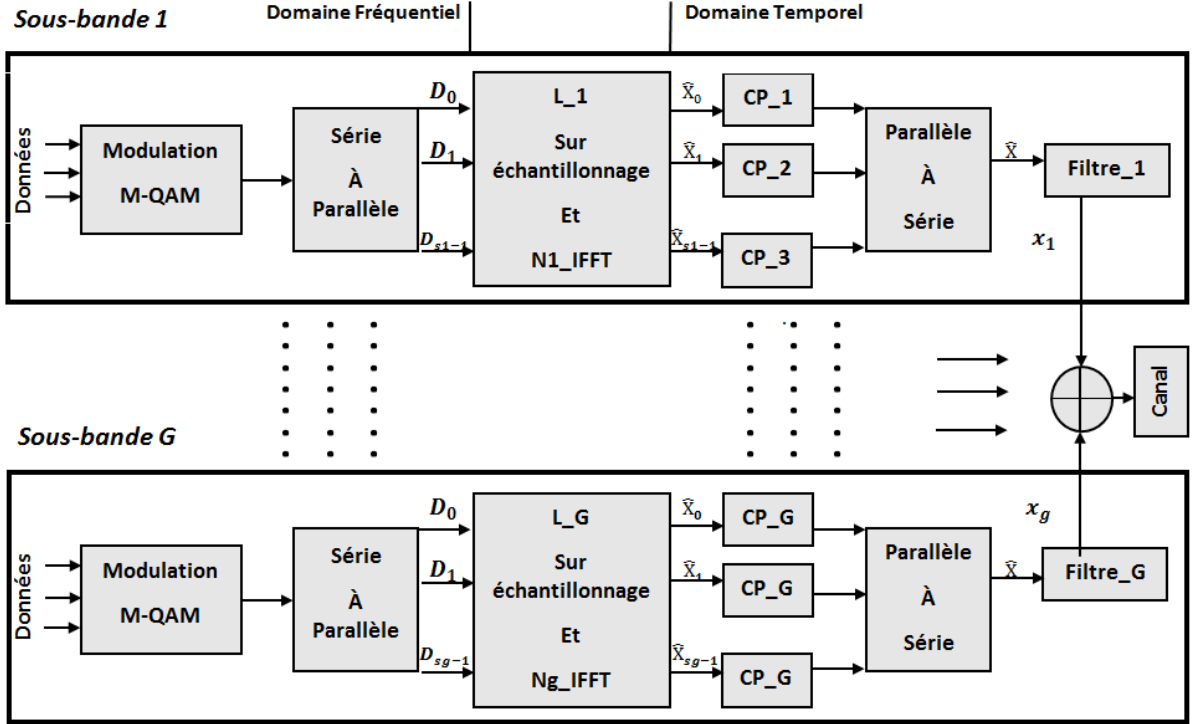


Figure II.12: Structure de l'émetteur du système F-OFDM.

Tous les signaux F-OFDM dans différentes sous-bandes sont ensuite concaténés et transmis via un canal sans fil. Au niveau du récepteur, un filtre adapté du filtre de l'émetteur respectif, $f^*(-k)$, est appliqué au signal reçu afin que le signal à la sous-bande souhaitée puisse être récupéré. Le signal filtré reçu dans la $g^{\text{ème}}$ sous-bande, $r_g(k)$, peut être écrit ainsi: [14]

$$r_g(k) = \left((x_g(k) * c(k)) + b(k) \right) * f^*(-k) \quad (2.8)$$

dont $c(k)$ et $b(k)$ sont respectivement une réponse impulsionnelle de canal sans fil et un bruit AWGN.

Ensuite, le signal filtré est divisé en symboles OFDM, suivi du bloc de suppression du CP et du bloc N-FFT. Ensuite, une estimation et une égalisation de canal sont effectuées sur le signal résultant pour compenser l'effet des deux filtres et du canal. Enfin, les symboles de données sont sélectionnés parmi les sous-porteuses égalisées, puis démodulés en un flux binaire [14]. La structure du récepteur du système F-OFDM est illustrée à la figure II.13.

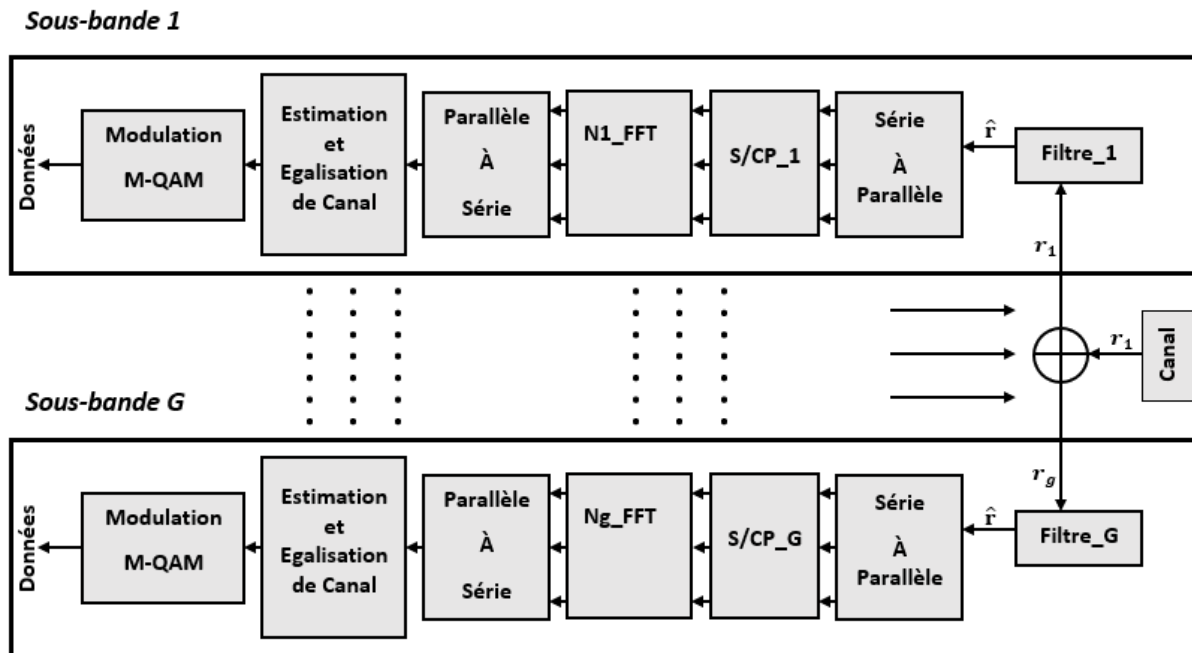


Figure II.13: Structure du récepteur du système F-OFDM.

II.9. Conception du filtre:

Le processus principal dans le système F-OFDM est la conception des filtres utilisés car ils affectent les performances d'émission du signal hors bande. Dans [18], les auteurs discutent des critères de conception du filtre FIR numérique pour les signaux F-OFDM. Il est indiqué qu'une bande de transition de filtre très étroite (f), située entre la bande passante et la bande terminale, est préférable, car elle permet une moindre émission de bande OOB. De plus, le filtre ne devrait pas avoir d'atténuation dans la bande principale pour ne pas perdre le signal traversant le filtre, et il devrait également utiliser une atténuation plus basse de la bande d'arrêt. Par conséquent, un algorithme optimal est utilisé pour concevoir des filtres avec différentes atténuations de la bande passante et de la bande d'arrêt souhaitées et une bande de transition plus étroite.

II.10. Filtre RIF basé sur la fenêtre:

De nombreuses études ont été réalisées pour l'analyse du système F-OFDM avec un filtre FIR basé sur la fenêtre [22] [14] [18]. Dans la méthode de fenêtrage, comme le montre la figure II.14, la largeur de la bande de transition du filtre résultant dépend de la largeur du lobe principal, Δf_m , de la transformée de Fourier de la fenêtre et des ondulations de la bande passante et de la bande passante dépendent des lobes latéraux du filtre de Fourier. Transformer de la fenêtre, par conséquent, la largeur δ de la fenêtre du lobe principal et du lobe latéral de pic doit être petite pour obtenir une petite bande de transition et moins de rides.

Ici $W(e^{j2\pi f})$; $F(e^{j2\pi f})$ et $H(e^{j2\pi f})$ correspondent respectivement à la transformation de Fourier de la fonction de fenêtrage, à la réponse souhaitée et à la réponse fenêtrée résultante [26].

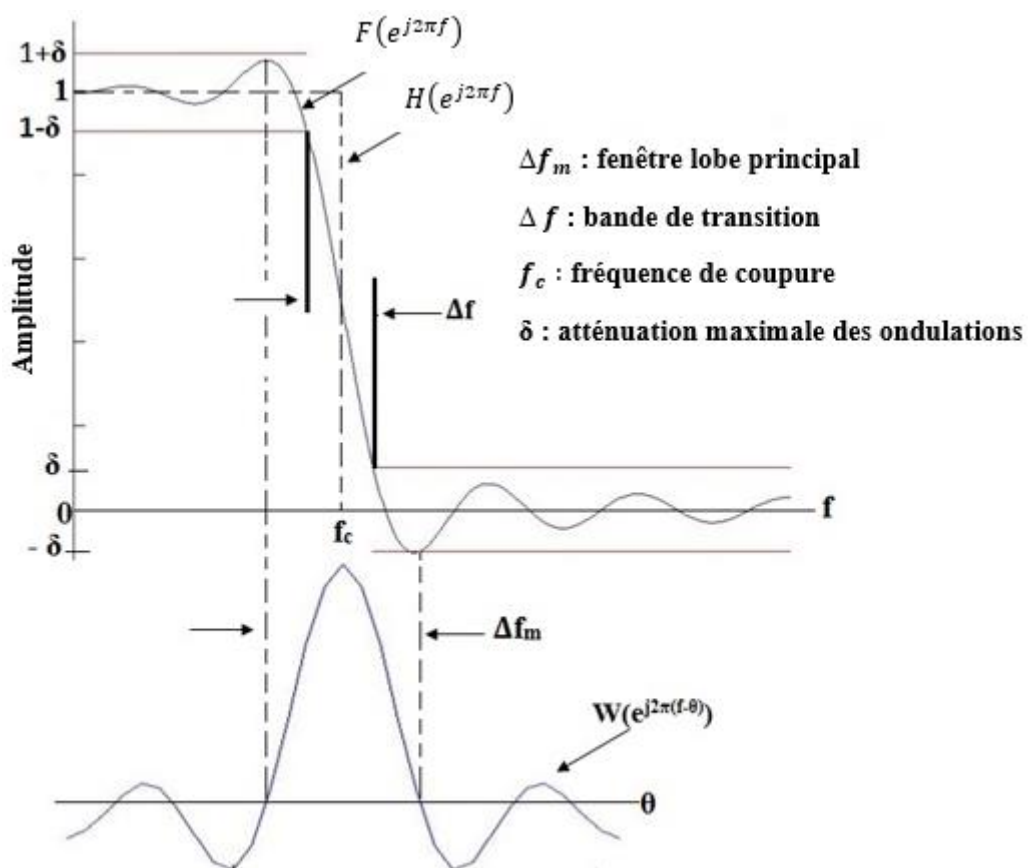


Figure II.14: Méthode de fenêtrage dans le domaine fréquentiel [26].

La réponse en fréquence du filtre passe-bas idéal est une fonction rectangulaire, comme le montre la figure II.14 [26], et la réponse impulsionnelle est une fonction *sinc*, qui a un retard infini et est donc difficile à mettre en œuvre en tant que filtre en temps réel. Par conséquent, la fonction *sinc* est tronquée avec une fonction de fenêtre appropriée en multipliant dans le domaine temporel comme suit [26] [18]:

$$f(k) = w(k) \cdot h(k) \quad (2.9)$$

où $h(k)$ La réponse impulsionnelle du filtre *sinc* est définie par :

$$h(k) = (2f_c \text{sinc}(2f_c k)) \quad (2.10)$$

où f_c est la fréquence de coupure.

$w(k)$ une fonction de fenêtre est une fonction nulle en dehors d'un intervalle. Il existe une grande variété de ces fonctions, réglées pour différentes propriétés, mais nous allons simplement utiliser dans cette mémoire la fenêtre de hann . Il est défini comme (pour N points) :

$$w(k) = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad 0 \leq k \leq N \quad (2.11)$$

Le filtre final est alors simplement le produit des deux expressions précédentes, comme suit

$$f(k) = \text{sinc}\left(2f_c \left(k - \frac{N-1}{2}\right)\right) \left(0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right)\right) \quad (2.12)$$

La figure II.15 illustre la troncature en douceur de la réponse impulsionnelle du filtre passe-bas idéal dans le domaine temporel.

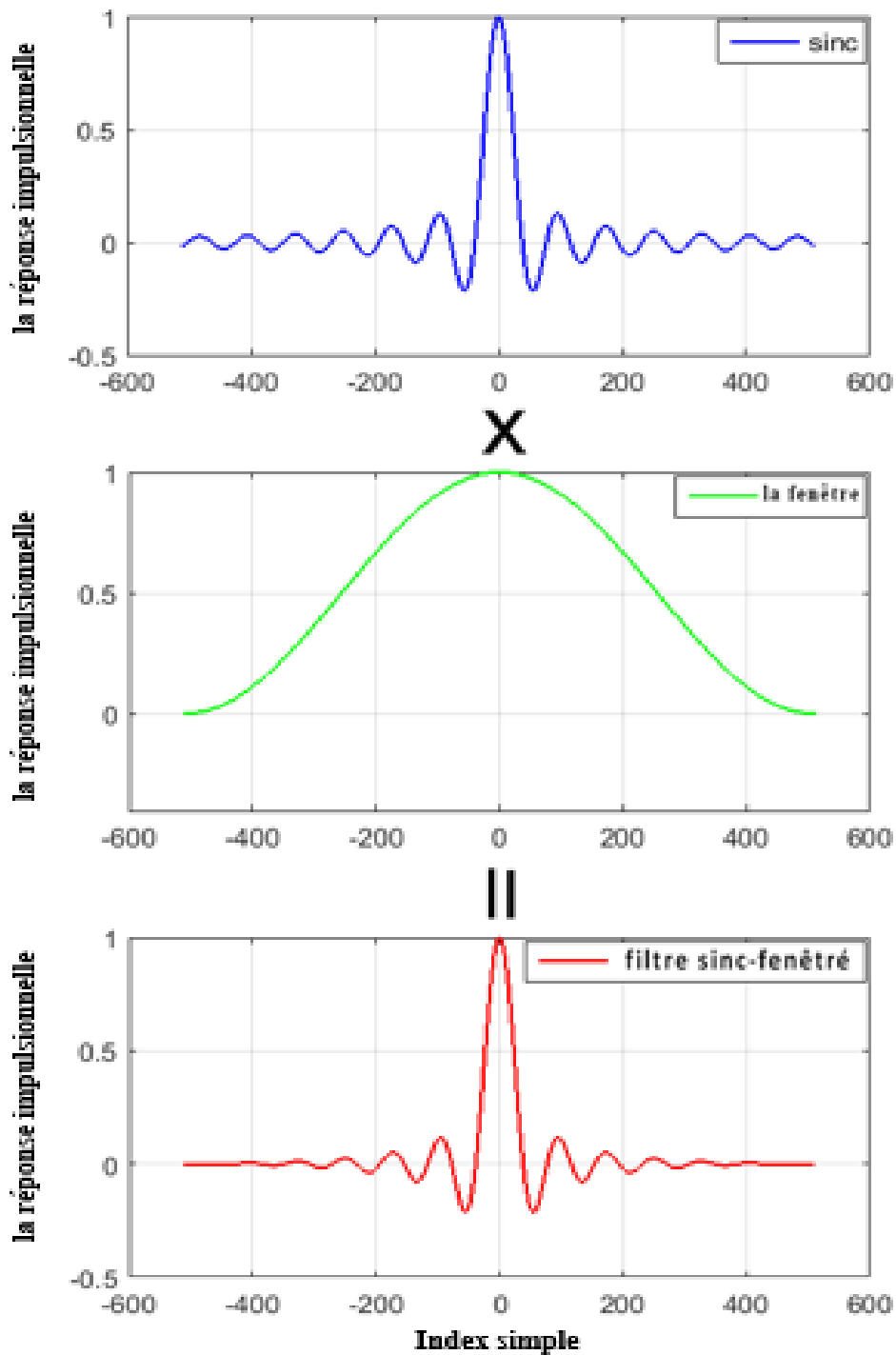


Figure II.15: Exemple de filtrage doux d'un filtre idéal.

Différentes fonctions de fenêtre fournissent au filtre résultant une atténuation et des coefficients de la bande passante et de la bande d'arrêt différents, ce qui entraîne différentes fuites hors bande des signaux F-OFDM. Certaines des fonctions de fenêtre discutées dans la littérature sont [23] [29] [28]:

• Kaiser:

$$w(k) = \frac{I_0\left(\beta \sqrt{1 - \frac{4k^2}{(N-1)^2}}\right)}{I_0(\beta)}, \quad \frac{-(N-1)}{2} \leq k \leq \frac{(N-1)}{2} \quad (2.13)$$

où I_0 est la fonction de Bessel d'ordre zéro modifiée du premier type, et β est

le paramètre d'atténuation donné comme:

$$\beta = \begin{cases} 0.1102(\alpha - 8.7), & \alpha > 50 \\ 0.5842(\alpha - 21)0.4 + 0.07886(\alpha - 21), & 21 \leq \alpha \leq 21 \\ 0, & \alpha < 21 \end{cases} \quad (2.14)$$

où α est l'atténuation des lobes latéraux. La figure II.16 décrit l'effet des valeurs β sur la largeur de la chaîne principale et l'amplitude latérale. Lorsque β augmente, l'amplitude des lobes latéraux diminue et la largeur du lobe principal devient plus large.

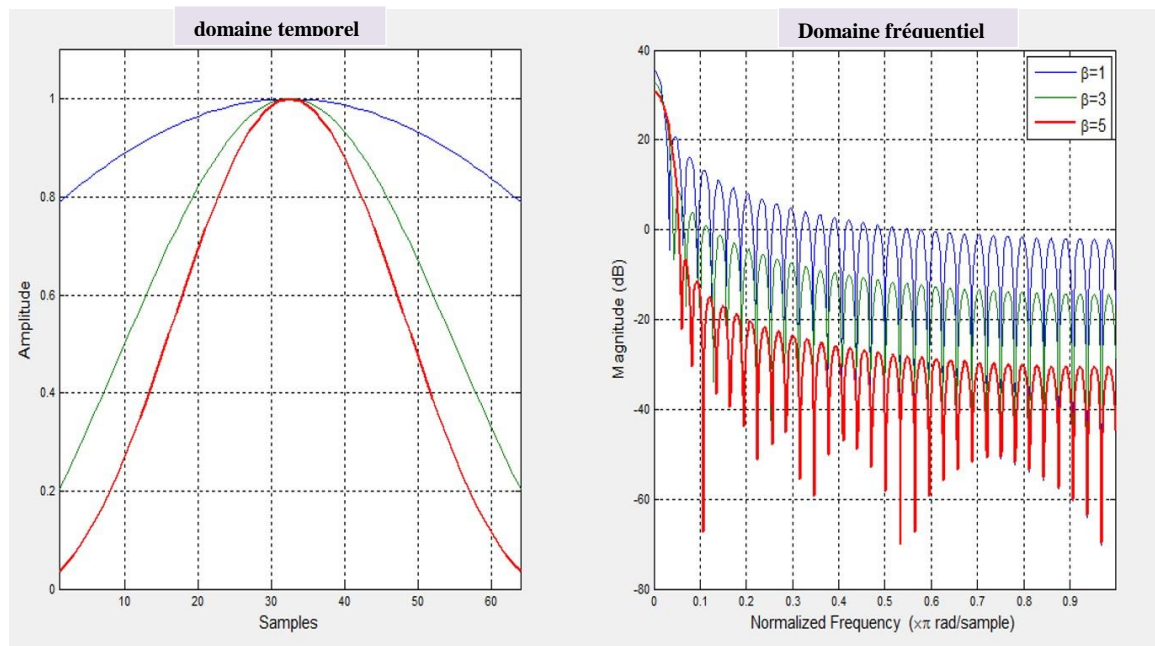


Figure II.16: Les réponses dans le domaine temporel et fréquentiel de la fenêtre de Kaiser avec une longueur = 64

- Gaussien:

$$w(k) = e^{-\frac{1}{2}\left(\alpha \frac{k}{(N-1)/2}\right)^2}, \quad \frac{-(N-1)}{2} \leq k \leq \frac{(N-1)}{2} \quad (2.15)$$

où $\alpha = \frac{(N-1)}{2\sigma}$, et σ est l'écart type d'une variable aléatoire gaussienne.

- Hamming:

$$w(k) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad 0 \leq k \leq N \quad (2.16)$$

- Chebyshev:

$$w(k) = \frac{1}{N} \left[\frac{1}{r} + 2 \sum_{i=1}^{(N-1)/2} T_{N-1} \left(x_0 \cos\left(\frac{i\pi k}{N}\right) \right) \cos\left(\frac{2\pi ki}{N}\right) \right], \quad 0 \leq k \leq N \quad (2.17)$$

où r est l'ondulation de bande passante souhaitée et x_0 est défini comme

$$x_0 = \cosh\left(\frac{1}{N-1} \cosh^{-1}\left(\frac{1}{r}\right)\right) \quad (2.18)$$

$T_n(x)$ dans l'équation 2.16, qui est le polynôme de Chebyshev du premier type, est formulé de la manière suivante:

$$T_n(x) = \begin{cases} \cos(k \cos^{-1}(x)), & |x| \leq 1 \\ \cosh(k \cosh^{-1}(x)), & |x| > 1 \end{cases} \quad (2.19)$$

- Blackman:

$$w(k) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi k}{N-1}\right) + 0.8 \cos\left(\frac{4\pi k}{N-1}\right), \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2.20)$$

- Blackman-Harris:

$$w(k) = 0.35875 - 0.48829 \cos\left(\frac{2\pi k}{N-1}\right) + 0.14128 \cos\left(\frac{4\pi k}{N-1}\right) - 0.01168 \cos\left(\frac{6\pi k}{N-1}\right), \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2.21)$$

où $N + 1$ donne la longueur de la fenêtre. La figure II.17 montre la réponse dans le domaine temporel et fréquentiel des fonctions de fenêtre répertoriées ci-dessus.

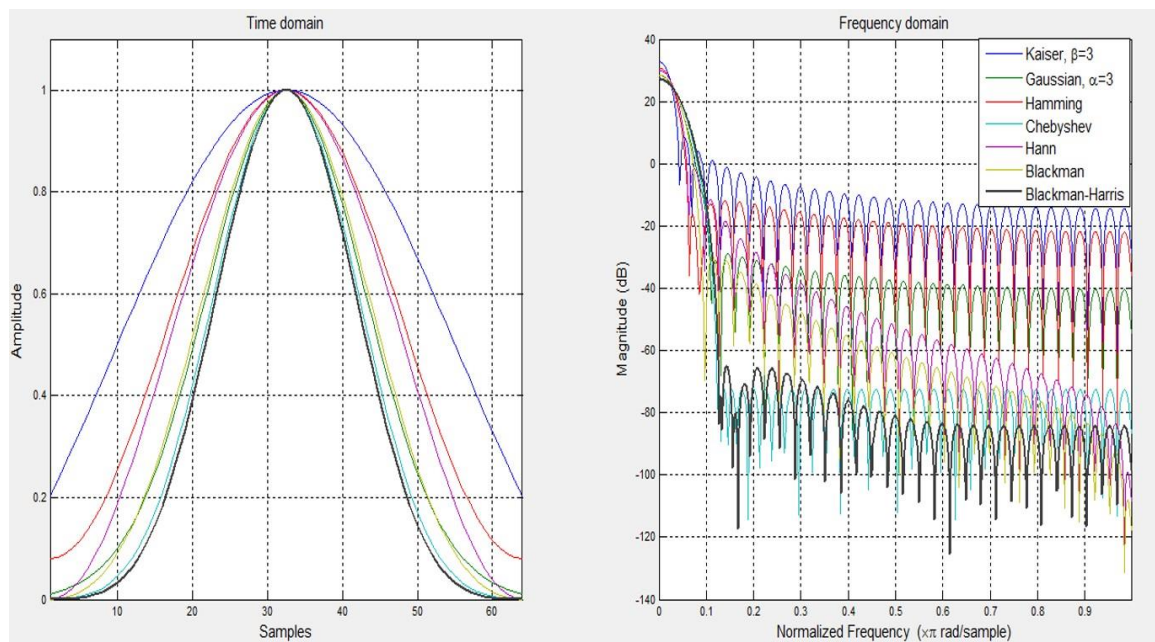


Figure II.17: Les réponses dans le domaine temporel et fréquentiel des fonctions de fenêtre de longueur = 64

Après avoir tronquer le filtre idéal avec les différentes fonctions de la fenêtre, la densité spectrale de puissance des filtres est illustrée à la figure II.18. Le même ordre de filtrage est utilisé pour tous les filtres pour une comparaison équitable. Comme indiqué dans le diagramme de densité PSD, le filtre Kaiser génère une atténuation de la bande d'arrêt la plus élevée, ce qui entraîne une émission de bande OOB plus élevée. D'autre part, le filtre de Blackman-Harris a une atténuation de la bande d'arrêt la plus faible et constitue donc une fenêtre favorable pour une émission de bande OOB plus faible. Parmi les fonctions de fenêtre, le filtre de Chebyshev à la bande de transition la plus étroite, avec une atténuation plus élevée de la bande d'arrêt. Par conséquent, il n'existe pas de filtre parfait basé sur la fenêtre qui répond à tous les critères nécessaires à la conception du filtre du système F-OFDM. Par conséquent, les filtres basés sur les fenêtres ne peuvent pas fournir le filtrage approprié pour le système F-OFDM car le filtre devrait avoir une bande de transition étroite, une atténuation faible de la bande d'arrêt et une bande passante plate. Cependant, aucun des filtres basés sur une fenêtre ne possède pas toutes ces propriétés dans un seul filtre.

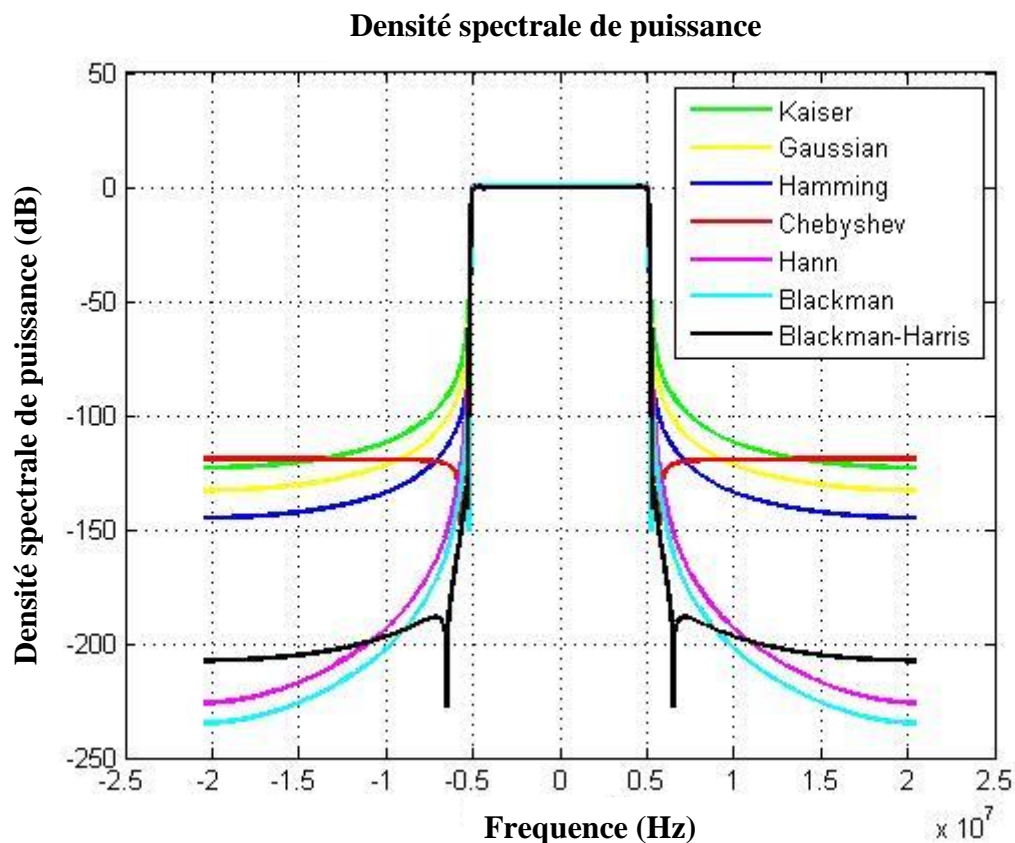


Figure II.18: PSD des filtres basés sur des fenêtres

La conception du filtre FIR par méthode de fenêtrage est puissante et simple, mais ce n'est pas un filtre optimal pour les raisons suivantes [26]:

1. Le fenêtrage ne permet pas d'avoir différentes erreurs d'approximation maximales différentes, δ , en bande passante et en bande stop ($\delta = \delta_p = \delta_s$). Ce n'est pas préférable lorsque la spécification est plus stricte dans la bande d'arrêt que dans la bande passante.

2. Les ondulations de la fenêtre ne sont pas uniformes, mais elles disparaissent lentement à mesure qu'elles s'éloignent des points de discontinuité en fonction de la structure en lobes latéraux de la fenêtre, ce qui entraîne un ordre de filtrage plus élevé.

3. L'erreur d'approximation δ est moins précise que la méthode d'approximation optimale.

II.11. Conclusion:

Dans ce chapitre, Nous avons introduit la technique F-OFDM comme solution pour répondre aux attentes des réseaux cellulaires 5G. nous avons étudié les techniques F-OFDM et OFDM.

La différence entre F-OFDM et OFDM est que le signal F-OFDM est obtenu en convoluant le signal OFDM d'origine avec le filtre RIF.

Chapitre III:

Simulation et Analyse

III.1. Introduction :

Après notre étude théorique, dans le présent chapitre nous allons discuter les résultats obtenus lors de nos simulations et exposer le modèle et les paramètres de la simulation.

nous allons simuler la technique F-OFDM en changeant à chaque fois le type du canal (AWGN, Pedestrian A et Vehicular A). Ensuite, nous allons changer les longueurs de filtre *Sinc* ($sinc(0.1), sinc(0.4), sinc(0.9)$). pour obtenir des résultats comparable avec les résultats de la modulation OFDM. Pour cela nous allons utiliser le langage MATLAB comme outil de programmation.

III.2. Modèle de simulation :

Le modèle de simulation de la technique F-OFDM est présenté sur Figure III.1:

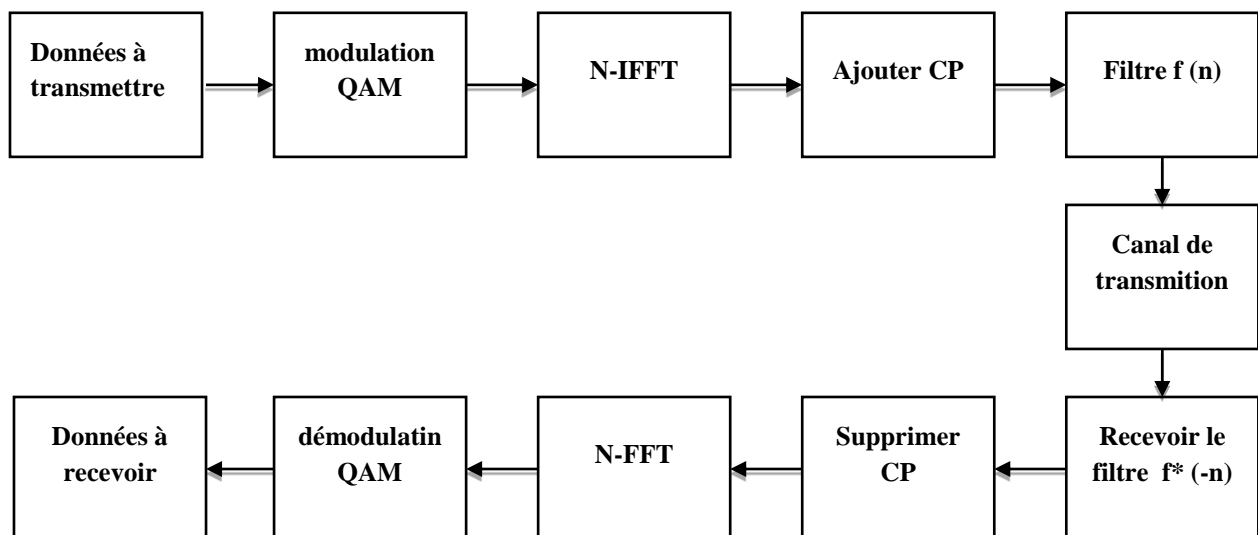


Figure III.1: modèle de simulation de la technique F-OFDM.

III.3. Comparaison des performances de BER d'OFDM et F-OFDM

Cette partie présente les résultats de simulation et la comparaison des performances des techniques F-OFDM et OFDM en variant le type du canal. Nous exprimons les performances en termes de BER en fonction du SNR.

PARAMETRES	VALEURS
Nombre de sous porteuses	24
Nombre de symboles F-OFDM	14
Espacement entre sous porteuses	15 KHz
Fréquence porteuse	2.5 GHz
Modulation	64 QAM
Filtre	Sinc
Fenêtre	Hann
Canal	AWGN, Pedestrian A et Vehicular A

Tab III.1: les paramètres de simulation .

III.3.1. Le canal AWGN:

La figure III.2 présente la comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal AWGN.

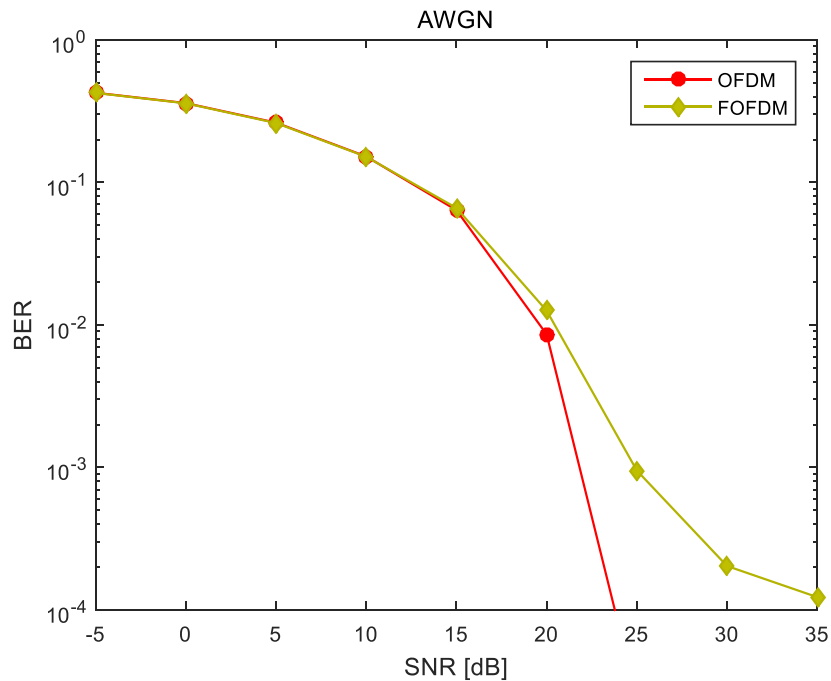


Figure III.2: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal AWGN.

La figure III.2 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont les mêmes quand le $SNR \leq 15$, le BER pour OFDM et F-OFDM diminue quand le $SNR > 15$.

III.3.2. Le canal Pedestrian A :

La figure III.3 présente la comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal Pedestrian A :

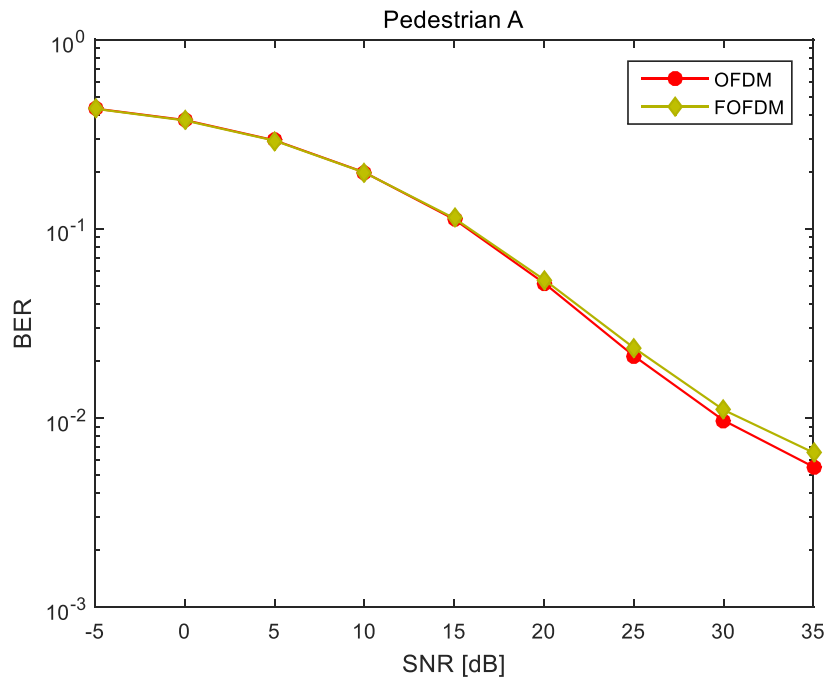


Figure III.3: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal Pedestrian A

La figure III.3 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont les mêmes quand le $SNR \leq 20$ et le BER d'OFDM diminue par rapport le BER de F-OFDM quand le $SNR > 20$

III.3.3. Le canal Vehicular A :

La figure III.4 présente la comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal Vehicular A:

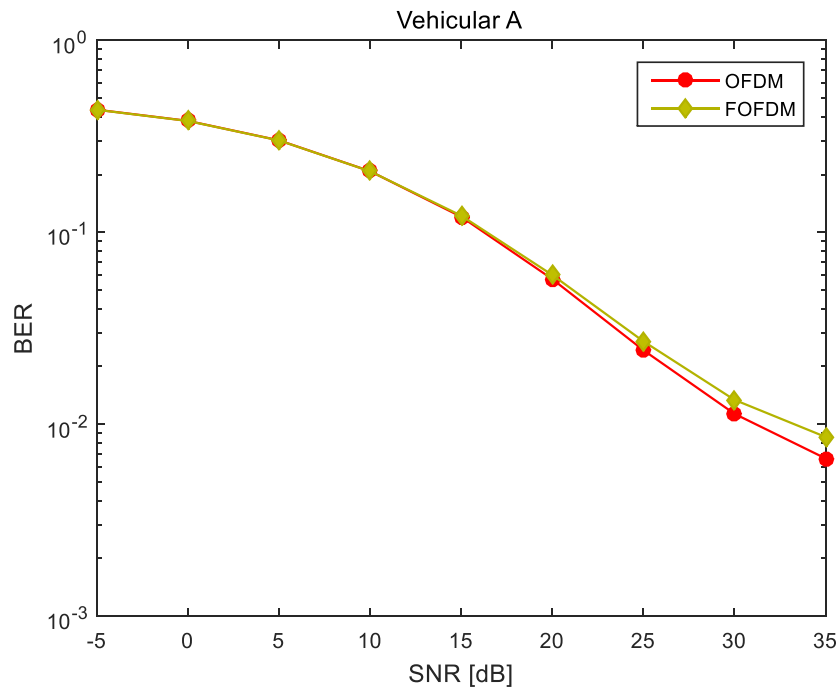


Figure III.4: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le canal Vehicular A

La figure III.4 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont les mêmes quand le $SNR \leq 20$ et le BER d'OFDM diminue par rapport au BER de F-OFDM quand le $SNR > 20$.

III.4. Comparaison des DSP d'OFDM et F-OFDM :

Dans la deuxième partie de la simulation nous allons comparer le DSP d'OFDM et F-OFDM en variant le facteur de filtre SIN CARDINAL . Nous exprimons les résultats en termes de $PSD_{[db]}$ en fonction de la fréquence [Hz]. Après nous exprimons les performances en termes de BER en fonction du SNR :

PARAMETRES	VALEURS
Nombre de sous porteuses	24
Nombre de symboles F-OFDM	14
Espacement entre sous porteuses	15 KHz
Fréquence porteuse	2.5 GHz
Modulation	64 QAM
Filtre	Sinc (0.1), Sinc (0.4), Sinc (0.9)
Fenêtre	Hann
Canal	Vehicular A

Tab III.2: les paramètres de simulation.

III.4.1. Le filtre Sinc (0.1) :

La figure III.5 présente la comparaison entre le DSP d'OFDM et F-OFDM en fonction de la fréquence pour le filtre Sinc (0.1):

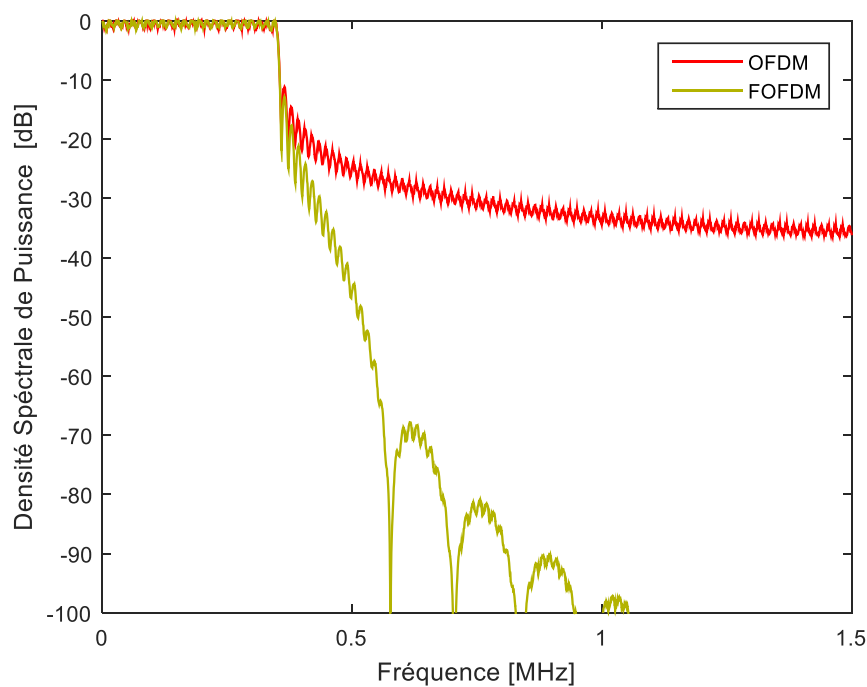


Figure III.5: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.1).

La Figure III.5 montre que les spectres F-OFDM et OFDM ont des lobes latéraux et F-OFDM présente une augmentation des lobes latéraux pour le filtre sinc(0.1) donc une grande fuite spectrale.

La figure III.6 présente la comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour le filtre sinc(0.1):

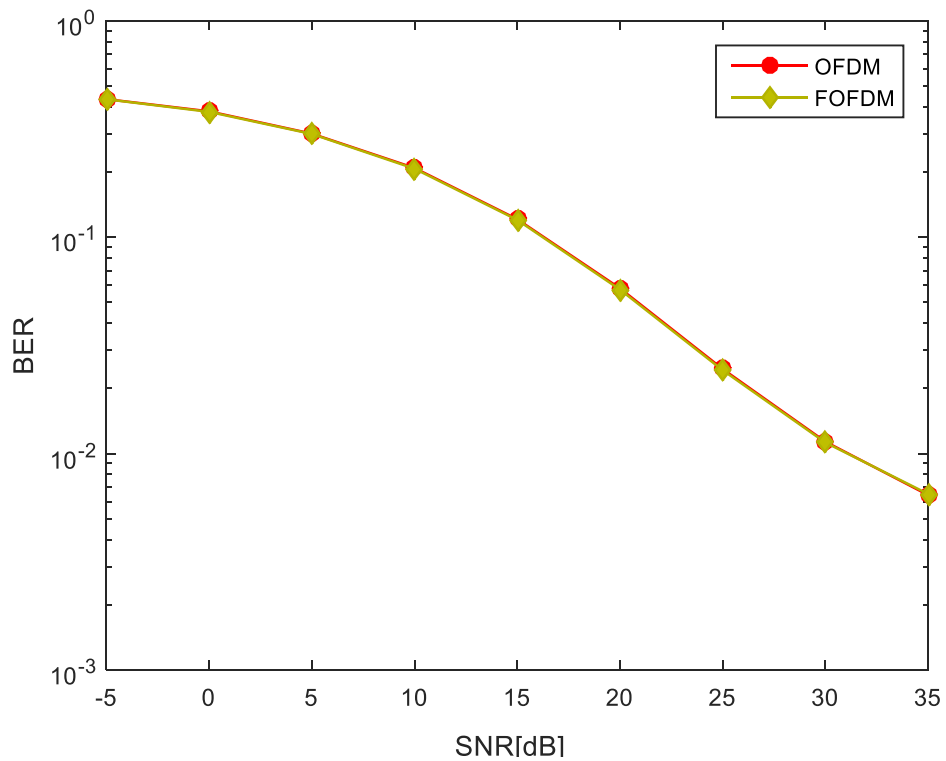


Figure III.6: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.1)

Figure III.6 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont similaires pour le filtre sin(0.1)

III.4.2. Le filtre Sinc (0.4) :

La figure III.7 présente la comparaison entre le DSP d'OFDM et F-OFDM en fonction de la fréquence pour le filtre Sinc (0.4):

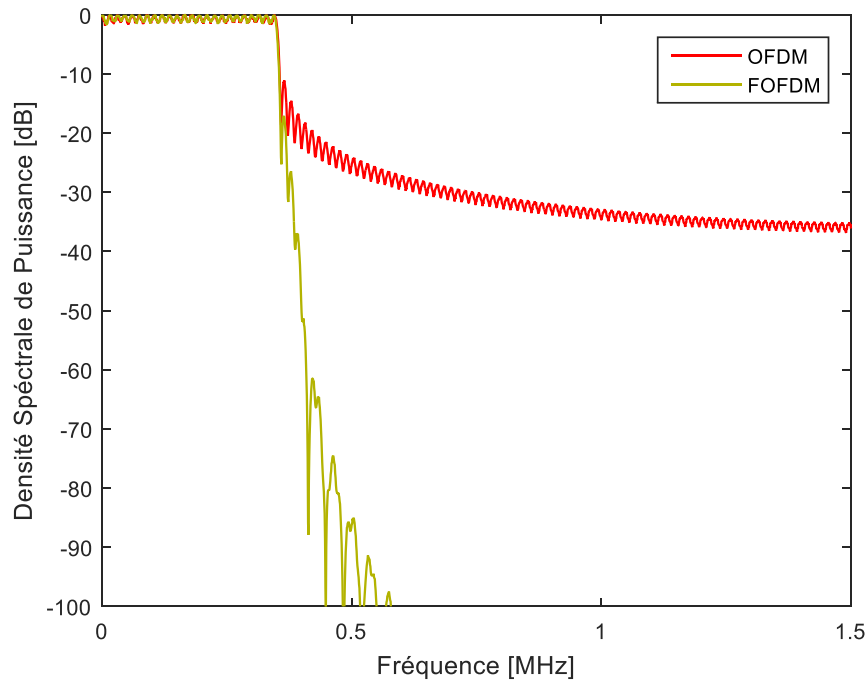


Figure III.7: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.4).

La figure III.7 montre une grande diminution de fuite spectrale et des lobes latéraux en la comparant avec la figure III.4 pour le DSP de F-OFDM pour le filtre sinc(0.4).

La figure III.8 présente la comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM en fonction du SNR pour le filtre Sinc (0.4) :

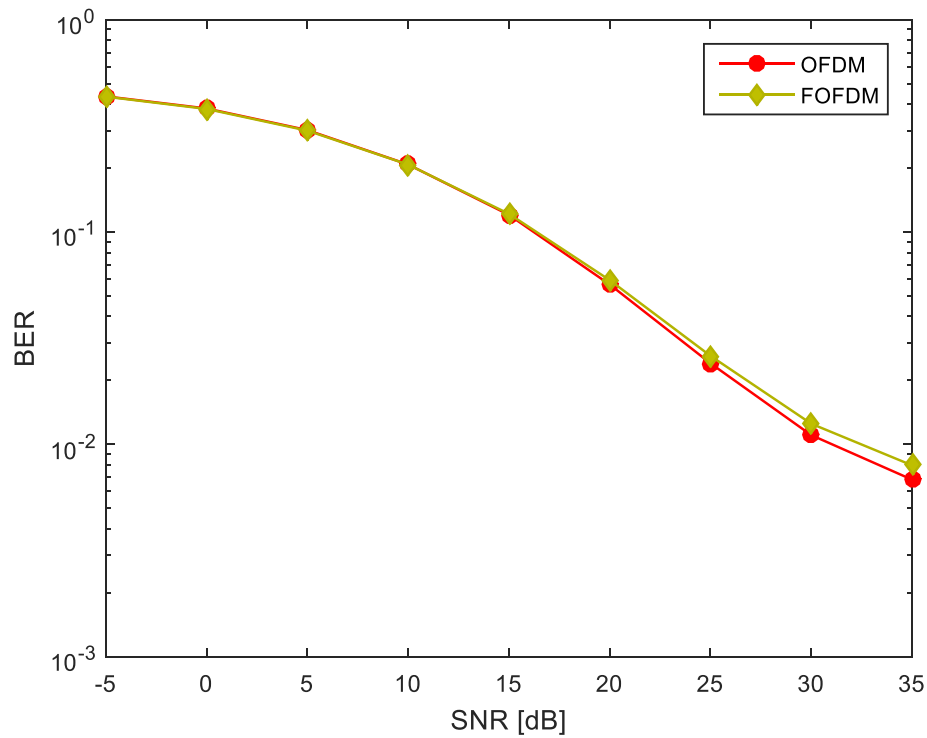


Figure III.8: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.4)

La figure III.8 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont les mêmes quand le $SNR \leq 20$ et OFDM est légèrement inférieur à celui de F-OFDM quand le $SNR > 20$ pour le filtre sinc(0.4).

III.4.3. Le filtre Sinc (0.9) :

La figure III.9 présente la comparaison entre le DSP d'OFDM et F-OFDM en fonction de la fréquence pour le filtre Sinc (0.9):

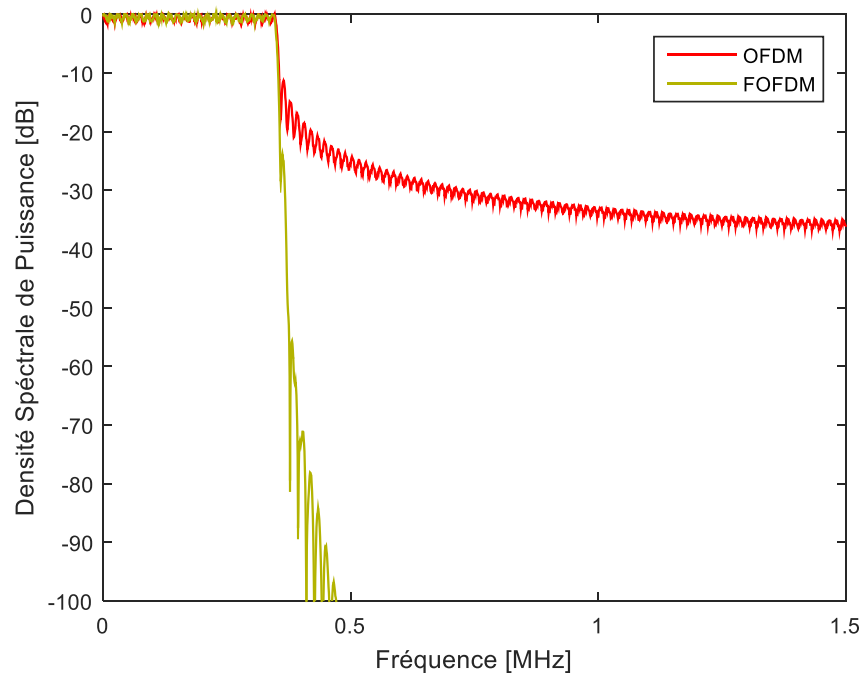


Figure III.9: Densité spectrale de puissance pour F-OFDM avec un filtre Sinc (0.9).

Dans La figure III.9 la fuite spectrale et les lobes latéraux secondaires ont disparus.

La figure III.10 : présente la Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.9) :

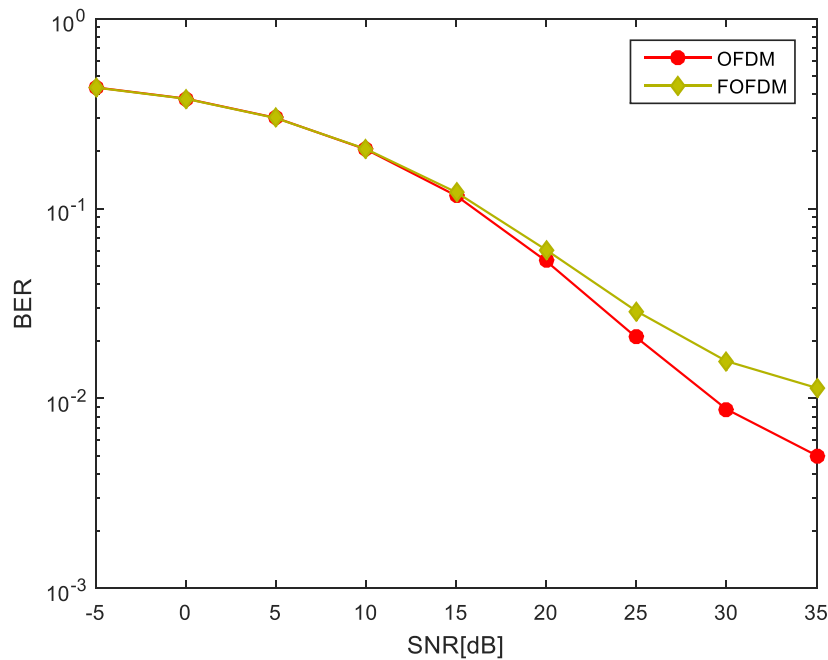


Figure III.10: Comparaison entre le BER d'OFDM et F-OFDM pour un filtre Sinc (0.9)

La figure III.10 montre que les valeurs de taux d'erreurs binaires F-OFDM et OFDM sont les mêmes quand le $SNR \leq 15$, et le BER d'OFDM diminue par rapport au BER de F-OFDM quand le $SNR > 15$ pour le filtre sinc(0.9).

Après l'analyse des figures précédentes nous constatons que plus la longueur de filtre augmente plus L'efficacité spectrale en F-OFDM augmente avec une réduction des fuites spectrales, mais d'autre part avec toute augmentation de la longueur du filtre il y a une dégradation de la performance du BER.

III.5. Conclusion :

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). Nous avons conclu que pour éliminer l'OOB il faut que la longueur du filtre soit convenable aux performances du BER. Dans la simulation que nous avons réalisée le filtre qui a donné les meilleurs résultats est le filtre sinc(0.4).

Conclusion generale

Conclusion generale

Le travail que nous avons réalisé dans ce mémoire nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la modulation multi-porteuses. Il nous a permis également d'aborder un thème d'actualité dans le domaine des communications mobiles, qui est la transmission sans fil à base de la technique F-OFDM (Filtered- Orthogonal Frequency Division Multiplexing). nous avons d'abord introduit les caractéristiques essentielles et les technologies nécessaires de la 5G qui nous permettent de la mieux comprendre . Ensuite , nous avons présenté les techniques OFDM et F -OFDM et exposé les limites de l'OFDM et comment faire pour les traiter par la technique F-OFDM.

Des que la technique F-OFDM est basée sur le filtrage du signal OFDM pour minimiser l'OOB (Out Of Band), nous avons comparé les performances de F-OFDM à ceux de l'OFDM afin de montrer les améliorations que peut apporter la technique F-OFDM. Les résultats de la simulation des performances du système F-OFDM, étudiées pour un lien LTE en faisant varier les paramètres de la modulation F-OFDM, ont montré qu'une minimisation considérable de l'OOB a eu lieu .

Comme travail du future, nous esperons d'étudier le comportement de modulation F-OFDM dans un contexte MIMO..

Bibliographie

Bibliographie:

- [1] B. Le Floch, M. Alard et C. Berrou, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex TV Broadcasting . IEEE, 1995: p. 982-996.
- [2] O. Ezratty, Opinions Libres, www.oezratty.net,2019.
- [3] E.M. Roche, W Townes, Réseaux, communication, journals.openedition.org, 2018;p.139-162.
- [4] Gemalto, Présentation des réseaux 5G ,Caractéristiques et usages, www.gemalto.com, Décembre 2018
- [5] Moussa Babpa, Innovations et enjeux de la Technologie 5G, mbamci.com, mars, 2019.
- [6] Rohde-Schwarz, Génération et analyse de signaux 5G à large bande, www.rohde-schwarz.com,2019.
- [7] Autorité de régulation des communications électroniques et des postes,les enjeux de la 5g ,Mars 2017.
- [8] P. PIRINEN , 1st International Conference on 5G, ieeexplore.ieee.org, 2014 .
- [9] Antoineroze, MassiveMIMO,une approche angulaire pour les futurs systèmes multi-utilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques, thèse doctorat, 27 Mar 2017. Massive MIMO.
- [10] Autorité de régulation des communications électroniques et des postes,LES ENJEUX DE LA 5G ,Mars 2017.
- [11] Robin Gerzaguët, The 5G candidate waveform race: a comparison of complexity and performance, Journal on Wireless Communications and Networking, 2017.
- [12] Rohde & Schwarz ,5G waveform candidate,application note ,2019 .
- [13] Bendahmane Amira Meriem et Ghermoul Rania, Etude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC, mémoire master , Université Aboubekr Belkaïd , Tlemcen,2018

Bibliographie

- [14] J. Abdoli, M. Jia, and J. Ma. Filtered OFDM: A new waveform for future wireless systems. In Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2015 IEEE 16th International Workshop on, pages 66–70. IEEE, 2015. doi: 10.1109/SPAWC.2015.7227001.
- [15] T. Wild, F. Schaich, and Y. Chen. 5G air interface design based on universal filtered (UF-) OFDM. In Digital Signal Processing (DSP), 2014 19th International Conference on, pages 699–704. IEEE, 2014. doi: 10.1109/ICDSP.2014.6900754.
- [16] Oltjon Kodheli, "OFDM-based Schemes for Next Generation Wireless Systems", These de master, School of Engineering and Architecture Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering "Guglielmo Marconi", 2015/2016.
- [17] Baouni, "Estimation du Canal et Elimination des Interférences ICI dans les Communications Mobiles avec Modulation OFDM", These de majstaer, Université de Mentouri Constantine.
- [18] X. Cheng, Y. He, B. Ge, and C. He. A filtered OFDM using FIR filter based on window function method. In Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2016 IEEE 83rd, pages 1–5. IEEE, 2016. doi: 10.1109/VTCSpring.2016.7504065.
- [19] Y. C. Wang and Z. Q. Luo. Optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals. IEEE Transactions on Communications, 59(1):33–37, January 2011. doi: 10.1109/TCOMM.2010.102910.090040.
- [20] D. Khedidja, "Simulation comparative des technique FBMC et OFDM pour les réseaux 5G", These de master, Université du Tlemcen, 2016.
- [21] P. Georges, "Etude de performance d'une liaison sans fil OFDM dans un canal complexe", Mémoire du garde de la maitrise en ingénierie, Université du Québec en Abitibi-TEMISCAMINGUE, Canada, 2012.
- [22] X. Zhang, M. Jia, L. Chen, J. Ma, and J. Qiu. Filtered-OFDM-enabler for flexible waveform in the 5th generation cellular networks. In Global Communications Conference (GLOBECOM), 2015 IEEE, pages 1–6. IEEE, 2015. doi: /10.1109/ICDSP.2014.6900754.

Bibliographie

- [23] B. Farhang-Boroujeny. OFDM versus filter bank multicarrier. *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(3):92–112, 2011. doi: 10.1109/MSP.2011.940267.
- [24] M. Faulkner. The effect of filtering on the performance of OFDM systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(5):1877–1884, 2000. doi: 10.1109/25.892590.
- [25] P. Zhu. 5G enabling technologies—an unified adaptive software defined air interface, 2014. URL <http://happyslide.net/doc/2572777/5g-enabling-technologies-an-unified-adaptive-software-def...>
- [26] Oppenheim. *Discrete-Time Signal Processing*. Pearson Education India, 1999.
- [27] Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. T. Brink, and J. F. Frigon. Universal-filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE. In *Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2013 IEEE, pages 223–228. IEEE, 2013. doi: 10.1109/GLOCOMW.2013.6824990.
- [28] Mathworks. `gausswin`, (Gaussian window) 2017. URL: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/gausswin.html>.
- [29] Antoniou. *Digital Filters, Analysis, Design, and Applications*. McGraw-Hill, 2000.