L’efficacité des Techniques de Transmissions des  
Données A Très Haut Débits pour la 5G

Maryem BOUDAA1, Youness MEHDAOUI1,2, Zakia LAKHLAI1

1 Laboratoire d’informatique et de physique interdisciplinaire, USMBA, Fez, Maroc

2 Equipe de Recherche en Electronique, Instrumentation et Mesures, USMS, Béni-mellal, Maroc.

[bouda.maryam@gmail.com](mailto:%20bouda.maryam@gmail.com), [youness.mehdaoui@gmail.com](mailto:youness.mehdaoui@gmail.com)

***Résumé- L'évolution des systèmes sans fil a eu lieu en un temps remarquablement court, offrant des progrès technologiques incroyables qui vont changer la façon dont les gens communiquent et interagissent les uns avec les autres, ces progrès sont venus en plusieurs générations, Chaque génération à des normes, des capacités et des nouvelles techniques. Les réseaux sans fil de cinquième génération (5G) sont confrontés à divers défis afin de soutenir des réseaux hétérogènes à grande échelle à savoir trois majeures catégories d’usages, le mMTC (Massive Machine Type Communications), eMBB (Enhanced Mobile Broadband), uRLLC (Ultra-reliable and Low Latency Communications). Pour cela de nouvelles modulations et méthodes d’accès ont était développés pour supporter ces changements.***

***Notre objectif principal est l’étude des méthodes d’accès et les modulations qui sont candidates pour supporter la technologie 5G, à savoir la modulation OFDM, FBMC, GFDM, UFMC…afin d’établir une étude comparative en mettant l’accent sur les avantages et les inconvénients de chaque modulation, en se focalisant principalement sur les formes d’ondes candidates pour supporter la 5G.***

***Dans ce papier, Nous mettons en évidence les différents paramètres qui mesurent la faisabilité de la technologie 5G, en analysant les indicateurs pour meilleures modulations candidatent.***

***Mot clés: 5G, OFDM, FBMC, GFDM, UFMC***

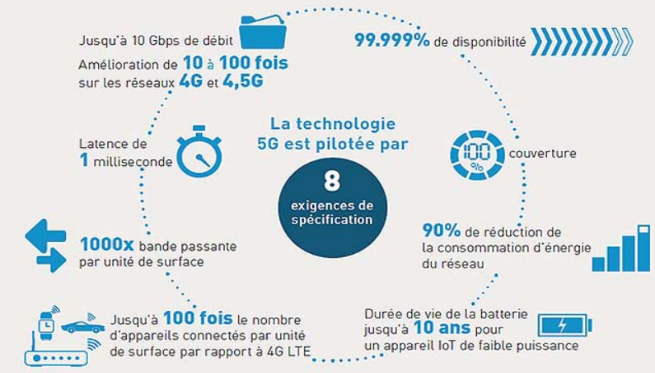
# INTRODUCTION

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, avec plusieurs segments bien différents. Trois grandes catégories d’usages qui sont définies dans le IMT- 2020, permettraient de de la technologie 5G, à savoir le *mMTC – Massive Machine Type Communications* qui résume l’ensemble des communications entre une grande quantité d’objets avec des besoins de qualité de service variés, l’objectif de cette catégorie est de répondre à l’augmentation exponentielle de la densité d’objets connectés. Le*eMBB – Enhanced Mobile Broadband*, c’est à dire la connexion en ultra haut débit en outdoor et en indoor avec uniformité de la qualité de service, même en bordure de cellule, et finalement le *uRLLC ou plutôt le Ultra reliable and Low Latency Communications*, ce sont des communications ultra-fiables pour les besoins critiques avec une très faible latence, pour une réactivité accrue. Pour pallier aux différentes exigences du marché, plusieurs modulation et méthodes d’accès ont apparue. Pour pouvoir mettre en pratique ces différentes catégories, plusieurs indicateurs de performances sont en train d’être appliqués par l’UIT sur les différents types de formes d’ondes afin de pouvoir sortir avec une comparaison efficace entre ces nouvelles formes d’ondes – à savoir la PC-OFDM , UFMC, FMBC, GFDM…[1]- et enfin améliorer l’un des indicateurs clés de calcul des performances de la 5G.

**Tableau 1 : Tableau comparatif des différentes caractéristiques des générations mobile [2]**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1G | 2G | 3G | 4G | 5G |
| Période | 1980-1990 | 1990-2000 | 2000-2010 | 2010-2020 | 2020--- |
| Bande passante | 150/900Mhz | 900Mhz | 100Mhz | 100Mhz | 1000\*BW |
| Fréquence | Télécommunication analogique | 1.8Ghz | 1.6 – 2Ghz | 2 – 8Ghz | 3-300Ghz |
| Débit des donnés | 2kbps | 64kbps | 144kbps-2Mbps | 100Mbps-1Gbps | <1Gbps |
| Caractéristique | Première génération sans fil | Numérique | Haut débit numérique | IP, THD |  |
| technologie | Analogique | Système cellulaire GSM | CDMA, UMTS, EDGE | LTE, WIFI | Réseau hétérogène |

# Les exigences de la 5G



**Fig II.1 : les exigences de la 5G**

Les exigences majeurs qui ont poussés la révolution vers les très hauts débits sont des besoins en:

* Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données - > de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G et 4.5G
* 1 milliseconde de latence
* 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)
* 99,999 % de disponibilité
* 100 % de couverture
* 90 % de réduction en utilisation d'énergie du réseau

1. Exigence de débit :

La LTE peut présenter en théorie un débit maximal de 3Gbps en down Link, chose qui n’est pas convenable pour la 5G qui exige un débit maximale de 10 – 50 Gbps.

1. Exigence de couverture :

Disponibilité du service omniprésent qui respecte la fiabilité du système et les exigences des users aux bords des cellules qui souvent souffrent des interférences.

1. La fiabilité et la latence

Adapté 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 et un chalenge principale pour le passage vers la 5G.

1. Minimiser la surcharge des signalisations

Minimiser la surcharge des signalisations pour tirer le maximum de la capacité.

1. Supporter plusieurs types de services

La 5G a besoin d’offrir une multi connectivité, supporter des différentes bandes de fréquences, et plusieurs services.

1. Supporter une large bande de fréquences

La 5G va opérer à travers une large bande des ondes millimétriques et centimétrique.

# Les modulations explorées dans le cadre de la 5G

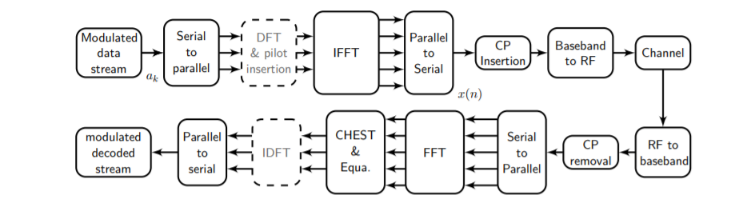
Le réseau 5G doit supporter de différentes familles d’application, et donc un grand débit et une grande efficacité spectrale pour ce faire de nouvelle méthode d’accès et modulation sont nécessaires

Un certain nombre de schémas de modulation candidats ont été rapportés en tant que schémas potentiels de modulation pour la 5G, dans cette présentation nous sélectionnons 4 schémas de modulation représentatifs qui ont suscité un grand intérêt dans la 5G, en raison de leurs avantages respectifs significatifs [3].

L'un des aspects qui intéressent les chercheurs est la latence beaucoup plus courte, nécessaire pour développer les nouveaux services et applications telles que la conduite autonome qui exige un délai de latence ultra-court et une liaison de communication très robuste. Une autre approche est de transformer le préfixe cyclique en option et d'utiliser des durées de symbole plus courtes. Tout ceci a conduit à plusieurs formes d'onde candidates, telles que :

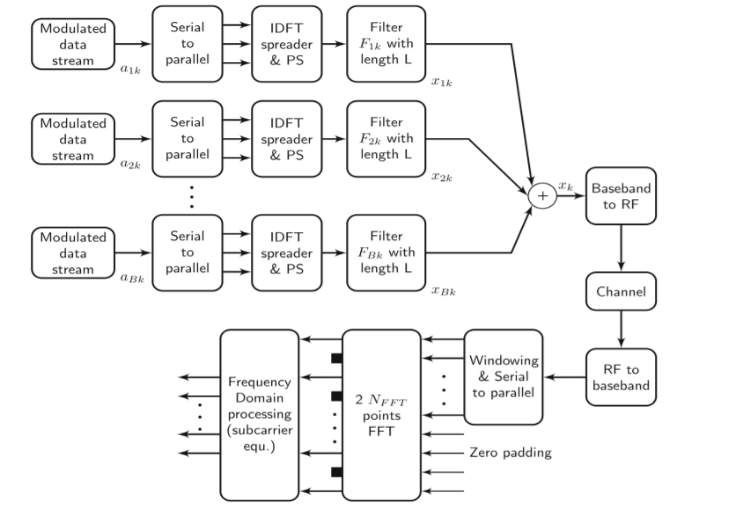
* multiplexage par répartition en fréquence généralisée (**GFDM**, Generalized Frequency Division Multiplex)
* (**FBMC**, Filter Bank Multicarrier)
* multi porteuse filtrée universelle (**UFMC**, Universal Filtered Multicarrier)
* PC-OFDM

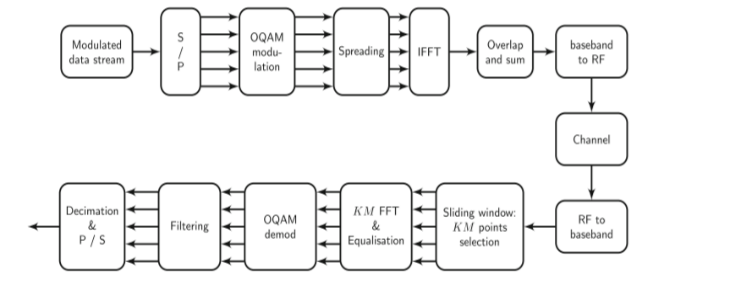
# Les formes d’onde candidatent pour la 5G :

1. CP-OFDM

**Fig IV.1 : la chaine de transmission pour la forme CP-OFDM**

Dans CP-OFDM, un bloc de symboles complexes est mappé sur un ensemble de porteurs orthogonaux. En raison de l'utilisation du processus de transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) (ou FFT) de taille N FFT, l'architecture CP-OFDM a une faible complexité. Le principe de l'OFDM est de diviser la bande passante totale en N porteuses FFT, de sorte que l'égalisation des canaux peut souvent être réduite en un seul coefficient de prise par porteuse. Enfin, un préfixe cyclique (CP) est inséré. Il garantit la circularité du symbole OFDM, si l'écart de propagation du canal multi-trajets est inférieur à la longueur CP. Cependant, cela conduit à une perte d'efficacité spectrale, car le CP est utilisé pour transmettre des données redondantes. Pour limiter le PAPR, une transformation discrète de Fourier discrète (DFT) (ou IDFT) peut être insérée avant l'IFFT (respectivement après FFT), conduisant à l'accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique (SC-FDMA) utilisé dans la liaison montante de 3GPP-LTE.

1. FBMC



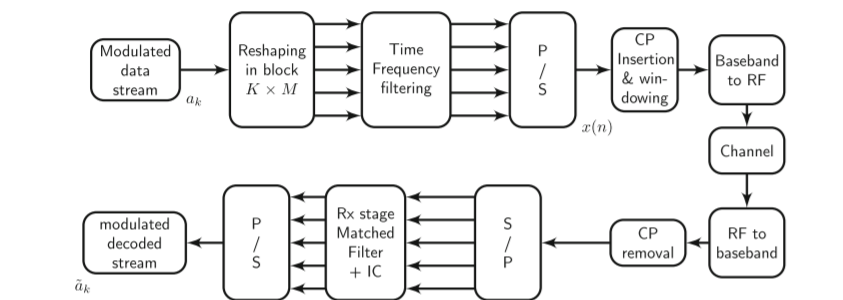
**Fig IV.2: la chaine de transmission pour la forme FBMC**

La forme d'onde FBMC consiste en un ensemble de données parallèles qui sont transmises à travers une banque de filtres modulés. Le filtre prototype, paramétré par le facteur de chevauchement K, peut être choisi pour avoir une très faible fuite du canal adjacent. On peut différencier deux variantes principales de FBMC: l'une basée sur la signalisation complexe (QAM), également appelée multi-tonalité filtrée (FMT), et l'autre basée sur des symboles QAM (OQAM) à décalage de valeur réelle, également appelés FBMC / OQAM. Ces derniers assurent l'orthogonalité dans le domaine réel pour maximiser l'efficacité spectrale. La première variante (FMT) est actuellement utilisée dans des standards tels que TEDS, et réalise l'orthogonalité parmi les sous-porteuses en réduisant physiquement leur recouvrement de domaine fréquentiel.

1. UFMC

**Fig IV.3 : la chaine de transmission pour la forme UFMC**

La forme d'onde UFMC est un dérivé de la forme d'onde OFDM combiné avec le post-filtrage, où un groupe de transporteurs est filtré en utilisant une implémentation efficace dans le domaine fréquentiel [2] Cette opération de filtrage de sous-bande est motivée par le fait que la plus petite unité utilisée par l'ordonnancement algorithme dans le domaine fréquentiel dans 3GPP LTE est une ressource bloc (RB), qui est un groupe de 12 transporteurs. Le filtrage opération conduit à une fuite hors bande plus faible que pour OFDM. L'émetteur UFMC est composé de B filtrage de sous-bande qui modulent les blocs de données B. le signal transmis n'utilise pas de CP, mais il y a encore un spectre perte d'efficacité due au temps transitoire (queues) de la mise en forme filtre. L'étage Rx est composé d'un FFT point 2NFFT, qui est ensuite décimé par un facteur 2 pour récupérer les données. Une scène de fenêtrage peut également être insérée avant la FFT. Il introduit des interférences entre les transporteurs mais est intéressant à considérer pour les transmissions montantes asynchrones cela aide à séparer les utilisateurs contigus.

1. GFDM

**Fig IV.4 : la chaine de transmission pour la forme GFDM**

La forme d'onde GFDM est basée sur le filtrage temps-fréquence d'un bloc de données, ce qui conduit à un flexible, non orthogonale forme d'onde [4]. Un bloc de données est composé de K porteurs et M intervalles de temps, et transmet N = KM complexe modulé Les données. Dans cet article, nous considérons que les données sont filtrées cycliquement par un filtre root-raised-cosine (RRC) qui est traduit dans les domaines fréquentiels et temporels est habituellement fait [4, 6]. Pour éviter les interférences entre symboles, un CP est ajouté à la fin de chaque bloc de symboles. Pour améliorer encore l'emplacement spectral, un fenêtrage processus peut être ajouté dans l'émetteur. Plusieurs architectures de récepteurs ont été étudiées la littérature pour GFDM, et nous considérons dans ce document un Schéma du récepteur du filtre adapté (MF): chaque bloc reçu est filtré par le même temps et la fréquence des filtres traduits comme dans l'étape de transmission [4]. Comme la modulation est non-orthogonal, il est nécessaire de mettre en œuvre une interférence système d'annulation (IC) [19], qui améliore performance, mais augmente considérablement la complexité de la destinataire. Plus récemment, OQAM a également été considéré GFDM pour permettre l'utilisation de récepteurs linéaires moins complexes au lieu de IC.

# Comparaisons des formes d’ondes

**Tableau II: Tableau comparative entre les différentes formes d’ondes**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Forme d’onde** | **Avantages** | **Inconvénients** |
| CP-OFDM | Mise en œuvre efficace en utilisant FFT / IFFT - Répartition du spectre flexible pour différents utilisateurs - Application directe de la technologie MIMO: - Flexibilité du signal et du multiplexage des données | Mauvaise localisation des fréquences due au filtre prototype rectangulaire |
| UFMC | Performances OOB similaires à CP-OFDM avec WOLA - Peut être utilisé pour multiplexer l'utilisateur avec différents numérologies | Conception d'émetteur / récepteur plus complexe - Soumis à l'ISI en raison de l'absence de PC |
| FBMC | Déclin supérieur des lobes latéraux par rapport aux autres formes d'ondes MC mais le bénéfice diminue avec la non-linéarité PA | Conception de récepteur compliquée due à OQAM - Soumis à ISI sous canal non plat - Intégration MIMO plus complexe qu’OFDM |
| GFDM | Meilleure suppression des fuites OOB que le CP-OFDM | Récepteur compliqué pour gérer ISI / ICI - Le filtre prototype peut exiger plus compliqué modulation / récepteur, par ex. OQAM comme dans FBMC - Latence de traitement de bloc plus élevée (pas de pipeline) - Le multiplexage avec CP-OFDM nécessite une grande bande de garde |

# Conclusion :

Comme cité précédemment 4 techniques de transmissions sont en questions en ce qui concerne le passage vers la 5G. Pour pouvoir mettre l’accent sur un seul, il va falloir sélectionner la plus efficace. Donc une simulation sur l’outil matlab est nécessaires pour pouvoir faire des schémas comparatifs, pour pouvoir conclure les paramètres a manipulés pour pouvoir sortir avec une modulation dont une énergie spectrale est meilleure, un PAPR plus bas et un taux d’erreur binaire le plus bas [4].

En transmissions numériques, l'efficacité spectrale η se définit comme étant le rapport entre le [débit binaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bit_binaire) (en bit/s) et la [bande passante](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bande_passante) (en Hz). Nous pouvons aussi dire que c'est le nombre de données binaires envoyés sur le canal de communication par ressource temps-fréquence. Un rapport entre puissance crête et puissance moyenne : Est la racine carrée de la moyenne de cette grandeur au carré, sur un intervalle de temps donné, elle représente la répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences qui le composent :

I Efficacité spectrale (SE)

I la moyenne de la puissance crête (PAPR)

I Densité spectrale de puissance (PSD)

*Référence :*

1. FBMC vs OFDM Waveform Contenders for 5G Wireless Communication System. Parnika Kansal, Ashok Kumar Shankhwar# Department of Electronics, School of Engineering, Harcourt Butler Technical University (HBTU), Kanpur, India
2. The 5G candidate waveform race: a comparison of complexity and performance. Robin Gerzaguet1\*, Nikolaos Bartzoudis2, Leonardo Gomes Baltar3, Vincent \*Berg1, Jean-Baptiste Doré1, Dimitri Kténas1, Oriol Font-Bach2, Xavier Mestre2, Miquel Payaró2, Michael Färber3 and Kilian Roth3 # Gerzaguet et al. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking (2017)
3. Modulation and Multiple Access for 5G Networks. Yunlong Cai, Zhijin Qin, Fangyu Cui, Geoffrey Ye Li, and Julie A. McCann # cornel universety library Submitted on 21 Feb 2017)
4. Overview of 5G modulation and waveforms candidates . Nekovee Maziar Wang Yue Tesanovic Milos Wu Shangbin Qi Yinan Al-Imari Mohammed # [Download PDF](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF03391545.pdf) [Journal of Communications and Information Networks](https://link.springer.com/journal/41650) ,kJune 2016, Volume 1, [Issue 1](https://link.springer.com/journal/41650/1/1/page/1), pp 44–60