

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de la Technologie

Mémoire du Projet de Fin d'Études
Pour l'obtention de diplôme

Master

En

Télécommunication.

Option :

Systemes des Télécommunications

Titre :

**Etude et simulation des principaux canaux pour la 5^{ème}
génération de la téléphonie mobile**

Réaliser par

MECHKHAR Hakima

TARAOUI Djamila

Encadré par :

Dr. BENYAROU Mourad

Année Universitaire 2019/2020

ملخص

أدت الحاجة إلى استيعاب المزيد من المستخدمين بمعدلات بيانات أعلى مع موثوقية أفضل مع استهلاك طاقة ، وهذا من أجل الحصول على جودة جيدة من 5G أقل إلى ولادة جيل جديد من اتصالات الهاتف المحمول 5 ، الاتصالات اللاسلكية مع معدلات نقل عالية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو مناقشة خوارزميات تقدير القنوات المختلفة من أجل تحديد تقنيات التقدير وموجات المليمتر d ، وتوضيح أهمية استخدام هوائيات الشبكة G المثلثي المناسبة للنشر في أنظمة إرسال 5 والسنتيمتر.

تم اجراء عمليات محاكاة باستخدام برنامج ماتلاب للقنوات الرئيسية المستخدمة في تقنية الجيل الخامس للهاتف النقال.

كلمات مفتاحية: الجيل الخامس، قناة، MIMO مدخلات متعددة. مخرجات متعددة. ،شبكة نقالة.

Abstract

The need to accommodate more users at higher data rates with better reliability while consuming less power has forced the birth of a new generation of 5G mobile communication based, this, in order to obtain a good quality of wireless communications with high transmission rates.

The main objective of this work is to discuss the different channel estimation algorithms in order to determine the optimal estimation techniques suitable for deployment in 5G transmission systems, and to clarify the importance of the use of the network d antennae and millimeter and centimeter waves. Simulations using MATLAB software were performed for the main channels used for 5G mobile telephony.

Key words : 5G, channel, MIMO, Mobile network.

Résumé

Le besoin d'accueillir plus d'utilisateurs à des débits de données plus élevés avec une meilleure fiabilité tout en consommant moins d'énergie a imposé la naissance d'une nouvelle génération de communication mobile la 5G, Ceci, dans le but d'obtenir une bonne qualité de communications sans fil avec des débits de transmission élevés.

L'objectif principal de ce travail est de discuter des différents algorithmes d'estimation de canal afin de déterminer les techniques d'estimation optimales appropriées au déploiement dans les systèmes de transmission 5G, et de clarifier l'importance de l'utilisation du réseau d'antennes et des ondes millimétrique et centimétrique.

Des simulations en employant le logiciel MATLAB, ont été réalisées pour principaux canaux utilisés pour la 5G de la téléphonie mobile.

Mots clés : 5G, canal, MIMO, Réseau mobile.



Remerciements

Nous remercions tout d'abord le grand Dieu pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous exprimons nos gratitudees à Monsieur le président de jury d'avoir accepté examiné ce mémoire.

Nous remercions Messieurs les membres de jury, d'avoir accepté de prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'ils l'ont portés à ce travail.

*Nous remercions Docteur **Benyarou Mourad** notre encadreur, pour ses conseils et suggestions avisés qui nous aidés à mener à bien ce travail, et d'avoir rapporté à ce mémoire ces remarques et conseils.*



Dédicace

*Je dédie ce mémoire à
Mes très chers parents, pour leurs sacrifices,
Et leurs encouragements que Dieu me les garde.
A celui qui m'a soutenue tout au long de ce projet.*

Mon cousin Mohamed.

*A mon encadreur qui m'a formé
Et accompagné avec beaucoup de patience.*

Mes très chères sœurs

Mes très chers frères

A mes chères amies : Fatima, Khadidja, Razika

Toute ma famille

Et à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser

Ce travail je vous dis merci.

Hakima

Je remercie Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience de terminer mes études.

Je dédie cette humble œuvre, en premier lieu, à des êtres précieux pour moi ; Mes parents, qui ont toujours aimé me voir succéder à mon père, "Abd alkdaar " pour son soutien moral et financier, et leurs immenses sacrifices, les encouragements qu'ils m'ont apportés durant ces cinq années d'études.

Pour ma mère, Yamina, l'ange de l'âme, est la source d'espoir et d'affection, pour votre amour, pour tout ce que j'ai sacrifié pour vous, vous êtes une mère idéale. "Je t'aime" Tu m'as tout donné sans rien demander, "Je prie Dieu de t'accorder une bonne santé."

A mon mari "Milad"

Je le remercie beaucoup pour son soutien et sa contribution à la réalisation de ce travail.

*Je n'oublie pas mes frères et toute ma famille
À tous mes chers amis pour leur précieuse aide.
À mon professeur dès les premières années d'école.*

Djamila



Sommaire

Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Dédicaces.....	iii
Sommaire	iii
Liste des figure.....	vi

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Introduction générale sur la 5G.

I.1 Historique	4
I.2 Définition.....	5
I.3 Principe de la 5G	6
I.4 l'objectif de la 5G.....	7
I.5 Les catégories d'usage de la 5G	7
I.6 Les types de la modulation en 5G.....	8
I.6.1FBMC.....	8
I.6.2 UFMC.....	9
I.6.3 GFDM.....	9
I.7 Les avantages de la 5G.....	9
I.7 Les avantages de la 5G.....	9
I.7.1 Très haut débit.....	9
I.7.2 Des temps de latence ultra faible.....	9
I.7.3 Multi-périphériques connectes en même temps.....	9
I.7.4 Les inconvénients de la 5G.....	10
I.10 conclusion.....	11

Chapitre II : Canal à onde centimétriques et canal à onde millimétriques.

II.1. Introduction.....	13
II.2 Ondes centimétriques.....	13
II.2.1 Propagation.....	14
II.2.2 Antennes.....	15
II.2.3 Guide d'onde.....	15
II.2.4 Les avantages des micro-ondes	16

II.3 Les ondes millimétriques	16
II.3.1 L'importance dans le cadre de la 5 G	17
II.3.2 Les caractéristiques de la bande mmWave	20
II.3.3 L'architecture des réseaux cellulaires	21
II.3.4 Les défis de mise en œuvre de mmWave	23
II.3.5 Applications émergentes des communications mmWave	25
II.4 Conclusion	26

Chapitre III : Principe et étude d'une chaîne de communication 5G

III.1. Introduction	28
III.2 Définition de FBMC	28
III.3 Modulation multi-porteuse des banques de filtres	28
III.3.1 Signal FBMC	29
III.3.2 Principe du système FBMC-OQAM	30
III.3.3 Principe de traitement OQAM	30
III.3.3.1 Bloc pré/traitement OQAM	30
III.3.3.2 Bloc Post-traitement OQAM	32
III.3.3.3 Banc de filtre (Analyse et synthèse)	33
III.4 Avantage est inconvénient	36
III.6 Conclusion	39

Chapitre IV Simulation de la chaîne 5G sous les différents canaux et comparaisons

IV.1 Introduction	41
IV.2 Simulation	41
IV.3 Conclusion	44
Annexe A	45
Conclusion générale	46
Annex	48
Références bibliographiques	50

Liste des figures

Fig1.1 Principales caractéristiques de la 5G.....	06
Fig. 2.1 Les liaisons et relais sans fil peuvent être utilisés pour connecter plusieurs sites cellulaires et abonnés ensemble.....	18
Fig.2.2 États-Unis attributions de spectre et de bande passante pour 2G, 3G et 4G LTE-A (évolution à long terme avancée).....	19
Fig.2.3 Attribution de la fréquence 5G NR.....	21
Fig.2.4 Illustration d'un réseau cellulaire mmWave. Les stations de base communiquent avec les utilisateurs.....	22
Fig.2.5 De longs écarts de retard caractérisent les canaux à large bande de 60 GHz.....	25
Figure III.1 Structure générale du système FBMC/OQAM.....	30
Figure III.2 Schéma générale de pré/traitement OQAM.....	31
Figure III.3 Schéma fonctionnel du post-traitement OQAM.....	32
Figure III.4 Bancs de filtres de synthèse /d'analyse.....	33
Figure III.5 Schéma fonctionnel de banque de filtres multi-porteuse (FBMC).....	35
Figure III.6 Représentation du canal MIMO.....	37
Figure IV.1 SER en fonction de SNR pour 16 antennes ($m=16$).....	41
Figure IV.2 SER en fonction de SNR pour 32 antennes ($m=32$).....	42
Figure IV.3 SER en fonction de SNR pour 64 antennes ($m=64$).....	43
Figure IV.4 SER en fonction de SNR pour 128 antennes ($m=128$).....	44

Introduction Générale.

Introduction générale

Les technologies de l'information sont devenues une partie intégrante de notre société, Ceci dans le but de la demande de transmission à débit de plus en plus élevés, s'accroît davantage avec l'essor de nouveaux services dans les réseaux de communication sans fils. Des anciens systèmes mobiles font généralement référence à un changement de nature du système, de vitesse, de technologie, de fréquence, de capacité de donnée, de latence, etc.

Le réseau de communication mobile de première génération (1G) était analogique et utilisé uniquement pour les appels vocaux. La deuxième génération (2G) est une technologie numérique et prend en charge la messagerie texte. La technologie mobile de troisième génération (3G) a fourni un taux de transmission de données plus élevé, une capacité accrue et un support multimédia. La quatrième génération (4G) intègre la 3G avec Internet fixe pour soutenir Internet mobile sans fil qui est une évolution vers la technologie mobile et surmonter les limitations de 3G. Cela augmente également la bande passante et réduit le coût des ressources. Nous assistons actuellement au début d'une révolution intelligente sans précédent sous l'impulsion de la dernière-née des technologies numériques et mobiles évolués : la 5G qui regroupe plusieurs technique parmi eux la technique FBMC et le MIMO beamforming qui est une technique de formation de faisceaux pour des systèmes Multi-antennes (MIMO) qui permet l'exploitation de la diversité spatiale, constitue en effet une composante fondamentale des systèmes 4G actuels et son importance va croître avec la 5G. Notre travail étudie et simuler des principaux canaux utiliser pour la 5eme génération de la téléphonie mobile. La structure de notre mémoire est la suivante : Dans le premier chapitre nous allons définir comment le monde est arrivé à la 5G ensuite nous allons expliquer le fonctionnement de la 5G et leurs catégories d'usages. Dans le 2ème chapitre nous allons faire une étude de canal a onde millimétrique et canal a onde centimétrique, en mentionner aussi notre avantages et inconvénient Ensuite, dans le troisième chapitre, nous allons parler sur la chaine de communication 5G. En fin, dans le quatrième chapitre on a faire la simulation d'un programme pour les massive MiMo dans un canal de Rayleigh (multi trajet) qui peuvent fournirent une augmentation du débit dans les systèmes de communication.

Chapitre III

Principe et étude d'une chaîne de communication 5G.

Chapitre III

Principe et étude d'une chaîne de communication 5G

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons définir une nouvelle technologie de transmission principale pour la prochaine communication sans fil standard 5G qui s'appelle FBMC (filtre Bank multi-carrier). En commençant par quelques définitions sur les filtre, en passant par la modulation du banc de filtre et finalement par l'implémentation d'un exemple de modulation FBMC/OQAM.

En effet, la FBMC utilise filtre de prototype et un schéma de modulation différents que l'OFDM pour améliorer ses points faibles.

III.2 Définition de FBMC

C'est une technique de modulation permettant de surmonter les interférences ISI (Inter Symbol Interférence) et ICI (Inter Carrier Interférence). L'interférence entre symboles est un défi majeur pour les systèmes de réseau. FBMC est une modification du multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM). En OFDM, les préfixes cycliques sont utilisés pour la robustesse du signal, mais l'utilisation du préfixe cyclique par multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence présente certains inconvénients. Pour surmonter les inconvénients de l'OFDM, utilisez le Filter Bank MultiCarrier (FBMC). Il fournit la bande passante efficace. Pour gérer cette situation, des techniques de modulation sont utilisées et d'autres méthodes nouvelles seront utilisées à l'avenir. L'un d'eux est Filter Bank Multicarrier; il fournit une grande efficacité plutôt que OFDM [17].

III.3 Modulation multi-porteuse des banques de filtres

Le FBMC fait la modulation de chaque sous-porteuse dans un système multi-porteur.

Le filtre prototype utilisé est celui d'une porteuse à fréquence nulle, qui est à la base des autres filtres de sous-porteuse. Les filtres sont caractérisés par le facteur de chevauchement, K qui est le nombre de symboles multi-porteuses qui se chevauchent dans le domaine temporel. L'équation de choix de l'ordre du filtre prototype est la suivante $2 * K - 1$ où $K = 2, 3$, ou 4 , sélectionné selon le projet PHYDYAS [18].

L'implémentation actuelle du FBMC utilise l'étalement de fréquence. Il utilise un IFFT de longueur $N * K$ avec des symboles superposés avec un retard de $N / 2$, où N est le nombre de

sous-porteuses. Ce choix de conception facilite l'analyse de la FBMC et la comparaison avec d'autres méthodes de modulation.

Pour atteindre la pleine capacité, on mène un traitement de modulation d'amplitude en quadrature décalée (OQAM). Les parties réelle et imaginaire d'un symbole de données complexe ne sont pas transmises simultanément, car la partie imaginaire est retardée de moitié de la durée du symbole [19].

III.3.1 Signal FBMC

Le signal FBMC numérique en bande de base peut être écrit sous la forme suivante : [20]

$$S[m] = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_{k,n} g\left[m - \frac{nM}{2}\right] e^{\frac{j2\pi k}{M}\left(M\frac{D}{2}\right)} e^{j\phi_{kn}} \quad (3.1)$$

Avec

S[m] : le signal FBMC numérique en bande de base

M : est le nombre de sous-porteuses dans le banc de filtres

m : est l'indice d'échantillon

n : L'indice d'échantillon à la sortie du block pré-traitement OQAM et l'entrée du block Post-traitement OQAM

g [m] : est la réponse impulsionnelle du filtre prototype

Où $D/2$ est le terme de retard qui dépend de L_g la longueur du filtre prototype.

Nous avons :

$$D = L_g = KM - 1 \quad (3.2)$$

Le terme de phase ϕ_{kn} garantit le respect de la condition d'orthogonalité réelle. Le terme de phase ϕ_{kn} assure le déphasage de $\pm\pi/2$ entre les symboles PAM transmis adjacents et peut être donné Par :

$$\phi_{kn} = \frac{\pi}{2(n+k)} + \epsilon \pi kn \quad (3.3)$$

Où ϵ peut prendre l'une des trois valeurs : [-1, 0, 1]

Les symboles a_{kn} sont déduits d'une constellation PAM réelle,

g [m] : est la réponse impulsionnelle du filtre prototype

Dans un canal parfait, le signal à la sortie du récepteur s'écrit comme suit : [20].

$$r_{kn} = \sum_{k'=0}^{M-1} \sum_{n'=-\infty}^{+\infty} a_{k',n'} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \mathfrak{g}_{k',n'}[m] \mathfrak{g}_{k,n}^*[m] \quad (3.4)$$

$[\mathbf{n}]$ étant un bruit gaussien processus avec variance $\sigma^2\eta$.

$$\mathfrak{g}_{k,n}[m] = \mathfrak{g}\left[m - \frac{nM}{2}\right] e^{j\frac{2\pi k}{M}\left(m - \frac{D}{2}\right)} e^{j\phi_{k,n}} \quad (3.5)$$

III.3.2 Principe du système FBMC-OQAM

L'idée principale de la technique FBMC/OQAM est de remplacer la modulation QAM habituelle par la modulation OQAM, pour cela un décalage d'une demi-période symbole $T/2$ est introduit entre la partie réelle et la partie imaginaire d'un symbole QAM donné. Si la partie imaginaire est retardée de $T/2$ sur une sous-porteuse, c'est la partie réelle qui sera retardée sur la sous-porteuse suivante [16]

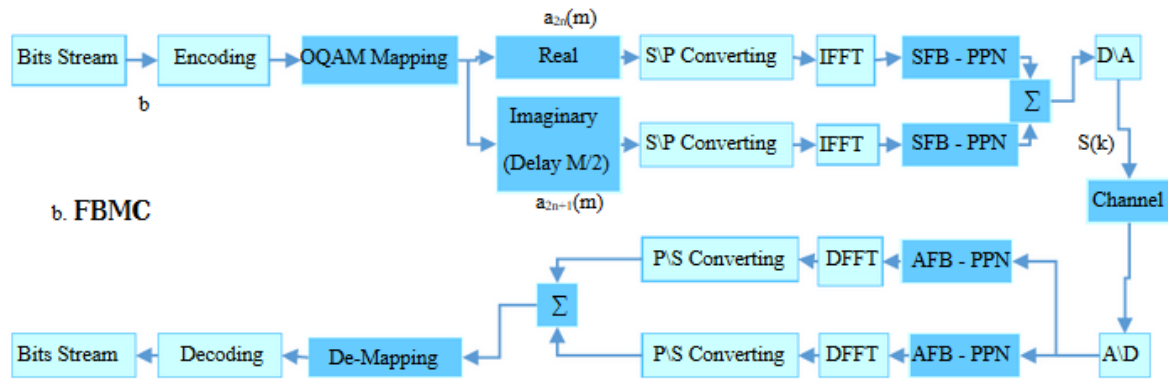


Figure III.1 Structure générale du système FBMC/OQAM [17]

III.3.3 Principe de traitement OQAM

Les symboles OQAM sont transmis plutôt que les symboles QAM, Pour effectuer cette modulation il y'a deux bloc principaux de traitement OQAM qui s'appelle « pré/post de traitement », l'un est placé à côté d'émetteur « pré/traitement » et l'autre est placé à côté de récepteur [31] [22].

III.3.3.1 Bloc pré/traitement OQAM

La figure ci-dessus illustre le principe de pré/traitement OQAM qui se compose de deux opérations [31] [22].

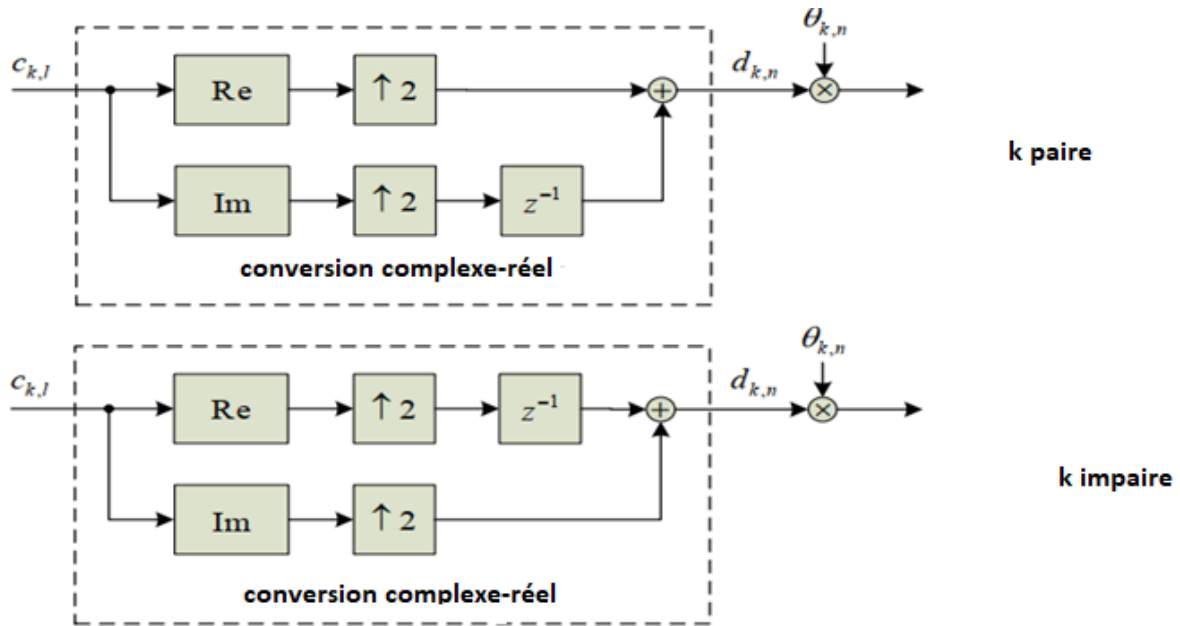


Figure III.2 Schéma générale de pré/traitement OQAM. [31]

La première opération : c'est une décomposition d'un symbole complexe $c_k[l]$ sur deux parties réel et imaginaire pour former deux nouveaux symboles $d_k[n]$ Et $d_k[n + 1]$ qui transmise à un débit $1/T$, cette opération appelle « conversion complexe/réelle » [31] [22]

$$d_k[n] = \begin{cases} Re(c_k[l], & k \text{ pair} \\ Im(c_k[l], & k \text{ impair} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$d_k[n + 1] = \begin{cases} Im(c_k[l], & k \text{ pair} \\ Re(c_k[l], & k \text{ impair} \end{cases} \quad (3.7)$$

Avec :

* $c_k[l]$: les symboles complexe

***Re** : Partie réel

***Im** : Partie imaginaire

* $d_k[n]$: sont des symboles de données à valeur réelle

* $d_k[n + 1]$: les nouveaux symboles

* $1/T$:le débit de transmission

* $T=1/\Delta f$ représente la période du signal.

* Δf l'espacement entre les sous-porteuses.

* L : L 'indice d'échantillon à l'entrée du bloc pré-traitement OQAM et la sortie de block post-traitement OQAM.

***n** : L'indice d'échantillon à la sortie du block pré-traitement OQAM et l'entrée du block post-traitement OQAM.

La deuxième opération : c'est une multiplication par $\theta_k[n]$ afin de maintenir les symboles orthogonaux.

Tel que :

$$\theta_k[n] = jK + n \tag{3.8}$$

A la sortie du bloc pré-traitement le signal de données $X_k[n]$ peuvent s'exprime comme suit :

$$X_k[n] = d_k[n]\theta_k[n] \tag{3.9}$$

III.3.3.2 Bloc Post-traitement OQAM

La figure ci-dessus illustre le schéma fonctionnel du post-traitement OQAM qui se trouve à la réception, il constitue de deux opérations principales [31] [22].

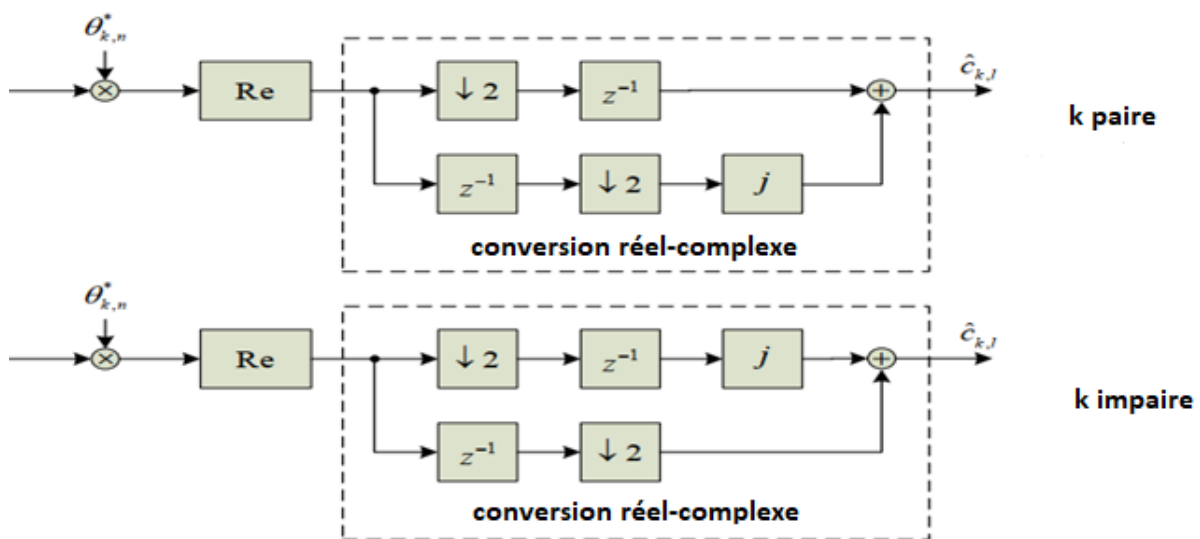


Figure III.3 Schéma fonctionnel du post-traitement OQAM. [31]

La première opération : c'est la multiplication par le complexe conjugué de $\theta_k[n]$ noté $\theta_k^*[n]$ suivie de l'opération qui se compose que de la partie réelle.

La deuxième opération : c'est la conversion réelles/complexes dans laquelle deux symboles réelles successifs forment un symbole de valeur complexe (l'un des symboles est multiplié par j)

La forme complexe notée s s'exprime comme suit : [19]

$$C_k[l] = \begin{cases} d_k[n] + jd_k[n+1] & k \text{ pair} \\ d_k[n+1] + jd_k[n] & k \text{ impair} \end{cases} \quad (3.10)$$

III.3.3.3 Banc de filtre (Analyse et synthèse)

Un banc de filtre est un ensemble de M filtres qui traite M signaux d'entrée pour produire M signaux de sorties, généralement Les bancs de filtres d'analyse et de synthèse sont associés, l'un décompose un signal pour appliquer un traitement à chaque signal de sous-bande, et l'autre recombine les signaux de sous-bandes traités pour construire le signal modifié [31].

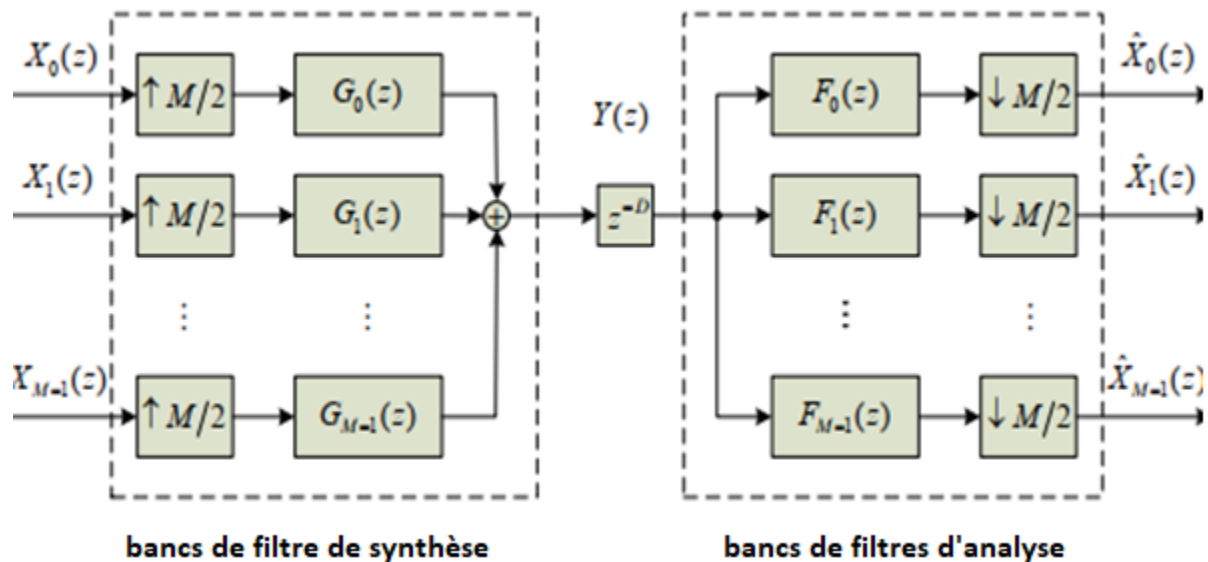


Figure III.4 Bancs de filtres de synthèse /d'analyse. [31]

La figure III.4 illustre un tel banc de filtres, le principe de cette transformée est :

$\mathbf{X}_k[\mathbf{Z}]$: Les signaux d'entrée

$M/2$: le facteur de sur-échantillonnage.

$\mathbf{G}_k[\mathbf{Z}]$: un filtre de synthèse

$\mathbf{g}_k[\mathbf{m}]$: la réponse impulsionnelle de filtre de synthèse $\mathbf{G}_k[\mathbf{Z}]$

$\mathbf{Y}_k[\mathbf{Z}]$: Les signaux à la sortie de filtre de synthèse

A l'émission : Les signaux d'entrée $X_k[Z]$ ou $k=0, \dots, K-1$ sont d'abord sur-échantillonnés par un facteur de $M/2$ puis filtré par un filtre de synthèse $G_k[Z]$. Sa réponse impulsionnelle est donnée par l'équation suivante [31] :

$$g_k[m] = p[m] e^{j\frac{2\pi k}{M}\left(m - \frac{Lp-1}{2}\right)} \quad (3.11)$$

Avec :

$$m=0, 1, \dots, Lp-1$$

L_p : est la longueur de filtre.

Ensuite, le signal de sortie $Y_k[Z]$ d'un banc de filtre de synthèse est formé lorsque tous les sous-signaux (appelé sous-bandes) sont recombinaés.

$F_k[Z]$: des filtres d'analyse

A la réception : de forme directe Un banc de filtre d'analyse est construit à l'aide de M filtres d'analyse et de M sous-échantillonneurs, comme indiqué dans la figure 2.8. Le signal d'entrée $Y(Z)$ est d'abord filtré par des filtres d'analyse $F_k[Z]$.

La réponse impulsionnelle de banc de filtre d'analyse $F_k[Z]$ est donnée par l'équation suivante [31] :

$$f_k[m] = g_k^*[Lp-1-m] \quad (3.12)$$

$$f_k[m] = p[Lp-1-m] e^{-j\frac{2\pi k}{M}\left(Lp-1-m - \frac{Lp-1}{2}\right)} \quad (3.13)$$

$$f_k[m] = p[m] e^{j\frac{2\pi k}{M}\left(m - \frac{Lp-1}{2}\right)} \quad (3.14)$$

Puis ces signaux sont sous-échantillonnés par un facteur de $M/2$ pour former les signaux de sorties

$X_k[Z]$.

Note : Le banc de filtres d'analyse est simplement une version du filtre de synthèse correspondant, inversée dans le temps et à complexe [32].

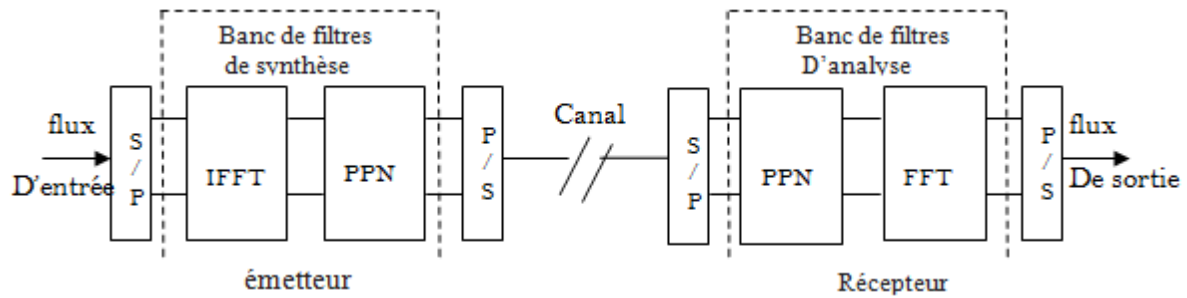


Figure III.5 Schéma fonctionnel de banque de filtres multi-porteuse (FBMC) [25].

D'où :

SFB : Les banque de filtres de synthèse

AFB : banque de filtres d'analyse

S/P : série parallèle

IFFT : Inverse Fast Fourier Transform

PPN : polyphase network

P/S : parallèle série

a) Structure polyphasé PPN : Les banque de filtres de synthèse (SFB) et les banque de filtres d'analyse (AFB) du système sans fil FBMC / OQAM introduisent une complexité de calcul élevée, car elles sont effectuées à un taux d'échantillonnage élevé entraînant une énorme quantité de calculs inutiles. Néanmoins, la complexité de calcul peut être réduite en exploitant des représentations polyphasées de SFB et AFB avec des opérations IFFT / FFT. La polyphasé peut offrir des simplifications drastiques, car les opérations de filtrage sont effectuées à un taux d'échantillonnage inférieur et évitent des calculs inutiles. [31]

b) FFT et IFFT : Les systèmes FBMC sont mis en œuvre en utilisant une combinaison de blocs de transformée de Fourier rapide (FFT) et de transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) qui sont des versions mathématiquement équivalentes de la DFT et de l'IDFT, respectivement, mais plus efficaces à mettre en œuvre. [19]

c) **Conversion Série /Parallèle** : Les données à transmettre prennent généralement la forme d'un flux de données en série. Par conséquent, un étage de conversion S/P est nécessaire pour convertir le flux de bits série d'entrée en données parallèle à transmettre dans chaque symbole FBMC, [19]

III.4 Avantage est inconvénient

a) Les avantages

- ✓ Largeur de bande plus élevée par rapport à d'autres l'orthogonale
- ✓ Aucun intervalle de garde et aucun préfixe cyclique ne sont nécessaires. De plus, aucune puissance de traitement supplémentaire n'est nécessaire pour gérer les intervalles de garde et des préfixes cycliques.
- ✓ Grâce à une conception de filtre bien localisée, des fuites spectrales plus basses peuvent être assurées.
- ✓ Dans le cas de FBMC, la performance peut être facilement améliorée par l'intégration de certains des mécanismes compatibles de traitement des signaux de soutien comme les schémas de diversité et les schémas de codage.
- ✓ Dans la FBMC, la séparation des signaux se fait par filtrage. Il n'y a pas un tel besoin critique de synchronisation parfaite entre utilisateurs (une sous-porteuse vide est proposée comme bande de garde entre deux utilisateurs asynchrones).
- ✓ La modulation FBMC, est un meilleur choix pour remplir les trous du spectre. [19]

b) Les inconvénients

- ✓ Auto-interférence générée pendant les modes de fonctionnement asynchrones et / ou dans des conditions de canal multi trajets en termes d'ICI, ISI.
- ✓ Une complexité excessive et parfois même une incompatibilité avec les techniques de traitement du récepteur lorsque l'on essaie de trouver des solutions à la distorsion électrique, aux interférences multi-trajets [19].

III.5 Massive MIMO

Un système MIMO est un système de communication sans fil pour lequel le transmetteur et le récepteur peuvent être équipés de plusieurs antennes pour exploiter les caractéristiques spatiales du milieu de propagation. La **figure III.6** illustre de façon conceptuelle un canal MIMO ayant nT antennes de transmission et nR antennes réceptrices. Les antennes au transmetteur et au récepteur forment respectivement des réseaux et collaborent entre elles pour accroître les performances. [26]

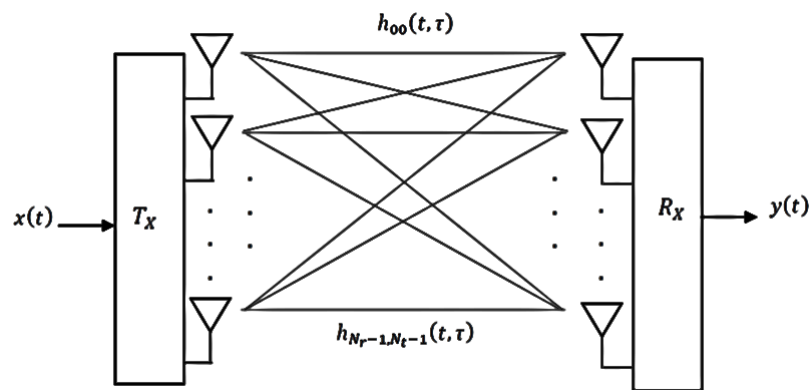


Figure III.6 Représentation du canal MIMO. [10]

Les technologies MIMO utilisent des réseaux d'antennes à l'émission et/ou à la réception afin d'améliorer la qualité du rapport signal sur bruit (Signal-to-noise ratio ou SNR en anglais) et / ou le débit de transmission. Cela permet aussi de pouvoir diminuer le niveau d'émission des signaux radio afin de réduire la pollution électromagnétique environnante, mais aussi de prolonger l'autonomie des batteries dans le cas d'un téléphone.

On peut considérer trois catégories principales de MIMO :

La diversité spatiale MIMO : on transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Une version simplifiée n'utilise le signal que d'une seule des antennes, celle qui reçoit le meilleur signal à un instant donné (antennes polarisées). Cela permet d'augmenter le ratio signal sur bruit (grâce au gain de diversité) de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous-canaux MIMO soient décorrélés (indépendants) les uns des autres. [17]

Le multiplexage spatial MIMO : chaque message est découpé en sous-messages. On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont ré-assemblés pour reconstituer le message d'origine. Comme pour la diversité MIMO, les sous-canaux de propagation doivent être décorrélés. Le multiplexage MIMO permet d'augmenter les débits de transmission (grâce au gain de multiplexage). Les techniques de diversité et de multiplexage MIMO peuvent être appliquées conjointement. Par exemple pour un système MIMO 5 x 5 (c'est-à-dire 5 antennes d'émission et 5 antennes de réception), on peut configurer un sous-système MIMO 2 x 2 pour faire du multiplexage et un sous-système MIMO 3 x 3 pour faire de la diversité MIMO. [31]

Le MIMO - Beamforming : on utilise le réseau d'antenne MIMO pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé).

On distingue aussi 2 variantes de MIMO selon le nombre d'utilisateurs recevant simultanément des données sur les mêmes porteuses [17] :

Le SU-MIMO (Single User) :

le plus courant, permet d'envoyer des données via les différentes antennes vers un seul utilisateur à un instant donné ; il impose d'avoir plusieurs antennes dans chaque récepteur. Ce mode permet d'atteindre un débit unitaire crête plus élevé. [17]

Le MU-MIMO (Multi User) : permet de partager le débit radio et d'émettre des flux de données vers 2 (ou plusieurs) utilisateurs, avec par exemple 4 antennes en émission et 2 antennes dans chaque récepteur. Il utilise le mode « multiplexage spatial » et permet d'augmenter l'efficacité spectrale de la cellule radio (le débit global) sans imposer un nombre élevé d'antennes dans chaque terminal. [16]

- Les systèmes MIMO massifs présentent un large éventail d'avantages en utilisant un grand nombre d'antennes. En particulier, ils permettent de fournir de la SDMA et d'améliorer le spectre spectral et efficacité énergétique des systèmes.
- Pour la liaison montante, les utilisateurs communiquent simultanément avec un BS équipé avec un grand nombre d'antennes grâce au massif MIMO combinant la technologie unique.
- Les techniques de combinaison MRC, ZF et MMSE sont utilisées respectivement pour maximiser le SNR, pour minimiser la puissance MUI et avoir un compromis entre le SNR et la puissance MUI.
- Pour la liaison descendante, une BS équipée d'un grand nombre d'antennes simultanément sert uniquement les utilisateurs grâce aux techniques massives de formation de faisceaux MIMO.
- Les techniques de combinaison MRT, ZF et MMSE sont utilisées respectivement pour maximiser la puissance reçue, pour minimiser la puissance MUI et avoir un compromis entre la puissance reçue et la puissance MUI. [17]

III.6 Conclusion

FBMC est considéré comme une technique plus avantageuse que l'OFDM du fait de sa grande efficacité spectrale. Cependant le filtrage par sous-porteuse sera plus long et nécessitera aussi un traitement OQAM.

Le FBMC avancé est exploré et conçu là où le CP n'est pas utilisé à la place d'un réseau de filtres.

Comme toute autre technique, le FBMC présente aussi des inconvénients qui se résument surtout dans l'ensemble interférences internes contenues dans un canal dispersé dans le temps et de l'abandon du préfixe cyclique entre les symboles, il est également possible que le FBMC perde orthogonalement entre les sous-porteuses, ceci est le principal problème de son implémentation ce. Des techniques telles que l'égalisation, les schémas de suppression des interférences et les techniques de multiplexage spatial sont utilisées pour réduire l'effet des interférences internes dans les systèmes FBMC.

Chapitre I

Introduction Générale sur la 5G.

Chapitre I

Introduction générale sur la 5G

1. Historique

Le développement de la 5G en Chine est principalement l'œuvre de China Mobile, Huawei, et ZTE, en coopération avec Ericsson depuis 2015. [1]

En octobre 2014, le chinois Huawei et l'opérateur japonais NTT DoCoMo, travaillant avec le fabricant d'électronique NEC, font un test conjoint à grande échelle de réseau 5G via la technologie Massive, Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO) à Chengdu (province du Sichun) [2].

En France, le 22 septembre 2015, l'ARCEP autorise Orange à tester des technologies 5G dans les bandes de 3,7 GHz, 10,5 GHz et 17 GHz dans la ville de Belfort (Territoire de Belfort, Franche-Comté) [3].

En juillet 2016, l'Institut de recherche technologique b-com est retenue par l'Arcep pour effectuer un test de la 5G dans la ville de Rennes [4].

En décembre 2016 Huawei et NTT DoCoMo effectuent un test dans le quartier Minato Mirai 21 à Yokohama (région de Kantō), sur les fréquences de 4.5 GHz, avec une macro-cellule et 23 équipements d'utilisateurs. Ils obtiennent un débit de 11,29 Gbit/s, avec une latence de 0,5 ms. [2].

En janvier 2017, le LETI annonce le déploiement sur le complexe Minatec d'un réseau 5G afin de tester une nouvelle forme d'onde multiporteuse. [5] Le même mois, Orange, en partenariat avec le géant suédois Ericsson, devient le premier opérateur français à réaliser un test de la 5G. Les résultats permettent d'atteindre un potentiel 75 fois supérieur à celui de la 4G12. Cette performance est toutefois à prendre avec des réserves puisque les conditions optimales du laboratoire dans lequel s'est déroulé le test ne permettent pas de garantir un tel débit dans un environnement lambda.

En février 2017, l'opérateur sud-coréen KT fait des démonstrations de réalité virtuelle en 5G au Mobile World Congress (MWC) de Barcelone. [7]

En France, le 22 juin 2017, l'ARCEP publie un communiqué de presse indiquant qu'elle souhaite préparer la procédure d'attribution de fréquences dans les bandes 3,5 GHz (3 400 à 3 800 MHz) pour l'accès fixe à Internet à très haut débit à partir de 2018. L'autorité de régulation des communications électroniques et des postes souhaite également s'engager dans les travaux préparatoires au lancement des réseaux mobiles 5G dans la bande des 3,460 à 3,800 GHz vers 2020. [8]

En juillet 2017, Telecom Italie Mobile signe un accord avec le gouvernement du micro-État Saint-Marin en vue de faire passer son réseau 4G en 5G. [9]

En 2013, un groupe de travail sur la 5G a été créé conjointement par le ministère de l'Industrie et de la Technologie, la Commission nationale pour le développement et la réforme et le ministère de la Science et de la Technologie.

La Chine a également collaboré avec les États-Unis, l'Union européenne et la Corée du Sud via un mécanisme dédié à la recherche sur la technologie 5G.

Au début de l'année 2016, la Chine a lancé ses premières recherches sur la technologie 5G. Le pays a d'ores et déjà terminé deux séries d'essais sur la 5G et conduit actuellement une troisième série. La mise en application de la 5G normalement a débuté en 2019.

Selon le Beijing Youth Daily, les trois grands opérateurs télécom chinois que sont China Mobile, China Unicom et China Telecom ont reçu l'autorisation de mettre en place des réseaux 5G dans les grandes villes du pays.

China Unicom va lancer des projets pilotes dans 16 villes dont Beijing, Tianjin, Qingdao, Guiyang et Zhengzhou.

China Mobile va effectuer des tests hors connexion dans 5 villes de l'est et du sud du pays et y installera plus de 100 relais 5G. Elle mettra par ailleurs en place plusieurs démonstrations de la 5G dans 12 villes.

China Telecom a confirmé des projets pilotes à Xiong'an, à Shanghai, à Suzhou, à Shenzhen, à Chengdu et à Lanzhou et compte étendre son réseau 5G à 6 villes supplémentaires.

China Unicom a annoncé avoir lancé une mise à jour gratuite de ses puces pour les utilisateurs de la 2G ainsi qu'un arrêt des fréquences 2G pour les passer au réseau 5G.

Dans le programme publié par les opérateurs de communication mondiaux, la 5G commerciale est entrée dans la phase officielle du compte à rebours. Le réseau mondial de la 5G devrait être pleinement déployé en 2020. [32]

I.2 Définition

Dernier avatar de la technologie cellulaire, la cinquième génération (5G) sans fil vise à augmenter la vitesse et la réactivité des réseaux sans fil. Avec elle, la transmission des données sur connexions haut débit sans fil pourrait atteindre, selon certaines estimations, une vitesse de 20 Gbit/s, supérieure à celle des réseaux filaires, et une latence égale ou inférieure à 1 ms pour les usages à boucle de retour en temps réel. La 5G, avec davantage de bande passante et sa technologie d'antenne avancée, ouvre aussi la voie à la croissance exponentielle des données transmises sur les systèmes sans fil. [10]

La technologie 5G repose sur 8 exigences techniques :

- *Jusqu'à 10Gbit/s de débit de données->de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G et 4.5G
- *1 milliseconde de latence
- *1000 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)
- *99.999% de disponibilité
- *100% de couverture
- *90% de réduction en utilisation d'énergie du réseau
- *Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils IoT a faible consommation

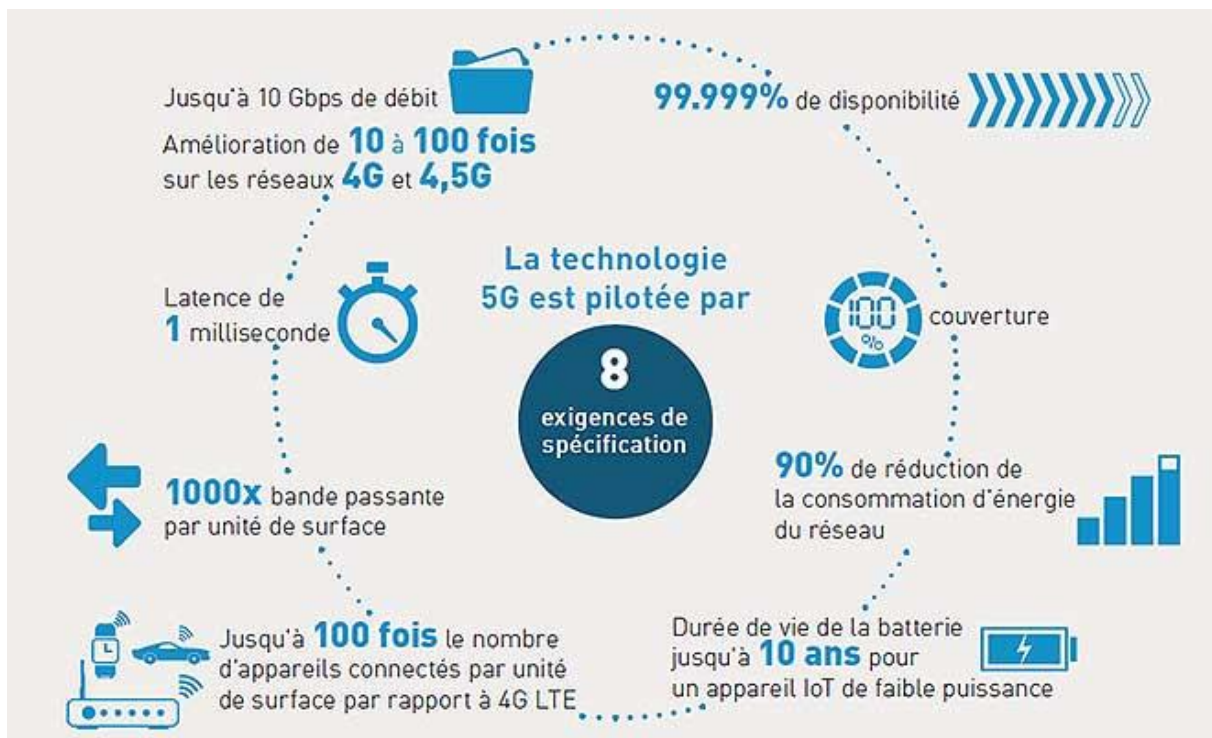


Fig1.1 Principales caractéristiques de la 5G. [10]

I.3 Principe de la 5G

Les réseaux sans fil sont formés de sites cellulaires subdivisés en secteurs qui envoient les données par ondes radio. Les technologies sans fil LTE (Long-Term Evolution) de très haut débit mobile de 4e génération (4G) jettent les bases de la 5G. Contrairement à la 4G et ses grandes et puissantes antennes relais nécessaires à l'émission des signaux sur de longues distances, les signaux 5G sans fil seront transportés par de nombreuses petites stations de base placées par exemple sur des lampadaires ou sur les toits. [10]

S'il faut recourir à plusieurs petits sites cellulaires, c'est parce que les ondes millimétriques, qui émettent sur la bande de fréquences de 30 à 300 GHz utilisée pour le haut débit de la 5G, ne se

propagent que sur de courtes distances et sont exposées aux interférences d'origine météorologique et physique (ex. les bâtiments).

Les générations précédentes de la technologie sans fil utilisaient des bandes de fréquence inférieure dans le spectre. Pour compenser les faiblesses des ondes millimétriques en termes de distance et d'interférence, les acteurs du secteur envisagent d'exploiter aussi le spectre des fréquences plus basses pour les réseaux 5G.

Les opérateurs réseau pourraient ainsi réutiliser le spectre qui leur appartient pour construire leurs nouveaux réseaux. Dans le spectre des fréquences plus basses, on atteint des distances plus éloignées mais à des débits et des capacités inférieurs à ceux des ondes millimétriques [10].

I.4 l'objectif de la 5G

Les principaux industriels et opérateurs du secteur des communications sans fil élaborent actuellement les objectifs et standards de la cinquième génération de réseau mobile (la 5G). L'étape de standardisation démarrée au sein de différents consortiums d'opérateurs et industriels (3GPP, NGMN...) permettra de mettre en place une réglementation à l'horizon 2020. Le premier objectif à atteindre concerne le débit montant et descendant alloué à chaque utilisateur afin d'assurer un accès internet haut débit depuis un smart phone ou tablette. Dans un contexte d'utilisation en mobilité faible ou nulle, le débit visé en bord de cellule par utilisateur est supérieur à 100 Mbit/s et le débit maximum par utilisateur devra dépasser les 10 Gbit/s. Dans un cas d'utilisation en forte mobilité (par exemple, dans le cas de communications entre véhicules), l'amélioration de l'architecture du réseau devra notamment permettre de réduire la latence de la communication. L'objectif est d'obtenir un délai de transmission inférieur à 10 ms. Pour d'autres applications de l'IoT (télémédecine, sécurité...), un haut niveau de fiabilité sera également requis. Des modifications majeures dans l'architecture du réseau et l'apport de nouvelles technologies sans fil seront requises dans les réseaux 2G/3G/4G actuels pour atteindre ces objectifs.

Terminaux mobiles associés seront des points décisifs pour parvenir à une solution viable du point de vue économique. [6]

I.5 Les catégories d'usage de la 5G

Trois grandes catégories d'usages de la 5G sont définies dans l'IMT- 2020 de l'UIT ainsi que les principaux cas d'usage associés :

eMBB (Enhanced Mobile Broadband) pour l'ultra haut débit en extérieur et intérieur dans des usages courants comme pour la création ou la consommation de vidéo mobile. Cela permettra de dépasser des débits théoriques de 1 Gbits/s, soit d'aller plus vite que la fibre FTTH actuelle. Ceci étant évidemment à nuancer : on ne disposera quasiment jamais de ce débit, tout comme le débit de la 4G actuel en ville est loin d'atteindre le maximum théorique. Si vous arrivez à obtenir plus de 30 Mbits/s en 4G, vous êtes très fort !

mMTC (Massive Machine Type Communications) pour la communication des objets connectés avec des qualités de service variables selon les besoins. C'est la partie de la 5G qui va concurrencer de manière assez frontale les réseaux Sigfox et LoRA, modulo les investissements réels dans le domaine et les offres commerciales qui seront proposées et leur support par les composants électroniques du marché.

uRLLC (Ultra-reliable and Low Latency Communications) pour des communications ultra-fiables adaptées aux applications critiques nécessitant une très faible latence, comme pour des applications de sécurité, les transports ou dans la santé. [11]

I.6 Les types de la modulation en 5G

Dans un système de communication, les signaux en bande de base ne sont transmis par le canal qu'après avoir été modulés. De ce fait, la validité et la fiabilité de la transmission dépendent fortement des schémas de modulation. Actuellement, deux mécanismes primaires sont appliqués. L'une est la technologie à spectre étalé à porteuse unique, telle que CDMA (code multiple multiple access). La seconde est la technique de modulation multi-porteuse, comme l'OFDM. En bref, l'OFDM (multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence) est largement mis en œuvre dans la communication sans fil, avec des avantages d'efficacité spectrale, de complexité plus faible et de bonnes performances grâce à la propagation à trajets multiples. Dans le système 5G, un certain nombre de scénarios de formes d'onde multi-porteuses sont proposés, tels que FBMC (banque de filtres multi-porteuses), UFMC (filtre universel multi-porteuses), Transformée de Fourier discrète - Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (DFT-OFDM) et GFDM (généralisé multiplexage en di- vision en fréquence), etc. Ceux-ci sont brièvement présentés dans les sections suivantes. [33]

I.6.1 FBMC

Par rapport à OFDM, les filtres sont attribués à chaque sous-porteuse respectivement dans FBMC dans le but d'éliminer les interférences entre porteuses (ICI), et le préfixe cyclique (CP) n'est pas nécessaire tandis que FBMC est basé sur OQAM pour garantir l'orthogonalité et éviter les inters interférence de symboles (ISI). [34]

I.6.2 UFMC

La forme d'onde UFMC est une dérivée de la forme d'onde OFDM combinée à un post-filtrage en utilisant un filtre individuel par sous-bande. [35]

I.6.3 GFDM

La forme d'onde GFDM est basée sur le filtrage temps-fréquence d'un bloc de données, ce qui conduit à une forme d'onde flexible et non orthogonale [12]. Dans GFDM, il est nécessaire d'implémenter un schéma d'annulation d'interférence et d'ajouter CP à la fin de chaque bloc de symboles.[12]

I.7 Les avantages de la 5G

I.7.1 Très haut débit

Le concept ultra-haut vitesse est très facile à comprendre. Comme la communication 5G est basée sur la technologie de développement de la communication 4G, l'amélioration de la vitesse de communication est naturellement une exigence fondamentale. Selon les résultats des recherches de différents laboratoires, la communication 5G offre une vitesse de connexion supérieure à celle de la communication 4G et une vitesse de téléchargement moyenne de 10 Gbps, soit dix fois celle de la communication 4G actuelle. La transmission à haute vitesse permet de faire face aux goulets d'étranglement de la bande passante, tels que les téléchargements instantanés de gros fichiers, les flux de données en temps réel de haute qualité, etc.

Le débit élevé de la transmission des données signifie également des solutions téléphoniques et vidéo de haute qualité qui améliorent considérablement l'expérience utilisateur sur des appareils mobiles. [38]

I.7.2 Des temps de latence ultra faible

Des temps de latence ultra faible est une autre caractéristique de la communication 5G. Avec une précision de retard aussi faible que 1 ms, les gens peuvent difficilement ressentir l'existence d'un retard. La faible latence facilite la télémédecine, les voitures sans conducteur, et permet de rapprocher la distance du monde.

Avec une latence ultra faible, vous pouvez même jouer à des jeux de haute qualité sans retard avec des joueurs du monde entier, ou partager un espace de réalité virtuelle sous forme de VR sans vous sentir anormal. [12]

I.7.3 Multi-périphériques connectés en même temps

Sous le réseau de communication 5G, le nombre d'appareils connectables par kilomètre carré a atteint 1 million, ce qui permet à un grand nombre d'appareils de se connecter et d'échanger

simultanément des données constitue une base technique pour le futur Internet des objets et les villes intelligentes.

L'Internet des objets est la mise en réseau d'objets. Les informations peuvent être fournies entre les objets par leurs propres capteurs. Les villes intelligentes sont une vision basée sur l'Internet des objets. [12]

Par exemple, les services en nuage seront plus profondément intégrés dans tous les appareils à l'avenir, qui seront entièrement en réseau et pourront être contrôlés à distance par des appareils mobiles. L'ère du contrôle acoustique deviendra également une réalité. Tout cela travaillera ensemble pour construire une société plus intelligente. La connexion simultanée multi-périphérique est également à la base de l'industrie 4.0 [12].

I.7.4 Les inconvénients de la 5G

Le futur réseau 5G suscite néanmoins quelques inquiétudes notamment en matière d'exposition aux ondes. En effet, à l'heure où l'impact des radiofréquences sur notre santé et sur l'environnement fait débat, l'arrivée de la 5G, tout comme la 4G, augmentera obligatoirement l'exposition aux ondes avec l'installation de nouvelles antennes pour assurer une bonne couverture 5G du territoire. [36]

Pour évaluer si la 5G présente un danger pour notre santé, les expérimentations pilotes actuellement menées vont permettre de mesurer les niveaux d'exposition du public aux ondes. Sachant que les études menées jusqu'à présent sur les radiofréquences par les autorités sanitaires internationales comme l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) indiquent qu'il n'existe pas de preuve scientifique d'un risque avéré pour la santé lorsque l'exposition aux ondes radio est inférieure aux seuils recommandés.

Le danger 5G est également annoncé en matière de sécurité de réseau. Le réseau 5G permettra, en effet, de définir des priorités, permettant de gérer au mieux les ressources en fonction des usages. Concrètement, les connexions au réseau 5G seront différentes en fonction des besoins des appareils connectés. Par exemple, un appareil de télé-chirurgie, qui nécessite un débit ultra-rapide et un temps de latence minimal, profitera d'un réseau 5G plus réactif que votre smartphone. Cependant, cette avancée technologique qu'offrira la 5G ne garantit, à priori, pas encore une sécurité absolue du réseau. [36]

I.10 conclusion

La technologie sans fil 5G apporte non seulement une avancée technologique, mais constitue également un écosystème de bout en bout. Elle vise à créer une société tout mobile et tout connectée.

À l’instar des inventions des voitures et des téléphones qui ont fait époque, la 5G changera les règles du monde et notre façon de travailler, voyager, communiquer et se divertir.

Si les gouvernements et les opérateurs de téléphonie mobile continuent d’investir dans la 5G et de la connectivité à divers secteurs, il apportera un réel changement dans le monde. Le développement de la 5G changera davantage notre vie et notre société, favorisera une nouvelle révolution de l’information.

Chapitre II

**Canal à onde centimétrique
et canal à onde
millimétriques.**

2.1 Introduction

Les réseaux 5G sont à nos portes et cette nouvelle génération de communication sans fil est alimentée par une nouvelle technologie connue sous le nom d'onde millimétrique (mmWave). La technologie mmWave n'est qu'une partie de ce que les futurs réseaux 5G utiliseront. Vous avez peut-être également entendu parler des fréquences « basse bande » et des fréquences « inférieures à 6 GHz », qui feront également partie de la norme, et lorsqu'elles seront combinées, elles offriront des vitesses de données beaucoup plus rapides aux clients, entre autres avantages. [13]

La 5G devrait utiliser en partie des bandes de fréquences supérieures à 24GHz. Ces ondes millimétriques, correspondent à des fréquences 10 à 30 fois plus élevées que celles actuellement utilisées par les réseaux mobiles (700MHz à 2.600MHz en France).

Ces fréquences ont l'avantage d'offrir des capacités de très haut débit.

En revanche, leur propagation est plus limitée : la portée n'est que de quelques centaines de mètres. La transmission n'est souvent possible qu'en ligne directe, sans obstacle entre l'émetteur et le terminal. Elles seront donc utilisables uniquement en zone urbaine très dense.

Ces nouvelles fréquences représentent une des difficultés majeures que les constructeurs de smartphones doivent résoudre. Le système électronique d'antennes à intégrer est beaucoup plus encombrant que pour la 4G.

Ces mêmes constructeurs ont en revanche déjà commencé à commercialiser des routeurs 5G.

Ces ondes millimétriques sont en effet aussi utilisées pour raccorder des box 5G, alternative à la fibre optique pour offrir des connexions Internet fixes. [14]

II.2 Ondes centimétriques

Les ondes radio ayant une longueur d'onde λ comprise entre 1 et 10 cm traversent l'atmosphère terrestre avec peu de distorsion. L'absorption d'ondes centimétriques dans la troposphère par la vapeur d'eau et les gouttes de pluie n'est substantielle que pour les vagues de $\lambda < 3$ cm, et l'ionosphère est pratiquement transparente pour ces ondes. Les ondes centimétriques peuvent donc être utilisées pour l'exploitation de satellites de communication et de liaisons de communication entre la Terre et l'espace. Dans des conditions terrestres, les ondes centimétriques se propagent dans les limites de la ligne de visée. Ils peuvent se

propager sur de plus grandes distances en étant dispersés à partir d'inhomogénéités dans la troposphère [15].

La très haute fréquence (SHF) est la désignation de l'UIT pour les radiofréquences (RF) dans la gamme entre 3 et 30 gigahertz (GHz). Cette bande de fréquences est également connue sous le nom de bande centimétrique ou onde centimétrique car les longueurs d'onde varient de un à dix centimètres. Ces fréquences se situent dans la bande micro-ondes, donc les ondes radio avec ces fréquences sont appelées micro-ondes. La petite longueur d'onde des micro-ondes leur permet d'être dirigées dans des faisceaux étroits par des antennes à ouverture telles que des antennes paraboliques et des antennes à corne, elles sont donc utilisées pour la communication point à point et les liaisons de données [13]. Cette gamme de fréquences est utilisée pour la plupart des émetteurs radar, des réseaux locaux sans fil, des communications par satellite, des liaisons de relais radio micro-ondes et de nombreuses liaisons de données terrestres à courte portée. Ils sont également utilisés pour le chauffage dans le chauffage micro-ondes industriel, la diathermie médicale, l'hyperthermie micro-ondes pour traiter le cancer et pour cuire les aliments dans des fours à micro-ondes.

II.2.1 Propagation

Les micro-ondes se propagent uniquement par ligne de vue ; en raison de la faible réfraction due à leur courte longueur d'onde, les ondes de sol et la réflexion ionosphérique (propagation par ondes célestes ou "sautées") vues avec des ondes radioélectriques de basse fréquence ne se produisent pas. Bien que dans certains cas, ils puissent pénétrer suffisamment dans les murs du bâtiment pour une réception utile, des droits de passage dégagés vers la première zone de Fresnel sont généralement nécessaires. Les longueurs d'onde sont suffisamment petites aux fréquences micro-ondes pour que l'antenne puisse être beaucoup plus grande qu'une longueur d'onde, ce qui permet de construire des antennes hautement directionnelles (à gain élevé) qui peuvent produire des faisceaux étroits. Par conséquent, ils sont utilisés dans les liaisons de communication terrestre point à point, limitées par l'horizon visuel à 30–40 miles (48–64 km). Ces antennes à gain élevé permettent la réutilisation des fréquences par des émetteurs proches. La longueur d'onde des ondes SHF crée de fortes réflexions à partir d'objets métalliques de la taille d'automobiles, d'avions, de navires et d'autres véhicules. L'atténuation et la diffusion de l'humidité dans l'atmosphère augmentent avec la fréquence, ce qui limite l'utilisation de hautes fréquences SHF pour les applications à longue portée.

De petites quantités d'énergie micro-ondes sont dispersées au hasard par des molécules de vapeur d'eau dans la troposphère. Ceci est utilisé dans les systèmes de communication troposcatter, fonctionnant à quelques GHz, pour communiquer au-delà de l'horizon. Un puissant faisceau micro-ondes est dirigé juste au-dessus de l'horizon ; lorsqu'elle passe à travers la tropopause, certaines des micro-ondes sont diffusées vers la Terre vers un récepteur au-delà de l'horizon. Des distances de 300 km peuvent être atteintes. Ceux-ci sont principalement utilisés pour la communication militaire. [15]

II.2.2 Antennes

Les micro-ondes sont souvent portées par un guide d'ondes. Les longueurs d'onde des ondes SHF sont suffisamment petites pour pouvoir être focalisées en faisceaux étroits par des antennes à gain élevé d'un demi-mètre à cinq mètres de diamètre. Les antennes directives aux fréquences SHF sont principalement des antennes à ouverture, telles que les antennes paraboliques (le type le plus courant), les lentilles diélectriques, les antennes à fente et à corne. Les grandes antennes paraboliques peuvent produire des faisceaux très étroits de quelques degrés ou moins et doivent souvent être dirigées à l'aide d'une ligne de visée. Pour les applications omnidirectionnelles comme les appareils sans fil et les téléphones portables, de petits dipôles ou monopôles sont utilisés. L'antenne patch est un autre type, souvent intégrée dans la peau d'un avion. Un autre type d'antenne pratique aux fréquences micro-ondes est le réseau phasé, composé de nombreux dipôles ou antennes patch sur une surface plane, alimentés chacun par un déphaseur, ce qui permet de diriger électroniquement le faisceau du réseau. La courte longueur d'onde nécessite une grande rigidité mécanique dans les grandes antennes, pour garantir que les ondes radio arrivent au point d'alimentation en phase. [15]

II.2.3 Guide d'onde

Aux fréquences micro-ondes, les types de câbles (lignes de transmission) utilisés pour conduire des ondes radioélectriques à basse fréquence, tels que les câbles coaxiaux, ont des pertes de puissance élevées. Par conséquent, pour transporter des micro-ondes entre l'émetteur ou le récepteur et l'antenne avec de faibles pertes, un type spécial de tuyau métallique appelé guide d'onde doit être utilisé. En raison du coût élevé et des exigences de maintenance des longs parcours de guides d'ondes, dans de nombreuses antennes micro-ondes, l'étage de sortie de l'émetteur ou l'extrémité avant RF du récepteur est situé à l'antenne. [14]

II.2.4 Les avantages des micro-ondes

Les fréquences SHF occupent un "point idéal" dans le spectre radioélectrique qui est actuellement exploité par de nombreux services radio [14]. Il s'agit de la bande de fréquences la plus basse où les ondes radio peuvent être dirigées dans des faisceaux étroits par des antennes de taille appropriée afin de ne pas interférer avec les émetteurs à proximité sur la même fréquence, ce qui permet une réutilisation des fréquences. En revanche, ce sont les fréquences les plus élevées qui peuvent être utilisées pour les communications terrestres à longue distance ; des fréquences plus élevées dans la bande EHF (ondes millimétriques) sont fortement absorbées par l'atmosphère, limitant les distances de propagation pratiques à un kilomètre. La haute fréquence confère aux liaisons de communication micro-ondes une très grande capacité de transmission d'informations (bande passante).

Alors que les efforts de recherche et de normalisation pour la 5G s'accélèrent, il est désormais largement admis que les technologies développées pour le spectre sous 6 GHz (onde cm) et au-dessus de 6 GHz (onde mm) joueront un rôle essentiel dans le paysage 5G. La phase I de la normalisation 3GPP NR se concentrera sur le spectre inférieur à 30 GHz, pour les applications eMBB (extreme Mobile Broadband) de la 5G. Les récentes annonces de la Commission européenne sur les bandes pionnières de la 5G dans le spectre 700 MHz, 3,5 GHz et 26 GHz sont une preuve supplémentaire de l'importance de ces 2 composants pour des solutions RAN 5G complètes. [14]

II.3 Les ondes millimétriques

Les ondes millimétriques sont des ondes radioélectriques couvrant les fréquences de 30 à 300 GHz, avec une longueur d'onde de 1 à 10 millimètres. MMW partage les caractéristiques des micro-ondes et des ondes infrarouges lointaines puisque la longueur d'onde se situe entre ces deux ondes. Leur usage dans les télécommunications s'étend typiquement de 30 à 70 GHz. On examinera, ci-après la bande de 27 à 65 GHz, qui correspond au haut de la bande nommée Ka et la partie basse de l'EHF (Extremely High Frequency), elles jouent un rôle important dans la communication, Avec une fréquence d'ondes millimétriques dans la fenêtre atmosphérique, nous pourrions entreprendre une grande capacité de communication satellite-sol ou de communication relais sol. Avec l'antenne à faisceau étroit et les faibles performances des lobes latéraux d'une antenne à ondes millimétriques. [13]

II.3.1 L'importance dans le cadre de la 5 G

La technologie mmWave peut être utilisée pour une transmission de données avec un débit élevé en utilisant une modulation de faible ordre, ce qui permet de mapper moins de bits / symboles. Les schémas de modulation à faible ordre consomment moins de puissance, réduisent la complexité et économisent les coûts associés. Ces avantages sont vitaux dans le cadre de la 5G.

La technologie MmWave trouve également des applications dans les systèmes cellulaires. L'une des premières applications de la communication sans fil mmWave était le transfert de données gigabit le long d'un chemin en ligne de visée (LOS), comme illustré sur la figure 2.1. Des portées de transmission de l'ordre de 1 km sont possibles si des antennes à très haut gain sont déployées. Jusqu'à récemment, cependant, le backhaul 60 GHz et mmWave a été largement considéré comme un marché de niche et n'a pas suscité d'intérêt significatif. La conception de la couche physique de raccordement à 60 GHz (PHY) supposait traditionnellement que les composants coûteux fournissaient une grande fiabilité et maximisaient la portée, résultant en un équipement encombrant et réduisant l'avantage de coût par rapport au raccordement câblé ; cependant, une nouvelle application de liaison sans fil émerge. Les systèmes cellulaires augmentent en densité (entraînant des distances de 1 km ou moins entre les stations de base). Parallèlement, les stations de base cellulaires nécessitent des connexions de liaison de plus grande capacité pour fournir une vidéo mobile à haute vitesse et pour mettre en œuvre des stratégies de coopération multicellulaire avancées. Si les périphériques de liaison sans fil sont en mesure de tirer parti des récentes réductions des coûts du matériel mmWave, ils pourront peut-être répondre à ce besoin croissant à moindre coût avec une plus grande flexibilité de l'infrastructure. De plus, les systèmes de liaison étudient les stratégies LOS MIMO pour étendre le débit aux capacités des fibres. Alors que les opérateurs continuent de se déplacer vers des cellules de plus petite taille pour exploiter la réutilisation spatiale, le coût par station de base diminuera à mesure qu'ils deviendront plus abondants et plus densément répartis dans les zones urbaines. Ainsi, le backhaul sans fil sera essentiel pour la flexibilité du réseau, un déploiement rapide et une réduction des coûts d'exploitation continus. Par conséquent, le raccordement sans fil est susceptible de réapparaître comme une application importante des communications sans fil à 60 GHz et mmWave. En fait, nous envisageons que les futures infrastructures cellulaires et WLAN soient capables de gérer simultanément les connexions de liaison, de liaison et de localisation à l'aide du spectre mmWave. [12]



Fig. 2.1 Les liaisons et relais sans fil peuvent être utilisés pour connecter plusieurs sites cellulaires et abonnés ensemble. [12]

Nous prévoyons que mmWave jouera un rôle de premier plan dans les réseaux cellulaires de cinquième génération (5G). Au cours des dernières générations de technologie cellulaire, diverses technologies PHY ont réussi à atteindre des niveaux ultra-élevés d'efficacité spectrale (bits / sec / Hz), notamment le multiplexage par division de fréquence orthogonale, plusieurs antennes et un codage de canal efficace. Les réseaux hétérogènes, la transmission multipoint coordonnée, les relais et le déploiement massif de petites cellules ou d'antennes distribuées promettent d'augmenter encore l'efficacité spectrale de la zone (bits / s / Hz / km²). L'accent mis sur l'efficacité spectrale de la zone est le résultat de largeurs de bande extrêmement limitées disponibles dans les bandes UHF et hyperfréquences où les systèmes cellulaires sont déployés, comme illustré sur la figure 2.2. Le cellulaire MmWave changera le paradigme de fonctionnement actuel en utilisant le spectre mmWave inexploité. [12]

Band	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Carrier bandwidth (MHz)
700 MHz	746–763	776–793	1.25 5 10 15 20
AWS	1710–1755	2110–2155	1.25 5 10 15 20
IMT extension	2500–2570	2620–2690	1.25 5 10 15 20
GSM 900	880–915	925–960	1.25 5 10 15 20
UMTS core	1920–1980	2110–2170	1.25 5 10 15 20
GSM 1800	1710–1785	1805–1880	1.25 5 10 15 20
PCS 1900	1850–1910	1930–1990	1.25 5 10 15 20
Cellular 850	824–849	869–894	1.25 5 10 15 20
Digital dividend	470–854		1.25 5 10 15 20

Fig.2.2 États-Unis attributions de spectre et de bande passante pour 2G, 3G et 4G LTE-A (évolution à long terme avancée). [12]

L'attribution globale de la bande passante du spectre pour toutes les technologies cellulaires ne dépasse pas 780 MHz. Actuellement, le spectre attribué aux opérateurs est disséqué en bandes de fréquences disjointes, chacune possédant des réseaux radio différents avec des caractéristiques de propagation et des pertes de pénétration de bâtiment différentes. Chaque grand fournisseur de services sans fil dans chaque pays a, au plus, environ 200 MHz de spectre dans toutes les différentes bandes cellulaires à sa disposition [16].

Les systèmes cellulaires peuvent utiliser des fréquences mmWave pour augmenter les bandes de spectre radioélectrique actuellement saturées de 700 MHz à 2,6 GHz pour les communications sans fil. La combinaison d'une technologie CMOS rentable qui peut désormais bien fonctionner dans les bandes de fréquences mmWave et d'antennes orientables à gain élevé sur le mobile et la station de base, renforce la viabilité des communications sans fil mmWave. Le spectre MmWave permettrait aux fournisseurs de services d'offrir des bandes passantes de canaux plus élevées bien au-delà des 20 MHz généralement disponibles pour les utilisateurs 4G LTE. En augmentant la bande passante des canaux RF pour les canaux radio mobiles, la capacité de données est considérablement augmentée, tandis que la latence pour le trafic numérique est considérablement réduite, prenant ainsi en charge un bien meilleur accès Internet et des applications qui nécessitent une latence minimale. Compte tenu de cette

augmentation significative de la bande passante et des nouvelles capacités offertes par mmWave, les liaisons station de base-appareil, ainsi que les liaisons de liaison entre stations de base, seront en mesure de gérer une capacité beaucoup plus grande que les réseaux cellulaires actuels dans les zones très peuplées. Les systèmes cellulaires qui utilisent des fréquences mmWave sont susceptibles d'être déployés dans un spectre sous licence à des fréquences telles que 28 GHz ou 38 GHz ou à 72 GHz, car le spectre sous licence garantit mieux la qualité de service. Les bandes 28 GHz et 38-39 GHz sont actuellement disponibles avec des attributions de spectre de plus de 1 GHz de bandes passantes, et la bande E au-dessus de 70 GHz à plus de 14 GHz disponibles. Destinées à l'origine à l'utilisation du LMDS à la fin des années 90, les licences 28 GHz et 38 GHz pouvaient être utilisées pour les services cellulaires mobiles ainsi que pour les liaisons terrestres. Le cellulaire MmWave est un sujet d'intérêt croissant pour la recherche. L'utilisation de mmWave pour l'accès à large bande a été lancée par Samsung [16], où des débits de données ont été signalés dans la plage de 400 Mbps à 2,77 Gbps pour une bande passante de 1 GHz à 1 km distance. Nokia a récemment démontré que 73 GHz pouvaient être utilisés pour fournir des débits de données de plus de 15 Gbps. [16]

II.3.2 Les caractéristiques de la bande mmWave

Les caractéristiques de propagation des bandes mmWave prometteuses ont été évaluées dans [16], et montrent que la perte de chemin est légèrement plus grande dans les conditions NLOS par rapport aux bandes UHF et micro-ondes d'aujourd'hui en raison de la fréquence porteuse plus élevée.

Les effets de diffusion deviennent également importants aux fréquences mmWave, ce qui fait que les signaux faibles deviennent une source importante de diversité, et les trajets NLOS sont plus faibles, ce qui rend les trous de blocage et de couverture plus prononcés. Pour permettre des liaisons de haute qualité, la formation de faisceaux directionnels sera nécessaire à la fois à la station de base et au combiné où la propagation peut être améliorée. Les architectures hybrides pour la formation de faisceaux semblent particulièrement attrayantes car elles permettent à la fois la formation de faisceaux directionnelle et des formes plus complexes de pré codage tout en utilisant un matériel limité. Les applications aux réseaux pico cellulaires sont également prometteuses, indiquant des améliorations de 15 fois des débits de données par rapport aux déploiements cellulaires 3GPP LTE 4G actuels. Les travaux dans [16] montrent une amélioration de plus de 20 fois des débits de données des utilisateurs

finaux par rapport aux réseaux 4G LTE les plus avancés de New York. Les résultats dans [BAH14] montrent des améliorations de 12 fois par rapport à d'autres technologies micro-ondes concurrentes, et les résultats dans [16] prévoient des améliorations de capacité 20 fois ou plus en utilisant les technologies mmWave. Au fur et à mesure que la 5G est développée et mise en œuvre, nous pensons que les principales différences par rapport à la 4G seront l'utilisation d'allocations de spectre beaucoup plus importantes sur des bandes de fréquences mmWave inexploitées, des antennes de formation de faisceaux hautement directionnelles à la fois sur l'appareil mobile et la station de base, une durée de vie de la batterie plus longue, une probabilité d'interruption plus faible, des débits binaires beaucoup plus élevés dans de plus grandes portions de la zone de couverture, des coûts d'infrastructure moins élevés et une capacité globale plus élevée pour de nombreux utilisateurs simultanés dans le spectre sous licence et sans licence, créant en fait une expérience utilisateur dans laquelle des services cellulaires et WiFi à débit de données massifs sont fusionnés.

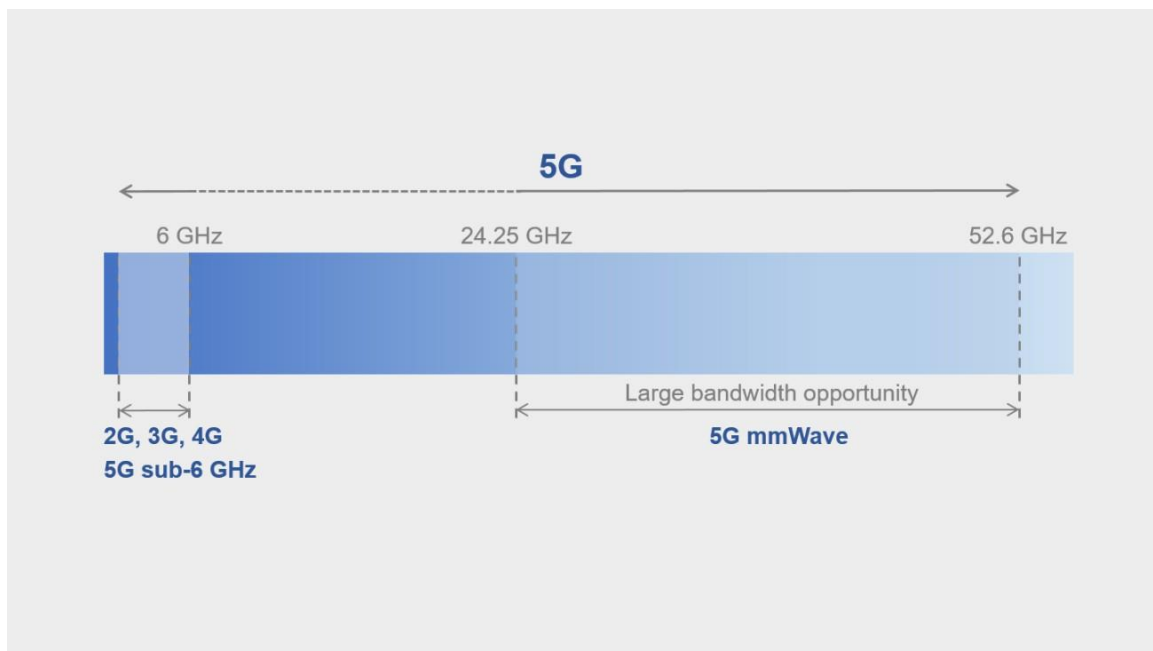


Fig.2.3 Attribution de la fréquence 5G NR [16]

II.3.3 L'architecture des réseaux cellulaires

L'architecture des réseaux cellulaires mmWave est susceptible d'être très différente de celle des systèmes à micro-ondes, comme l'illustre la figure 2.4 La formation de faisceau directionnelle se traduira par des liaisons à gain élevé entre la station de base et le combiné, ce qui a l'avantage supplémentaire de réduire les interférences hors cellule. Cela signifie qu'une réutilisation spatiale agressive peut être possible. Les liaisons de liaison, par exemple, peuvent

partager le même spectre mmWave, permettant un déploiement rapide et une connectivité de type maillage avec une coopération entre les stations de base. Le cellulaire MmWave peut également utiliser des fréquences micro-ondes en utilisant, par exemple, le concept de cellule fantôme [16] où les informations de contrôle sont envoyées sur les fréquences micro-ondes et les données sont envoyées (si possible) sur les fréquences mmWave [16]

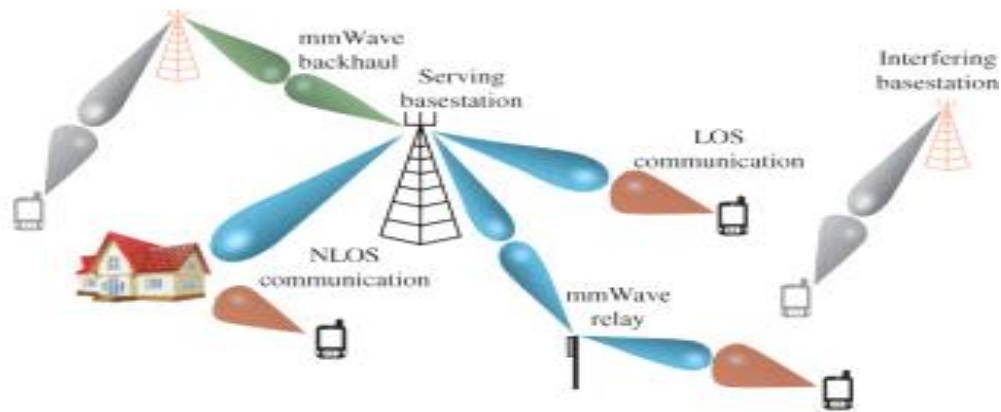


Fig.2.4 Illustration d'un réseau cellulaire mmWave. Les stations de base communiquent avec les utilisateurs [16]

Les WPAN, les WLAN et la communication cellulaire marquent le début des applications grand public des technologies mmWave, où nous évoluons vers un monde où les données sont transportées vers et depuis le cloud et les unes vers les autres dans des quantités que nous ne pouvons pas imaginer aujourd'hui. Nous pensons que mmWave est la «pointe de l'iceberg» pour de nouveaux produits spectaculaires et des changements dans notre mode de vie, et va inaugurer une nouvelle génération d'ingénieurs et de technologues dotés de nouvelles capacités et de nouvelles compétences. Cet avenir passionnant entraînera des changements révolutionnaires dans la façon dont le contenu est distribué, et changera complètement le facteur de forme de nombreux appareils électroniques, motivant l'utilisation de plus grandes largeurs de bande trouvées dans le spectre mmWave pour de nombreux autres types de réseaux, bien au-delà de 60 GHz [16]. Pour que cela se produise, cependant, de nombreux défis doivent être surmontés. Bien que nous prévoyions que les futurs réseaux cellulaires et personnels sans fil UWB peu coûteux seront activés grâce à un passage aux fréquences mmWave et aux progrès continus des circuits numériques et analogiques hautement intégrés, nous ne prévoyons pas que toutes les avancées futures se feront sur les épaules de solides-ingénieurs des procédés de l'État, seuls. Les futurs ingénieurs sans fil devront comprendre non

seulement l'ingénierie des communications et les principes de conception des systèmes sans fil, mais également la conception des circuits, les modèles d'antenne et de propagation et la théorie électromagnétique mmWave pour réussir à Co développer leurs conceptions de futures solutions sans fil. [16]

II.3.4 Les défis de mise en œuvre de mmWave

Les défis de mise en œuvre de la communication mmWave impliquent plusieurs couches de la pile de communications. Au niveau matériel du PHY, les antennes sont un défi majeur. Pour minimiser les coûts, les fournisseurs de chipsets mmWave peuvent préférer exploiter la courte longueur d'onde de la porteuse en incorporant des antennes ou des réseaux d'antennes directement sur la puce ou dans l'emballage. Pour les solutions les plus simples et les moins coûteuses, les solutions monopuce à gain élevé sont attrayantes [16]. Cependant, les solutions à antenne unique doivent surmonter les défis de la faible efficacité sur puce tandis que les antennes intégrées doivent surmonter les interconnexions avec perte du boîtier. Les systèmes MmWave peuvent également utiliser de nombreuses antennes étroitement espacées dans des boîtiers ou sur des cartes de circuits imprimés qui sont beaucoup plus petites qu'un centimètre lors de l'utilisation de matériaux à haute permittivité. Les réseaux d'antennes adaptatives ou à faisceau commuté peuvent fournir un gain d'antenne d'émission et de réception, mais nécessitent des modifications de protocole au niveau du traitement du signal du PHY et de la couche de liaison de données pour diriger les faisceaux. La pierre angulaire des circuits mmWave à faible coût est l'utilisation de la technologie CMOS ou SiGe. Les processus CMOS Silicon on Insulator (SOI) sont également attrayants pour les applications haut de gamme car ils fournissent des facteurs de qualité (Q) impressionnants en raison de valeurs réduites pour les capacités et inductances parasites. Les processus SOI, cependant, souffrent d'une augmentation des coûts par rapport au CMOS standard avec un canal de périphérique et un substrat joint. Parce que les processus CMOS ont maintenant atteint des fréquences de transit de centaines de gigahertz, les systèmes mmWave à puce unique sont réalisables, avec une bande de base numérique et un frontal analogique mmWave. L'intégration sur puce facilitera également des techniques telles que l'égalisation de signaux mixtes [16] qui peuvent améliorer les performances des systèmes complets par rapport aux solutions à puces multiples. Malheureusement, les fonderies ne signalent pas encore de permittivités relatives ou de tangentes de perte pour les matériaux de processus aux fréquences mmWave dans les kits de conception de processus (PDK), forçant les premiers développeurs à mesurer ces paramètres critiques jusqu'à ce qu'ils soient fournis.

Le traitement des signaux de communication mmWave est également confronté à de nouveaux défis. Bien que les liaisons sans fil mmWave puissent être modélisées en utilisant la théorie conventionnelle du système de bande de base complexe classique, les caractéristiques de la propagation sans fil mmWave combinées aux exigences de conception matérielle mmWave produisent des décisions de conception uniques au PHY. La sélection de l'algorithme de modulation et d'égalisation doit prendre en compte le compromis dérivé entre la complexité de direction du faisceau et la complexité d'égalisation. Par exemple, un système mmWave qui utilise des antennes omnidirectionnelles peut souffrir d'ISI sévère en raison des canaux à trajets multiples qui provoquent le chevauchement et l'interférence des symboles successifs arrivant à un récepteur [16]. La figure 2.5 illustre les variations temporelles et spatiales d'une réponse impulsionnelle omnidirectionnelle typique à 60 GHz et montre comment les composants à trajets multiples peuvent induire des dizaines, voire des centaines de nanosecondes de retard. Le canal montré sur la Fig. 2.5 a un étalement de retard de 65,9 ns, ce qui pourrait potentiellement étaler un signal de 60 GHz sur des dizaines à des centaines de périodes de symboles (par exemple, cette étendue étalerait un signal sur 120 symboles dans la couche physique à porteuse unique).de la norme IEEE 802.15.3c) [16]. Un appareil fonctionnant dans cet environnement aurait besoin d'algorithmes d'égalisation non linéaires dans la PHY et / ou de très longues périodes d'égalisation, ce qui augmenterait la complexité de l'appareil (ce qui pourrait effacer les avantages de la complexité numérique de 60 GHz par rapport aux systèmes à basse fréquence). Des antennes de direction de faisceau directionnelles telles que des réseaux d'antennes peuvent être utilisées pour réduire la propagation du retard RMS vue par le dispositif, mais la direction de faisceau entraîne également une charge de calcul supplémentaire.

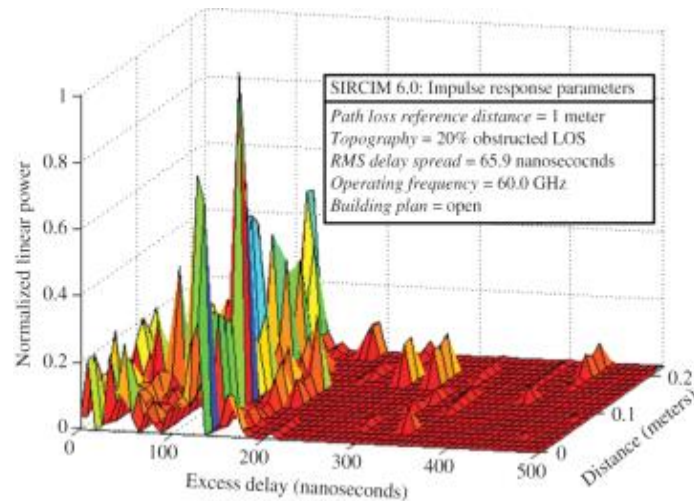


Fig.2.5 De longs écarts de retard caractérisent les canaux à large bande de 60 GHz [16]

Au-dessus de la PHY, le contrôle d'accès moyen (MAC) des appareils mmWave doit également tenir compte de facteurs de conception uniques. La majeure partie de la charge de calcul de la direction du faisceau tomberait dans la couche MAC. En plus de réduire la complexité par la co-conception optimale d'algorithmes de direction de faisceau et de modulation, la direction de faisceau présente des problèmes liés à la découverte de voisins et aux nœuds cachés et exposés dans un réseau. La découverte du voisin, qui fait référence au protocole de liaison qui gère l'activation et la maintenance de la liaison, est particulièrement difficile avec la direction de faisceau et les appareils mobiles. Le problème des nœuds cachés, dans lequel un dispositif de coordination n'est pas en mesure d'empêcher un dispositif brouilleur de transmettre, est suffisamment difficile à résoudre dans les systèmes micro-ondes à antennes omnidirectionnelles. L'ajout d'antennes mmWave très directionnelles (pour lutter contre la perte de chemin mmWave) ne fait qu'aggraver ce problème. Les nœuds exposés, qui sont empêchés de communiquer en raison d'interférences, sont plus susceptibles de se produire avec les protocoles MAC conventionnels à mmWave en raison de la directivité des messages « tout en clair » avec des antennes mmWave [DMRH10]. [16]

II.3.5 Applications émergentes des communications mmWave

Les réseaux cellulaires d'aujourd'hui dans le monde utilisent des fréquences dans les bandes UHF et à faible spectre micro-ondes, entre 400 MHz et 4,0 GHz. L'utilisation de ces bandes de fréquences relativement basses n'a pas changé au cours des 40 années de l'industrie de la radio cellulaire [16]. Même aujourd'hui, de minuscules éclats de spectre (par exemple, des dizaines de MHz) dans ces bandes continuent d'être alloués par les gouvernements du monde

entier pour le déploiement de la quatrième génération (c'est-à-dire 4G) de technologies cellulaires basées sur la norme LTE. Cependant, la demande de données cellulaires a augmenté à un rythme effarant et les prévisions de capacité sont claires - les réseaux cellulaires nécessiteront des allocations de spectre beaucoup plus importantes que jamais auparavant. Les estimations prudentes de la croissance de la consommation de données par utilisateur varient de 50% à 70% par an. Certains opérateurs sans fil, comme China Mobile, signalent déjà des augmentations encore plus importantes de la consommation de données (par exemple, une augmentation de 77% par an de la consommation de données par utilisateur de 2011 à 2012), et les opérateurs continuent de connaître une augmentation incroyable du trafic vidéo et de streaming en direct sur leurs réseaux. Cette tendance ne fera que s'accélérer avec le temps, en particulier à mesure que de nouvelles applications de réseautage social et de machine à machine évoluent et que l'Internet des objets devient une réalité [16].

II.4 Conclusion

Les technologies de la 5G se développent selon un modèle radicalement différent de ce qui se faisait jusque-là dans le secteur des télécommunications. Le concept du « service de Télécommunication » sera substantiellement modifié puisque des réseaux « virtuels » s'articuleront sur des infrastructures d'opérateurs variés. Le plein potentiel de la 5G ne pourra être atteint que si - et seulement si - les comportements des opérateurs dominants visant à freiner la concurrence pourront être modérés par la loi et la réglementation.

Les déréglementations mise en œuvre dans le passé en matière de télécommunication sont instructives.

En général, les politiques publiques favorisent l'approche ouverte, comme le montrent-les règles régissant l'Internet. Ces règles de « neutralité du Net » suggèrent que les fournisseurs de télécommunications qui sont impliqués dans la construction d'infrastructures gèrent leurs opérations de manière à ne pas exclure la concurrence et l'innovation.

Cela suggère que lorsque la 5G sera opérationnelle, il est probable qu'une politique publique sera mise en œuvre afin que l'ouverture soit effective en matière de contrôle de l'infrastructure, de sa mise à disposition des acteurs et de sa gestion.

Chapitre IV

Simulation de la chaine 5G sous les différents canaux et comparaison.

Chapitre IV

Simulation de la chaine 5G sous les différents canaux et comparaisons.

IV.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, nous exposons les résultats graphiques de simulation, obtenus par le logiciel Matlab, et ces explications. Les simulations présentent l'impact de différents paramètres sur le taux d'erreur symbolique dans un canal de Rayleigh (ou multi-trajets), Massive MIMO.

IV.2 Simulation

L'objectif d'un système de communication sans fil est de servir autant d'utilisateurs que possible avec le débit de données le plus élevé possible, L'exécution du programme nous a donné les figures suivantes :

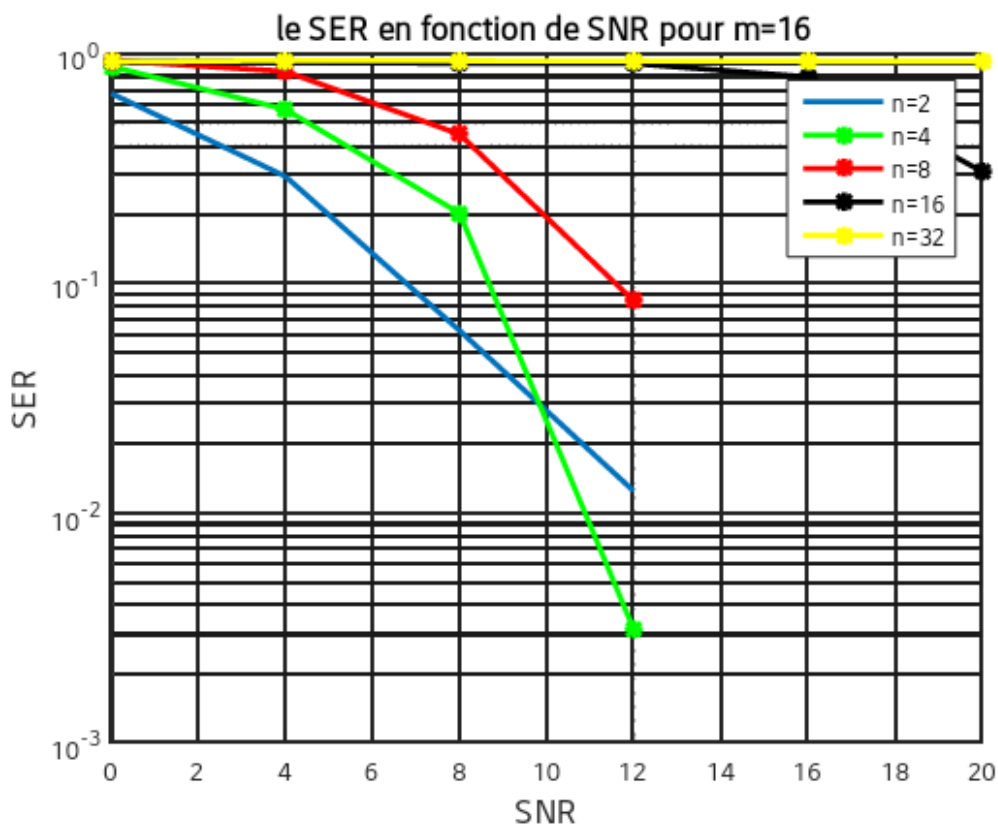


Figure IV.1 SER en fonction de SNR pour 16 antennes (m=16)

Commentaire :

Cette figure représente le taux d'erreur en fonction de rapport signal sur bruit en utilisant 16 antennes on voit bien que SER est réduit pour 2 utilisateurs (environ 10^{-2} pour 12db de SNR) et augmente avec l'augmentation du nombre d'utilisateur.

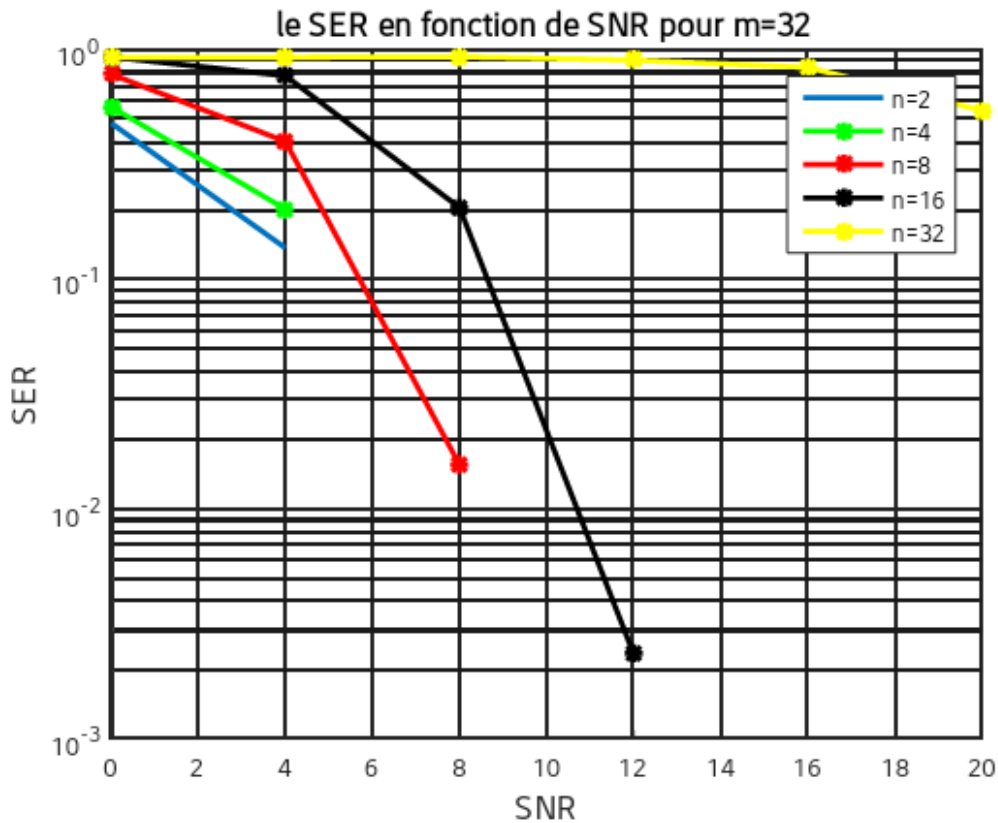


Figure IV.2 SER en fonction de SNR pour 32 antennes (m=32)

2- Commentaire :

La même chose quand on a utilisé 32 antennes

Lorsqu'on augmente le nombre d'utilisateur, le SER augmente jusqu'à n=32 le SER= 10^0 , mais le SNR diminue jusqu'à 12db.

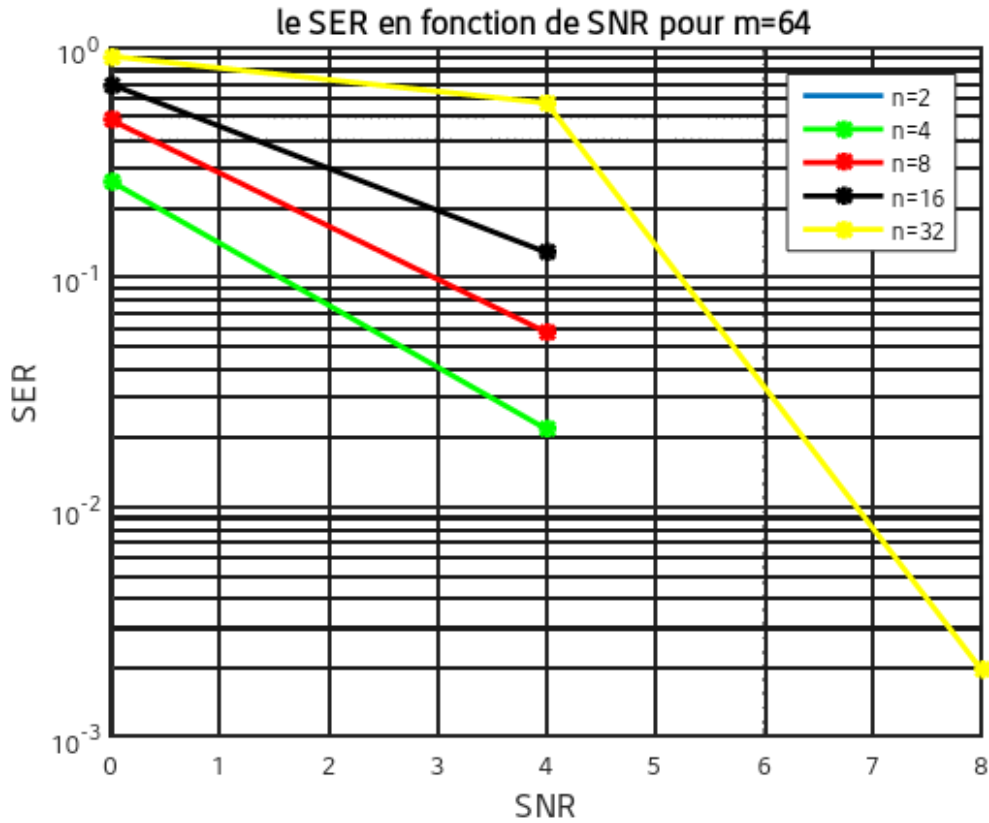


Figure IV.3 SER en fonction de SNR pour 64 antennes (m=64)

3- Commentaire :

Nous augmentons le nombre d'antennes à la station de base (m=64)

Et notons que lorsque le nombre d'utilisateur n=2 le SER=0 et quand n=4, n=8, n=16 le SNR est constant=4db, et le SER environs 10^0 et en augment n=32, le SNR augment aussi mais le SER toujours il reste augmenter

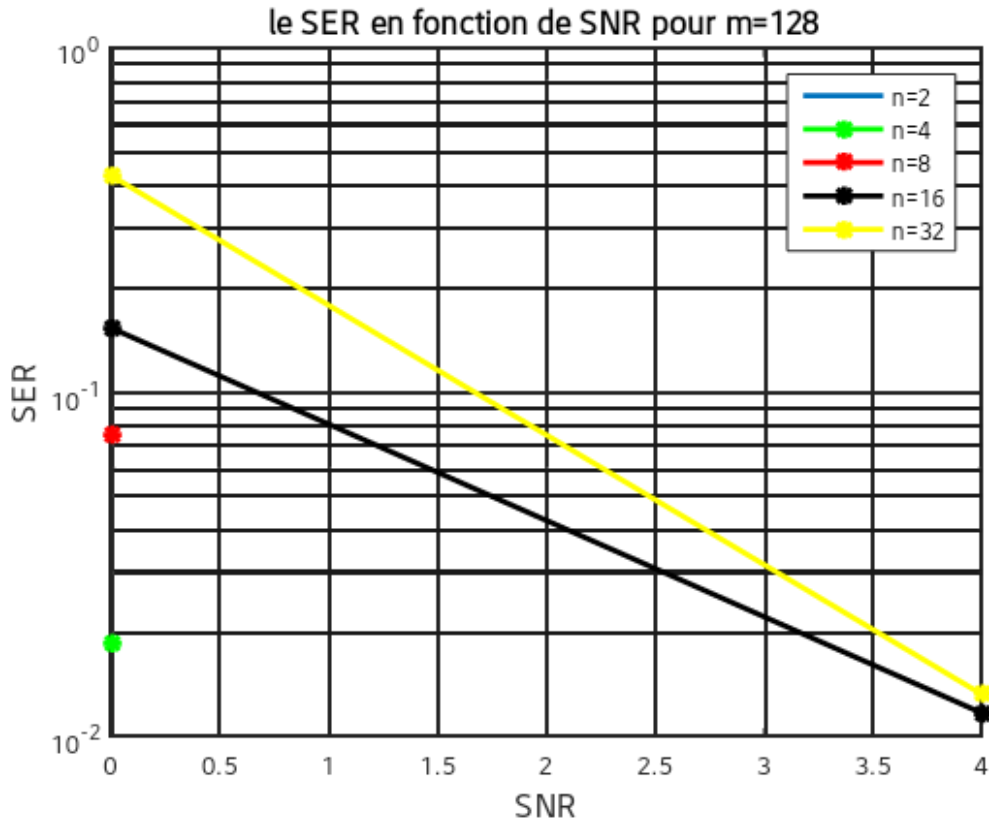


Figure IV.4 SER en fonction de SNR pour 128 antennes (m=128)

4-commentaire :

La même chose pour les autres figure lorsqu'on augmente le nombre d'utilisateur le SER toujours augmenter mais je remarque quand le nombre d'antenne augmente, le SNR diminuer (m=128, SNR=4db pour n=16 et 32) et (n=2, n=4 ,n=8 le SNR=0)

Commentaire générale :

Le taux d'erreur est proportionnel avec le nombre d'utilisateur c'est à dire quand le nombre d'utilisateur augment, le SER augment aussi en fonction du rapport signal sur bruit donné.

IV.3 Conclusion

Dans ce chapitre l'impact de différents paramètres sur le taux d'erreur symbolique dans un canal de Rayleigh (ou multi-trajets), Massive MIMO.

La station de base joue le rôle du récepteur et l'algorithme utiliser est le MMSE (Minimum Mean Square Error). D'où on peut conclue que : l'augmentation de nombre d'utilisateur n

Conduire à une augmentation de SER, c'est à dire que : le taux d'erreur symbolique est proportionnel avec le nombre d'utilisateur.

Et le résultat confirme que l'augmentation de nombre d'antenne dans le système donne une amélioration de rapport SNR.

Conclusion Générale.

Conclusion générale

Le besoin de toujours améliorer les débits de transmission de données pousse les chercheurs dans le domaine des communications sans fils à améliorer sans cesse les systèmes de communications existants et à imaginer de meilleures solutions pour les futurs standards. Dans ce mémoire, nous avons étudié une recherche orientée vers des problématiques originales en communications numériques. Premièrement on a expliqué la 5G et sa place par rapport à la 4G dans le monde des communications sans fil, Il est donc fort probable que les premiers réseaux 5G largement déployés soient des réseaux 4.9G. Ensuite, nous mentionnons une brève explication sur les canaux (à ondes millimétrique et centimétrique) conduit à un débit de transmission de données plus élevé. Et nous mentionnons également le principe et l'étude de la chaîne de communication 5G.

La simulation que nous avons réalisée a permis de montrer

Les systèmes d'antennes à entrées multiples-sorties multiples (MIMO) sont rapidement devenus une technologie sans fil inévitable car la technologie MIMO permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur, ceci peut être utilisé pour augmenter le débit et minimiser le taux d'erreur symbolique (SEB). Le système MIMO permet de maximiser le rapport signal sur bruit à la réception, en se basant sur l'algorithme MMSE, ce qui garantit une robustesse du lien de transmission. Notons que l'efficacité de cet algorithme croit proportionnellement avec le nombre d'utilisateur.

L'algorithme itératif à maximisation du rapport signal sur bruit plus interférences, Il est intéressant de noter ici que l'augmentation du nombre d'antennes de réception est nécessaire pour assurer un degré de liberté suffisant pour atténuer les multi trajets et garantir une meilleure performance.

Annexe A :

Le principe de l'algorithme MMSE : Minimum Mean Square Error

L'algorithme de détection linéaire MMSE-IC consiste à appliquer les deux filtres p_k et

q_k au signal reçu et au signal égalisé respectivement, la sortie de l'égaliseur D'interférences s'écrit :

$$\hat{S}_k = p_k^H r - q_k^H r \hat{S}_k \quad A.1$$

L'application du critère MMSE implique la minimisation suivante :

$$(p_k^{opt}, q_k^{opt}) = \arg \min_{p_k, q_k} \mathbb{E}[|S_k - \hat{S}_k|^2] \quad A.2$$

L'expression du signal égalisé faisant apparaître le signal utile, les termes interférents et le bruit résiduel :

$$\hat{S}_k = \underbrace{p_k^H H e_k s_k}_{\text{signal utile}} + \underbrace{p_k^H H s_k - q_k^H \hat{S}_k}_{\text{interférences}} + \underbrace{p_k^H n}_{\text{bruit}} \quad A.3$$

où s_k est le vecteur défini comme suit :

$$s_k = [s_1 \dots s_{k-1} \quad 0 \quad s_{k+1} \dots s_{N_t}]^T \quad A.4$$

À partir de cette relation, on en déduit le rapport signal sur interférences plus bruit (SINR) :

$$SINR = \frac{\mathbb{E}[p_k^H H e_k e_k^H H p_k] \sigma_s^2}{\mathbb{E}[(p_k^H H s_k - q_k^H \hat{S}_k + p_k^H n) \cdot (p_k^H H s_k - q_k^H \hat{S}_k + p_k^H n)^H]} = \frac{\beta_k^2 \sigma_s^2}{\gamma_k^2} \quad A.5$$

Remarquons tout d'abord que l'égaliseur optimal au sens du critère MMSE maximise le SINR.

Comme seul le dénominateur de ce dernier dépend de q_k , le vecteur optimal

q_k s'obtient en minimisant la quantité 2 k.

Prenons le gradient relativement à q_k , il vient :

$$\frac{\partial \gamma_k^2}{\partial q_k} = -\mathbb{E}[\hat{S}_k s_k^H] H^H p_k - \mathbb{E}[\hat{S}_k n^H] p_k + \mathbb{E}[\hat{S}_k \hat{S}_k^H] q_k \quad A.6$$

Si l'on admet que

$$\mathbb{E}[\hat{s}_k s_k^H] = \mathbb{E}[\hat{s}_k \hat{s}_k^H] \quad \text{A.7}$$

Il suffit de fixer

$$\frac{\partial \gamma_k^2}{\partial q_k} = 0 \quad \text{A.8}$$

Pour trouver l'expression du premier vecteur d'égalisation optimal :

$$q_k^{opt} = H^H p_k \quad \text{A.9}$$

L'expression de l'erreur quadratique moyenne devient :

$$\varepsilon_k^2 = \mathbb{E}[(s_k - p_k(r - H\hat{s}_k)).(s_k - p_k^H(r - H\hat{s}_k))^H] \quad \text{A.10}$$

On peut calculer le biais de l'égaliseur :

$$\beta_k = p_k^H H e_k \quad \text{A.11}$$

Donc :

La détection MMSE consiste à appliquer au signal reçu un filtre linéaire qui minimise l'erreur quadratique moyenne aux instants d'échantillonnage entre les symboles égalisé et les symboles transmis.

Références bibliographiques

- [1] « China Poised to Lead the World in 5G » [archive], sur [sdxcentral.com](#)
- [2] « Huawei and NTT DoCoMo trial 5G tech » [archive], sur [ZDNet](#), 23 mai 2018.
- [3] « Technologies 5G : l'ARCEP autorise Orange à mener une première expérimentation en France » [archive], sur [arcep.fr](#), 22 septembre 2015.
- [4] « Rennes va tester la 5G » [archive], sur [zdnet.fr](#), 26 juillet 2016.
- [5] « Leti To Demonstrate New Multicarrier Waveform For 5g Networks On Minatec Campus » [archive], sur [embedded-computing.com](#), 10 janvier 2017 (consulté le 14 mai 2017).
- [6] Bisognin, Aimeric. Évaluation de technologies organiques faibles pertes et d'impression plastique 3D afin de contribuer au développement de solutions antennaires innovantes dans la bande 60 GHz–140GHz. Université Nice Sophia Antipolis, 2015.
- [7] Frédéric Djardias, « En Corée du Sud, les JO servent de terrain de jeu pour tester la 5G » [archive], sur [francetvinfo.fr](#), 19 février 2018.
- [8] « Attribution de fréquences - L'Arcep publie la synthèse des contributions à la consultation publique - De nouvelles fréquences pour le très haut débit dans les territoires, pour les entreprises ; la 5G et l'innovation lancées le 6 janvier 2017 » [archive], sur [arcep.fr](#), 22 juin 2017.
- [9] « San Marino set to become first country upgraded to 5G nationwide » [archive], sur [Financial Times](#).
- [10] <https://whatis.techtarget.com/fr/definition/5G>
- [11] <https://www.oezratty.net/wordpress/2018/nombreux-defis-5g/>
- [12] <https://www.reneelab.fr/technologie-5g.html#F>
- [13] site web: http://www.nuctech.com/fr/SitePages/ThNormalPage.aspx?nk=TECH_HYPERLINK
- [12] Site web: [https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2249780&seqNum=3"&HYPERLINK](https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2249780&seqNum=3)
- [14] site web: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Centimeter+Waves>
- [15] Site web : <https://wcnc2018.ieee-wcnc.org/workshop/centimetre-and-millimetre-wave-based-communications-5g-networks-cmmmw5g>
- [16] Site web: <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2249780>
- [17] Survey of Filter Bank Multicarrier (FBMC) as an efficient waveform for 5G ; march 2018
- [18] <https://nl.mathworks.com/help/comm/examples/fbmc-vs-ofdm-modulation.html>
- [19] BENSENOUCI Salima & BENSABER Habiba Bochra. » Evaluation d'un système de communication FBMC » Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –le 04 / 07 / 2019,

- [20] DALI Amina & BOUAFIA Zineb ; Étude énergétique de la forme d'ondes multi-porteuses à base de banc de filtres ; Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE 19/06/ 2017. <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/10982/1/Ms.Tel.Dali%2BBouafia.pdf>)
- [21] Bendahmane Amira Meriem et Ghermoul Rania ; Etude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC ; Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen – Faculté de Technologie ; 25/06/2018
(<http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/12880/1/Ms.Tel.Bendahmane%2BGhermoul.pdf>)
- [22] DAOUD Khedidja, SIMULATION COMPARATIVE DES TECHNIQUES FBMC ET OFDM POUR LES RESEAUX 5G. Soutenu en Juin 2016
- [23] Traitement Numérique du Signal (Partie 2) ; Support de cours ; Olivier SENTIEYS ; sentieys@enssat.fr; <http://r2d2.enssat.fr/enseignements/Tns/Tns.php> (https://perso.univrennes1.fr/olivier.sentieys/teach/TNS_Partie_2.pdf)
- [24] [CHEBOUROU Mohammed & REMAOUN Ahmed Ilyas ; Modélisation d'un filtre numérique multi-cadence à l'aide d'un DSP TMS320VC5416 ; Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE ; 2017-2018
(<http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/12944/1/Ms.Tel.Chebourou%2BRemaoun.pdf>)
- [25] Parnika Kansal, Ashok Kumar Shankhwar ; « FBMC vs OFDM Waveform Contenders for 5G Wireless Communication System » ; Department of Electronics, School of Engineering, Harcourt Butler Technical University (HBTU), Kanpur, India ; October 23, 2017.
- [26] Fortas Moussa, Kacem Ali Abdennour. « Mise en évidence des avantages apportés par les canaux MIMO multi-trajets en termes de capacité et de débit » Université Djilali Bounaama Khemis Miliana 2018/2019
- [27] [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/MIMO_\(t%C3%A9l%C3%A9communications\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/MIMO_(t%C3%A9l%C3%A9communications))
- [28] Massive MIMO for 5G Scenarios with OFDM and FBMC/OQAM Waveforms Alexis Bazin
- [29] https://www.slideshare.net/jeanbaptiste.dumont/the-ai-rush-121047435?next_slideshow=1
- [30] https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/135337/6/06_chapter%2006_arun.pdf
- [31] Bendahmane Amira Meriem et Ghermoul Rania Etude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen en 2018
- [32] <http://french.peopledaily.com.cn/n3/2018/0424/c31357-9452873.html>
- [33] englisgh Wei_Xiang_· Kan_Zheng Xuemin_(Sherman)_Shen *Editors 5G Mobile Communications*
- [34] 3GPP TSG-RAN WG1 #84b, R1-162199 2016. Waveform Candidates, Qualcomm Inc., April 11th–15th, Busan, Korea

[35] Wild, T. et al. 2013. Universal-Filtered Multi-Carrier Technique for Wireless Systems Beyond LTE. *2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Atlanta, GA, USA, December 9–13, 2013, pp. 223–228.

[36] Article Publié le 29/01/2019 à 10h28 - La Rédaction de DemarchesAdministratives.fr avec **AFP**.

[37] <https://www.emajit.com/conseils-informatique-cybersecurite/telecoms/5g-avantages/>